



**Politecnico
di Torino**

POLITECNICO DI TORINO

Dipartimento di Ingegneria Gestionale e della Produzione

Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea Magistrale

Learning Factory: Systematic Literature Review attraverso approcci innovativi

Relatore

Prof.ssa Cagliano Anna Corinna

Candidato

Damiano Marzo

Novembre 2024

Indice

INTRODUZIONE	5
1. SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW	8
1.1 FASI SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW	8
1.2 CONFRONTO CON METODO PRISMA	13
1.3 DESCRIZIONE DEGLI STRUMENTI A SUPPORTO DI UNA SLR.....	16
1.4 INTRODUZIONE ALLE LEARNING FACTORY.....	27
2. FASE 0: DEFINIZIONE DOMANDE DI RICERCA	29
2.1 FORMULAZIONE DELLE DOMANDE DI RICERCA	29
3. FASE 1: DEFINIZIONE DEI CRITERI DI INCLUSIONE/ESCLUSIONE E DELLE KEYWORD 32	
3.1 DEFINIZIONE DEL DATABASE SU CUI EFFETTUARE LA RICERCA.....	32
3.2 KEYWORD	32
3.3 AREA TEMATICA.....	33
3.4 INTERVALLO TEMPORALE, LINGUA DEL TESTO, TIPO DI FONTE E TIPOLOGIA DI DOCUMENTI	34
4. FASE 2: RICERCA DEGLI ARTICOLI IN BASE AI CRITERI DI INCLUSIONE/ESCLUSIONE 36	
4.1 RICERCA ARTICOLI	36
4.2 SCREENING ARTICOLI SU PANDAS	39
4.3 SCREENING ARTICOLI SU RAYYAN.....	46
5. FASE 3: SELEZIONE DEGLI ARTICOLI IN BASE AL TITOLO E ALL'ABSTRACT	50
5.1 TECNICA LATENT SEMANTIC ANALYSIS (LSA)	50
5.2 TECNICA LATENT DIRICHLET ALLOCATION (LDA)	56
5.3 SCREENING MANUALE.....	62
5.4 CONSIDERAZIONI CRITICHE	77
6. FASE 4: SELEZIONE DEGLI ARTICOLI IN BASE ALLA LETTURA COMPLETA	79
7. FASE 5: APPLICAZIONE APPROCCIO SNOWBALLING	87
7.1 CONSIDERAZIONI FINALI SUL CORPUS COMPLETO AL TERMINE DEL PROCESSO DI SNOWBALLING	101
CONCLUSIONI	105
SITOGRAFIA	108
BIBLIOGRAFIA	109

INTRODUZIONE

Negli ultimi anni, la crescente produzione scientifica e l'avanzamento tecnologico hanno reso essenziale lo sviluppo di metodologie che permettano ai ricercatori di gestire e sintetizzare in modo efficace la grande quantità di dati e studi disponibili. In questo contesto, la Systematic Literature Review (SLR) si è affermata come uno strumento chiave per condurre una revisione rigorosa e metodologicamente solida della letteratura esistente. Grazie a un approccio strutturato, la SLR consente di raccogliere, analizzare e interpretare in modo oggettivo i risultati degli studi su un determinato argomento, garantendo così una visione completa e affidabile dello stato dell'arte.

La SLR, a differenza delle revisioni tradizionali, segue un protocollo definito che consente di minimizzare i bias e di assicurare che i risultati siano riproducibili. Questo approccio sistematico si basa su una serie di fasi ben definite, che includono la formulazione di domande di ricerca, la selezione di criteri di inclusione ed esclusione, la ricerca e la selezione degli articoli pertinenti, e la sintesi finale delle evidenze raccolte. L'applicazione di questo metodo è particolarmente utile in settori emergenti, dove è essenziale ottenere una visione chiara e strutturata dello stato dell'arte.

La presente tesi si colloca in questo contesto e si propone di applicare la metodologia della Systematic Literature Review nel campo delle Learning Factory. Le Learning Factory rappresentano un modello educativo innovativo che mira a connettere la formazione teorica con la pratica industriale, creando ambienti di apprendimento che simulano le dinamiche reali delle aziende. In un mondo sempre più caratterizzato dalla digitalizzazione e dall'automazione, queste fabbriche didattiche offrono agli studenti e ai professionisti la possibilità di acquisire competenze pratiche e di sperimentare soluzioni tecniche in contesti vicini alla realtà lavorativa. Questi spazi rappresentano inoltre un terreno ideale per la sperimentazione e la ricerca, favorendo l'innovazione e l'applicazione di nuove tecnologie.

La necessità di una revisione sistematica della letteratura sulle Learning Factory è motivata dall'importanza crescente di queste strutture sia nel panorama formativo e industriale che nella ricerca, e dal fatto che la letteratura sull'argomento è in costante espansione. Tuttavia, condurre una revisione sistematica tradizionale può essere estremamente oneroso in termini di tempo e risorse, specialmente considerando l'ampia mole di dati disponibili. Per questo motivo, la tesi ha posto particolare attenzione all'identificazione di strumenti innovativi che possano supportare e automatizzare le diverse fasi della SLR.

Uno dei contributi più significativi di questo lavoro è infatti l'analisi e l'implementazione di software e tool capaci di migliorare l'efficienza del processo di revisione. In particolare, vengono esplorati strumenti come Pandas e Rayyan, che offrono funzionalità avanzate per lo screening e la selezione degli articoli, riducendo sensibilmente il carico di lavoro manuale. Inoltre, vengono approfondite tecniche di analisi automatizzata come la Latent Semantic Analysis (LSA) e la Latent Dirichlet Allocation (LDA), che consentono di identificare in maniera

automatica i temi e le correlazioni tra i documenti analizzati, accelerando così il processo di selezione basato su titolo e abstract.

Questa ricerca si articola in più fasi: dalla definizione delle domande di ricerca e dei criteri di inclusione, passando per la selezione delle fonti e delle parole chiave, fino ad arrivare all'analisi dettagliata degli articoli e alla valutazione finale attraverso tecniche quantitative e qualitative. Ogni fase viene descritta in modo accurato, con particolare enfasi sull'uso di strumenti digitali che rendono il processo di revisione più efficiente e meno soggetto a errori umani.

L'obiettivo della tesi è quindi duplice: da un lato, contribuire a una migliore comprensione dello stato attuale delle Learning Factory, fornendo una revisione dettagliata e aggiornata della letteratura disponibile; dall'altro, esplorare e proporre soluzioni innovative per l'automazione del processo di revisione sistematica, che possano essere adottate non solo in questo specifico contesto, ma anche in altre aree di ricerca. In questo modo, il lavoro si pone non solo come un contributo al campo delle Learning Factory, ma anche come un caso di studio applicabile a future revisioni sistematiche in ambiti differenti.

In conclusione, la tesi si propone di rispondere alla crescente esigenza di efficienza nel campo delle revisioni sistematiche della letteratura, sfruttando al massimo le potenzialità offerte dalle nuove tecnologie e contribuendo allo sviluppo di pratiche di revisione più rapide, precise e affidabili.

1. SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

All'interno di questo capitolo verranno esaminate le fasi principali di una Systematic Literature Review (SLR), completate dalla descrizione del metodo PRISMA, approccio prevalentemente usato per documentare una SLR già effettuata. Successivamente, si procederà con l'analisi dei software e degli strumenti disponibili per automatizzare i vari passaggi della SLR, evidenziandone le loro funzionalità. Infine, verrà introdotta la tematica oggetto della SLR effettuata nel presente elaborato, le Learning Factory.

1.1 FASI SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

- 0) DEFINIZIONE DOMANDA/E DI RICERCA (ex. da Lagorio et al 2016)
(Tale fase non può essere automatizzata)
- 1) DEFINIZIONE CRITERI DI INCLUSIONE ED ESCLUSIONE (si definiscono i vari criteri di inclusione ed esclusione per la prima selezione degli articoli):
 - Database su cui effettuare la ricerca (di solito Scopus)
 - Intervallo temporale della ricerca
 - Lingua del testo degli articoli sui quali verte la ricerca
 - Keyword
 - Tipo di documenti (ex. articoli su rivista, conference paper, capitoli di libro, recensioni, ...)
 - Tipo di fonte (ex. riviste, conferenze, libri...)
 - Area tematica (ex. da Lagorio et al 2021: Business, Management; Accounting; ...)
- 2) RICERCA DEGLI ARTICOLI IN BASE AI CRITERI DI INCLUSIONE/ESCLUSIONE: ricerca degli articoli dal Database scelto che soddisfano i criteri di inclusione ed esclusione definiti al passo 1.
- 3) SELEZIONE DEGLI ARTICOLI IN BASE AL TITOLO E ALL'ABSTRACT: si leggono i titoli e gli abstract degli articoli individuati al passo 2 e si procede con una selezione degli articoli individuando quelli più pertinenti allo scopo della ricerca (ex. da Lagorio et al 2021: gli autori nel passo 2 hanno selezionato 341 articoli, successivamente, dopo la lettura dei titoli e degli abstract, hanno eliminato 146 articoli dei 341 del corpus iniziale).
- 4) SELEZIONE DEGLI ARTICOLI IN BASE ALLA LETTURA COMPLETA: si leggono per intero gli articoli selezionati al passo 3 e si escludono quelli che non presentano informazioni utili allo scopo della ricerca (ex. da Lagorio et al 2021: gli autori dopo aver letto le versioni complete degli articoli inclusi nel corpus dopo il passo 3, hanno eliminato ulteriori 58 articoli poiché il loro contenuto è stato ritenuto al di fuori dell'ambito di ricerca).

- 5) **APPLICAZIONE APPROCCIO SNOWBALLING:** si effettua prima il backward snowballing, ovvero si procede con l'analisi degli articoli che vengono citati negli articoli presenti nel corpus dopo l'applicazione del passo 4. Se tali articoli superano le fasi 2,3,4 della SLR, verranno inclusi anch'essi nel corpus. Successivamente si applica il forward snowballing, dove invece si analizzano gli articoli che citano gli articoli inclusi nel corpus dopo l'applicazione del passo 4. Anche in questo caso se i nuovi articoli supereranno le fasi 2, 3 e 4 della SLR, verranno inseriti nel corpus.
 - 6) **ANALISI DEL CORPUS: DISTRIBUZIONE DEGLI ARTICOLI PER ANNO, RIVISTA (E NAZIONE):** si effettua un'analisi per anno di pubblicazione, rivista di pubblicazione (ed eventualmente per paese) degli articoli inclusi nel corpus dopo le fasi da 2 a 5 della SLR. Successivamente, si procede con l'analizzare in quali anni e in quale rivista risulta esserci una maggiore concentrazione degli articoli selezionati.
 - 7) **ANALISI DEL CORPUS: DESCRIZIONE DELL' APPROCCIO DI STUDIO DELLA TEMATICA RELATIVA ALLO SCOPO DI RICERCA (O ARGOMENTO CHIAVE):** si procede con l'analizzare, descrivere e confrontare i vari approcci/metodologie usati per trattare la tematica chiave e si classificano gli articoli del corpus in base all'approccio utilizzato, si procede inoltre ad analizzare anche gli anni in cui sono stati utilizzati gli approcci e si ipotizzano eventuali connessioni nelle scelte dei metodi utilizzati.
 - 8) **ANALISI DEL CORPUS: DESCRIZIONE DEI PRINCIPALI TREND RELATIVI ALLO SCOPO DELLA RICERCA (O ARGOMENTO CHIAVE):** si classificano gli articoli presenti nel corpus in base alla/e domanda/e di ricerca posta/e (ad esempio, per Lagorio et al.2021, gli autori classificano gli articoli in base alle tecnologie 4.0 analizzate). Questa fase può avvenire in due momenti. In un primo momento, si leggono un numero ristretto di articoli del corpus e si estraggono i trend relativi allo scopo della ricerca che si evincono da tali articoli. Successivamente, vi è un secondo momento dove si vanno a inserire i restanti articoli del corpus nei vari trend estratti in precedenza (ex. da Lagorio et al 2021: in un primo momento ciascun autore ha analizzato indipendentemente lo stesso sottoinsieme di 50 articoli del corpus e ha definito in modo induttivo la propria lista dei trend relativi allo scopo di ricerca, in questo caso la lista delle tecnologie 4.0. Dopo una revisione delle liste così definite e una discussione tra gli autori, è stata definita la lista finale delle tecnologie e applicata per classificare i restanti 102 articoli.
- 8bis) Eseguire un'ANALISI DI RETE DI CITAZIONI O CITATION NETWORK (CN), come effettuato in Lagorio et al 2016, ma anche in Muhammed et al 2024. Questo perché tale analisi permette di fornire una comprensione migliore e più approfondita della letteratura nel campo di ricerca in oggetto. Le reti di citazioni sono reti dirette e acicliche i cui nodi rappresentano documenti esistenti e i cui archi mostrano i collegamenti tra detti documenti. In altre parole quindi tale analisi è costruita a partire dal corpus della SLR, dove ogni documento è rappresentato da un nodo, collegato ad

altri nodi mediante archi, i quali vanno dal documento citato a quelli che lo citano. Una CN consente l'analisi dei collegamenti tra documenti per scoprire relazioni e supportare l'identificazione di argomenti collegati. L'assunzione alla base di un'analisi di CN è che i ricercatori nello stesso campo tendano a citarsi reciprocamente per posizionare meglio il loro lavoro, così che i documenti riconosciuti come di maggior rilevanza nel campo di ricerca sono quelli con il maggior numero di citazioni. Per esprimere la rilevanza dei documenti nel corpus utilizzando l'analisi CN, si possono calcolare tre indicatori per ciascun documento:

- (1) Punteggio di citazione globale (GCS): numero totale di citazioni, che misura la rilevanza complessiva del documento nella letteratura.
- (2) Punteggio di citazione locale (LCS): numero di citazioni da altri documenti inclusi nel corpus; misura la rilevanza del documento nel corpus.
- (3) Centralità di vicinanza (CC) all'interno della CN: Questo punteggio misura quanto un documento è centrale nella rete di citazioni del corpus. La centralità di vicinanza viene calcolata come la distanza media del documento dagli altri documenti nella rete, espressa in termini di numero di nodi attraversati. Un documento con un'alta centralità di vicinanza è vicino a molti altri documenti, il che significa che è citato frequentemente o è citato da documenti che a loro volta sono citati frequentemente. Questo indica che il documento è presumibilmente influente e ha un ruolo significativo nello sviluppo della teoria nel campo di studio.

Dopo aver eseguito l'analisi CN si può procedere con l'analisi del percorso principale, Main Path Analysis (MPA), la quale fornisce una prospettiva dinamica analizzando la rete cronologica delle citazioni. Il percorso principale della rete viene costruito a partire dall'analisi CN selezionando i documenti con il maggior numero di citazioni ricevute fino a raggiungere un documento finale, cioè un documento che non viene più citato. Ad esempio, si considerano tre documenti:

- documento A,
- documento B che cita il documento A,
- documento C che cita sia il documento B che il documento A.

Per quanto spiegato in precedenza, il percorso principale risulterà essere: A-B-C (Figura 1).

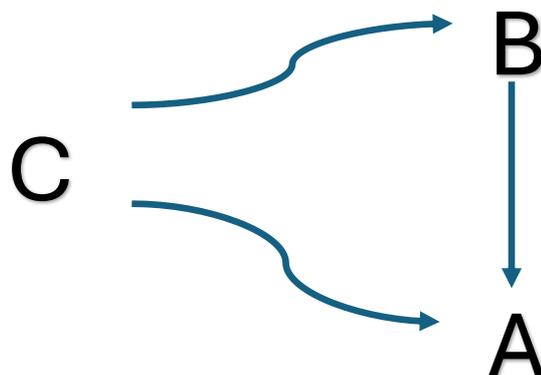


Figura 1: Esempio di rappresentazione grafica della CN analysis

Il percorso principale mette in luce i documenti fondamentali per l'argomento trattato. Se l'argomento non segue un percorso lineare dall'inizio alla fine, tale metodologia è in grado di evidenziarlo, mostrando come questo proceda attraverso tentativi ed errori.

- 9) IDENTIFICAZIONE DEI GAP DI RICERCA E DELLE FUTURE LINEE DI RICERCA: si identificano eventuali gap di ricerca presenti negli articoli del corpus finale, e si identificano alcune direzioni di ricerca che meritano maggiori approfondimenti in futuro.

RISK OF BIAS: la fase di risk of bias è ampiamente utilizzata nel mondo della medicina, come è possibile constatare da Muhammad et al 2024, Marshall et al 2016, Sanchez Giralt et al 2024, Liao et al 2024, Manten et al 2024. In tutti gli articoli qui citati, così come in gran parte degli articoli presenti in Scopus digitando la search query "Risk of bias", tale fase è impiegata per verificare la validità dei metodi utilizzati nelle scoperte mediche. Proprio per tali ragioni tale fase non verrà inclusa all'interno della procedura di SLR esaminata nella presente tesi, poiché essa si focalizza su temi ingegneristici.

Tabella 1a riporta per ciascuna fase della Systematic Literature Review qui descritta gli strumenti disponibili che possono rendere la sua esecuzione più automatica. In particolare in rosso si trova la fase di definizione della domanda di ricerca. In azzurro le fasi di screening: definizione dei criteri di inclusione ed esclusione; ricerca degli articoli in base a detti criteri, selezione degli articoli in base al titolo ed abstract; selezione degli articoli in base alla lettura completa; applicazione dell'approccio snowballing. In giallo si hanno le fasi di analisi del corpus: distribuzione degli articoli per anno, rivista (e nazione); descrizione dell'approccio di studio dei trend relativi allo scopo di ricerca (o argomento chiave); descrizione dei principali trend relativi allo scopo della ricerca (o argomento chiave). In verde la fase di identificazione dei gap di ricerca e delle future linee di ricerca. In viola la fase di risk of bias, che però, come già affermato, non verrà trattata all'interno di questa procedura di SLR.

FASI SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW E STRUMENTI DISPONIBILI	
0. DEFINIZIONE DOMANDA DI RICERCA	Tale fase non si può automatizzare
<p>SCREENING:</p> <p>1 .DEFINIZIONE DEI CRITERI DI INCLUSIONE ED ESCLUSIONE</p> <p>2. RICERCA DEGLI ARTICOLI IN BASE AI CRITERI DI INCLUSIONE/ESCLUSIONE</p> <p>3. SELEZIONE DEGLI ARTICOLI IN BASE AL TITOLO E ALL'ABSTRACT</p> <p>4. SELEZIONE DEGLI ARTICOLI IN BASE ALLA LETTURA COMPLETA</p> <p>5. APPLICAZIONE APPROCCIO SNOWBALLING</p>	<p>Una volta definiti i criteri di inclusione, ci sono varie opzioni per automatizzare o semi-automatizzare l'operazione di selezione degli articoli:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pandas • Rayyan • Laser AI • SciSpace • Eppi Reviewer • Abstrackr • Covidence • Distiller SR • AS Reviewer • Publish or Perish <p>L'approccio snowballing può essere automatizzato attraverso:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Scrapy • Publish or Perish • Citation Gecko
<p>ESTRAZIONE ED ANALISI DATI:</p> <p>6. ANALISI DEL CORPUS: DISTRIBUZIONE DEGLI ARTICOLI PER ANNO, RIVISTA (E NAZIONE)</p> <p>7. ANALISI DEL CORPUS: DESCRIZIONE DELL' APPROCCIO DI STUDIO DEI TREND RELATIVI ALLO SCOPO DI RICERCA (O ARGOMENTO CHIAVE)</p> <p>8. ANALISI DEL CORPUS: DESCRIZIONE DEI PRINCIPALI TREND RELATIVI ALLO SCOPO DELLA RICERCA (O ARGOMENTO CHIAVE)</p> <p>8 bis. ANALISI DI RETE DI CITAZIONI O CITATION NETWORK</p>	<p>La fase di estrazione dei dati può essere automatizzata attraverso:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pandas • SciSpace • Covidence • Distiller SR • POP AI
9. IDENTIFICAZIONE DEI GAP DI RICERCA E DELLE FUTURE LINEE DI RICERCA	Tale fase non si può automatizzare
RISK OF BIAS	<p>Tale fase si può semi-automatizzare attraverso:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Covidence • ROBVIS

Tabella 1a: Fasi della SLR e strumenti a supporto

1.2 CONFRONTO CON METODO PRISMA

Il metodo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) è un protocollo strutturato utilizzato per garantire trasparenza e rigore nel presentare una Systematic Literature Review. Tale metodo si compone da una serie di linee guida che aiutano i ricercatori a pianificare, condurre e riportare i risultati in modo chiaro e completo.

Le linee guida PRISMA includono una checklist di elementi da considerare (visionabile al sito <https://www.prisma-statement.org>). Questo approccio facilita la riproducibilità della revisione, riducendo il rischio di bias e migliorando la qualità complessiva della ricerca.

Di seguito nella *Tabella 1b* verranno riportati i vari passi del metodo PRISMA accompagnati da una breve descrizione.

FASE:	DESCRIZIONE:
TITOLO	Titolo del documento, deve indicare chiaramente che il documento sia una Systematic Literature Review
ABSTRACT	Fornisce un riassunto del documento contenente obiettivi, metodi, risultati e conclusioni
MOTIVAZIONE	Spiega il contesto e l'importanza della Systematic Literature Review
OBIETTIVI	Definisce chiaramente gli obiettivi della revisione.
CRITERI DI ELEGGIBILITÀ	Specifica i criteri per includere/escludere i documenti
FONTI DI INFORMAZIONE	Elenca i database e altre fonti utilizzate per la ricerca dei documenti
STRATEGIA DI RICERCA	Descrive la strategia di ricerca
PROCESSO DI SELEZIONE	Spiega come sono stati selezionati gli studi, inclusa la gestione dei duplicati
PROCESSO DI RACCOLTA DATI	Illustra come sono stati raccolti o estratti i dati dagli studi inclusi

DATI ESTRATTI	Specifica quali dati sono stati raccolti
RISCHIO DI BIAS NEGLI STUDI INCLUSI	Descrive i metodi usati per valutare il rischio di bias
MISURE DI SINTESI	Indica come i dati sono stati sintetizzati, incluso il modello statistico usato
RISCHIO DI BIAS NEI RISULTATI RIPORTATI	Spiega come è stato valutato il rischio di bias nei risultati riportati
VALUTAZIONE DELL'ATTENDIBILITÀ	Descrive i metodi per valutare l'attendibilità dei risultati riportati
SELEZIONE DEGLI STUDI	Riporta i risultati degli studi selezionati e spiega le motivazioni che hanno portato ad escludere gli studi non inclusi
CARATTERISTICHE DEGLI STUDI INCLUSI	Presenta le caratteristiche degli studi inclusi
RISCHIO DI BIAS NEI RISULTATI	Riporta le valutazioni del rischio di bias per ciascuno studio incluso
RISULTATI DEGLI STUDI	Riassume i risultati principali di ogni studio incluso
RISULTATI DELLE SINTESI	Presenta i risultati delle sintesi degli studi inclusi
BIAS NEL REPORTING	Riporta il rischio di bias dovuto a risultati mancanti o a un reporting errato
AFFIDABILITÀ DEI RISULTATI	Descrive i metodi utilizzati per valutare l'affidabilità dei risultati emersi dalla sintesi
DISCUSSIONE	Interpreta i risultati e discute le limitazioni dei risultati ottenuti
REGISTRAZIONE E PROTOCOLLO	Fornisce informazioni sul protocollo usato
SUPPORTO	Indica le fonti di supporto finanziario o non finanziario e il ruolo degli sponsor
CONFLITTI DI INTERESSE	Dichiara eventuali conflitti di interesse degli autori

INFORMAZIONI AGGIUNTIVE	Specifica eventuali informazioni aggiuntive
-------------------------	---

Tabella 1b: Fasi metodo PRISMA

Per la Systematic Literature Review in esame, è stato scelto di adottare il metodo “Classico”, ovvero quello proposto da Lagorio in diversi suoi studi. Il metodo PRISMA, pur essendo utile per descrivere in dettaglio i vari passi da seguire nella stesura di un documento il cui contenuto si basa su una Systematic Literature Review, è risultato meno adatto al presente caso. Essendo infatti un lavoro di tesi, la redazione del documento è avvenuta attraverso confronti ripetuti con il docente relatore, rendendo non strettamente necessario seguire in modo dettagliato il metodo PRISMA.

1.3 DESCRIZIONE DEGLI STRUMENTI A SUPPORTO DI UNA SLR

RAYYAN:

Rayyan è una piattaforma online gratuita (<https://www.rayyan.ai>) progettata per semplificare il processo di SLR, inclusa la fase di filtraggio degli articoli. Tale piattaforma offre vari vantaggi che permettono di rendere la ricerca più accurata ed efficiente. In particolare, una volta caricati i file contenenti tutte le informazioni in forma tabellare, quali:

- Informazioni citazionali: autore, titolo, anno, EID¹, titolo della fonte, volume, pagine, numero di citazioni, tipo di fonte, tipo di documento, DOI, open source SI/NO;
- Informazioni bibliografiche: affiliazioni
- Abstract & Keyword: abstract, keyword degli autori, keyword indicizzate

in uno dei formati supportati dalla piattaforma (CSV, RIS, PubMed XML, CIW, BibTeX), Rayyan permette di filtrare automaticamente gli articoli in base ai criteri specificati. Un'ulteriore funzionalità offerta è la collaborazione tra membri del team, consentendo di lavorare insieme sulla revisione e, di condividere le revisioni di ciascun membro con altri ricercatori, per ottenere feedback e contributi. Inoltre, consente di annotare gli articoli direttamente all'interno della piattaforma, questo permette di registrare osservazioni e valutazioni durante il processo di revisione. Infine, include strumenti per individuare e gestire i duplicati all'interno della raccolta di articoli.

PANDAS:

Pandas è una libreria open-source per il linguaggio di programmazione Python, che fornisce strutture dati e strumenti per la manipolazione e l'analisi dei dati. Tale libreria è scaricabile dal sito web: <https://www.anaconda.com>, nella sezione "environments" di Anaconda (un servizio di distribuzione dei linguaggi di programmazione Python per il calcolo scientifico). Per la SLR, Pandas offre un insieme di funzionalità che possono essere sfruttate per semplificare il processo di filtraggio degli articoli e di estrazione ed analisi dei dati:

- Filtraggio degli articoli: è possibile caricare facilmente i dati degli articoli da diverse fonti, come file CSV, Excel, ecc.
Una volta caricati i file contenenti tutte le informazioni in forma tabellare, quali:
- Informazioni citazionali: autore, titolo, anno, EID, titolo della fonte, volume, pagine, numero di citazioni, tipo di fonte, tipo di documento, DOI, open source SI/NO;
- Informazioni bibliografiche: affiliazioni
- Abstract & Keyword: abstract, keyword degli autori, keyword indicizzate

¹ EID: è un identificatore utilizzato nelle citazioni bibliografiche per individuare in modo preciso e univoco gli articoli all'interno di database elettronici e sistemi di gestione delle informazioni scientifiche.

Pandas offre una vasta gamma di funzioni per la manipolazione dei dati, tra cui il filtraggio e la rimozione dei duplicati. In particolare, caricati i file nel formato CSV o Excel, è possibile definire i criteri di inclusione per lo screening degli articoli da inserire nel corpus, quali l'intervallo temporale (range), le keyword ed eventuali altri criteri per selezionare le fonti da includere o escludere all'interno della SLR.

- Estrazione dei dati: una volta selezionati gli articoli da includere nel corpus, Pandas consente di raggrupparli in base a diverse variabili, inclusi l'anno di pubblicazione, il nome della rivista e la nazione. Una volta suddivisi, è possibile tracciare grafici che mostrano il numero di articoli per anno, rivista e/o nazione.

Successivamente è possibile effettuare un'analisi più dettagliata estraendo le parole chiave per esplorare i trend relativi lo scopo di ricerca e rappresentarli in forma grafica.

Pandas può essere utilizzato inoltre anche per la fase di analisi di rete di citazioni, permettendo di estrarre il numero di citazioni per articolo e la media di citazioni per anno.

Nel dettaglio, la stringa di codice da inserire in Python per poter utilizzare il tool è:

```
> import pandas
```

SCRAPY:

Scrapy è una libreria open-source per il linguaggio di programmazione Python che può essere impiegata per automatizzare il processo di backward snowballing. Tale libreria è scaricabile dal sito web: <https://www.anaconda.com>, nella sezione "environments" di Anaconda (un servizio di distribuzione dei linguaggi di programmazione Python per il calcolo scientifico). In particolare, permette di identificare ed estrarre le citazioni e i riferimenti bibliografici presenti in ciascun articolo. Questo processo facilita l'individuazione di altri articoli pertinenti che potrebbero essere stati citati dagli articoli già inclusi nella revisione sistematica.

Per fare ciò è necessario creare uno Spider, cioè un programma o script utilizzato per automatizzare la navigazione e il recupero di informazioni da pagine web. Occorre pertanto definire la URL (sito web) dove effettuare la navigazione, nel caso in esame Scopus. Successivamente occorre definire il comportamento dello Spider sul sito web, cioè i criteri di estrazione dei dati, attraverso delle stringhe di codice su Python (es. estrazione DOI citati negli articoli, estrazione link citati, ...).

Nel dettaglio, le stringhe di codice da inserire in Python per poter utilizzare il tool e, successivamente, generare lo spider sono le seguenti:

- Avviamento della libreria:
> "import scrapy"

- Generazione spider:

```
> class SnowballingSpider(scrapy.spider):
> name = 'snowballing'
> start_urls = [ 'https://www-scopus-
com.ezproxy.biblio.polito.it/search/form.uri?display=basic#basic'].
```

Infine, è essenziale che gli articoli estratti vengano analizzati manualmente, o attraverso i metodi automatizzati citati in precedenza, cioè che vengano effettuate le fasi 3 e 4 del processo di SLR descritte nel paragrafo 1.1. Ciò risulta indispensabile per garantire la qualità e la rilevanza delle fonti identificate.

ROBVIS:

Robvis è un software gratuito, utilizzabile sia online (<https://www.riskofbias.info/welcome/rob-2-0-tool>) che in R-studio (in questo lavoro si opterà per l'utilizzo online), che permette di visualizzare i risultati delle valutazioni del rischio di bias effettuate utilizzando vari strumenti, nel caso in oggetto RoB 2.0 (tale metodologia viene spiegata nella sezione "risk of bias" all'interno del tool Covidence).

Dopo aver caricato i file CSV contenenti le valutazioni dei ricercatori sui documenti del corpus per ciascuno dei 5 domini menzionati nella sezione "risk of bias" all'interno del tool Covidence in precedenza, il tool può essere utilizzato per creare visualizzazioni che rappresentano graficamente questi giudizi. In particolare è possibile selezionare due diverse opzioni: il "Summary Plot" il grafico a barre per visualizzare la distribuzione complessiva del rischio di bias di tutti i documenti inclusi nel corpus, e/o il "Traffic Light Plot (Grafico a Semaforo)", cioè un grafico dove viene mostrato il rischio di bias per ogni studio in ogni dominio (vedere sezione dedicata a Covidence), usando vari colori per indicare i livelli di bias (verde per basso rischio, rosso per alto rischio, giallo per rischio poco chiaro). Successivamente è possibile personalizzare il grafico a seconda delle necessità, modificando colori e/o aggiungendo etichette, al fine di rendere il lavoro più chiaro e comprensibile.

Infine, una volta terminata la customizzazione del grafico, è possibile estrarlo in formato PDF.

LASER AI:

La descrizione che segue è basata sul sito web ufficiale di Laser AI (<https://www.laser.ai>) e su alcuni video tutorial presenti su Youtube, in quanto questo tool è esclusivamente a pagamento e quindi non direttamente fruibile.

Laser AI, come si può vedere dal suo sito ufficiale, è una soluzione innovativa sviluppata da Evidence Prime, una collaborazione tra un team di professionisti in Polonia e la McMaster University in Canada. L'obiettivo di questo gruppo è diventare leader nel mercato di strumenti IT innovativi. Questo software trova applicazione in vari settori, dalla sanità all'economia. Il

tool permette di automatizzare la fase di selezione dei dati, basandosi su titolo e abstract degli articoli (fase 4 del processo di SLR analizzato in questo elaborato). Secondo il sito ufficiale, questo strumento è in grado di ridurre di oltre il 50% il tempo necessario per la fase di screening in una SLR. Questo risultato è ottenuto grazie a un'interfaccia molto intuitiva. Tra i progetti futuri, Laser AI mira ad automatizzare anche la fase di selezione dei dati attraverso la revisione completa degli articoli (fase 5), non limitandosi più solo al titolo e all'abstract. Tra i loro clienti più importanti si annoverano il Ministero della Sanità tedesco e l'Istituto per la Qualità e l'Efficienza nell'Assistenza Sanitaria tedesca (fonte: LinkedIn Laser AI).

SCISPACE:

SciSpace (risorsa in versione base gratuita e in versione a pagamento, al sito <https://typeset.io>) può essere utilizzato sia come piattaforma di ricerca degli articoli, sia per impiegare strumenti avanzati nella fase di screening ed estrazione dati in una SLR, come evidenziato nelle sezioni dedicate del software denominate "literature review" e "extract data".

- Filtraggio degli articoli: una volta stabiliti i criteri di inclusione ed esclusione (intervallo temporale, lingua del testo, keyword, etc. ...), questi possono essere inseriti nel software tra i vari filtri di ricerca. Tale approccio consente di filtrare gli articoli a partire dalla query di ricerca digitata, selezionando solo quelli che soddisfano i criteri definiti, semplificando il processo di selezione. Inoltre, nella sua versione a pagamento, SciSpace permette di annotare e condividere i documenti con i membri del team, facilitandone la collaborazione.
- Estrazione dei dati: selezionati gli articoli da includere nel corpus, SciSpace è in grado di estrarre automaticamente i trend di ricerca per ciascun articolo (utilizzando il Copilot, ovvero una AI offerta dal sito in grado sia di analizzare ed estrarre dati inerenti i documenti caricati/selezionati, che di offrire supporto a gli utenti), selezionando l'opzione "methods used" e oppure digitando "estrai tendenze di ricerca". Ciò permette di automatizzare la fase 7 della SLR descritta in precedenza.

EPPI-REVIEWER:

Eppi Reviewer è un software gratuito (utilizzabile online al sito <https://eppi.ioe.ac.uk/cms/>), estremamente utile per la fase di screening in una SLR. Dopo aver caricato i documenti nel formato Excel (facilmente convertibile a partire da un file CSV), il tool può eliminare i duplicati. Inserendo i criteri di inclusione ed esclusione, come range di anni, lingua, parole chiave, ecc., Eppi Reviewer effettua una prima selezione degli articoli basata sui titoli ed abstract (fase 4). Se gli articoli superano la prima fase, la revisione continua con una selezione più dettagliata. Dopo avere caricato i singoli documenti in formato PDF, il software analizza il testo completo (fase 5). Durante lo studio, Eppi Reviewer offre agli utenti strumenti avanzati per annotare e commentare direttamente sui documenti, consentendo una revisione approfondita e collaborativa.

Uno degli elementi più importanti del tool, è la sua capacità di gestire il lavoro condiviso di più persone, facilitando il lavoro in team. Eppi Reviewer inoltre, tiene traccia delle decisioni di ciascun ricercatore e, fornisce strumenti per risolvere eventuali conflitti in caso di disaccordi sulle classificazioni degli articoli. Esempi di questi strumenti includono la possibilità di analizzare le note inserite dai revisori per giustificare le loro decisioni di inclusione/esclusione, la possibilità di effettuare delle discussioni direttamente sulla piattaforma per risolvere i punti di disaccordo, la possibilità di effettuare delle votazioni sui punti di mancato accordo).

ABSTRACTR:

Abstractr è un software gratuito (<http://abstractr.cebm.brown.edu/account/login>), progettato per semplificare e semi-automatizzare la fase di screening in una SLR. Il suo obiettivo principale è quello di aiutare i ricercatori a identificare rapidamente gli articoli rilevanti per la revisione, riducendo al minimo il tempo e lo sforzo necessari per esaminare una vasta gamma di pubblicazioni scientifiche.

Il funzionamento del software si basa sull'intelligenza artificiale e sull'apprendimento automatico (spiegato successivamente nella descrizione della fase di screening). Dopo aver caricato i riferimenti bibliografici degli articoli nella piattaforma (in questa fase non è richiesto di caricare i full paper), il tool utilizza algoritmi avanzati per analizzare il contenuto di ciascun abstract.

Durante la fase iniziale del processo di screening, Abstractr presenta agli utenti uno alla volta un elenco di articoli, insieme agli abstract corrispondenti. Gli utenti valutano rapidamente ciascun abstract in base ai criteri di inclusione ed esclusione e, decidono se l'articolo è rilevante per la revisione o meno, questo permette al software di apprendere in automatico i criteri di selezione. Queste decisioni vengono quindi utilizzate per migliorare continuamente le prestazioni degli algoritmi, consentendo al software di diventare sempre più preciso nel riconoscere gli articoli pertinenti, adattandosi facilmente alle necessità dei singoli utenti. Questi, possono personalizzare i criteri di inclusione ed esclusione, come ad esempio limitare la ricerca a determinate aree tematiche o a intervalli di anni specifici. Inoltre, il software offre strumenti per la collaborazione e la condivisione dei risultati tra i membri del team di revisione, consentendo una SLR più efficiente ed accurata.

COVIDENCE:

La descrizione che segue è basata sul sito web ufficiale di Covidence (<https://www.covidence.org>) e su alcuni video tutorial presenti su Youtube, in quanto questo tool è esclusivamente a pagamento e quindi non direttamente fruibile.

Covidence è uno strumento progettato per supportare i ricercatori nella fase di screening, estrazione dati e analisi di risk of bias in una SLR. Uno degli obiettivi del software è quello di semplificare il processo di selezione degli articoli, riuscendo a ridurre il 35% del tempo necessario per condurre tale fase, cioè all'incirca 71 ore di lavoro per review.

- Filtraggio degli articoli: una volta importati i documenti in formato PDF (è possibile anche il caricamento in “bulk” di vari PDFs), il software evidenzia ed elimina i duplicati, dando inizio alla fase di screening. La fase di screening si divide in due fasi: la prima dove si analizzano titoli ed abstract (fase 4) e la seconda dove invece si passa in esamina il testo completo (fase 5). Durante il primo passaggio, Covidence presenta agli utenti i titoli e gli abstract degli articoli uno alla volta. I ricercatori possono quindi valutare rapidamente se un articolo soddisfa i criteri di inclusione ed esclusione predefiniti. Questa valutazione viene eseguita tramite un'interfaccia intuitiva che permette di classificare gli articoli come "Incluso", "Escluso", o "Incerto". Covidence registra automaticamente queste decisioni, rendendo facile monitorare i progressi e rivedere le scelte fatte. Se un articolo supera la prima fase di screening, passa alla fase successiva, dove viene esaminato il testo completo. Il software facilita questo passaggio, permettendo agli utenti di caricare i documenti in formato PDF direttamente nella piattaforma. Gli articoli vengono pertanto rivisti in dettaglio e, classificati nuovamente manualmente dai ricercatori, in base ai criteri di inclusione ed esclusione. Il tool offre anche funzionalità di annotazione e commento, che permettono ai ricercatori di evidenziare passaggi importanti e aggiungere note direttamente sui documenti. Al termine del processo di revisione, Covidence genera un report, fornendo una visione chiara del numero di articoli inclusi ed esclusi dall'analisi, delle motivazioni per la relativa inclusione/esclusione, delle caratteristiche degli articoli inclusi e, la bibliografia finale, composta dagli articoli che hanno superato l'intero processo di selezione.
- Estrazione dei dati: Il processo inizia con la creazione di moduli di estrazione dati personalizzati a partire dal corpus della revisione sistematica. In particolare consente ai ricercatori di definire i campi specifici necessari per la loro revisione, come ad esempio dettagli sugli autori, trend di ricerca, risultati chiave, variabili di interesse e altre informazioni rilevanti. Una volta completata l'estrazione dei dati, Covidence fornisce strumenti per analizzare e sintetizzare le informazioni raccolte. I dati pertanto possono essere esportati in vari formati (Excel, CSV, testo, etc ...).
- Risk of bias: una volta definiti gli articoli presenti nel corpus finale, Covidence permette di effettuare l'analisi del risk of bias, secondo la metodologia Cochrane Risk of Bias Tool 2.0 (RoB 2.0), la quale valuta in rischio di bias attraverso 5 domini:
 - 1) Bias derivante dal processo di randomizzazione: si valuta la correttezza del processo di randomizzazione nella selezione dei soggetti che eseguiranno la SLR, al fine di evitare la selezione predeterminata e il pregiudizio nella scelta dei ricercatori partecipanti allo studio.
 - 2) Bias dovuto a deviazioni dall'intervento assegnato: si valuta la fedeltà di applicazione della procedura di esecuzione di una SLR. Un'applicazione distorta di tale procedura può portare a risultati e conclusioni non corretti.

- 3) Bias nella misurazione dell'outcome: si valuta l'influenza del processo di valutazione degli articoli inclusi nel corpus della SLR sui risultati dello studio.
- 4) Bias derivante dai dati incompleti dell'outcome: si valuta la gestione e la completezza dei dati derivanti dalla SLR, passaggio necessario per evitare distorsioni nei risultati dello studio ottenuti.
- 5) Bias nel risultato riportato: si valuta la coerenza e la trasparenza nel riportare i risultati finali della SLR. Viene cioè valutata la capacità dei ricercatori di riportare quanto evidenziato dalla valutazione degli articoli inclusi nel corpus della SLR, senza che questo passaggio venga influenzato da esperienze pregresse o background personale.

In particolare il tool presenta ai ricercatori delle domande guida specifiche, inerenti i 5 domini della Cochrane RoB. Gli utenti possono rispondere ai quesiti presentati scegliendo tre opzioni, alto, medio, basso, e fornendo le motivazioni della loro scelta. Al termine del processo, in base alle risposte ricevute, Covidence fornisce un report del rischio di bias.

DISTILLER SR:

La descrizione che segue è basata sul sito web ufficiale di Distiller SR (<https://www.distillersr.com>) e su alcuni video tutorial presenti su Youtube, in quanto questo tool è esclusivamente a pagamento e quindi non direttamente fruibile.

Distiller SR è uno strumento progettato per supportare i ricercatori nella fase di screening ed estrazione dati in una SLR. Il software supporta il lavoro in team, permettendo ai revisori di lavorare in contemporanea e, di annotare appunti direttamente nella sezione dedicata, tenendo traccia delle valutazioni di ciascun membro.

- Filtraggio degli articoli: dopo aver importato gli articoli (in formato PDF, .txt, .ris, .bib), ha inizio la fase di selezione, la quale si divide in due parti: 1) screening di titoli e abstract; 2) screening del testo completo. Durante la prima fase, Distiller SR presenta agli utenti i titoli e gli abstract degli articoli. I revisori valutano rapidamente ciascun abstract, per determinare se l'articolo soddisfa o meno i criteri di inclusione ed esclusione predefiniti (fase 4 della SLR). Questa valutazione viene fatta tramite un'interfaccia user-friendly che consente di classificare gli articoli come "Incluso", "Escluso" o "Dubbio".

Terminata la prima fase, i documenti selezionati come idonei passano alla seconda fase (fase 5 della SLR), viene cioè esaminato il testo completo manualmente dai ricercatori.

Al termine della revisione, il software genera report dettagliati, in grado di mostrare il progresso della SLR.

- Estrazione dei dati: i ricercatori possono definire specificamente quali dati devono essere raccolti da ciascun articolo, includendo campi come le caratteristiche degli studi, i trend di ricerca utilizzati, i risultati chiave e altre informazioni rilevanti.

POP AI:

POP AI è una piattaforma di intelligenza artificiale (<https://www.popai.pro>) disponibile sia in versione gratuita (la quale permette un upload massimo di 2 documenti al giorno) che in versione pro a pagamento (con upload illimitati). Questa piattaforma può essere utilizzata per la fase di estrazione dei dati. Dopo aver caricato gli articoli del corpus, si può chiedere all'intelligenza artificiale attraverso il chatbot, di estrarre informazioni dai documenti, come i principali trend di ricerca, gli anni associati a questi e le fonti relative (come ad esempio gli articoli citati da un dato documento).

AS REVIEWER:

AS Review è uno tool gratuito (<https://asreview.nl>), che utilizza tecniche di apprendimento attivo per ottimizzare il processo di screening durante una SLR (come evidenziato da van Dijk et al 2023 e van der Veer et al 2024). Dopo aver importato i dati (in formato PDF, .txt, .ris, .bib), il software chiederà di etichettare alcuni articoli iniziali come rilevanti o non rilevanti, in base alla valutazione di titolo e all'abstract. Questo fornirà al modello di apprendimento attivo un punto di partenza per capire i criteri di inclusione ed esclusione. Man mano che si procede con l'etichettatura degli articoli, il software migliorerà continuamente, diventando sempre più preciso nel suggerire articoli pertinenti tra quelli contenuti nel file CSV caricato. Presenterà quindi gli articoli in ordine di probabilità di inclusione determinata a partire dalla loro rilevanza con la tematica trattata, in base a ciò che ha appreso.

AS Review offre strumenti per monitorare il progresso dello screening. In particolare si possono vedere le decisioni prese, cioè gli articoli etichettati come rilevanti, e visualizzare il progresso complessivo del processo di selezione rispetto al corpus iniziale.

PUBLISH OR PERISH:

Publish or Perish è un software gratuito (scaricabile online al sito: <https://publish-or-perish.it.softonic.com>), progettato per aiutare i ricercatori e gli accademici in generale durante la fase di ricerca (fase 2) (come in Al Faruq et al 2023). In particolare, permette di effettuare ricerche bibliometriche su database come Google Scholar, Microsoft Academic o Scopus. Il tool può essere impiegato sia per la fase di screening, che per la fase di snowballing:

- Filtraggio degli articoli: il software fornisce quattro categorie nella sezione "Analysis lab": nome dell'autore, data di pubblicazione, topics e keyword. Permettendo così

di inserire i criteri di inclusione/esclusione e di effettuare la selezione degli articoli da includere nel corpus.

- Snowballing: una volta definito il primo set di articoli da includere nel corpus, Publish or Perish permette di semi-automatizzare la fase di snowballing. In particolare è possibile sia identificare gli articoli citati dai documenti del corpus (backward snowballing) che analizzare invece gli articoli che citano quelli inclusi nel corpus (forward snowballing).

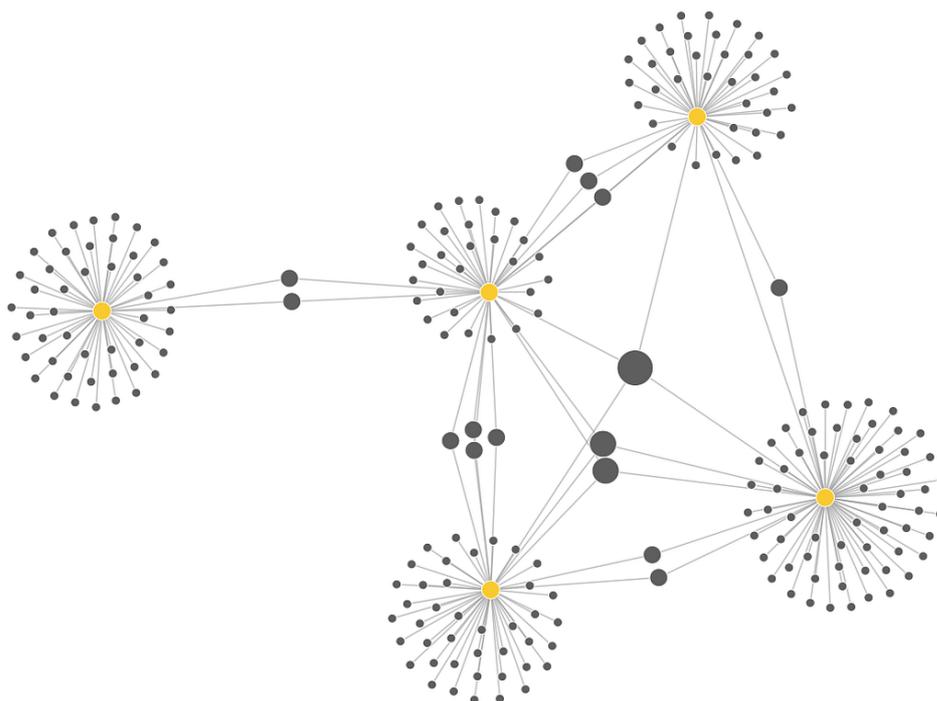
CITATION GECKO:

Citation Gecko è un tool gratuito (<https://citationgecko.azurewebsites.net>) che può essere impiegato per automatizzare sia il processo di backward snowballing, che quello di forward snowballing:

- backward snowballing: indica tutti gli articoli citati dai documenti presenti nel corpus,
- forward snowballing: riporta gli articoli che citano i documenti che sono del corpus.

Nel dettaglio, è possibile caricare gli articoli presenti nel corpus della SLR cercandoli nel database del tool, oppure importandoli in formato BibTex. È inoltre possibile selezionare ed importare gli articoli direttamente dalle librerie di Zotero o Mendeley, software per la gestione dei riferimenti bibliografici all'interno di un documento. Una volta caricati i documenti, il sito offre una sezione dedicata, dove vengono indicati ulteriori articoli, in base alle citazioni effettuate o ricevute dagli articoli caricati. In particolare, Citation Gecko effettua l'attività di backward snowballing e quella di forward snowballing, grazie a un'analisi sia dei documenti del corpus caricati, che dei database del tool. In questa fase, è possibile inserire dei filtri, affinché vengano mostrati solo gli articoli in linea con i criteri di inclusione ed esclusione definiti nelle fasi precedenti della systematic literature review. Ad esempio, è possibile selezionare il range di anni entro cui il tool troverà gli articoli correlati, oppure è possibile impostare il tipo di fonte, ecc.

Una volta terminata la fase di snowballing, il tool è in grado di generare un grafo, sia per la fase di backward snowballing che per quella di forward snowballing (figura 2). Tutto ciò consente di visualizzare chiaramente le relazioni di citazione tra gli articoli, migliorando la completezza della SLR.



citation gecko

Figura 2: Grafo Citation Gecko (fonte: <https://medium.com/geekculture/using-citation-gecko-to-map-references-for-scientific-papers-9c0f2871c540>)

Dopo aver definito i vari strumenti disponibili per automatizzare o semi-automatizzare le diverse fasi della revisione sistematica della letteratura (SLR), si procede con l'identificazione di quelli più idonei agli obiettivi di questa analisi. I criteri per la loro selezione sono:

- Risorsa gratuita
- Grado di automatizzazione delle fasi della SLR
- Intuitività dell'interfaccia.

Gli strumenti suggeriti sono riportati in *Tabella 2*: in rosso la fase di “Definizione della domanda di ricerca”, in azzurro la fase di “Screening”, in giallo la fase di “Estrazione ed analisi dei dati”, ed infine in viola la fase di “Identificazione dei gap di ricerca e delle future linee guida”.

0. DEFINIZIONE DOMANDA DI RICERCA	Tale fase viene svolta manualmente
1 .DEFINIZIONE DEI CRITERI DI INCLUSIONE ED ESCLUSIONE	Tale fase viene svolta manualmente
2. RICERCA DEGLI ARTICOLI IN BASE AI CRITERI DI INCLUSIONE/ESCLUSIONE	Tale fase viene svolta su: <ul style="list-style-type: none"> - Rayyan - Pandas (Python) <p>Al termine del processo, vengono confrontati i due metodi ed evidenziate eventuali differenze, con relativa discussione di possibili divergenze nei risultati</p>
3. SELEZIONE DEGLI ARTICOLI IN BASE AL TITOLO E ALL'ABSTRACT	Tale fase viene svolta su Python per applicare le tecniche di Latent Semantic Analysis e Latent Dirichlet Allocation. Al termine del processo, si verifica che i topic estratti dai titoli ed abstract dei documenti siano coerenti con le tematiche trattate nel presente lavoro di tesi, così come alle domande di ricerca. <p>Successivamente si procede a uno screening manuale degli articoli in base alla lettura del Titolo e dell' Abstract</p>
4. SELEZIONE DEGLI ARTICOLI IN BASE ALLA LETTURA COMPLETA	Tale fase viene svolta sia manualmente che su: <ul style="list-style-type: none"> - SciSpace - PopAI - Covidence (eventualmente, a pagamento) <p>N.B. i software indicati sono di sostegno al lavoro manuale</p>
5. APPLICAZIONE APPROCCIO SNOWBALLING	Tale fase viene svolta su Citation Gecko
6. ANALISI DEL CORPUS: DISTRIBUZIONE DEGLI ARTICOLI PER ANNO, RIVISTA (E NAZIONE)	Tale fase viene svolta su: <ul style="list-style-type: none"> - Pandas (Python) - SciSpace <p>Al termine del processo, vengono confrontati i due metodi ed evidenziate eventuali differenze, con relativa discussione di possibili divergenze nei risultati. Risolti i punti di discussione, si procede a creare i grafici delle distribuzioni degli articoli per anno, rivista e nazione, ecc. da Pandas (Python). Si evidenzia come come possano essere utilizzati entrambi i metodi, pertanto si lascia libera scelta al revisore.</p>
7. ANALISI DEL CORPUS: DESCRIZIONE DELL' APPROCCIO DI STUDIO DEI TREND RELATIVI ALLO SCOPO DI RICERCA (O ARGOMENTO CHIAVE)	Tale fase viene svolta manualmente e viene utilizzato il supporto di SciSpace per identificare i trend
8. ANALISI DEL CORPUS: DESCRIZIONE DEI PRINCIPALI TREND RELATIVI ALLO SCOPO DELLA RICERCA (O ARGOMENTO CHIAVE)	Tale fase viene svolta per l'extrapolazione dei trend di ricerca su SciSpace e, per la descrizione di questi, manualmente
8 bis. ANALISI DI RETE DI CITAZIONI O CITATION NETWORK	Tale fase viene svolta manualmente
9. IDENTIFICAZIONE DEI GAP DI RICERCA E DELLE FUTURE LINEE DI RICERCA	Tale fase viene svolta manualmente

Tabella 2: Strumenti suggeriti per ciascuna fase della SLR

1.4 INTRODUZIONE ALLE LEARNING FACTORY

Le Learning Factory sono ambienti di apprendimento innovativi, concepiti per colmare il divario tra la formazione teorica tradizionale e le competenze pratiche richieste nel mondo dell'industria moderna. Secondo Abele et al. (2015), le Learning Factory sono spazi che riproducono realisticamente le condizioni di lavoro di una fabbrica, integrando processi di produzione industriali con l'istruzione e la formazione pratica. Questo approccio mira a fornire ai partecipanti un'esperienza di apprendimento esperienziale, cioè basata sulla pratica, in cui il learning by doing diventa il fulcro del processo educativo. A differenza dei metodi tradizionali, in cui la lezione frontale è predominante, le Learning Factory offrono un contesto in cui gli studenti e i professionisti possono mettere in pratica le conoscenze teoriche direttamente su scenari e problemi che simulano quelli reali, migliorando così l'apprendimento delle nozioni teoriche e la capacità di applicazione pratica.

Tale aspetto è approfondito anche da Vailati et al. 2023, infatti secondo l'autore nelle Learning Factory gli studenti non si limitano solo a imparare concetti teorici, ma sono spinti a utilizzarli in contesti reali, simili a quelli che affronteranno nel mondo del lavoro. Questo tipo di formazione risulta particolarmente efficace in un'epoca in cui le competenze tecniche e pratiche sono cruciali per affrontare le sfide dell'Industry 4.0 e della 5.0. La transizione verso un modello produttivo più avanzato, basato sull'integrazione di tecnologie digitali, richiede infatti un tipo di educazione che vada oltre la semplice teoria. Le Learning Factory rispondono a questa necessità fornendo strumenti e ambienti in cui è possibile sperimentare le più moderne tecnologie, come la robotica e l'Internet of Things (IoT); tutte tecnologie che, secondo Baena et al. (2017), sono ampiamente integrate in questi spazi per preparare gli studenti a un mercato del lavoro sempre più tecnologico e interconnesso.

Un'altra caratteristica distintiva delle Learning Factory è la capacità di simulare processi produttivi reali. Come sottolineato da Abele et al. (2015), questi ambienti sono progettati per riflettere le reali condizioni di lavoro industriale, permettendo ai partecipanti di affrontare e gestire situazioni complesse, interagendo con tecnologie all'avanguardia.

La simulazione di scenari lavorativi reali consente agli studenti di acquisire non solo competenze tecniche, ma anche di sviluppare capacità trasversali come la gestione del tempo, il problem solving, la collaborazione e la comunicazione tra membri del team. Questi aspetti sono particolarmente importanti, poiché le competenze trasversali sono considerate un elemento chiave per il successo nel mondo del lavoro odierno, dove le dinamiche aziendali richiedono una capacità di adattamento e di lavoro di gruppo. Vailati et al. (2023) evidenzia come le Learning Factory non solo migliorano la preparazione tecnica degli studenti, ma anche la loro capacità di lavorare in ambienti collaborativi, facilitando l'interazione tra studenti, professionisti e ricercatori.

Inoltre, le Learning Factory si distinguono per la loro flessibilità e adattabilità. Possono essere utilizzate per una vasta gamma di scopi, dalla progettazione e prototipazione di nuovi prodotti alla gestione della produzione e alla simulazione delle fasi di fine vita di un prodotto, come il riciclo o lo smaltimento a fine vita. Questo le rende strumenti estremamente versatili per la formazione in ambiti industriali diversi. Baena et al. (2017) sottolinea come le Learning Factory possano essere adattate in base alle specifiche esigenze di formazione, offrendo modalità di apprendimento che possono variare da esperienze in presenza a modelli virtuali e a distanza, aumentando così la loro accessibilità. Questa capacità di adattarsi a diversi contesti educativi e professionali le rende particolarmente utili in un'epoca in cui la formazione continua e la riqualificazione professionale sono fondamentali per mantenere la competitività nel mercato del lavoro.

Altro elemento chiave delle Learning Factory è la loro capacità di facilitare la collaborazione tra mondo accademico e industria. Abele et al. (2015) evidenzia come queste strutture promuovano partnership tra università, centri di ricerca e aziende, creando un ecosistema di apprendimento in cui le conoscenze teoriche possono essere arricchite dall'esperienza pratica offerta dalle aziende. Questo tipo di collaborazione favorisce lo scambio di idee innovative, l'adozione di pratiche migliori nel settore manifatturiero e l'aggiornamento costante dei programmi di formazione in base alle esigenze del mercato. Baena et al. (2017) conferma che la cooperazione tra istituzioni accademiche e industriali permette di garantire che le competenze sviluppate dagli studenti siano allineate con le richieste del mercato del lavoro, facilitando l'inserimento professionale e contribuendo alla creazione di una forza lavoro più qualificata e pronta a rispondere alle sfide dell'industria moderna.

Inoltre, le Learning Factory sono progettate per promuovere l'innovazione nell'ambito educativo. Secondo Vailati et al. (2023), esse rappresentano un superamento dei limiti dei metodi didattici tradizionali, quali l'eccessiva enfasi sugli aspetti teorici dedicando meno tempo e risorse all'applicazione pratica delle conoscenze acquisite, oppure la rigidità dei programmi di studio, i quali risultano essere aggiornati alle nuove esigenze del mercato abbastanza lentamente. Pertanto, secondo l'autore, lo scopo di tali Learning Factory è quello di cercare di rispondere alle nuove sfide dell'educazione tecnica e ingegneristica. Le tecnologie integrate in questi spazi permettono agli studenti di familiarizzare con gli strumenti che troveranno nelle fabbriche moderne, contribuendo alla creazione di un ambiente di apprendimento che non solo trasmette conoscenze, ma stimola la curiosità e l'inventiva. L'obiettivo finale delle Learning Factory è formare professionisti competenti e innovativi, in grado di affrontare un mercato del lavoro in costante evoluzione.

In sintesi, le Learning Factory rappresentano un modello educativo che combina in modo efficace teoria, pratica e tecnologia. La loro capacità di simulare scenari industriali reali, di integrare competenze tecniche e trasversali, di promuovere la collaborazione tra università e industria e di adattarsi alle esigenze di un mercato del lavoro sempre più complesso, le rende strumenti indispensabili per la formazione dei futuri professionisti.

2. FASE 0: DEFINIZIONE DOMANDE DI RICERCA

L'obiettivo di questo capitolo è quello di definire le domande di ricerca, che guideranno le varie fasi della Systematic Literature Review sulle Learning Factory. Definire chiaramente le domande è necessario affinché l'analisi sia mirata e produca risultati rilevanti, in modo da stabilire il focus e la direzione del processo di revisione della letteratura. Le domande di ricerca sono definite in modo da essere la linea guida da seguire durante tutto il lavoro, delimitando il campo di studio e identificando le aree specifiche di interesse e le problematiche chiave da esplorare.

Le domande di ricerca identificate sono:

QR 1: Quali sono gli scopi principali delle Learning Factory esistenti?

QR 2: Quali sono i principali contenuti didattici/di apprendimento delle Learning Factory esistenti?

QR 3: Quali sono le fasi del ciclo di vita del prodotto analizzate dalle Learning Factory esistenti?

QR 4: Quali sono le principali tecnologie implementate/utilizzate all'interno delle Learning Factory esistenti?

2.1 FORMULAZIONE DELLE DOMANDE DI RICERCA

Per la formulazione delle domande di ricerca definite nel paragrafo precedente sono stati analizzati 11 documenti chiave (Abele et al., 2017; Abele et al., 2016; Abele et al., 2015; Plorin et al., 2015; Schutzer et al., 2017; Baena et al., 2017; Gräßler et al., 2016; Lanza et al., 2016; Xu et al., 2023; Tisch et al., 2013; Vailati et al., 2023). L'obiettivo era individuare i principali temi relativi alle Learning Factory dibattuti nella letteratura attuale e valutare quali di questi fosse interessante indagare nel presente lavoro.

Inoltre, nell'individuare le domande di ricerca si è posta attenzione al fatto che esse non fossero già esplorate in altre SLR relative alle Learning Factory. Questo approccio è stato adottato per garantire che la Systematic Literature Review oggetto del presente lavoro non risulti ripetitiva e contribuisca effettivamente a colmare alcune dei gap esistenti nella letteratura scientifica.

In particolare, il paper di Vailati et al. (2023), il quale analizza nel dettaglio le Learning Factory nell'ambito di Industry 4.0, è stato utilizzato come linea guida privilegiata per individuare le quattro domande di ricerca, poiché affronta una varietà di tematiche chiave. Gli articoli di Abele et al. (2017, 2016, 2015) sono stati fondamentali per delineare le domande di ricerca 1, 2 e 3, poiché esaminano gli obiettivi e i contenuti didattici all'interno delle fabbriche dell'apprendimento. In particolare, Abele et al. (2017) fornisce una panoramica generale delle varie fasi del ciclo di vita del prodotto analizzate nelle Learning Factory, mentre nel documento del 2015 si concentra solo sullo sviluppo delle fabbriche dell'apprendimento in ambito

produttivo con l'obiettivo di migliorare l'efficienza energetica. Nel documento del 2016, invece, si focalizza sulla valutazione degli approcci e dei contenuti didattici.

Anche Plorin et al. (2015), Baena et al. (2017) e Lanza et al. (2016) sono stati utili per la formulazione delle domande di ricerca 1 e 2, poiché esaminano gli scopi delle Learning Factory e i principali contenuti didattici. Tisch et al. (2013) e Xu et al. (20232) sono stati presi in considerazione per la definizione della domanda di ricerca 1, in quanto in entrambi, gli autori analizzano il problema della didattica all'interno delle Learning Factory e i loro scopi didattici principali.

L'articolo di Schutzer et al. (2017) è stato utile per approfondire la tematica relativa alle fasi del ciclo di vita del prodotto prese in considerazione nelle Learning Factory, in quanto l'autore all'interno del documento analizza come le Learning Factory possano essere implementate nelle varie fasi del ciclo di vita del prodotto.

Il paper di Gräßler è stato utile per delineare la domanda di ricerca 4, la quale analizza le tecnologie implementate nelle Learning Factory, facendo una distinzione tra software e hardware. Infatti, questo lavoro analizza i vari software utilizzati all'interno delle Learning Factory, come ad esempio i programmi di Computer-Aided Design (CAD), di Computer-Aided Manufacturing (CAM), o ancora di Programmable Logic Controller (PLC).

L'analisi degli argomenti trattati dagli 11 lavori precedentemente citati è sintetizzata in *Tabella 3*:

TITOLO	A	B		C	D	E	F	G	H	I	J	K			L	M	N	O	P	
		ALTORE	ANNO									INDUSTRIAL TRAINING	SCOPO	RICERCA						BUSINESS
Learning factories for future oriented research and education in manufacturing																				
ETA Learning Factory: A holistic Concept for teaching Energy Efficiency in Production		Abele	2017	X			X	X	X				X							
Learning Factories for research, education, and training		Abele	2016						X											
A Classification Framework for Analysing Industry 4.0 Learning Factories		Vallati	2015	X			X	X	X											
Advanced Learning Factory (aLF) - Method, Implementation and Evaluation		Plorin	2023	X			X	X	X			X								
Learning Factory: The Path to Industry 4.0		Baena	2015	X			X	X	X			X								
Learning environments to support the product development process		Schutzer	2017	X					X											
Creation of a Learning Factory for Cyber Physical Production Systems		Grabler	2016						X											
Integrated and Modular Didactic and Methodological Concept for e-Learning		Lanza	2016						X											
A systematic approach on developing action-oriented, competency-based Learning Tisch		Learnin Tisch	2013						X											
Feature Model Construction Of Learning Factories based On Authentic Learning Th		Xu	2023	X																

Tabella 3: Analisi degli 11 articoli utilizzati per definire le QR

3. FASE 1: DEFINIZIONE DEI CRITERI DI INCLUSIONE/ESCLUSIONE E DELLE KEYWORD

Durante questa fase, all'interno dei sottoparagrafi che seguono saranno stabiliti i criteri di inclusione ed esclusione degli articoli. Questi criteri, fondamentali per garantire la qualità e la rilevanza della ricerca, verranno utilizzati nel processo di screening per selezionare i documenti più pertinenti da includere nel corpus della Systematic Literature Review.

3.1 DEFINIZIONE DEL DATABASE SU CUI EFFETTUARE LA RICERCA

Tra i vari motori di ricerca della letteratura scientifica disponibili, come ad esempio PubMed, Google Scholar e Cochrane Library, è stato utilizzato Scopus per questa revisione sistematica della letteratura. La scelta di Scopus è motivata dalla sua maggiore selettività nei documenti inclusi, garantendo così un livello di qualità superiore rispetto ad altri database. In particolare, offre circa 25.000 articoli provenienti da più di 5.000 editori internazionali che includono: 16.500 riviste sottoposte a processo di peer reviewing in ambito scientifico, tecnico, medico e sociale; 600 pubblicazioni commerciali (cioè tutte le pubblicazioni gestite da editori commerciali, ovvero case editrici, editori o enti in generale, che operano con fini di lucro e pertanto non sono necessariamente organizzazioni accademiche o no profit); 350 edizioni di libri; una copertura estesa delle conferenze mondiali con 3 milioni e mezzo di conference papers (Cioni 2018).

Scopus utilizza criteri di selezione rigorosi per includere gli articoli, tra cui la peer review, la rilevanza accademica, la qualità del contenuto, la reputazione dell'editore e la frequenza di citazioni. Grazie alla sua ampia banca dati di abstract e articoli di riviste accademiche, atti di conferenze e brevetti, la piattaforma offre una risorsa affidabile e completa, particolarmente adatta per il presente lavoro di tesi.

3.2 KEYWORD

Per la selezione delle keyword utilizzate in questa Systematic Literature Review, è stata effettuata una lettura approfondita degli stessi articoli impiegati per formulare le domande di ricerca. Da questi documenti, sono state identificate e selezionate solo le keyword che risultavano pertinenti alle domande di ricerca definite e che, al contempo, erano abbastanza comuni tra gli articoli esaminati.

Questo approccio ha garantito che le keyword fossero strettamente correlate agli argomenti di interesse e riflettessero accuratamente i temi centrali della letteratura analizzata, aumentando così la rilevanza e l'efficacia della ricerca. Pertanto, le parole chiave complessivamente usate sono:

- Learning factory/ies
- Action-oriented learning

- Active learning
- Experiential learning
- Experimental learning
- Didactic concept
- Didactic transformation
- Competency development
- Education
- Training
- Industrial training
- Business/es
- Manufacturing research
- Product development process/es
- Model construction
- Production machine/s
- Digital Technology/ies
- Technology/ies
- Energy management
- Global production
- Logistics
- Supply/ies
- Supply Chain
- Industry 4.0
- Industry 5.0
- Distribution
- Design
- Operation
- Evaluation
- Research

3.3 AREA TEMATICA

Per selezionare le aree tematiche, è stato adottato un approccio basato sulle domande di ricerca e sulle keyword e, come identificati nei sottoparagrafi precedenti. Questo metodo ha permesso di garantire che le aree tematiche selezionate fossero strettamente pertinenti agli obiettivi della ricerca.

Tale approccio ha permesso di mantenere un focus preciso e coerente, garantendo che la revisione coprisse in modo esaustivo i temi più significativi e rilevanti. La selezione accurata delle aree tematiche ha contribuito a costruire una base solida per l'analisi successiva, migliorando la qualità complessiva e la rilevanza della Systematic Literature Review. Le aree selezionate risultano, pertanto, essere le seguenti:

- Business, Management and Accounting
- Economics, Econometrics and Finance
- Social Sciences
- Engineering

3.4 INTERVALLO TEMPORALE, LINGUA DEL TESTO, TIPO DI FONTE E TIPOLOGIA DI DOCUMENTI

Per la definizione dell'intervallo temporale degli articoli da considerare, è stato scelto un periodo di dieci anni, cioè dal 2014 al 2024. Questa decisione è stata presa per garantire l'inclusione degli studi più recenti e rilevanti nel campo delle Learning Factory, tenendo conto dell'evoluzione veloce e continua di questa area di ricerca. Infatti, si è riscontrato da Scopus, come la tematica delle Learning Factory, venisse già analizzata a partire dagli anni 2000, ma solo a partire dal 2014-2015, l'interesse verso questo argomento è cresciuto d'intensità, come si può vedere dalla figura 3.

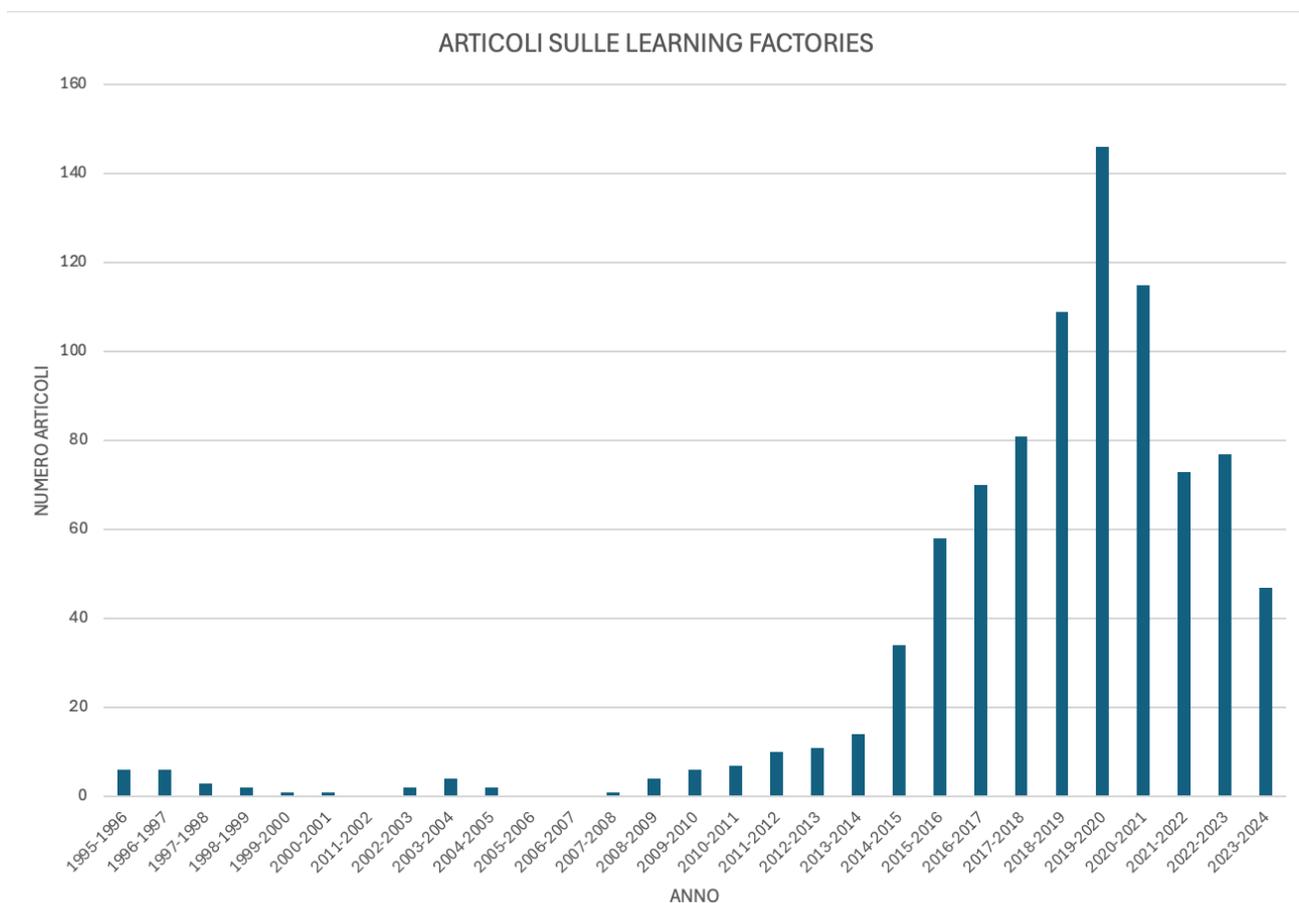


Figura 3: Distribuzione articoli per anno (fonte: elaborazione da Scopus)

Per ottenere tale figura, è stata inserita su Scopus la search query “ ‘Learning Factory’ OR ‘Learning Factories’ “ all’interno della barra di ricerca, ed è stato richiesto al sito di ricercare

tali keywords solo tra le “Keywords” degli articoli presenti nella libreria. Successivamente si è proceduto con l’identificare la quantità di documenti per ogni singolo anno a partire dal 1995 fino al 2024 (ex. numero articoli nell’anno 1995-1996, successivamente per l’anno 1996-1997 e così via fino al 2024). Una volta determinati la quantità di articoli per ogni singolo anno, è stato possibile graficarli come nella figura 3.

Inoltre, si è stabilito che gli articoli inclusi siano scritti in lingua inglese. Questa scelta si basa sull’ampia diffusione dell’inglese come lingua predominante nella letteratura scientifica e tecnica, consentendo un accesso più ampio e una migliore comprensione dei risultati da parte della comunità scientifica.

Inoltre, facendo riferimento alla SLR svolta da Vailati et al. 2023 si è stabilito che il tipo di fonte da includere deve comprendere articoli di rivista e conference paper. In seguito per approfondire maggiormente l’argomento trattato si è scelto di includere anche i capitoli di libro. Tutto ciò ha il fine di garantire una copertura completa e diversificata delle fonti di informazione disponibili.

Infine, facendo sempre riferimento a Vailati et al. 2023, si è imposto il requisito che tutti i documenti inclusi debbano essere peer-reviewed. Questa selezione rigorosa è stata motivata dalla necessità di garantire la qualità e l’affidabilità degli studi considerati, riducendo al minimo il rischio di includere ricerche poco verificate o di scarsa qualità. L’approvazione attraverso il processo di revisione tra pari è un indicatore importante della validità e della solidità metodologica degli articoli, contribuendo così alla robustezza e all’affidabilità della presente Systematic Literature Review sulle Learning Factory.

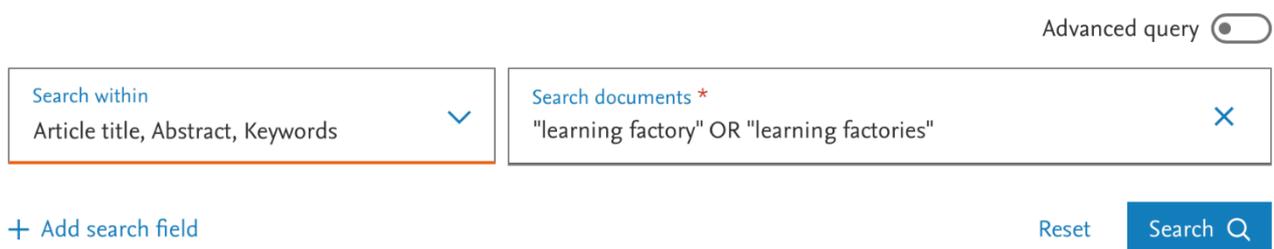
4. FASE 2: RICERCA DEGLI ARTICOLI IN BASE AI CRITERI DI INCLUSIONE/ESCLUSIONE

Durante questa fase, all'interno dei vari sottoparagrafi verranno analizzati i diversi metodi di ricerca e filtraggio degli articoli. Questo passo della Systematic Literature Review è di fondamentale importanza in quanto permette di andare a effettuare una prima selezione degli articoli, i quali verranno ulteriormente filtrati nei passi successivi, contribuendo così alla creazione del corpus finale.

4.1 RICERCA ARTICOLI

Per la ricerca degli articoli, si è proceduto con l'utilizzo del database Scopus, come definito e spiegato nel paragrafo 3.1.

Nel dettaglio, per l'individuazione dei documenti si è chiesto al motore di ricerca, di effettuare l'indagine delle search query all'interno di Titolo, Abstract e Keywords dei vari articoli presenti nella banca dati, andando specificare tale richiesta nell'apposita sezione "Search within" -> "Article title, Abstract, Keywords", come mostrato in figura 4:



The image shows a search interface for Scopus. At the top right, there is a toggle switch for "Advanced query" which is currently turned off. Below this, there are two main search input fields. The first field, labeled "Search within", has a dropdown menu with "Article title, Abstract, Keywords" selected. The second field, labeled "Search documents *", contains the search query "learning factory" OR "learning factories". Below these fields, there is a "+ Add search field" button on the left, a "Reset" button in the middle, and a "Search" button with a magnifying glass icon on the right.

Figura 4: Ricerca Scopus

Successivamente si è proceduto con l'inserimento delle varie search query, partendo dalla prima più generica, "learning factory" OR "learning factories", ed in seguito andando ad abbinare a questa le seguenti keywords, tramite operatore logico "AND":

- Action-oriented learning
- Active learning
- Experiential learning
- Experimental learning
- Didactic concept
- Didactic transformation
- Competency development
- Education
- Training

- Industrial training
- Business/es
- Manufacturing research
- Product development process/es
- Model construction
- Production machine/s
- Digital Technology/ies
- Technology/ies
- Energy management
- Global production
- Logistics
- Supply/ies
- Supply Chain
- Industry 4.0
- Industry 5.0
- Distribution
- Design
- Operation
- Evaluation
- Research

Si ricorda come all'interno della barra di ricerca di Scopus, è del tutto indifferente inserire la query testuale *“learning factory”* OR *“learning factories”* oppure *“Learning Factory”* OR *“Learning Factories”*, in quanto il motore di ricerca non è sensibile all'uso di iniziali maiuscole piuttosto che minuscole.

Nell'inserimento della search query, si è optato per inserire il testo tra le due virgolette (ex. *“learning factory”*), affinché il software andasse a ricercare all'interno della libreria, tutti gli articoli nei quali tra le keywords, compariva quanto specificato testualmente tra gli apici. Ciò non sarebbe accaduto se fosse stato omesso l'uso delle virgolette; in questo caso il tool avrebbe ricercato ed individuato all'interno del database, tutti gli articoli che contenevano anche solo uno delle varie parole inserite nella barra di ricerca (ex. se avessimo inserito *learning factory* al posto di *“learning factory”*, il tool avrebbe individuato tutti gli articoli che contenevano tra le keywords: solo la parola *learning*, e/o solo la parola *factory*). Tutto ciò avrebbe causato l'individuazione di una quantità di articoli nettamente superiore, e poco collegata con l'area di ricerca.

Si noti inoltre come all'interno della frase di ricerca primaria, *“learning factory”* OR *“learning factories”*, compaia la locuzione OR. Questa è stata inserita affinché Scopus, individuasse all'interno della libreria tutti i documenti le cui keywords avessero o *“learning factory”* oppure *“learning factories”*. Inoltre è stato specificato *“learning factories”*, in quanto plurale irregolare

di *“learning factory”* (poiché qualora tra le parole chiave del documento fosse stato presente *“learning factories”*, inserendo solo la search query *“learning factory”* senza la locuzione OR più il plurale irregolare, *“learning factories”*, il motore di ricerca di Scopus non avrebbe individuato gli articoli che contenevano la keyword *“learning factories”*).

Per la composizione delle search query secondarie, ovvero le query che contenevano *“learning factory”* OR *“learning factories”* più AND e le keywords elencate in precedenza (ex. *“learning factory”* OR *“learning factories”* AND *“Industry 4.0”*), si è scelto di utilizzare la locuzione AND, affinché il software andasse a ricercare tra le keyword degli articoli presenti nella libreria, tutti quei documenti che contenevano sia *“learning factory”* che nel caso in esempio, anche *“Industry 4.0”*.

Tale scelta è dovuta al fatto che la query testuale iniziale *“learning factory”* OR *“learning factories”*, risulta essere troppo generica. Pertanto aggiungendo le varie keywords, precedute dalla locuzione AND, si scende maggiormente nel dettaglio della tematica, individuando solo articoli fortemente correlati all'argomento della learning factory in analisi, effettuando così uno studio più approfondito.

Anche per le query secondarie, così come per quella primaria, nel caso di plurali irregolari si è proceduto a specificarli all'interno della query di ricerca (ex. *“learning factory”* OR *“learning factories”* AND *“Product development process”* OR *“Product development processes”*).

Per ogni search query effettuata, sono stati esportati tutti i documenti individuati da Scopus sia in formato CSV (formato utilizzato per effettuare lo screening su Pandas), che in formato RIS (formato utilizzato per effettuare lo screening su Rayyan). Tra le informazioni esportate, come si può vedere in figura 5, si è scelto di esportare tutte le informazioni citazionali, bibliografiche e di Abstract & keywords, utili per un'analisi e uno screening dettagliato ed approfondito degli articoli. Inoltre è stato incluso anche il numero di citazioni, in quanto nelle fasi successive tale informazione sarebbe potuta essere utile, come nella fase 5. **APPLICAZIONE APPROCCIO SNOWBALLING**, dove il numero di citazioni potrebbe essere sfruttato nell'analisi di rete citazionale, per verificare l'autorevolezza del documento in esame. Nel dettaglio, questo dato può essere indicativo dell'interesse o della rilevanza dell'articolo all'interno della comunità scientifica e può essere utilizzato come uno dei vari parametri per valutare l'impatto dell'articolo stesso.

What information do you want to export?

<input checked="" type="checkbox"/> Citation information	<input checked="" type="checkbox"/> Bibliographical information	<input checked="" type="checkbox"/> Abstract & keywords	<input type="checkbox"/> Funding details	<input checked="" type="checkbox"/> Other information
<input checked="" type="checkbox"/> Author(s)	<input checked="" type="checkbox"/> Affiliations	<input checked="" type="checkbox"/> Abstract	<input type="checkbox"/> Number	<input type="checkbox"/> Tradenames & manufacturers
<input checked="" type="checkbox"/> Document title	<input checked="" type="checkbox"/> Serial identifiers (e.g. ISSN)	<input checked="" type="checkbox"/> Author keywords	<input type="checkbox"/> Acronym	<input checked="" type="checkbox"/> Accession numbers & chemicals
<input checked="" type="checkbox"/> Year	<input checked="" type="checkbox"/> PubMed ID	<input checked="" type="checkbox"/> Indexed keywords	<input type="checkbox"/> Sponsor	<input type="checkbox"/> Conference information
<input checked="" type="checkbox"/> EID	<input checked="" type="checkbox"/> Publisher		<input type="checkbox"/> Funding text	<input type="checkbox"/> Include references
<input checked="" type="checkbox"/> Source title	<input checked="" type="checkbox"/> Editor(s)			
<input checked="" type="checkbox"/> Volume, issues, pages	<input checked="" type="checkbox"/> Language of original document			
<input checked="" type="checkbox"/> Citation count	<input checked="" type="checkbox"/> Correspondence address			
<input checked="" type="checkbox"/> Source & document type	<input checked="" type="checkbox"/> Abbreviated source title			
<input checked="" type="checkbox"/> Publication stage				
<input checked="" type="checkbox"/> DOI				
<input checked="" type="checkbox"/> Open access				

Select all information Truncate to optimize for Excel ⓘ

Save as preference

Export

Figura 5: Informazioni esportate da Scopus

4.2 SCREENING ARTICOLI SU PANDAS

Una volta completata la fase di ricerca degli articoli, si è proceduto con la selezione (screening) di questi ultimi. Come riportato in *Tabella 2*, gli strumenti selezionati per tale fase sono in prima approssimazione Pandas e in seguito anche Rayyan. Questo approccio consente di effettuare un confronto tra i due metodi, garantendo un'analisi più approfondita.

In questo paragrafo, verrà preso in analisi l'utilizzo di Pandas. Dopo la creazione dei vari file CSV, come descritto nella sezione precedente, questi sono stati raggruppati in un file unico, evitando così di gestire numerosi file CSV separatamente, nel dettaglio i file generati erano stati 29, uno per ogni search query lanciata, quindi uno per ognuna delle keyword selezionate. La decisione di raggruppare i vari file in un CSV unico, è motivata dal processo di screening effettuato su Pandas, in quanto se si fossero mantenuti tutti e 29 i file CSV, sarebbe stato necessario effettuare un processo di filtraggio diverso per ogni file (seppur con gli stessi criteri). Tutto ciò avrebbe potuto creare confusione nella selezione dei documenti, aumentando la probabilità di duplicare le fonti incluse in più file.

Per la creazione del file CSV finale, ovvero quello che conteneva i 29 file separati, è stato utilizzato il sito web: <https://products.aspose.app/cells/it/merger/csv>. Una volta aver effettuato l'accesso con le proprie credenziali, la pagina web permette di selezionare vari file e raggrupparli in un CSV unico.

Dopo aver terminato la fase di preparazione dei documenti, si può procedere con l'utilizzo del linguaggio di programmazione python, il quale può essere scritto sia sul terminale del proprio computer, che su un ambiente di sviluppo integrato, come ad esempio PyCharm, ambiente utilizzato durante lo svolgimento dell'elaborato di tesi in analisi e facilmente scaricabile dal sito: <https://www.jetbrains.com/pycharm/download/?section=mac>.

La scelta dell'ambiente di sviluppo digitale, anche detto IDE, è preferibile rispetto all'uso del terminale del computer per diversi motivi. Innanzitutto, un IDE come PyCharm offre un'interfaccia utente più intuitiva e strumenti avanzati che semplificano la scrittura e la gestione del codice. Ad esempio, PyCharm fornisce completamento automatico del codice, suggerimenti in tempo reale, e il rilevamento immediato degli errori di sintassi, aiutando a prevenire errori e a migliorare la produttività. Inoltre, l'ambiente di sviluppo permette di eseguire il codice passo per passo, esaminare le variabili e facilitare l'identificazione e la correzione di bug, grazie a strumenti di controllo. Al contrario, lavorare esclusivamente nel terminale del proprio device, richiede una conoscenza approfondita dei comandi specifici, delle librerie e dei vari strumenti, perciò può risultare più macchinosa e soggetta a errori, specie nel caso in cui l'operatore non possieda una conoscenza approfondita dello strumento.

Una volta scaricato ed avviato l'ambiente di sviluppo digitale PyCharm, nella schermata principale, nella sezione in alto a destra, compare l'opzione "New Project". Selezionandola si procede con indicare il nome del progetto, il tipo di interprete (che nel caso in esame è Anaconda, o anche noto come Conda, come specificato nella sezione: *1.2 DESCRIZIONE DEGLI STRUMENTI A SUPPORTO DI UNA SLR*) e la posizione all'interno del dispositivo (ovvero la directory dove verranno salvati i dati all'interno del dispositivo dell'operatore), come mostrato in figura 6:

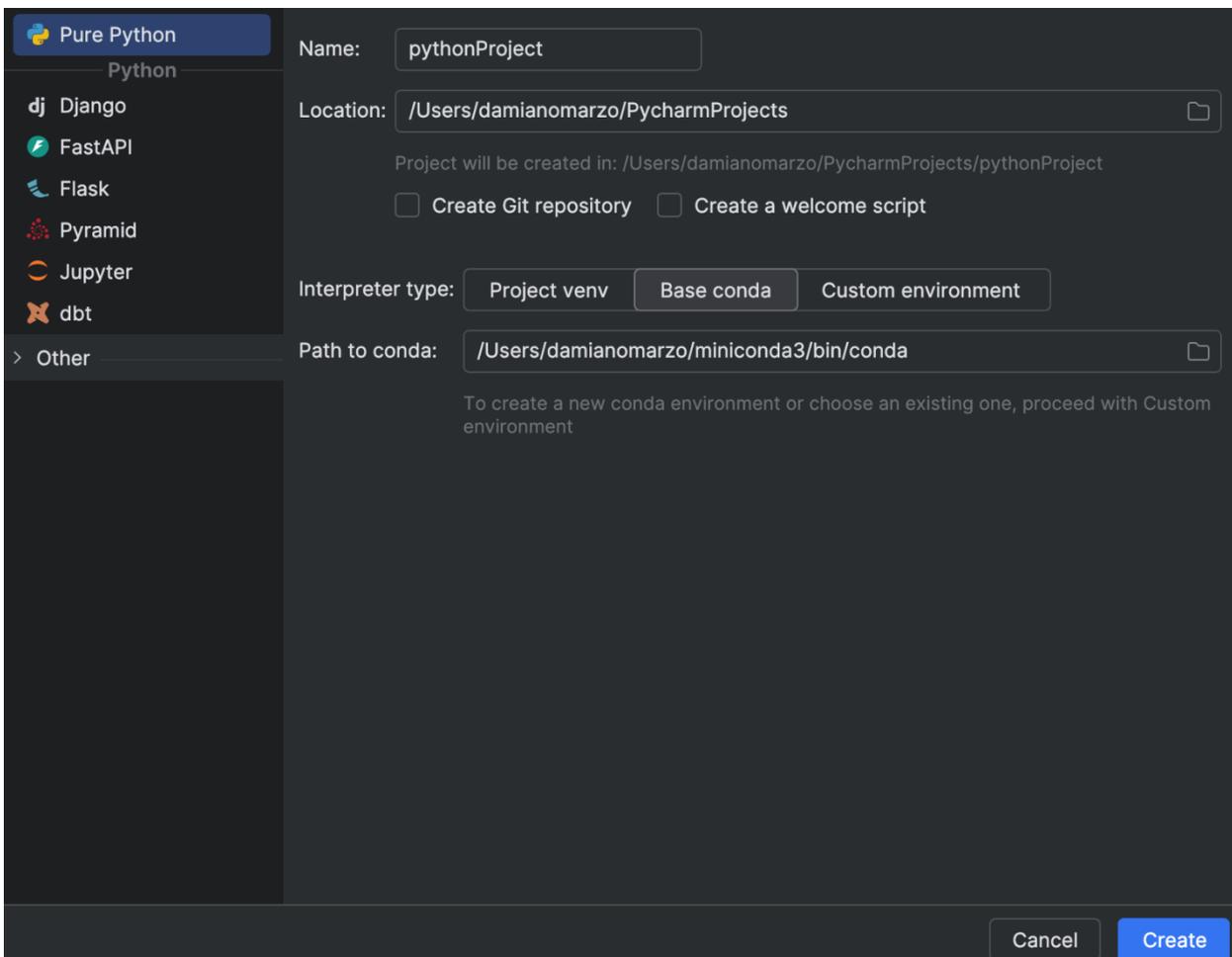


Figura 6: Creazione “New Project” su PyCharm

Completata la fase di creazione del nuovo progetto, si può procedere con la creazione dell’ambiente Python dove effettuare lo screening. Per farlo, è sufficiente cliccare con il tasto destro del mouse sul progetto creato in precedenza, selezionare la voce “New”, quindi scegliere “Python file” e indicare il nome del file, come mostrato in figura 7:

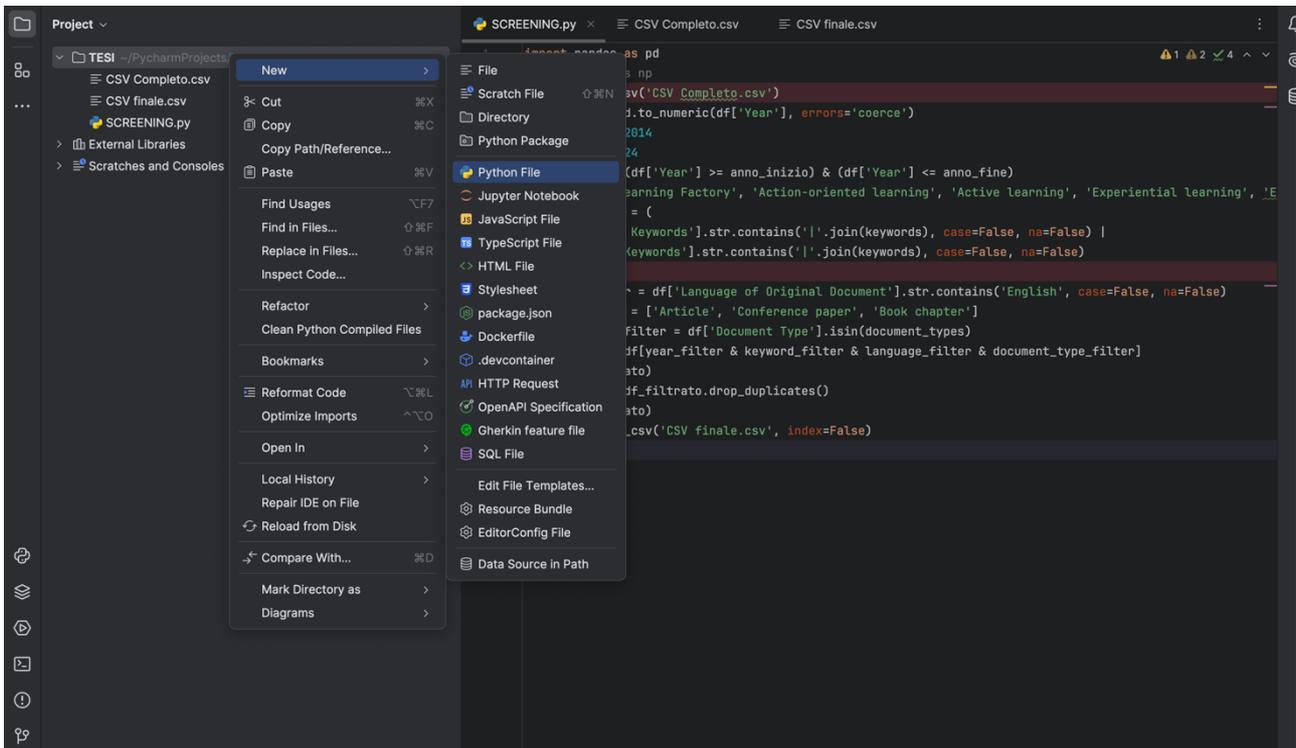


Figura 7: Creazione “Python file” su PyCharm

Successivamente si può procedere con l’importazione del documento CSV finale, menzionato ad inizio paragrafo, selezionandolo dal proprio dispositivo e trascinandolo all’interno del progetto su PyCharm appena creato.

Prima di procedere con lo screening degli articoli, risulta necessario scaricare e installare la libreria di Pandas, così come la libreria di NumPy (risulta essere una libreria di supporto a Pandas, la quale viene utilizzata nel processo di filtraggio degli articoli per gestire array multidimensionali e matrici). Per procedere con l’installazione dei due pacchetti, è sufficiente cliccare sull’icona “Python Packages” in basso alla pagina di apertura di PyCharm. Successivamente nella zona inferiore della pagina, così come mostrato in figura 8, comparirà la barra di ricerca dei pacchetti presenti, pertanto sarà sufficiente inserire il nome delle due librerie (Pandas e NumPy), ricercarle all’interno di “PyPi” e procedere con l’installazione della versione più recente cliccando sull’icona “Install”.

Una volta installati, per verificare la versione scaricata così come per effettuare eventuali aggiornamenti, sarà sufficiente controllare la versione della libreria nella sezione “Installed”.

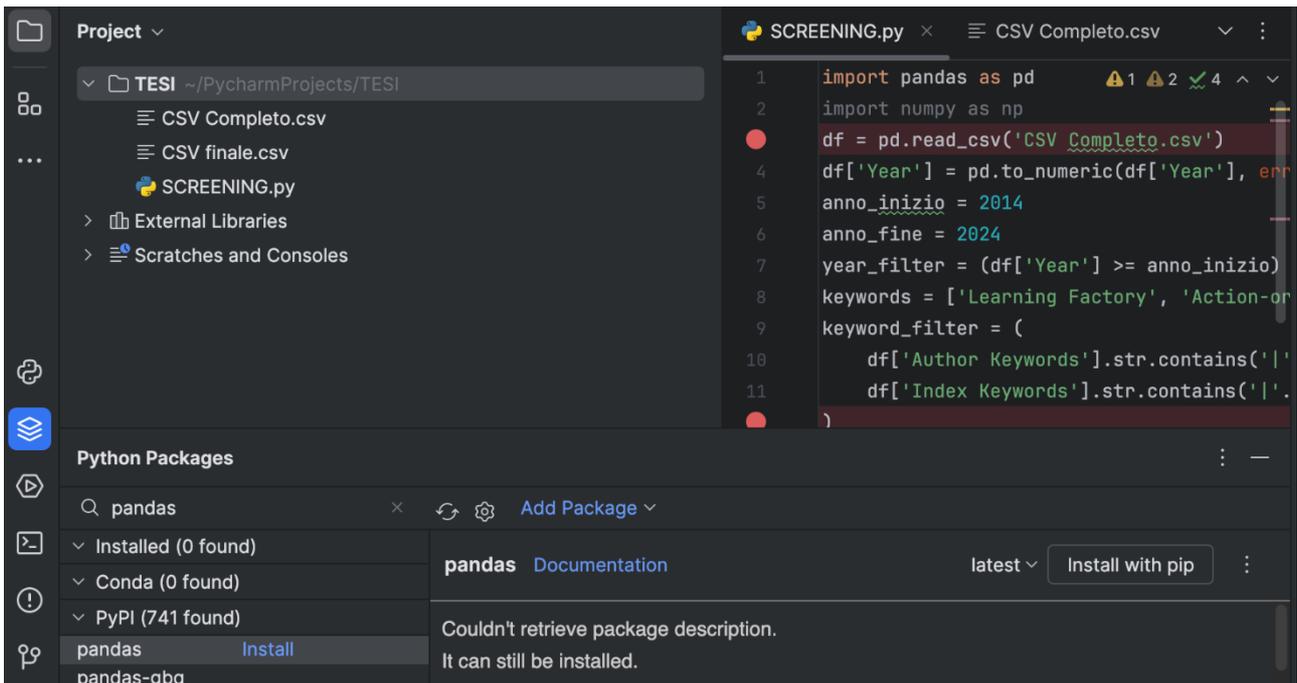


Figura 8: “Python Packages” su PyCharm

In seguito all’installazione delle due librerie, si può procedere con la scrittura dei vari codici, necessari per effettuare la fase di screening, come mostrato in figura 9:

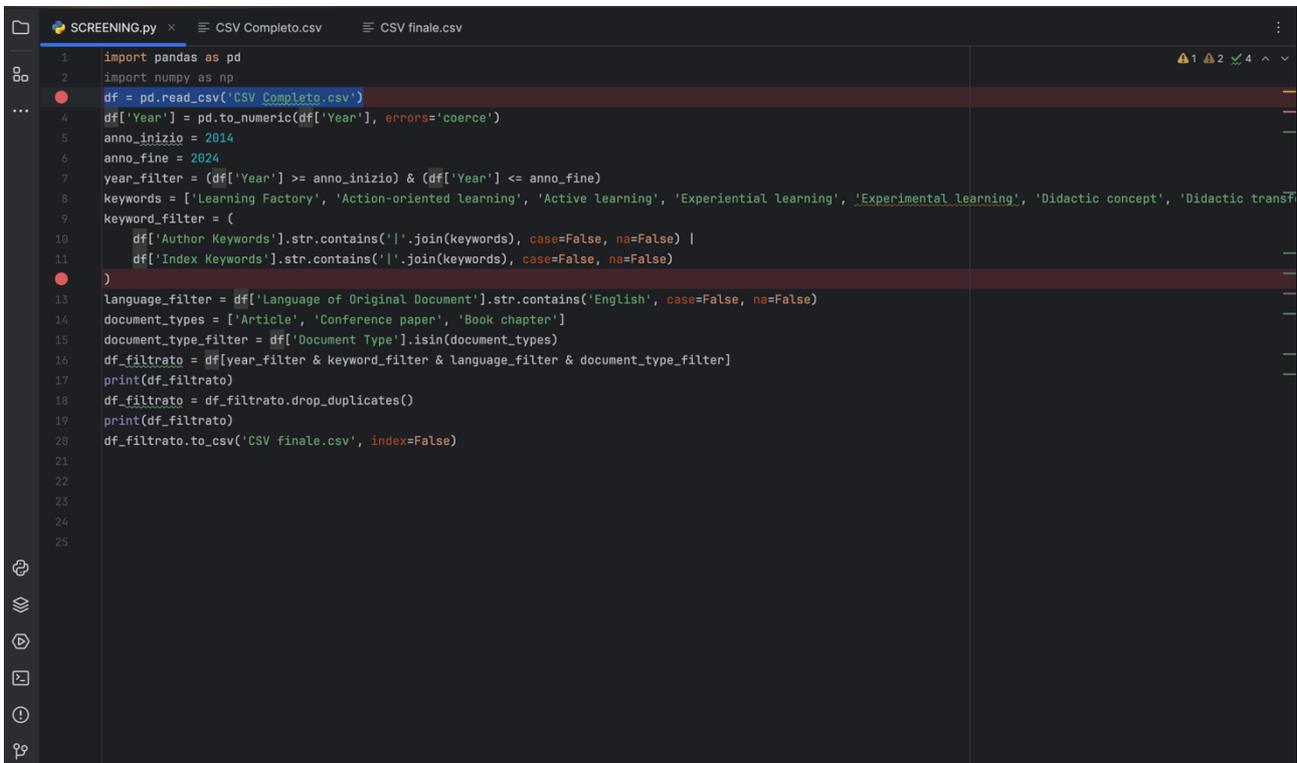


Figura 9: Codice screening articoli

Di seguito verranno spiegati tutti i vari passaggi, analizzando in maniera le varie stringhe che compaiono all’interno della figura 9.

Il primo codice da scrivere è:

- ➔ `import pandas as pd`
- ➔ `import numpy as np`

Ovvero viene specificato al terminale di importare i pacchetti di Pandas e NumPy. Inoltre viene indicato come, in alcuni dei comandi successivi, potrebbe avvenire che per semplicità il pacchetto Pandas possa essere chiamato `pd`, così come il pacchetto Numpy possa essere chiamato `np`.

Successivamente si chiede a Pandas di leggere il dataframe, ovvero il file CSV caricato in precedenza all'interno del progetto, ciò avviene attraverso la stringa:

- ➔ `df = pd.read_csv('Nome del file CSV')`

Nel caso in esempio riportato in figura 9, è stato necessario convertire i dati della colonna "Year", relativa l'anno di pubblicazione degli articoli presenti nel file CSV, da valori alfanumerici a valori numerici.

Questa specifica è risultata necessaria in quanto, nei singoli 29 file CSV iniziali esportati da Scopus, i valori all'interno della suddetta colonna era già in formato numerico. Tuttavia, nel processo di unificazione dei 29 file in un file CSV unico, i valori della colonna "Year", sono stati convertiti in maniera automatica dal sito (<https://products.aspose.app/cells/it/merger/csv>) in valori alfanumerici. Di conseguenza è stato necessario riconvertirli in valori numerici, grazie l'utilizzo di Pandas.

La conversione appena descritta, è risultata necessaria per poter applicare il filtro relativo gli anni di pubblicazione, in quanto questo non sarebbe potuto essere applicato nel caso di valori alfanumerici (applicando il filtro relativo gli anni di pubblicazione senza effettuare la conversione, il terminale restituita come risultato: "Exit code:1", ciò stava a significare la presenza di un errore all'interno dello script, il quale dopo varie analisi è stato individuato nei valori alfanumerici originariamente presenti all'interno del file CSV).

Nel dettaglio è stato chiesto a Pandas di filtrare solo gli articoli con anno di pubblicazione a partire dal 2014 fino al 2024. Ciò è avvenuto attraverso le seguenti stringhe di codice:

- ➔ `anno_inizio = 2014`
- ➔ `anno_fine = 2024`
- ➔ `year_filter = (df['Year'] >= anno_inizio) & (df['Year'] <= anno_fine)`

La prima stringa specifica l'anno di inizio a partire dal quale includere gli articoli, mentre la stringa successiva definisce l'anno finale degli articoli da includere (nel caso in esame il range è di 10 anni e va dal 2014 al 2024). La terza ed ultime stringa permette di applicare i filtri esplicitati nelle due stringhe precedenti al dataframe iniziale, ovvero al file CSV completo.

Successivamente è stato scritto il codice relativo il filtraggio degli articoli in base alle keywords, definite nel paragrafo 3.2 *KEYWORD*, le quali per maggior precisione vengono riportate nuovamente di seguito:

- Learning factory/ies
- Action-oriented learning
- Active learning
- Experiential learning
- Experimental learning
- Didactic concept
- Didactic transformation
- Competency development
- Education
- Training
- Industrial training
- Business/es
- Manufacturing research
- Product development process/es
- Model construction
- Production machine/s
- Digital Technology/ies
- Technology/ies
- Energy management
- Global production
- Logistics
- Supply/ies
- Supply Chain
- Industry 4.0
- Industry 5.0
- Distribution
- Design
- Operation
- Evaluation
- Research

Pertanto la stringa di codice che esplicita quanto appena descritto è la seguente:

➔ keywords = ['Learning Factory', 'Action-oriented learning', 'Active learning', 'Experiential learning', 'Experimental learning', 'Didactic concept', 'Didactic transformation', 'Competency development', 'Education', 'Training', 'Industrial training', 'Business', 'Businesses', 'Manufacturing research', 'Product development process', 'Product development processes', 'Model construction', 'Production machine', 'Production machines', 'Digital Technology', 'Digital Technologies', 'Technology', 'Technologies', 'Energy management', 'Global production', 'Logistics', 'Supply', 'Supplies', 'Supply

```
Chain', 'Industry 4.0', 'Industry 5.0', 'Distribution', 'Design', 'Operation', 'Evaluation', 'Research']
```

```
→ keyword_filter = (
    df['Author Keywords'].str.contains('|'.join(keywords), case=False, na=False) |
    df['Index Keywords'].str.contains('|'.join(keywords), case=False, na=False)
)
```

Nel dettaglio, la prima stringa specifica le keywords che gli articoli devono contenere affinché vengano inclusi nel processo di screening; mentre la seconda stringa indica a Pandas di verificare che gli articoli caricati, includano almeno una delle keywords esplicitate in precedenza, indicando la colonna del file CSV dove effettuare tale ricerca (le colonne dove la ricerca è stata effettuata sono “Author Keywords” e “Index Keywords”).

In seguito è stato applicato il filtro relativo la lingua del testo, che nella sezione *3.4 INTERVALLO TEMPORALE, LINGUA DEL TESTO, TIPO DI FONTE E TIPOLOGIA DI DOCUMENTI*, è stato deciso fosse la lingua inglese, pertanto la stringa che esplicita quanto detto è la seguente:

```
→ language_filter = df['Language of Original Document'].str.contains('English', case=False, na=False)
```

Si può notare come in questa stringa venga chiesto a Pandas, di includere solo gli articoli dove nella colonna “Language of Original Document”, compaia il carattere alfanumerico “English”.

Per ultimo si è proceduto a scrivere la stringa relativa la tipologia di documento, definita sempre nel capitolo *3.4 INTERVALLO TEMPORALE, LINGUA DEL TESTO, TIPO DI FONTE E TIPOLOGIA DI DOCUMENTI*. Nel dettaglio si è imposto che i documenti inclusi fossero solo articoli, paper di conferenze e capitoli di libro, tutto ciò è stato riassunto nella seguente stringa di codice:

```
→ document_types = ['Article', 'Conference paper', 'Book chapter']
→ document_type_filter = df['Document Type'].isin(document_types)
```

In particolare nella prima stringa viene esplicitata la tipologia di documenti appena elencati, mentre nella seconda stringa si chiede a Pandas di selezionare solo gli articoli che nella colonna “Document Type” abbiano come carattere alfanumerico: “Article”, “Conference paper” o “Book chapter”.

Il filtro relativo la tipologia di fonte (peer-reviewed), non è stato applicato su Pandas, in quanto già applicato durante la fase di ricerca degli articoli su Scopus.

Dopo aver esplicitato tutti i filtri, si è indicato a Pandas che il dataframe filtrato, dovesse includere tutti i filtri appena visti e, che il nome del nuovo dataframe fosse appunto dataframe_filtrato. Ciò è stato definito attraverso la seguente stringa:

```
→ df_filtrato = df[year_filter & keyword_filter & language_filter & document_type_filter]
→ print(df_filtrato)
```

(L'ultima stringa chiede a Pandas di stampare i risultati, cioè di mostrare tutti i dati degli articoli che hanno superato la fase di filtraggio, ciò permette di analizzare i risultati ottenuti attraverso la prima fase di screening).

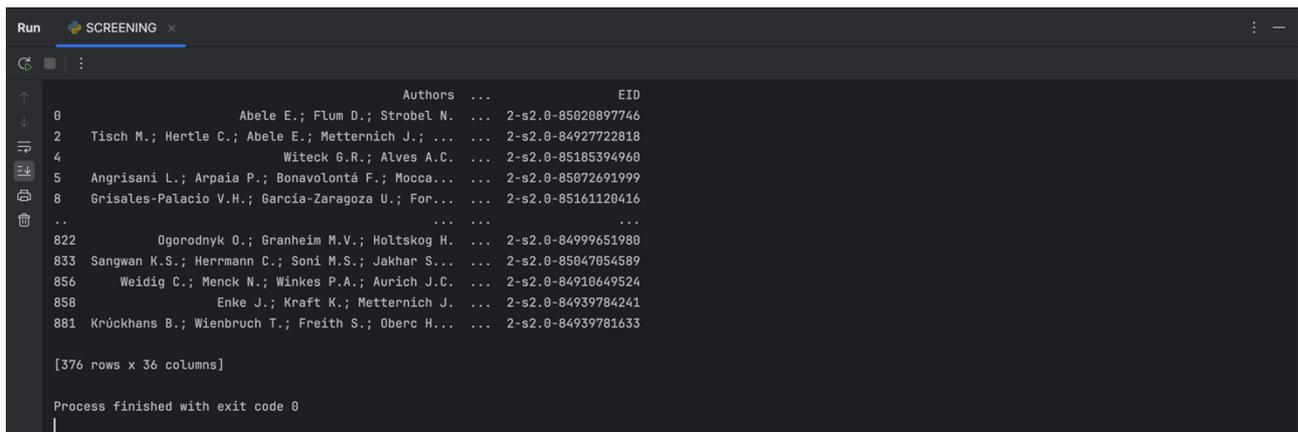
Dopo aver analizzato gli articoli filtrati, ci si è resi conto come molti di questi fossero ripetuti varie volte, pertanto si è richiesto alla libreria di eliminare i duplicati attraverso attraverso il seguente codice:

```
➔ df_filtrato = df_filtrato.drop_duplicates()
➔ print(df_filtrato)
```

(Anche in questo caso si è chiesto a Pandas di stampare i risultati per effettuare un'averifica di quanto ottenuto).

L'ultima stringa inserita, è stata quella utile a esportare i risultati ottenuti in un file CSV. Questo ha consentito di confrontare gli articoli finali sia con quelli iniziali, che con quelli ottenuti da Rayyan.

Nel dettaglio, gli articoli che sono risultati essere idonei ai criteri di inclusione, superando la fase di screening, risultano essere 376. I risultati ottenuti sono riportati nella figura 10.



```
Run SCREENING x
Authors ... EID
0 Abele E.; Flum D.; Strobel N. ... 2-s2.0-85020897746
2 Tisch M.; Hertle C.; Abele E.; Metternich J.; ... 2-s2.0-84927722818
4 Witeck G.R.; Alves A.C. ... 2-s2.0-85185394960
5 Angrisani L.; Arpaia P.; Bonavolontá F.; Mocca... 2-s2.0-85072691999
8 Grisales-Palacio V.H.; García-Zaragoza U.; For... 2-s2.0-85161120416
.. ..
822 Ogorodnyk O.; Granheim M.V.; Holtskog H. ... 2-s2.0-84999651980
833 Sangwan K.S.; Herrmann C.; Soni M.S.; Jakhar S... 2-s2.0-85047054589
856 Weidig C.; Menck N.; Winkes P.A.; Aurich J.C. ... 2-s2.0-84910649524
858 Enke J.; Kraft K.; Metternich J. ... 2-s2.0-84939784241
881 Krückhans B.; Wienbruch T.; Freith S.; Oberc H... 2-s2.0-84939781633

[376 rows x 36 columns]

Process finished with exit code 0
```

Figura 10: Risultati screening Pandas

4.3 SCREENING ARTICOLI SU RAYYAN

Dopo aver completato il processo di screening con Pandas utilizzando il linguaggio di programmazione Python, è stato eseguito uno screening aggiuntivo con Rayyan, il cui funzionamento è stato descritto nel paragrafo 1.2.

Tale scelta è motivata dalla volontà di avere un confronto tra i due metodi di filtraggio degli articoli, al fine di garantire una maggiore attendibilità dei risultati ottenuti.

Prima di poter effettuare il processo di filtraggio, è risultato necessario effettuare il log-in (o la registrazione per i nuovi utenti) per poter accedere alla funzionalità complete del sito. Successivamente, si è proceduto con il creare un file zip contenete tutti e 29 i file RIS creati durante la fase di ricerca degli articoli su Scopus, così come specificato nella sezione 4.1

RICERCA ARTICOLI. Per l'utilizzo di Rayyan si è optato per importare i file in formato RIS, in quanto durante delle prove effettuate nel processo di conoscenza ed avvicinamento allo strumento, ogni volta che si procedeva all'importazione dei documenti nel formato CSV, formato comunque supportato dal sito, questo dava un errore nella lettura dei file, leggendo il file come privo d'informazioni (tale errore potrebbe essere imputabile all'incompatibilità tra le operazioni di lettura dei file del sito e il tipo formato CSV esportato con Scopus).

Una volta creato il file zip, si è passati alla creazione di un nuovo progetto sul sito. In particolare è stato sufficiente cliccare sull'icona "Create New Review", ed è apparsa la schermata dove è stato possibile definire le impostazioni della revisione, come mostrato in figura 11.

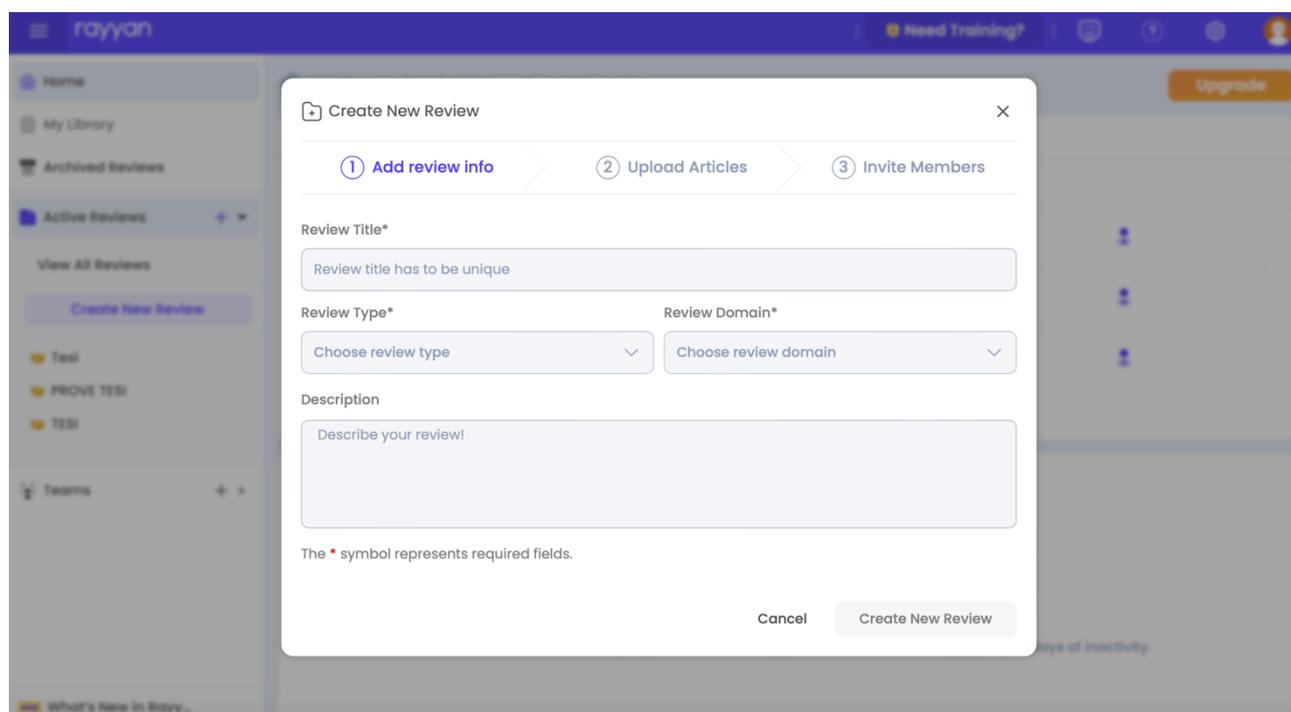


Figura 11: Interfaccia Rayyan

Nel dettaglio è stato definito il titolo del progetto nell'apposita sezione "Review Title", è stato definito il tipo di revisione all'interno della sezione "Review Type", selezionando dal menu a tendina l'opzione "Systematic Review" ed infine è stato definito il dominio della revisione all'interno del menù a tendina nella sezione "Review Domain", selezionando l'opzione "Other", in quanto nessuna delle alternative presentate dal sito risultava esser vicina alle tematiche trattate all'interno di questo lavoro di tesi.

Una volta creato il progetto, si è potuto procedere con l'importazione del file zip creato in precedenza, contenente tutti e 29 i file RIS (i quali presentavano gli stessi documenti del file CSV utilizzato per Pandas).

La prima operazione effettuata è stata quella di eliminare i duplicati, selezionando dal menù la voce "Detect Duplicates", pertanto quindi il sito ha aperto una finestra come quella mostrata

in figura 12, dove permette all'utente di selezionare quale dei due documenti includere, indicandone anche il grado di similarità tra i documenti proposti.

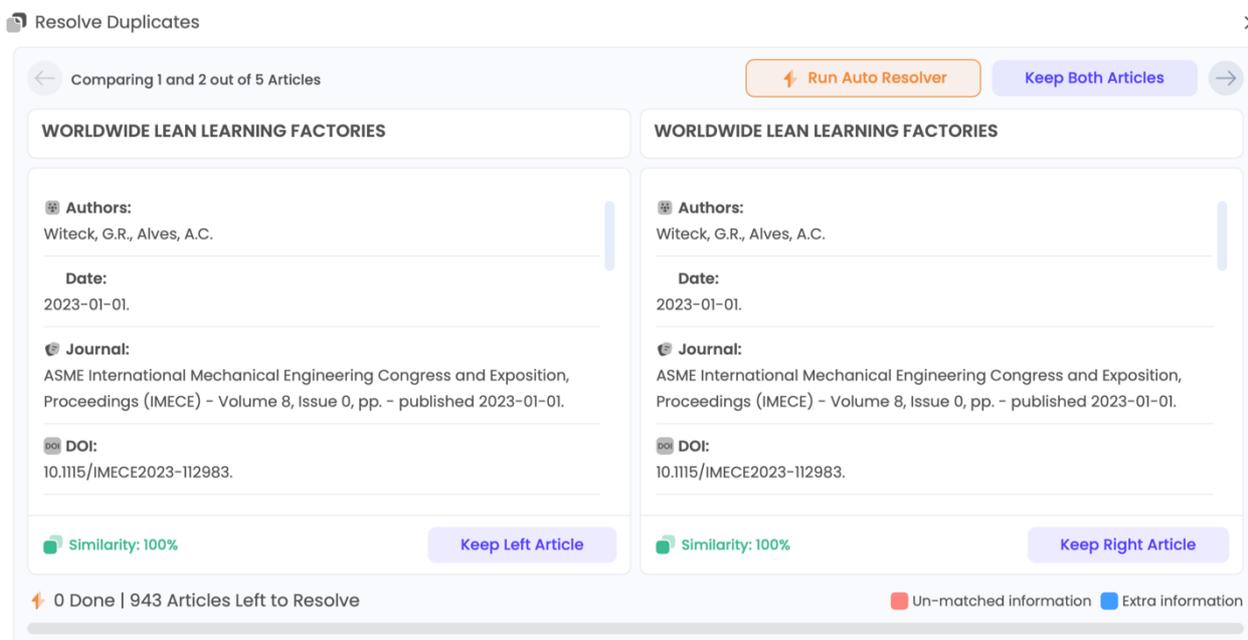


Figura 12: Eliminazione duplicati su Rayyan

Dei 943 documenti identificati dal sito come possibili duplicati, un'attenta analisi condotta tramite il tool ha portato all'archiviazione di 625 articoli nella sezione "Deleted" e 318 nella sezione "Resolved". Così, partendo dai 1098 documenti contenuti nel file RIS iniziale e dopo aver risolto i duplicati, il numero di articoli è stato ridotto a 445, i quali sono stati successivamente sottoposti a un ulteriore processo di filtraggio.

Il processo di screening è continuato nella area "Review Data", dove al suo interno nella sezione dei filtri, si è proceduto a definire:

- "Publication Type": tra le opzioni selezionabili sono stati inclusi, così come definito nel capitolo 3.4 *INTERVALLO TEMPORALE, LINGUA DEL TESTO, TIPO DI FONTE E TIPOLOGIA DI DOCUMENTI*, "CONF" (cioè conference paper), "Journal Article" (cioè articoli di giornale) ed infine CHAP (cioè i capitoli di libri)
- "Main Language": tra le opzioni selezionabili è stata inclusa solo l'opzione "English", così come definito nel capitolo 3.4 *INTERVALLO TEMPORALE, LINGUA DEL TESTO, TIPO DI FONTE E TIPOLOGIA DI DOCUMENTI*.
- "Years": tra le opzioni selezionabili sono stati inclusi gli anni a partire dal 2014 fino al 2024, così come definito nel capitolo 3.4 *INTERVALLO TEMPORALE, LINGUA DEL TESTO, TIPO DI FONTE E TIPOLOGIA DI DOCUMENTI*.

Per quanto riguarda il filtro relativo le keywords, questo non è stato applicato, in quanto il sito proponeva solo delle "Keywords" pre-impostate, le quali però differivano da quelle definite nel

capitolo 3.2 *KEYWORD*. Sebbene la possibilità di personalizzazione delle parole chiave sia un'opzione offerta dal sito, questa è disponibile ma solo nella versione a pagamento. Data la scelta di utilizzare lo strumento solo come ulteriore elemento di analisi, per effettuare un confronto con i risultati ottenuti attraverso la libreria di Pandas, si è optato per non attivare l'opzione a pagamento, limitando il filtraggio degli articoli solo attraverso i filtri disponibili nella versione "free".

Anche in questo caso, così come per Pandas, il filtro relativo la tipologia di fonte (peer-reviewed), non è stato applicato, in quanto già applicato durante la fase di ricerca degli articoli su Scopus.

Una volta terminata la fase di screening, si è proceduto con l'esportazione dei dati ottenuti; questa volta però i dati sono stati esportati in formato CSV, opzione direttamente applicabile ed eseguibile dal sito web, in modo da permettere un miglior confronto ed analisi con quelli ottenuti da Pandas.

Nel dettaglio, il numero di articoli che hanno superato la fase di filtraggio su Rayyan sono 396, appena venti in più rispetto a quelli ottenuti su Pandas, pari ad una percentuale di circa 5%.

A causa dell'organizzazione molto confusa del CSV generato da Rayyan, in cui tutte le informazioni sono inserite in un'unica colonna con separatori e posizionamenti molto caotici e disordinati, non è stato possibile effettuare un confronto meticoloso dei risultati ottenuti rispetto a quelli generati da Pandas. Data la finalità del lavoro di tesi di utilizzare metodi automatizzati per eseguire una systematic literature review, considerata la differenza minima tra gli articoli inclusi con i due metodi, si è scelto quindi di utilizzare il file CSV prodotto da Pandas, utilizzandolo per proseguire con il processo di filtraggio che verrà analizzato nei capitoli successivi.

La scelta di preferire Pandas rispetto a Rayyan è motivata dal fatto che il processo di filtraggio degli articoli risulta molto più automatizzato con Pandas. Utilizzando il linguaggio di programmazione Python, una volta scritto il codice, è il software a eseguire autonomamente tutto il lavoro di screening. Al contrario, Rayyan richiede un maggiore intervento umano; infatti, invece che automatizzare completamente il processo di revisione, Rayyan opera principalmente da strumento di supporto per gli operatori durante l'esecuzione di una Systematic Literature Review.

5. FASE 3: SELEZIONE DEGLI ARTICOLI IN BASE AL TITOLO E ALL'ABSTRACT

In questa fase, verrà eseguito lo screening degli articoli in base al titolo e all'abstract, inizialmente verranno utilizzate due tecniche avanzate di analisi del linguaggio naturale: la Latent Dirichlet Allocation (LDA), analizzata nel documento di Süzek (2017), e la Latent Semantic Analysis (LSA), presentata nel documento di Chauhan et al. (2022). Queste tecniche permetteranno di automatizzare parte del processo di selezione, facilitando l'individuazione delle informazioni rilevanti direttamente dal titolo e abstract degli articoli.

Attraverso l'applicazione di LDA e LSA, sarà possibile estrarre i temi principali trattati negli articoli inclusi, valutando se tali temi sono in linea con le finalità di questo lavoro di tesi. Ciò permetterà di verificare che il processo di filtraggio, effettuato nella fase precedente, ha realmente selezionato solo gli articoli pertinenti al tema di ricerca.

Successivamente si procederà con lo screening manuale, cioè si procederà con una lettura dettagliata dei titoli e degli abstract per confermare o escludere la rilevanza degli articoli selezionati. Questo duplice approccio, che combina l'automazione con un'analisi umana più approfondita, permetterà di ottenere un set di articoli finali che siano effettivamente coerenti con gli obiettivi dello studio in esame.

5.1 TECNICA LATENT SEMANTIC ANALYSIS (LSA)

La tecnica Latent Semantic Analysis (LSA), come emerge dal documento di Süzek (2017), rappresenta una delle tecniche più avanzate e largamente utilizzate. Analizzata per la prima volta da Deerwester et al. nel 1990, la Latent Semantic Analysis cerca di superare le limitazioni dei metodi tradizionali di rappresentazione dei testi, in cui ogni parola viene considerata separatamente dalle altre, senza tenere conto delle connessioni nascoste nel significato tra i termini. Il punto di partenza della LSA è la costruzione di una matrice termine-documento, dove ogni riga rappresenta una parola unica nel corpus e ogni colonna rappresenta un documento o un segmento di testo. Il valore in ciascuna cella di questa matrice riflette la frequenza o il peso di una parola specifica in un determinato documento. Questa matrice, tuttavia, tende a essere molto grande e sparsa, e non cattura le relazioni semantiche più profonde che esistono tra i termini.

Per affrontare questo problema, la Latent Semantic Analysis impiega la Decomposizione ai Valori Singolari, una tecnica di riduzione dimensionale che scompone la matrice originale A in tre matrici più piccole: la matrice U , la matrice Σ e la matrice V . La matrice U contiene le parole distribuite nello spazio concettuale, la matrice Σ è una matrice diagonale che contiene i valori singolari, e la matrice V rappresenta i documenti nello spazio concettuale.

L'uso della Decomposizione ai Valori Singolari consente di ridurre il numero di dimensioni della matrice termine-documento, mantenendo solo le componenti principali che rappresentano le

relazioni semantiche tra i termini. In altre parole, la Latent Semantic Analysis comprime le informazioni rilevanti, eliminando il "rumore" semantico, ovvero quelle variazioni linguistiche che non aggiungono significato ai dati.

Una delle applicazioni principali della Latent Semantic Analysis è l'estrazione automatica delle parole chiave. In questo contesto, questa tecnica viene utilizzata per identificare i termini più significativi all'interno di un corpus di documenti. Questi termini sono quelli che meglio rappresentano i concetti latenti del testo, offrendo una sintesi semantica efficace. Questa capacità della LSA la rende uno strumento potente per il riassunto automatico dei testi, per la categorizzazione dei documenti e per il miglioramento delle prestazioni dei motori di ricerca.

L'articolo di Süzek 2017 sottolinea come l'efficacia della Latent Semantic Analysis nel compito di estrazione automatica delle parole chiave sia stata confrontata con altre tecniche consolidate (come ad esempio la tecnica Metamap). La LSA si distingue per la sua capacità di identificare relazioni semantiche latenti che sfuggono ad approcci più semplici. Ciò si traduce in una maggiore accuratezza nel recupero delle informazioni e nella categorizzazione dei contenuti.

Inoltre, la Latent Semantic Analysis non si limita a identificare semplicemente le parole più frequenti, ma comprende l'intera rete di relazioni semantiche tra le parole, permettendo di captare significati più profondi e contestuali. Questo approccio consente di evitare il problema della polisemia, dove una stessa parola può avere significati diversi in contesti diversi, e dell'omonimia, dove parole diverse possono avere significati simili.

Tuttavia, la Latent Semantic Analysis non è esente da limitazioni. Una delle critiche principali è che la tecnica assume che i dati siano distribuiti in modo normale, il che non è sempre vero. Inoltre, la riduzione dimensionale può talvolta comportare una perdita di informazioni rilevanti, soprattutto se il numero di dimensioni ridotte è troppo basso. Nonostante queste limitazioni, la tecnica LSA rimane una tecnica estremamente utile per l'analisi dei testi, specialmente in contesti dove è importante comprendere le relazioni semantiche latenti tra i termini.

Süzek 2017 conclude affermando che l'uso della Latent Semantic Analysis per l'estrazione automatica delle parole chiave è non solo efficace, ma anche paragonabile a tecniche più moderne, dimostrando la sua rilevanza e applicabilità nei contesti attuali. Grazie alla sua capacità di captare relazioni semantiche profonde, continua a essere una scelta privilegiata per l'analisi del linguaggio, dimostrando la sua utilità in una vasta gamma di applicazioni, dalla ricerca accademica al miglioramento dei sistemi di recupero delle informazioni.

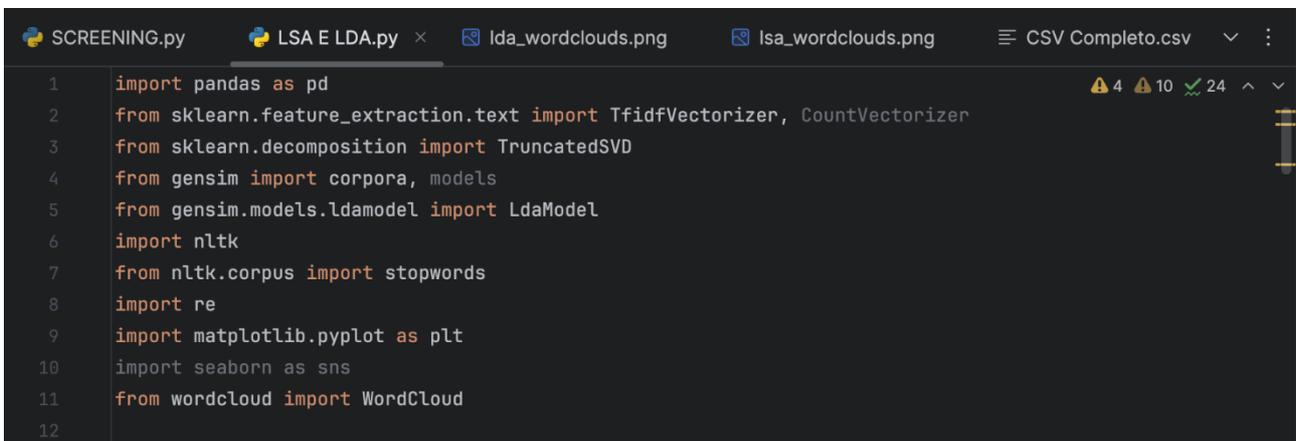
Dopo aver illustrato brevemente il funzionamento della tecnica Latent Semantic Analysis, si procede alla sua applicazione sul corpus di articoli selezionati nella fase 2. Questa tecnica può essere efficacemente automatizzata utilizzando Python, rendendo il processo di analisi più efficiente e sistematico.

Pertanto ora si procede ad illustrare come automatizzare tale tecnica utilizzando Python. La prima operazione da effettuare, consiste nell'aprire PyCharm ed installare le varie librerie, così come descritto nel paragrafo 4.2, quindi è sufficiente cliccare sull'icona "Python Packages",

situata in basso a sinistra. Successivamente, all'interno della sezione dedicata ai pacchetti di Python, è necessario inserire nella barra di ricerca il nome delle varie librerie e procedere all'installazione, ricordando di scaricare le versioni più recenti. Le librerie per cui risulta necessario effettuare il download sono:

- Pandas (già installate nella fase precedente)
- Gensim
- Nltk
- Matplot
- Wordcloud

Una volta installate, si potrà procedere all'importazione di queste in Python, così come mostrato in figura 13.



```
1 import pandas as pd
2 from sklearn.feature_extraction.text import TfidfVectorizer, CountVectorizer
3 from sklearn.decomposition import TruncatedSVD
4 from gensim import corpora, models
5 from gensim.models.ldamodel import LdaModel
6 import nltk
7 from nltk.corpus import stopwords
8 import re
9 import matplotlib.pyplot as plt
10 import seaborn as sns
11 from wordcloud import WordCloud
12
```

Figura 13: Librerie Python necessarie all'automatizzazione della tecnica LSA

Una volta importate le librerie, si procede con il download delle “stopwords” attraverso il comando:

➔ `nltk.download('stopwords')`

Le “stopwords” sono parole comuni che non apportano alcun contributo significativo al contenuto semantico del testo (come ad esempio: il, e, ma).

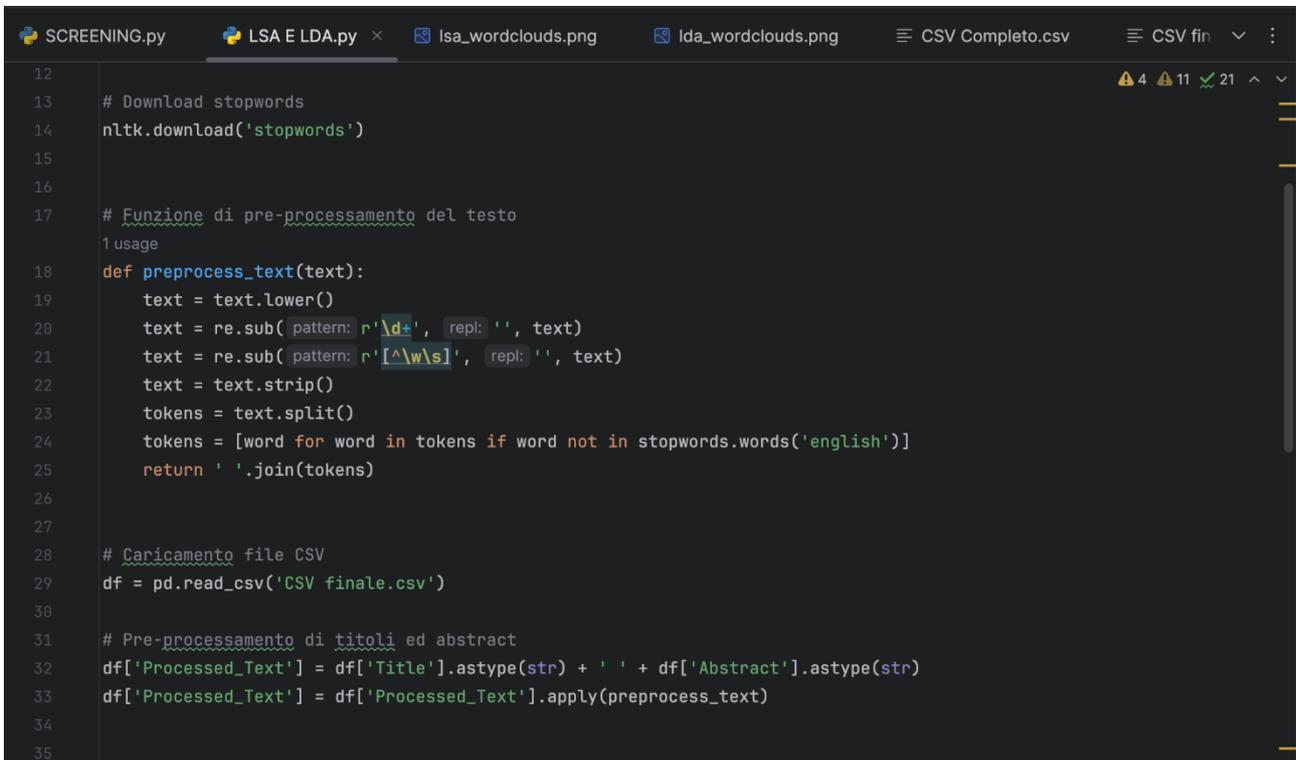
Successivamente, si procede con la fase di pre-processamento del testo (illustrata in figura 14), durante la quale viene chiesto a Python di rimuovere le parole contenute all'interno delle “stopwrods” dai titoli e dagli abstract presenti nel file “CSV finale.csv”. Tale passaggio è fondamentale per effettuare la pulizia dei titoli e dei testo degli abstract, lasciando solo le parole più rilevanti per l'analisi semantica. La rimozione delle “stopwords” risulta cruciale per evitare confusione e per migliore la precisione dell'analisi che verrà effettuata successivamente mediante la tecnica di Latent Semantic Analysis.

Una volta completato il pre-processamento, si procede con l'importazione del file CSV contenente i 376 documenti individuati durante la fase 2, denominato “CSV finale.csv”. La stringa utilizzata per effettuare tale operazione è:

→ `df = pd.read_csv('CSV finale.csv')`

Dopo aver importato il file, si procede con l'applicazione della fase di pre-processamento del CSV, cioè con la pulizia dei titoli e degli abstract dalle “stopwords”.

Queste ultime quattro fasi vengono mostrate all'interno della figura 14 riportata di seguito:



```
12
13 # Download stopwords
14 nltk.download('stopwords')
15
16
17 # Funzione di pre-processamento del testo
18 1 usage
19 def preprocess_text(text):
20     text = text.lower()
21     text = re.sub(pattern: r'\d+', repl: '', text)
22     text = re.sub(pattern: r'[\W\s]', repl: '', text)
23     text = text.strip()
24     tokens = text.split()
25     tokens = [word for word in tokens if word not in stopwords.words('english')]
26     return ' '.join(tokens)
27
28 # Caricamento file CSV
29 df = pd.read_csv('CSV finale.csv')
30
31 # Pre-processamento di titoli ed abstract
32 df['Processed_Text'] = df['Title'].astype(str) + ' ' + df['Abstract'].astype(str)
33 df['Processed_Text'] = df['Processed_Text'].apply(preprocess_text)
34
35
```

Figura 14: Stringhe relative al download delle “stopwords”, al pre-processamento, all’importazione CSV ed all’applicazione del pre-processamento al CSV

Successivamente, si procede ad applicare la funzione “perform_lsa” ai dati testuali, cioè si esegue la Latent Semantic Analysis tramite la seguente stringa:

→ `def perform_lsa(text_data, n_topics):`

Quindi, si procede alla vettorizzazione del testo, trasformandolo in una matrice di vettori numerici basati sulla frequenza delle parole e sulla loro importanza relativa nei documenti. Questo passaggio avviene attraverso la stringa:

→ `vectorizer = TfidfVectorizer()`

Successivamente, tale operazione viene applicata al testo al fine di ottenere una rappresentazione numerica dei documenti. La stringa utilizzata per tale operazione è:

→ `X = vectorizer.fit_transform(text_data)`

Una volta ottenuta la matrice, si procede con l’applicazione dell’algoritmo di Latent Semantic Analysis. Questo algoritmo viene applicato alla matrice appena generata, ottenendo così una matrice ridotta che rappresenta i documenti attraverso i temi estratti. Le istruzioni per questo passaggio, vengano rappresentate dalle seguenti stringhe:

- `lsa = TruncatedSVD(n_components=n_topics, random_state=42)`
- `X_topics = lsa.fit_transform(X)`
- `terms = vectorizer.get_feature_names_out()`
- `topic_terms = []`

Per ogni tema estratto, si procede ad identificare i termini più rappresentativi, combinando i termini stessi con i pesi associati a ciascuno di essi all'interno del tema. Successivamente, i termini vengono ordinati in base alla loro importanza nel tema. Vengono selezionati pertanto solo i primi 10 termini più rilevanti, i quali vengono estratti e inseriti all'interno della lista "topic_terms". Infine, si procede a stampare tale lista, al fine di avere una visione chiara dei contenuti principali presenti nei dati.

Le stringhe utilizzate per esplicitare tali comandi sono:

- ```
for i, comp in enumerate(lsa.components_):
 terms_comp = zip(terms, comp)
 sorted_terms = sorted(terms_comp, key=lambda x: x[1],
reverse=True)[:10]
 topic_terms.append([t[0] for t in sorted_terms])
 print(f"Topic {i} + 1}")
for t in sorted_terms:
 print(t[0])
print("\n")
```

Dopo aver applicato la funzione "perfrom\_lsa", si procede ad applicare la funzione "plot\_lsa", utilizzata per ottenere la visualizzazione grafica dei temi estratti mediante la funzione "perfrom\_lsa".

In questa fase, viene determinato il numero di temi generati, si crea una griglia (subplot) per la visualizzazione delle "word cloud" dei temi, si imposta il titolo della figura e per ogni tema individuato viene creata una "word cloud" composta solo dai termini più rilevanti. Infine, la figura viene mostrata e salvata in un file immagine.

Le stringhe utilizzate per esplicitare queste operazioni sono:

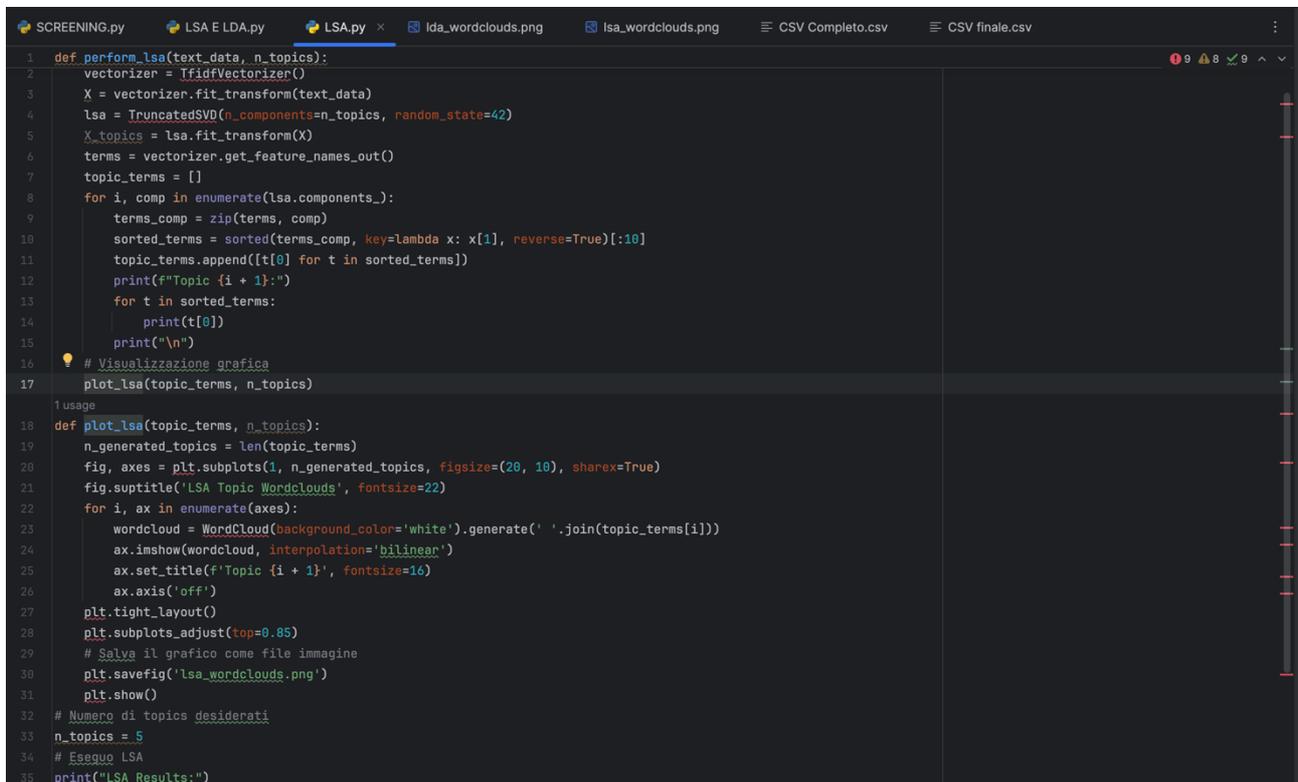
- ```
def plot_lsa(topic_terms, n_topics):
    n_generated_topics = len(topic_terms)
    fig, axes = plt.subplots(1, n_generated_topics, figsize=(20, 10), sharex=True)
    fig.suptitle('LSA Topic Wordclouds', fontsize=22)
    for i, ax in enumerate(axes):
        wordcloud = WordCloud(background_color='white').generate('
'.join(topic_terms[i]))
        ax.imshow(wordcloud, interpolation='bilinear')
```

```
ax.set_title(f'Topic {i} + 1}', fontsize=16)
ax.axis('off')
```

- ➔ plt.tight_layout()
- ➔ plt.subplots_adjust(top=0.85)
- ➔ plt.savefig('lsa_wordclouds.png')
- ➔ plt.show()

Infine, viene indicato il numero di topic desiderati (nel caso in esame 5) e si richiede a Python di stampare i risultati.

Quanto descritto rappresenta una spiegazione sintetica dell'intero codice utilizzato per applicare la tecnica di Latent Semantic Analysis, il quale viene riportato di seguito in figura 15.



```
1 def perform_lsa(text_data, n_topics):
2     vectorizer = TfidfVectorizer()
3     X = vectorizer.fit_transform(text_data)
4     lsa = TruncatedSVD(n_components=n_topics, random_state=42)
5     X_topics = lsa.fit_transform(X)
6     terms = vectorizer.get_feature_names_out()
7     topic_terms = []
8     for i, comp in enumerate(lsa.components_):
9         terms_comp = zip(terms, comp)
10        sorted_terms = sorted(terms_comp, key=lambda x: x[1], reverse=True)[:10]
11        topic_terms.append([t[0] for t in sorted_terms])
12        print(f"Topic {i + 1}:")
13        for t in sorted_terms:
14            print(t[0])
15        print("\n")
16    # Visualizzazione grafica
17    plot_lsa(topic_terms, n_topics)
18
19 usage
20 def plot_lsa(topic_terms, n_topics):
21     n_generated_topics = len(topic_terms)
22     fig, axes = plt.subplots(1, n_generated_topics, figsize=(20, 10), sharex=True)
23     fig.suptitle('LSA Topic Wordclouds', fontsize=22)
24     for i, ax in enumerate(axes):
25         wordCloud = WordCloud(background_color='white').generate(' '.join(topic_terms[i]))
26         ax.imshow(wordCloud, interpolation='bilinear')
27         ax.set_title(f'Topic {i + 1}', fontsize=16)
28         ax.axis('off')
29     plt.tight_layout()
30     plt.subplots_adjust(top=0.85)
31     # Salva il grafico come file immagine
32     plt.savefig('lsa_wordclouds.png')
33     plt.show()
34
35 # Numero di topics desiderati
36 n_topics = 5
37 # Eseguo LSA
38 print("LSA Results:")
```

Figura 15: Codice completo tecnica Latent Semantic Analysis

I risultati ottenuti dall'applicazione della tecnica di Latent Semantic Analysis sono visualizzati attraverso le "word cloud" riportate in figura 16. Si noti come i temi estratti siano perfettamente in linea con le tematiche oggetto di analisi all'interno di questo lavoro di tesi, confermando così l'efficacia del processo di filtraggio eseguito mediante l'utilizzo di Python (fase 2 della SLR in esame).

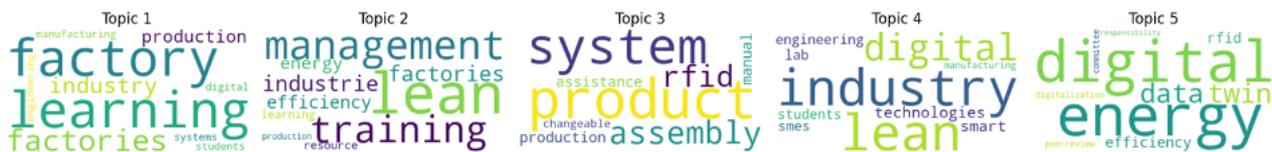


Figura 16: “word cloud” ottenuta mediante l’applicazione della tecnica di Latent Semantic Analysis

5.2 TECNICA LATENT DIRICHLET ALLOCATION (LDA)

La tecnica Latent Dirichlet Allocation (LDA), come emerge dal documento di Chauhan et al. (2022), è una tecnica di estrazione dei topic che ha acquisito grande popolarità negli ultimi anni, specialmente nell’analisi dei testi. La Latent Dirichlet Allocation è un metodo probabilistico per individuare i principali temi all’interno di ampie raccolte di documenti. Questo approccio si basa sull’assunzione che i testi siano composti da una distribuzione probabilistica di argomenti e che ciascun argomento possa essere descritto da una distribuzione di parole.

Il modello LDA utilizza un approccio generativo, ipotizzando che i documenti siano prodotti attraverso una serie di processi probabilistici. Per ogni documento, viene inizialmente selezionata una distribuzione di temi che indica quanto ciascun tema è rappresentato nel documento. Una volta determinata questa distribuzione, si procede a generare le parole del documento. Per ogni parola, viene scelto un tema basato sulla distribuzione tematica del documento, e successivamente la parola viene selezionata in base alla distribuzione delle parole associate a quel tema. Questo processo consente di identificare i temi come gruppi di parole che tendono a comparire insieme in un documento, rivelando così le strutture tematiche nascoste nei dati testuali. Uno dei principali vantaggi dell’LDA è la sua capacità di rilevare più temi all’interno di un singolo documento, riflettendo la complessità dei testi, che raramente trattano un unico argomento. Inoltre, la Latent Dirichlet Allocation fornisce una distribuzione di probabilità sui temi per ogni documento, permettendo di comprendere non solo quali temi sono presenti, ma anche l’importanza relativa di ciascuno di essi all’interno del documento.

L’articolo di Chauhan et al. 2022, analizza l’applicazione della tecnica LDA nell’ambito del turismo, focalizzandosi sull’analisi delle recensioni degli utenti. Le recensioni sono una fonte ricca di informazioni, che spesso contengono opinioni e feedback su vari aspetti di un servizio o prodotto. Utilizzando l’approccio LDA, è possibile estrarre i temi principali discussi dagli utenti, come la qualità del servizio, la pulizia, la posizione, ecc., permettendo così alle aziende di ottenere una comprensione approfondita delle percezioni e delle aspettative dei clienti. Tale approccio pertanto può essere utilizzato sia per l’analisi di testi più semplici, come ad esempio le recensioni su un prodotto/servizio, che su testi più complessi come quelli utilizzati all’interno di una Systematic Literature Review.

Il processo di modellazione dei topic tramite LDA inizia con la pre-elaborazione dei dati, dove i testi originali vengono puliti e normalizzati. Questo include la rimozione di parole comuni (stopwords), la lemmatizzazione (processo di riduzione delle parole alla loro forma base, cioè alla radice) e la tokenizzazione (processo di riduzione del testo in unità più piccole chiamate token). Una volta che i dati sono stati preparati, viene applicato il modello LDA, il quale richiede la definizione di un certo numero di topic. La scelta del numero ottimale di topic è spesso un compito complesso e richiede una valutazione empirica, poiché un numero troppo basso potrebbe non catturare tutti i temi rilevanti, mentre un numero troppo alto potrebbe frammentare eccessivamente i temi.

La Latent Dirichlet Allocation utilizza due parametri principali, α e η , che controllano rispettivamente la distribuzione dei topic nei documenti e la distribuzione delle parole nei topic. La regolazione di questi parametri può influenzare significativamente i risultati del modello, rendendolo più o meno focalizzato su determinati argomenti.

Una volta addestrato il modello, i risultati vengono interpretati esaminando le parole più probabili associate a ciascun topic. Questo processo può essere supportato da visualizzazioni come wordcloud o grafici che mostrano la distribuzione dei topic nei documenti. Nell'articolo di Chauhan et al. 2022, viene discusso come l'uso di LDA abbia permesso di individuare con successo i temi centrali nelle recensioni degli utenti, fornendo un'analisi approfondita delle loro esperienze e preferenze.

Uno degli aspetti più interessanti dell'approccio LDA è la sua interpretabilità. A differenza di altri modelli più complessi, questa tecnica produce output che possono essere facilmente compresi e interpretati dai ricercatori e dai professionisti. Ciò lo rende uno strumento estremamente utile per l'analisi esplorativa dei dati e per la generazione di insight che possono guidare le decisioni aziendali.

Chauhan et al. 2022 evidenzia inoltre le sfide associate all'uso della LDA, come la sensibilità alla dimensione del corpus e alla qualità della pre-elaborazione dei dati. Nonostante queste sfide, la Latent Dirichlet Allocation si dimostra un metodo robusto per l'analisi dei dati testuali e per l'estrazione dei topic.

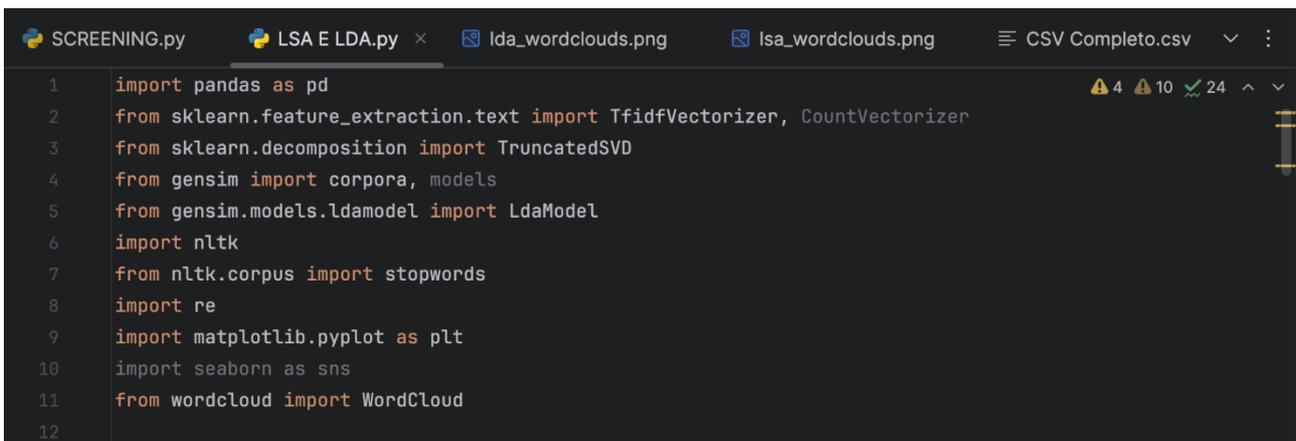
Dopo aver illustrato il funzionamento della tecnica Latent Dirichlet Allocation, si procede alla sua applicazione sul corpus di articoli selezionati nella fase 2. Come si può evincere dalla descrizione appena effettuata circa l'applicazione di tale tecnica, questa risulta essere molto lunga e complessa. Il modello LDA però può essere efficacemente automatizzato utilizzando Python, il quale permette di rendere il processo di analisi efficiente e rapido allo stesso tempo, semplificando notevolmente il lavoro dei ricercatori.

Pertanto ora si procede ad illustrare come automatizzare tale tecnica utilizzando Python. La prima operazione da effettuare, consiste nell'aprire PyCharm ed installare le varie librerie, così come descritto nel capitolo *4.2 SCREENING ARTICOLI SU PANDAS*, quindi è sufficiente cliccare sull'icona "Python Packages", situata in basso a sinistra. Successivamente, all'interno della sezione dedicata ai pacchetti di Python, è necessario inserire nella barra di

ricerca il nome delle varie librerie e procedere all'installazione, ricordando di scaricare le versioni più recenti. Le librerie per cui risulta necessario effettuare il download sono:

- Pandas (già installate nella fase precedente)
- Gensim
- Nltk
- Matplot
- Wordcloud

Una volta installate, si potrà procedere all'importazione di queste in Python, così come mostrato in figura 16.



```
1 import pandas as pd
2 from sklearn.feature_extraction.text import TfidfVectorizer, CountVectorizer
3 from sklearn.decomposition import TruncatedSVD
4 from gensim import corpora, models
5 from gensim.models.ldamodel import LdaModel
6 import nltk
7 from nltk.corpus import stopwords
8 import re
9 import matplotlib.pyplot as plt
10 import seaborn as sns
11 from wordcloud import WordCloud
12
```

Figura 16: Librerie Python necessarie all'automatizzazione della tecnica LDA

Anche per la tecnica Latent Dirichlet Allocation, così come per l'approccio Latent Semantic Analysis, dopo aver importato le librerie, si procede con il download delle "stopwords" (parole comuni che non apportano alcun contributo significativo al contenuto semantico del testo) utilizzando il comando:

➔ `nltk.download('stopwords')`

Successivamente, si procede con la fase di pre-processamento, cioè la rimozione delle "stopwords" dai titoli ed abstract del file "CSV finale.csv", come illustrato nella sezione 5.1 *TECNICA LATENT SEMANTIC ANALYSIS (LSA)*, pertanto si effettua l'importazione del file "CSV finale.csv" attraverso la stringa:

➔ `df = pd.read_csv('CSV finale.csv')`

Quindi si applica il pre-processamento al file CSV. L'intero processo viene eseguito come mostrato in figura 17.

```
SCREENING.py LSA E LDA.py x Isa_wordclouds.png lsa_wordclouds.png CSV Completo.csv CSV fin v :
12
13 # Download stopwords
14 nltk.download('stopwords')
15
16
17 # Funzione di pre-processamento del testo
18 1 usage
19 def preprocess_text(text):
20     text = text.lower()
21     text = re.sub(pattern: r'\d+', repl: '', text)
22     text = re.sub(pattern: r'^\w\s|$', repl: '', text)
23     text = text.strip()
24     tokens = text.split()
25     tokens = [word for word in tokens if word not in stopwords.words('english')]
26     return ' '.join(tokens)
27
28 # Caricamento file CSV
29 df = pd.read_csv('CSV finale.csv')
30
31 # Pre-processamento di titoli ed abstract
32 df['Processed_Text'] = df['Title'].astype(str) + ' ' + df['Abstract'].astype(str)
33 df['Processed_Text'] = df['Processed_Text'].apply(preprocess_text)
34
35
```

Figura 17: Stringhe relative al download delle “stopwords”, al pre-processamento, all’importazione CSV ed all’applicazione del pre-processamento al CSV

(Poiché questo processo è analogo a quello eseguito all’interno della sezione 5.1 *TECNICA LATENT SEMANTIC ANALYSIS (LSA)*, la spiegazione di tali passaggi è risultata meno approfondita. In particolare si è cercato di essere meno ripetitivi possibile in modo da evitare di appesantire eccessivamente la lettura del seguente lavoro di tesi).

Successivamente, si procede ad applicare la funzione “perform_lda” ai dati testuali, cioè si esegue la Latent Dirichlet Allocation tramite la seguente stringa:

➔ `def perform_lda(text_data, n_topics):`

Quindi, si procede alla suddivisione di ciascuno dei documenti in una lista di parole separate da spazi, attraverso la stringa:

➔ `text_data = [text.split() for text in text_data]`

In seguito, viene creato un dizionario che mappa ogni termine in un identificatore unico, il quale rappresenta l'intero vocabolario dei documenti. Tale comando viene indicato attraverso la stringa:

➔ `dictionary = corpora.Dictionary(text_data)`

Successivamente ogni documento viene convertito in un formato “bag of words” (BoW), che rappresenta i documenti come vettori di conteggi di parole. Ogni parola nel documento viene mappata al suo identificatore nel dizionario e al conteggio delle sue occorrenze. La stringa utilizzata per tale istruzione è:

➔ `corpus = [dictionary.doc2bow(text) for text in text_data]`

Una volta creato il dizionario, dopo aver convertito i documenti nel formato BoW, si procede con l'applicazione del modello di Latent Dirichlet Allocation. Questo modello prende come dati di ingresso il corpus di articoli appena convertiti nel formato "bag of words", il dizionario, il numero di temi da estrarre ed altri parametri, come ad esempio "random_state" (per la riproducibilità dei risultati) e "passes" (numero di iterazioni sull'intero corpus per ottimizzare il modello). Le istruzioni per questo passaggio, vengono rappresentate dalle seguenti stringhe:

```
→ lda_model = LdaModel(corpus=corpus, id2word=dictionary, num_topics=n_topics,
    random_state=42, passes=10)

→ topic_terms = []
```

Per ogni tema estratto, si procede ad identificare i termini più rappresentativi, combinando i termini stessi con i pesi associati a ciascuno di essi all'interno del tema. Successivamente, si procede a pulire e separare i termini per ogni tema, estraendo solo i nomi delle parole (e non anche i loro pesi associati). Le parole rappresentative di ciascun tema vengono aggiunte a una lista "topic_terms", ed infine si procede a stampare tale lista, al fine di avere una visione chiara dei contenuti principali presenti nei dati.

Le stringhe utilizzate per esplicitare tali comandi sono:

```
→ for      idx,      topic      in      lda_model.print_topics(-1):
    terms      =      topic.split('      +      ')
    terms = [term.split('*')[1].strip("") for term in terms]

→ topic_terms.append(terms)

→ print(f"Topic {idx+1}: {topic}")

→ print("\n")
```

Dopo aver applicato la funzione "perfrom_lda", si procede ad applicare la funzione "plot_lda", utilizzata per ottenere la visualizzazione grafica dei temi estratti mediante la funzione "perfrom_lda".

In questa fase, viene determinato il numero di temi generati, si crea una griglia (subplot) per la visualizzazione delle "word cloud" dei temi, si imposta il titolo della figura e per ogni tema individuato viene creata una "word cloud" composta solo dai termini più rilevanti. Infine, la figura viene mostrata e salvata in un file immagine.

Le stringhe utilizzate per esplicitare queste operazioni sono:

```
→ def      plot_lda(lda_model,      corpus,      dictionary,      n_topics):
    n_generated_topics      =      n_topics
    fig, axes = plt.subplots(1, n_generated_topics, figsize=(20, 10), sharex=True)
    fig.suptitle('LDA      Topic      Wordclouds',      fontsize=22)
    for      i,      ax      in      enumerate(axes):
        wordcloud      =
```

```

WordCloud(background_color='white').generate_from_frequencies(dict(lda_model.sh
ow_topic(i,
                                interpolation='bilinear')
                                ax.imshow(wordcloud,
                                ax.set_title(f'Topic {i} + 1}',
                                ax.axis('off')

```

- plt.tight_layout()
- plt.subplots_adjust(top=0.85)
- plt.savefig('lda_wordclouds.png')
- plt.show()

Infine, viene indicato il numero di topic desiderati (nel caso in esame 5) e si richiede a Python di stampare i risultati.

Quanto descritto rappresenta una spiegazione sintetica dell'intero codice utilizzato per applicare la tecnica di Latent Dirichlet Allocation, il quale viene riportato di seguito in figura 18.

```

SCREENING.py  LSA E LDA.py  LDA.py x  LSA.py  lsa_wordclouds.png  lda_wordclouds.png
1  def perform_lda(text_data, n_topics):
2      text_data = [text.split() for text in text_data]
3      dictionary = corpora.Dictionary(text_data)
4      corpus = [dictionary.doc2bow(text) for text in text_data]
5      lda_model = LdaModel(corpus=corpus, id2word=dictionary, num_topics=n_topics, random_state=42, passes=10)
6      topic_terms = []
7      for idx, topic in lda_model.print_topics(-1):
8          terms = topic.split(' + ')
9          terms = [term.split('*')[1].strip("'") for term in terms]
10         topic_terms.append(terms)
11         print(f"Topic {idx + 1}: {topic}")
12         print("\n")
13     # Visualizzazione grafica
14     plot_lda(lda_model, corpus, dictionary, n_topics)
15     1 usage
16     def plot_lda(lda_model, corpus, dictionary, n_topics):
17         n_generated_topics = n_topics
18         fig, axes = plt.subplots(1, n_generated_topics, figsize=(20, 10), sharex=True)
19         fig.suptitle('LDA Topic Wordclouds', fontsize=22)
20         for i, ax in enumerate(axes):
21             wordcloud = WordCloud(background_color='white').generate_from_frequencies(dict(lda_model.show_topic(i, 10)))
22             ax.imshow(wordcloud, interpolation='bilinear')
23             ax.set_title(f'Topic {i + 1}', fontsize=16)
24             ax.axis('off')
25         plt.tight_layout()
26         plt.subplots_adjust(top=0.85)
27         # Salva il grafico come file immagine
28         plt.savefig('lda_wordclouds.png')
29         plt.show()
30
31     # Numero di topics desiderati
32     n_topics = 5
33     # Eseguo LDA
34     print("LDA Results:")
35     perform_lda(df['Processed_Text'], n_topics)

```

Figura 18: Codice completo tecnica Latent Dirichlet Allocation

I risultati ottenuti dall'applicazione della tecnica di Latent Dirichlet Allocation sono visualizzati attraverso le "word cloud" riportate in figura 19. Si noti come anche in questo caso, i temi estratti siano perfettamente in linea con le tematiche oggetto di analisi all'interno di questo lavoro di tesi, confermando così l'efficacia dell'automatizzazione in Python del processo di filtraggio, eseguita all'interno della fase 2 nella SLR in esame.



Figura 19: "word cloud" ottenuta mediante l'applicazione della tecnica di Latent Dirichlet Allocation

5.3 SCREENING MANUALE

Dopo aver verificato, mediante le tecniche LDA e LSA, che il processo di filtraggio automatizzato in Python eseguito nella fase 2 abbia effettivamente selezionato solo gli articoli pertinenti alle domande di ricerca, si è proceduto alla lettura dei titoli e degli abstract di ciascuno dei 376 articoli inclusi nel corpus. Questo passaggio ha avuto l'obiettivo di determinare a quale delle domande di ricerca i documenti rispondessero e in che modo. Nel caso in cui alcuni articoli risultassero completamente fuori tema, si è proceduto ad applicare un ulteriore processo di filtraggio al fine della successiva rimozione dal corpus.

A tal fine, è stata utilizzata la *Tabella 3*, per verificare la corrispondenza degli articoli con le domande di ricerca. Si è posta una spunta nella casella corrispondente qualora il documento risultasse pertinente al tema indicato. Per gli articoli fuori tema è stata inserita la dicitura: "NON PERTINENTE CON LE TEMATICHE AFFRONTATE ALL'INTERNO DEL PRESENTE LAVORO", mentre per i documenti duplicati è stata utilizzata la dicitura: "UGUALE A 'Titolo articolo'".

Nel processo di filtraggio eseguito all'interno di questo paragrafo, la *Tabella 3* è stata arricchita di altre 4 colonne, che risulteranno utili nelle fasi successive del lavoro di Systematic Literature Review in esame.

Nel dettaglio le colonne aggiunte sono:

- "TESTO COMPLETO": utile nella *Fase 4*: "Selezione degli articoli in base alla lettura completa"
- "CITED BY (DATO AGGIORNATO AL 7/24)": utile nella *Fase 5*: "Applicazione approccio snowballing". La specifica "DATO AGGIORNATO AL 7/24" risulta necessaria, in quanto il numero di citazione potrebbe variare nel corso del tempo, quindi viene esplicitato il mese cui il numero riportato fa riferimento

- “APPROCCIO DI RICERCA”: utile nella *Fase 7: “Analisi del corpus: descrizione dell’approccio di studio dei trend relativi allo scopo di ricerca (o argomento chiave)”*
- “TREND”: utile nella *Fase 8: “Analisi del corpus: descrizione dei principali trend relativi allo scopo della ricerca (o argomento chiave)”*

Di seguito in *Tabella 4* sono riportate le immagini della tabella con i risultati ottenuti dall'analisi dei titoli e degli abstract.

TITOLO	AUTORE	ANNO	SCOPO		CONTENUTI DIDATTICI		FASI CICLO DI VITA				TECNOLOGIE IMPLEMENTATE				
			INDUSTRIAL TRAINING	EDUCATION	RICERCA	BUSINESS	OPERATIONS	RESEARCH AND DEVELOPMENT	SUPPLY	PRODUCTION/ASSEMBLY	DISTRIBUTION/LOGISTICS	SERVICE	DISPOSAL	HARDWARE	SOFTWARE
A Systematic	Abele E.	2017	X	X						X					
Learning fact	Tisch M.	2016	X	X			X								
WORLDWIDE	Wittek G.R.	2023		X		X									
A "learning sn	Angrisani L.	2020		X			X								
Connecting Ir	Grisales-Pala	2022	X	X			X			X					X
Lean Learning	Wittek G.R.	2021	NON PERTINENTE CON LE TEMATICHE AFFRONTATE ALL'INTERNO DEL PRESENTE LAVORO												
Towards a prc	Marmier F.	2021	X	X			X								X
Learning Fact	Baena F.	2017		X			X								
Learning Spar	Callupe M.	2021		X											
Bringing the E	Sörensen A.	2022		X		X									
Sustainable N	Reise C.	2016		X		X	X			X					
Rethinking Ci	Moggs M.F.	2021	X	X			X								
BIM, augmen	Dalasega P.	2020		X										X	
Learning fact	Bakir D.	2014	X	X			X								
Assessment o	Hambach J.	2016		X		X									
Utility-based	Tisch M.	2017	X	X			X			X					
Learning Erwi	Schützer K.	2017		X			X			X					
Learning fact	Abele E.	2015	X	X			X								
Towards digit	Hulla M.	2021	NON PERTINENTE CON LE TEMATICHE AFFRONTATE ALL'INTERNO DEL PRESENTE LAVORO												
Broadening p	Spillane D.R.	2020		X										X	
Learning fact	Heim R.	2014	X	X			X								
An approach	Alonso-Perez	2022		X					X						
Competence	Ranz F.	2015		X		X									
PROJECT-BA	Al Khatib A.	2023		X						X					
Teaching Engi	Chelini J.	2023		X											
Stress analys	Rasovic N.	2019		X					X						
Product famil	Wagner U.	2014		X		X			X						
Competence	Hummel V.	2015	X	X		X		X		X		X		X	X

Tabella 4a: Screening per Titolo ed Abstract dei 376 articoli del corpus

TITOLO	AUTORE	ANNO	SCOPO		CONTENUTI DIDATTICI		FASI CICLO DI VITA					TECNOLOGIE IMPLEMENTATE			
			INDUSTRIAL TRAINING	EDUCATION	RICERCA	BUSINESS	OPERATIONS	RESEARCH AND DEVELOPMENT	SUPPLY	PRODUCTION/ASSEMBLY	DISTRIBUTION/LOGISTICS	SERVICE	DISPOSAL	HARDWARE	SOFTWARE
Learning factr	Abele E.	2017	X	X	X					X					
Energy Efficie	Weeber M.	2016	X	X											
A Literature S	Assad F.	2020	X	X											
Teaching Met	Morlock F.	2017	NON PERTINENTE CON LE TEMATICHE AFFRONTATE ALL'INTERNO DEL PRESENTE LAVORO												
Guideline-ba	Hambach J.	2015	X	X	X										
Scientific ma	Kipper L.M.	2021	X	X		X									X
Design conce	Mattsson S.	2018	X	X	X										
A simplified c	AlGeddawy T.	2019	X	X	X										X
A case study i	Pasetti Moniz	2018	X	X	X										X
Disassembly	Coenen J.	2024	NON PERTINENTE CON LE TEMATICHE AFFRONTATE ALL'INTERNO DEL PRESENTE LAVORO												
Work in Progr	Heredia-Mari	2022	X	X		X									X
Design altern	Schumacher	2020	X	X											
An augmenter	Mourtzis D.	2020	NON PERTINENTE CON LE TEMATICHE AFFRONTATE ALL'INTERNO DEL PRESENTE LAVORO												
Advanced lea	Florin D.	2015	X	X	X										
Co-determini	Conrad A.	2019	X	X		X									
Integrated an	Lanza G.	2016	X	X											
Mass custom	Merke L.	2018	X	X	X						X				X
Education 4.C	Cónego L.	2021	X	X											
A Learning Fa	Quinn W.	2022	X	X											X
A Teaching Cc	Hulla M.	2019	X	X		X									X
IoT Based Mo	De Marchi M.	2023	X	X		X									X
Integration of	Vijayan K.K.	2019	X	X											X
Guidelines to	Fuertes J.J.	2023	X	X											X
Evolution of t	Angrisani L.	2018	X	X											X
Learning Fact	Wolf M.	2022	X	X		X									X
Development	Tveuge N.	2018	X	X											
Practical Eng	Vogel C.	2023	X	X											X
Research-ba	Engelhardt-N	2020	X	X	X										X
A new teachir	Lugaresi G.	2024	X	X		X									X
Advantages o	Andres M.	2019	X	X		X									X

Tabella 4c: Screening per Titolo ed Abstract dei 376 articoli del corpus

TITOLO	AUTORE	ANNO	SCOPO		CONTENUTI DIDATTICI		FASI CICLO DIVITA				TECNOLOGIE IMPLEMENTATE					
			INDUSTRIAL TRAINING	EDUCATION	RICERCA	BUSINESS	OPERATIONS	RESEARCH AND DEVELOPMENT	SUPPLY	PRODUCTION/ASSEMBLY	DISTRIBUTION/LOGISTICS	SERVICE	DISPOSAL	HARDWARE	SOFTWARE	
Low-cost des Orozco E.		2024		X												
The Impact of Monetti F.M.		2023				X										
Learning Fact Gyulai T.		2019	X													
A Hybrid Mett Masse C.		2019		X												
Towards 5.0 s Lagorio A.		2024		X						X						
Added value c Twenge N.		2020		X												X
Learning fact Narula S.		2023		X												
Integration of Shakhrov E.		2019		X												
Advanced Aut Guattieri L.		2018	X													
Learning Thro Peron M.		2021		X												
Knowledge cr Vijayan K.K.		2018		X												
Eye-Track Mo Zhu R.		2021		X												X
Concept of le Stojkic Z.		2018	X		X											
Tracking and Centea D.		2023		X												X
Effectiveness Adam M.		2021		X												
Using Hologr Mavrikios D.		2019		X												X
Influence of ri Devika		2019														
Digital Twin & Llyanawadug		2023		X												X
The Compete Chiu K.-C.		2020														
Towards a mo Lang.S.		2018		X												
Virtual reality Riemann T.		2023		X												X
Sustainability Jing Z.		2023		X												
Lean school: i Gento A.M.		2021		X												
Learning fact Wagner P.		2015		X												
Learning fact Bender B.		2015		X												
Combining Le Twenge N.		2016		X												
Cyber-physic Seitz K.-F.		2015		X												X
Experiencing Juraschek M.		2017		X												
Project-based Balve P.		2015		X												X
Learning fact Lanza G.		2015	X													

Tabella 4e: Screening per Titolo ed Abstract dei 376 articoli del corpus

TITOLO	AUTORE	ANNO	SCOPO		CONTENUTI DIDATTICI		FASI CICLO DIVITA				TECNOLOGIE IMPLEMENTATE				
			INDUSTRIAL TRAINING	EDUCATION	RICERCA	BUSINESS	OPERATIONS	RESEARCH AND DEVELOPMENT	SUPPLY	PRODUCTION/ASSEMBLY	DISTRIBUTION/LOGISTICS	SERVICE	DISPOSAL	HARDWARE	SOFTWARE
Learning fact Steiniger P.		2016		X											
Learning Fact Moldavska A.		2016	X												
Complement Kemény Z.		2016	X		X	X				X					
Mini-factory - Matt D.T.		2014	X							X					
Transition tow Karre H.		2017	X		X					X				X	X
Integrating In Scholz M.		2016	X		X	X							X	X	X
Learning fact Svasta P.		2016	X		X										
Holistic learn Kreimeier D.		2014	X			X				X					
Intelligent Lei Posselt G.		2016	X											X	X
Application o Serten J.		2016													
Educational L Grabler I.		2016				X				X					
Die Ierrfabrik Blume S.		2015	X			X				X					
Tangible Indu Erol S.		2016	X			X									
Lean learning Veza I.		2015	X			X				X					
ETA Learning Abele E.		2016	X			X				X					
Evaluation M Petrusch N.		2020	X			X				X					
Optimizing tr Ghebrecrist		2019													
Information T Ghebrecrist		2020													
BERTHA - AFI Schreiber S.		2016													
An Immersive Liu S.		2023													
Roller Skis AS Ogrodnyk O.		2017				X				X					
SEPT Approac Centea D.		2019				X									
Digital Innovo Veerasamy N		2023	X												
Building capa Karre H.		2019	X			X									
Concept Dev Liebrecht C.		2017													
Digitization o Magnani F.		2021													
Application o Stojkic Z.		2020				X									
Development Hegedic M.		2022				X									
I-FAB: Teachl Canmas V.G.		2020				X									
SEPT Learning Elbestawi M.		2018				X									

Tabella 4f: Screening per Titolo ed Abstract dei 376 articoli del corpus

TITOLO	AUTORE	ANNO	SCOPO		CONTENUTI DIDATTICI		FASI CICLO DI VITA				TECNOLOGIE IMPLEMENTATE		
			INDUSTRIAL TRAINING	EDUCATION	BUSINESS	OPERATIONS	RESEARCH AND DEVELOPMENT	SUPPLY	PRODUCTION/ASSEMBLY	DISTRIBUTION/LOGISTICS	SERVICE	DISPOSAL	HARDWARE
Concept, cha Zarte M.		2019	X	X						X		X	
TU Wien Pilot Hennig M.		2019	X	X	X					X		X	X
Industrie 4.0 - Enke J.		2018	X		X	X						X	X
A conceptual Mohan Prasad		2020	NON PERTINENTE CON LE TEMATICHE AFFRONTATE ALL'INTERNO DEL PRESENTE LAVORO										
Impact of Lea Quadriani W.		2022	X		X					X			
Industry 4.0 a Rosin F.		2021	X		X	X				X		X	X
IdeaLab: Alea Vijayan K.K.		2020	X		X					X			
AI Learning Fa Maheso N.		2019	X		LEARNING FACTORY NEL SETTORE FERROVIARIO					X		X	X
Performance Gjedum N.		2018	X			X							
Process Innov Larsen M.S.		2019	X			X							
Learning fact Sorensen D.G.		2022	X		X	X				X		X	X
Augmented re Vargas D.G.M.		2020	X		X								
Operational S Gyulali T.		2022	X		X								
Learning Fact Semenets-O		2024	X		X								
Development Wahjusaputri		2022	X		X					X			
Learning man Pilati F.		2020	X		X	X				X		X	X
Methodical Ir Knott M.		2023	X		X	X				X		X	X
Learning Fact Roli M.		2021	X		X	X							
On the develc Sala R.		2022	X		X							X	X
Conversion o Somasanthaa		2023	X		X	X				X		X	X
ADigital Twin Ragazzini L.		2021	X		X	X				X		X	X
Determinatio Merkel L.		2019	X		X	X				X		X	X
Using a semi- Pechmann A.		2019	X		X	X				X		X	X
Integration of Mukku V.D.		2019	X		X	X				X		X	X
PREDICTIVE N Stojkic Z.		2021	X		X	X						X	X
Introducing tt Gran H.G.		2023	X		X	X							
Challenges in Marian R.		2019	X		X	X				X			
SEPT Learning Centea D.		2019	X		X	X				X		X	X
A Cybersecur Thorot K.		2023	X		X	X				X		X	X
Design of a Di Brooks S.		2023	X		X	X				X		X	X

Tabella 4g: Screening per Titolo ed Abstract dei 376 articoli del corpus

TITOLO	AUTORE	ANNO	SCOPO		CONTENUTI DIDATTICI		FAST CICLO DI VITA					TECNOLOGIE IMPLEMENTATE				
			INDUSTRIAL TRAINING	EDUCATION	RICERCA	BUSINESS	OPERATIONS	RESEARCH AND DEVELOPMENT	SUPPLY	PRODUCTION/ASSEMBLY	DISTRIBUTION/LOGISTICS	SERVICE	DISPOSAL	HARDWARE	SOFTWARE	
Learning-by-L. Mazzuto G.		2022	X				X									
Design and Es. Hegedić M.		2022	X				X									
RFID in manu Centea D.		2020	X			X				X				X		
An implement Ralph B.J.		2020	X			X				X				X		
Development Goto J.		2021	X							X				X		
Getting small. Leona Nieme		2020	X			X			X					X		
Using the SEP Centea D.		2020	X			X			X					X		
Cloud platfor. Kolesnyk O.		2021	X			X				X				X		
Supporting SH Burth L.		2018	X			X				X				X		
Learning fact Rasovska I.		2022	X			X				X				X		
Process Anatj Neacsu G.C.		2024	X			X				X				X		
Human Facto Krason P.		2019	X			X								X		
Towards a col Garcia A.		2022	X			X								X		
Outline of an Mortensen S.		2019	X			X				X				X		
The role of cvyl Neela Madhe		2019	X			X				X				X		
Smart Manuf Pawar S.R.		2022	X			X				X				X		
Classifier Findeisen S.		2019	X			X				X				X		
Learning Fact Prinz C.		2016	X			X				X				X		
A Virtual Com Mortensen S.		2018	X			X				X				X		
Learning in th Simons S.		2017	X			X				X				X		
Learning Fact Reuter M.		2017	X			X				X				X		
Simulation Gi Blochl S.J.		2016	X			X				X				X		
Framework to Centea D.		2018	X			X				X				X		
The AAU Smar Madsen O.		2017	X			X				X				X		
Design and in Louw L.		2018	X			X				X				X		
Textile Learni Kusters D.		2017	X			X				X				X		
Service-orient Faller C.		2018	X			X				X				X		
Industry 4.0 k Faller C.		2015	X			X				X				X		
The hoshin ka Diez J.V.		2015	X			X				X				X		
The main eco Frolov V.G.		2017	X			X				X				X		
			NON PERTINENTE CON LE TEMATICHE AFFRONTATE ALL'INTERNO DEL PRESENTE LAVORO													
			NON PERTINENTE CON LE TEMATICHE AFFRONTATE ALL'INTERNO DEL PRESENTE LAVORO													
			NON PERTINENTE CON LE TEMATICHE AFFRONTATE ALL'INTERNO DEL PRESENTE LAVORO													

Tabella 4h: Screening per Titolo ed Abstract dei 376 articoli del corpus

TITOLO	AUTORE	ANNO	SCOPO		CONTENUTI DIDATTICI		FASI CICLO DI VITA				TECNOLOGIE IMPLEMENTATE				
			INDUSTRIAL TRAINING	EDUCATION	RICERCA	BUSINESS	OPERATIONS	RESEARCH AND DEVELOPMENT	SUPPLY	PRODUCTION/ASSEMBLY	DISTRIBUTION/LOGISTICS	SERVICE	DISPOSAL	HARDWARE	SOFTWARE
5G and AI tec Zhang W.		2020		X		X				X			X		X
A digital twin Al-Geddawy T		2020		X										X	X
A Machine Vis Kumar R.		2021	X			X	X			X			X	X	X
Smart Learning Hänggi R.		2020		X		X	X			X			X	X	X
Machine Visi Kumar R.		2021		X		X	X			X			X	X	X
AI FabLab as if Ropin H.		2020		X		X									
Design Appro Sadaj E.A.		2020		X		X				X					
Agile Implement Riemann T.		2020	X			X	X						X	X	X
Seamless Dai Pichler R.		2020		X		X	X			X			X	X	X
A new learning Lugaresi G.		2020		X		X	X			X					
A data-driven Yang S.		2020		X		X	X			X					
Systematic re Fahle S.		2020		X		X	X			X					X
Asciencia mai Martinez P.		2020		X		X									X
A practical tr Oberc H.		2020	X							X					X
Teaching Indr Louw L.		2020		X										X	X
Method to me Glass R.		2020		X											
A mixed reality Czarski M.		2020	X			X	X							X	X
Reinforcement Schmidt E.		2020		X		X	X								
Opportunities Centea D.		2020		X		X	X								
Order-oriented Siegart J.		2020		X		X	X								
Industrial Cyl Ayshev O.A.		2021		X			X								X
Design and de Mourzis D.		2020		X		X	X			X					X
Middle of Life Durão L.F.C.S		2020		X		X	X						X	X	X
Integrating vi Büth L.		2020		X			X			X			X	X	X
Effectivity of l Steckmann F.		2020	X												
Integration of Eder M.		2020		X		X	X			X					X
AI Learning Fa Pascual J.A.		2020	X			X	X								
Software con Siegart J.		2020		X		X	X								X
Data acquisition Herstätter P.		2020		X		X	X								X
Learning Envi Schumacher		2020		X		X	X								X

Tabella 4I: Screening per Titolo ed Abstract dei 376 articoli del corpus

Terminata la fase di lettura di titolo ed abstract, il processo di filtraggio ha consentito di eliminare 31 articoli considerati non pertinenti al tema trattato in questa Systematic Literature Review. Di conseguenza, al termine di questa fase, il corpus della SLR comprende 345 articoli.

5.4 CONSIDERAZIONI CRITICHE

Analizzando la *Tabella 4*, emergono diverse osservazioni significative sulle finalità e i contenuti delle Learning Factory nel contesto tecnico-scientifico attuale. Uno degli aspetti principali che risulta è la prevalenza di un obiettivo didattico comune a gran parte delle Learning Factory censite. Questa tendenza riflette una chiara vocazione formativa degli ambienti nei quali sono sviluppate, che si concentrano sull'insegnamento delle operations (es: training sulle operazioni da eseguire lungo il processo produttivo come analizzato da Abele et al 2015) e delle strategie manageriali (nella *Tabella 4* identificate come “contenuti” -> “business”), come ad esempio l'efficientamento e ottimizzazione dei processi produttivi (Erol et al 2016), Lean Production (Vijayan et al 2020). Questo suggerisce che il target primario di molte Learning Factory sia quello di preparare gli studenti ad affrontare i compiti aziendali, con un approccio sia tecnico che manageriale. Tuttavia, si nota una differenza interessante: mentre lo scopo di education in ambito universitario e di scuola secondaria superiore è prevalente, l'insegnamento rivolto ai dipendenti (denotato come “industrial training” nella *Tabella 4*) e la ricerca scientifica come scopo delle Learning Factory ricevono una certa minore attenzione.

Un altro aspetto rilevante è la predominanza delle fasi del ciclo di vita di un prodotto relative a produzione/assemblaggio e distribuzione/logistica all'interno delle Learning Factory. Questo dato non sorprende, considerando che tali fasi rappresentano il cuore delle attività operative nelle aziende manifatturiere e sono centrali nella formazione dei futuri tecnici e ingegneri. Al contrario, le fasi di supply, service e disposal sono significativamente meno considerate. Questa lacuna può derivare da diversi fattori: in primo luogo, queste fasi, specialmente il disposal, potrebbero essere state considerate meno critiche o meno “didatticamente rilevanti” nei percorsi formativi tradizionali, sebbene invece sia l'Industry 4.0 che la 5.0 dedichino molta attenzione a queste tematiche. Inoltre, le Learning Factory, essendo in molti casi strutture accademiche, potrebbero non avere le risorse o le infrastrutture necessarie per simulare in modo realistico tutte le fasi del ciclo di vita del prodotto.

Una delle fasi che riceve maggiore attenzione, oltre a quelle di production/assembly e distribution/logistics, è quella di research and development. Questo è un segnale positivo, poiché indica che le learning factory non si limitano a riprodurre i processi operativi delle aziende, ma cercano anche di promuovere l'innovazione, rendendo questi spazi non solo luoghi di apprendimento, ma anche di sperimentazione. Tali luoghi di sperimentazione sono da intendersi come luoghi dove si conduce ricerca applicata relativa allo sviluppo di un prodotto o di un processo produttivo; non ricerca pura come quella effettuata in talune Learning Factory. Un esempio di ricerca pura svolta all'interno di una Learning Factory è fornito dal lavoro di Zancul et al (2020), dove si fa riferimento alla ricerca di nuovi metodi di apprendimento all'interno delle Learning Factory che siano più efficaci di quelli tradizionali. Ciò risulta particolarmente rilevante nel contesto di un'economia sempre più guidata dall'innovazione tecnologica e dai principi dell'Industry 4.0 e dell'Industry 5.0.

L'utilizzo frequente di software e hardware avanzati è coerente con il contesto in cui operano le fabbriche dell'apprendimento moderne. Nello specifico, Abele et al 2017 analizza come all'interno delle Learning Factory vengano utilizzati software di simulazione, software progettati per supportare metodologie di Lean Manufacturing, piattaforme di E-Learning per facilitare l'apprendimento interattivo. Kipper et al 2021, invece, analizza come all'interno delle Learning Factory vengano utilizzati sia sistemi hardware come sensori e altri strumenti di monitoraggio utili per il rilevamento di dati da utilizzare per efficientare la produzione, che sistemi hardware utili ad automatizzare la produzione. Questi strumenti sono diventati fondamentali sia per la simulazione di ambienti produttivi complessi, che per la gestione integrata dei processi. Ciò è in linea con le aspettative per un contesto che abbraccia l'Industry 4.0, una fase evolutiva dell'industria manifatturiera caratterizzata dall'automazione, dall'uso di tecnologie avanzate, dal machine learning e dalla robotica. La scelta del range temporale 2014-2024 come criterio di inclusione/esclusione nella *Fase 1* è significativa, in quanto rappresenta una fase cruciale per la diffusione dell'Industry 4.0 e quindi non sorprende che le Learning Factory si siano adattate per rispondere a queste nuove esigenze.

Nonostante questi risultati siano in linea con le aspettative, dalla lettura di titolo ed abstract emergono alcune criticità e spunti per riflessioni. La scarsa attenzione dedicata alle fasi di supply, service e disposal evidenzia un potenziale gap formativo che potrebbe limitare la preparazione dei futuri operatori. L'Industry 4.0 e 5.0 non si limita alla produzione, ma implica una visione più ampia che abbraccia l'intero ciclo di vita del prodotto, includendo la gestione sostenibile delle risorse e l'efficienza lungo tutta la catena di fornitura. Pertanto, un'evoluzione delle Learning Factory dovrebbe mirare ad integrare in modo più completo queste fasi, preparandosi a rispondere alle sfide di un mercato sempre più complesso e interconnesso.

6. FASE 4: SELEZIONE DEGLI ARTICOLI IN BASE ALLA LETTURA COMPLETA

In questa fase, il processo di screening degli articoli proseguirà attraverso la lettura completa dei testi. Nel dettaglio, si verificherà se la banca dati Scopus offre la versione PDF del file completo dei documenti inclusi nel corpus; in caso contrario si procederà con l'eliminazione di questi dal corpus finale.

Qualora la versione "full text" risulti esser disponibile, si procederà con la lettura completa del documento. Successivamente, mediante l'utilizzo della *Tabella 4*, si verificheranno le spunte inserite all'interno della tabella che identificano gli argomenti di ciascun articolo coerenti con le domande di ricerca definite al paragrafo 2 trattate dai documenti, cioè si accerterà se l'analisi effettuata durante la fase precedente, cioè durante la *Fase 4: screening in base alla lettura di titolo ed abstract*, risulti corretta. Eventualmente la lettura completa fornisca feedback diversi, si procederà con la modifica delle spunte.

Si continuerà con il riempimento delle colonne:

- "TESTO COMPLETO"
- "CITED BY (DATO AGGIORNATO AL 7/24)"
- "APPROCCIO DI RICERCA"
- "TREND"

le quali possono essere analizzate solo dopo avere effettuato una lettura completa dei documenti. Tale analisi risulterà essere utile per le fasi successive della Systematic Literature Review in esame.

Per la fase di lettura completa del testo è stato adottato un duplice approccio. In un primo momento, si è proceduto alla lettura integrale del documento, precedentemente scaricato in formato PDF, effettuando una prima verifica delle spunte inserite nella *Tabella 4*. Successivamente, è stato utilizzato il software SciSpace (disponibile al seguente link: <https://typeset.io>), caricando il documento nella sezione "Chat with PDF" -> "Upload PDF".

In questa fase, sono state poste domande al software, nella sezione "Chat with Paper", relative ai quesiti di ricerca stabiliti nella *Fase 0: Definizione delle domande di ricerca*; quindi sono state effettuate ulteriori richieste qualora fossero emersi dubbi sull'inserimento preliminare delle spunte nella *Tabella 4*. Una volta analizzato approfonditamente il documento, si è proceduto a inserire le spunte finali nella *Tabella 5*, riportata alla fine del paragrafo.

È importante sottolineare come il tool di SciSpace sia basato su intelligenza artificiale, per cui la lettura completa del PDF risulta essenziale per verificare l'accuratezza delle informazioni estratte dall'AI. Pertanto, tale strumento deve essere considerato come un supporto utile per

chiarire eventuali dubbi/incertezze, ma l'analisi principale deve necessariamente essere condotta dal ricercatore.

I risultati ottenuti al termine della fase di selezione degli articoli in base alla lettura completa vengono riportati di seguito nella *Tabella 5*.

Nel dettaglio si può vedere come a partire dai 376 articoli presenti nel corpus alla fine della *Fase 3: Selezione degli articoli in base al titolo e all'abstract*, si sia arrivati ad una bibliografia finale composta da 248 documenti dopo la lettura completa. Gran parte degli articoli esclusi non risultava essere fuori tema, in quanto quelli non pertinenti alle tematiche trattate all'interno della Systematic Literature Review in esame erano stati già scartati al termine della fase precedente, *Fase 3*. Le motivazioni che invece hanno portato a rifiutare gran parte degli articoli esclusi durante questa fase è stata l'impossibilità di scaricare il PDF completo dalla piattaforma Scopus (selezionata nelle fasi precedenti come uno dei criteri di inclusione necessario affinché il documento venisse incluso nella SLR), poiché non disponibile. Tale requisito risultava esser necessario per poter effettuare un'analisi approfondita utile ad includerli in questo lavoro di tesi.

7. FASE 5: APPLICAZIONE APPROCCIO SNOWBALLING

Dopo aver terminato il processo di screening, quindi dopo aver individuato i documenti da includere nel corpus della presente Systematic Literature Review, si è proceduto con l'applicazione dell'approccio snowballing.

Nel dettaglio è stato applicato sia il backward snowballing (cioè la ricerca e il successivo screening degli articoli che vengono citati negli articoli presenti nel corpus) che il forward snowballing (cioè la ricerca e il successivo screening degli articoli che citano gli articoli inclusi nel corpus).

Per effettuare questi due processi di analisi è stato utilizzato il software CitationGecko (come già anticipato in *Tabella 1*), il quale permette di automatizzare l'intera fase di snowballing.

Nel dettaglio, è stato sufficiente collegarsi al link: <https://citationgecko.azurewebsites.net> e cliccare la sezione "Add more seed" all'interno della home page, come mostrato in figura 20.

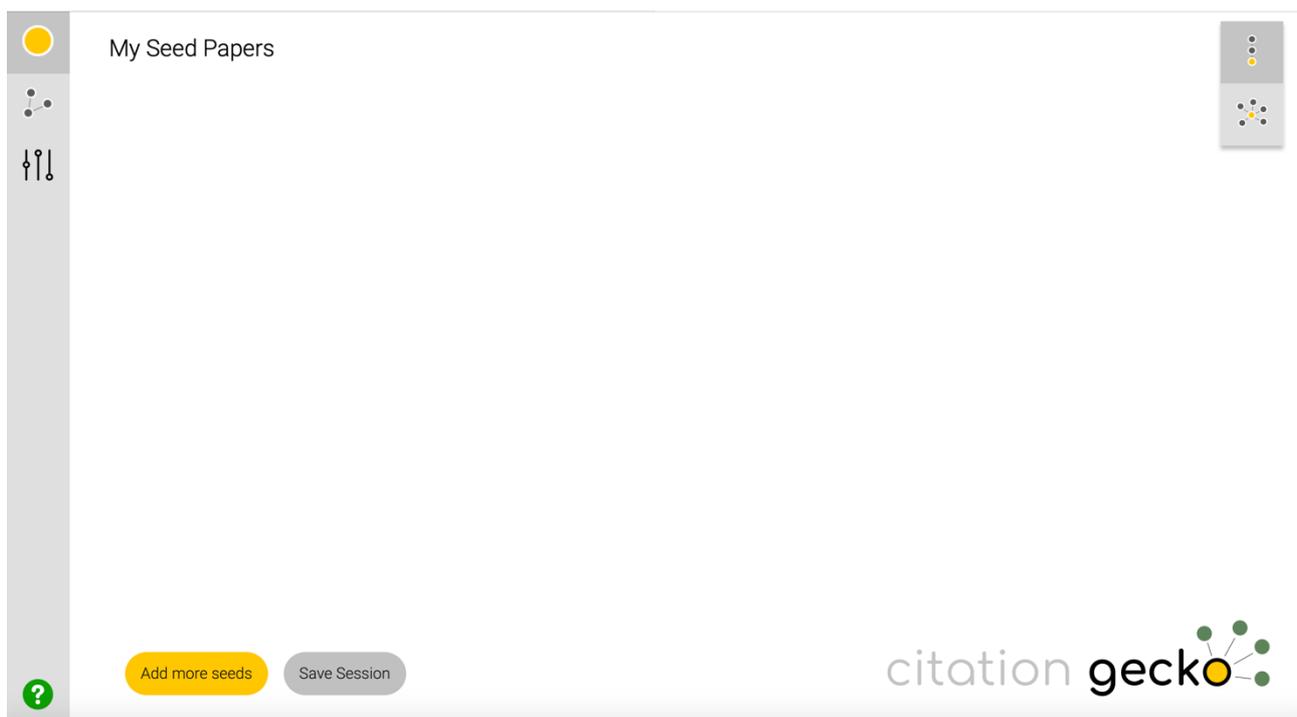


Figura 20: Home-page CitationGecko

Una volta selezionata la sezione "Add more seed", è stato possibile scegliere la modalità con cui caricare i documenti del corpus della Systematic Literature Rview già selezionati nelle fasi precedenti di screening, affinché il tool potesse effettuare in autonomia la fase di snowballing. Le modalità di caricamento a disposizione erano:

- "Import from Bibtex": consente di importare i documenti caricando un file in formato BiBTeX (.bib)

- “Search for Papers”: permette di caricare i documenti andandoli a selezionare dalla libreria di CitationGecko
- “Import from Zotero”: permette di caricare i documenti importandoli da Zotero (software per la gestione dei riferimenti bibliografici e dei materiali a essi collegati)
- “Import from Mendeley”: permette di caricare i documenti importandoli da Mendeley (software per la gestione dei riferimenti bibliografici)

Tra le opzioni disponibili, è stata scelta l'opzione “Search for Papers”, con la quale si è proceduto a ricercare tutti i 248 documenti all'interno del database, aggiungendoli manualmente uno ad uno.

Al termine del processo di inserimento degli articoli, il software ha sviluppato due grafici (uno per il backward snowballing e l'altro per il forward snowballing) riportati di seguito in *Figura 21* e *Figura 22*, i quali rappresentano visivamente le connessioni tra gli articoli del corpus.

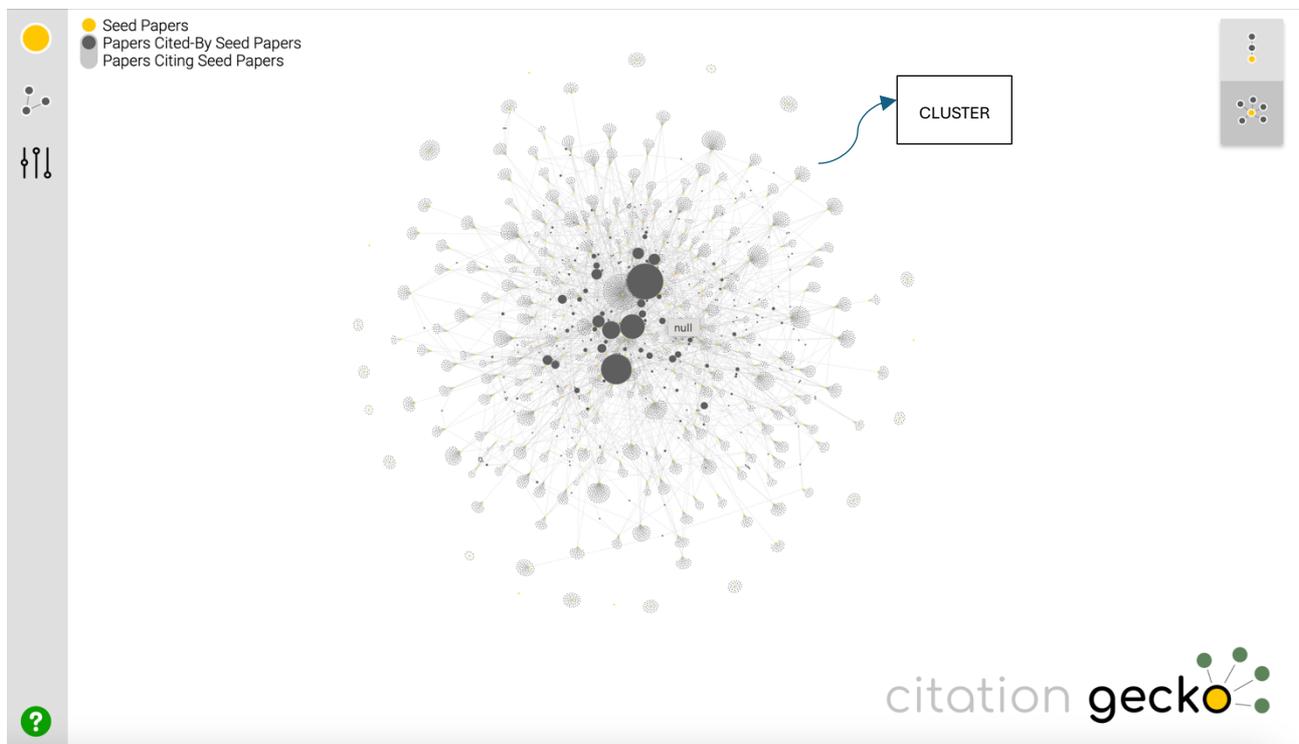


Figura 21: Grafico di CitationGecko per il backward snowballing

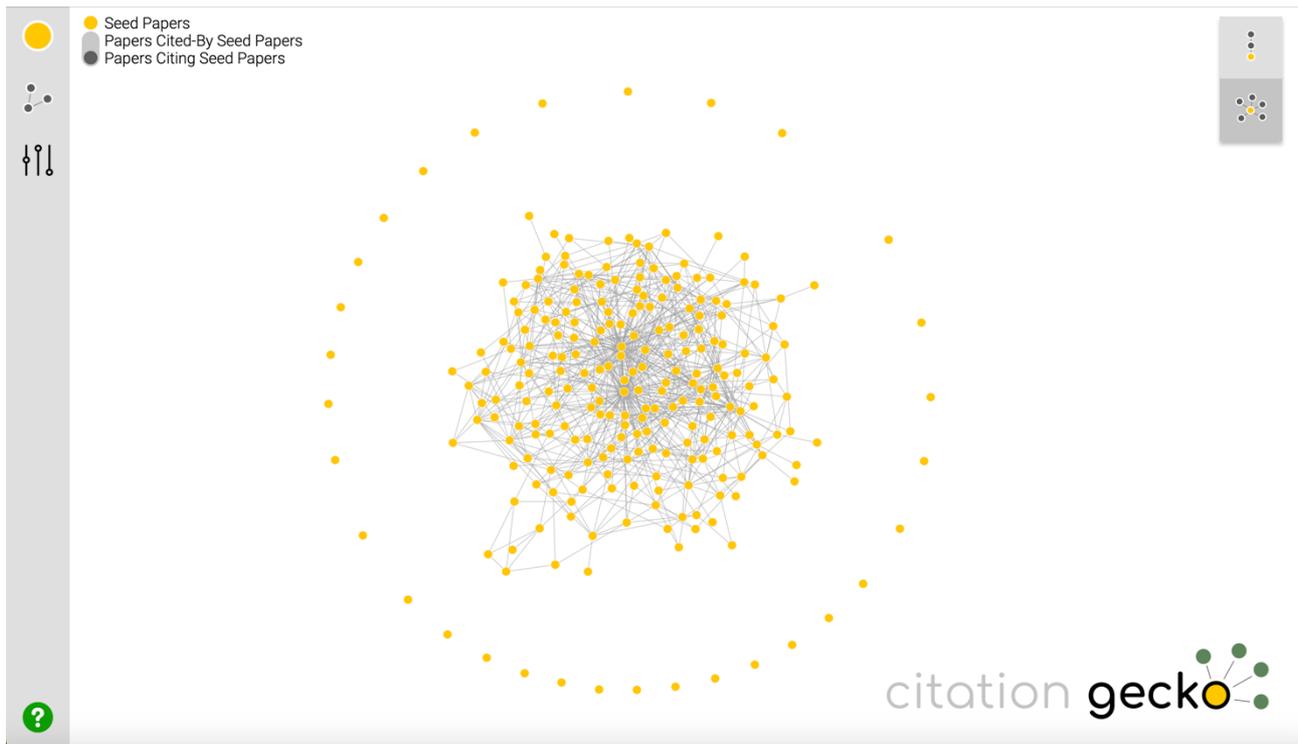


Figura 22: Grafico di CitationGecko per il forward snowballing

Nel dettaglio, ogni nodo nel grafico rappresenta un articolo di ricerca. I nodi corrispondono agli articoli del corpus che sono stati inseriti manualmente o che sono stati trovati tramite il processo di backward snowballing o di forward snowballing. Le linee che collegano i nodi rappresentano le relazioni di citazione tra gli articoli, se un nodo è collegato a un altro tramite una linea, significa che uno dei due articoli cita l'altro. La dimensioni del nodo indica l'importanza di un articolo all'interno della rete di citazioni, la quale si basa su quante volte un articolo è citato dagli altri articoli, pertanto un nodo più grande rappresenta un articolo altamente citato. Inoltre, i nodi sono colorati in modo diverso per distinguere tra gli articoli "seed" (quelli che caricati all'inizio, cioè quelli in grigio in *Figura 21*) e i nuovi articoli trovati dal tool tramite il processo di "snowballing", cioè quelli in giallo in *Figura 21*. Si noti come gli articoli siano stati raggruppati in cluster (indicati in *Figura 21*), i quali rappresentano gruppi di articoli fortemente interconnessi tra loro tramite citazioni, questo indica che tali documenti appartengono a un tema di ricerca fortemente correlato o comunque simile. Infine, particolare importanza riveste la posizione dei nodi nel grafico, gli articoli più centrali sono quelli più collegati, evidenziando come questi abbiano un ruolo centrale o comunque possano essere considerati influenti nella Systematic Literature Review in esame, a differenza degli articoli più distanti i quali risultano meno collegati agli altri.

Al termine del processo di snowballing, Citation Gecko ha identificato 47 nuovi articoli, che sono stati sottoposti al processo di screening. Inizialmente, è stata effettuata una selezione basata sui criteri di inclusione ed esclusione. Successivamente, è stata eseguita una valutazione attraverso la lettura del titolo e dell'abstract, e infine si è proceduto alla selezione tramite la lettura completa degli articoli. I risultati di questa analisi sono riportati in *Tabella 6*.

TITOLO	ANNO	SCOPO	CONTENUTO/DOCTRINA	FASCI COGNATIVA	DISPOSAL	TECNOLOGIE/NOI/ENR/	TESTO/COMPLET	CITTA'BY	TREND
		INDUSTRIAL TRAINING/EDUCATION	BUSINESS OPERATIONS	RESEARCH AND DEVELOPMENT/SUPPLY	DISTRIBUTION/LOGISTICS	SERVICE	HARDWARE SOFTWARE	(DATA AGGIORNATO AL 24/7) (X: SUI, ecc.)	INDUSTRIY 4.0
Albert-Ludw...	2018	X	X	X	X	X	X	22 STUDIO TEORICO E PRATICO	LEAN PRODUCTION, INDUSTRY 4.0
Learning in C...	2019	NON PRESENTE IN SCOPUS	X	X	X	X	X	8 STUDIO TEORICO	APPRENDIMENTO ORIENTATO ALL'AZIONE, INDUSTRY 4.0, FORMAZIONE MULTIDISCIPLINARE
Best Practice B...	2018	X	X	X	X	X	X	35 STUDIO PRATICO	APPRENDIMENTO ORIENTATO ALL'AZIONE, INDUSTRY 4.0, LEAN PRODUCTION
Simulation of Blo...	2018	X	X	X	X	X	X	13 STUDIO TEORICO E PRATICO	APPRENDIMENTO ORIENTATO ALL'AZIONE, INDUSTRY 4.0, EFFICIENZA ENERGETICA
Developmental B...	2015	X	X	X	X	X	X	4 STUDIO PRATICO	FORMAZIONE MULTIDISCIPLINARE, INDUSIRY 4.0, EFFICIENZA ENERGETICA
Intense of The C...	2013	X	X	X	X	X	X		
SEPT Laminin C...	2019	NON PRESENTE IN SCOPUS	X	X	X	X	X	11 STUDIO TEORICO E PRATICO	APPRENDIMENTO ORIENTATO ALL'AZIONE, FORMAZIONE MULTIDISCIPLINARE
Contribution Do...	2015	NON PRESENTE IN SCOPUS	X	X	X	X	X	9 STUDIO TEORICO E PRATICO	APPRENDIMENTO ORIENTATO ALL'AZIONE, INDUSTRY 4.0
Systematic Etic...	2018	X	X	X	X	X	X		
Development Econ...	2020	X	X	X	X	X	X		
Development Econ...	2020	X	X	X	X	X	X		
Development Econ...	2019	NON PRESENTE IN SCOPUS	X	X	X	X	X		
Development Econ...	2019	NON PRESENTE IN SCOPUS	X	X	X	X	X		
Development Econ...	2017		X	X	X	X	X		
Simulation of Fu...	2017		X	X	X	X	X		
Transfer of IM, G...	2018	X	X	X	X	X	X	29 STUDIO PRATICO	APPRENDIMENTO ORIENTATO ALL'AZIONE, INDUSTRY 4.0, LEAN PRODUCTION
SNES canbou Gou...	2019	X	X	X	X	X	X	41 STUDIO PRATICO	APPRENDIMENTO ORIENTATO ALL'AZIONE, INDUSTRY 4.0, OBERE PHYSICAL SYSTEMS
Simulation of G...	2019	X	X	X	X	X	X	23 STUDIO PRATICO	APPRENDIMENTO ORIENTATO ALL'AZIONE, INDUSTRY 4.0, OBERE PHYSICAL SYSTEMS
Simulation of G...	2019	X	X	X	X	X	X	11 STUDIO PRATICO	APPRENDIMENTO ORIENTATO ALL'AZIONE, APPRENDIMENTO ORIENTATIVO
Lean and Ext Her...	2014	NON PRESENTE IN SCOPUS	X	X	X	X	X		
Teaching and po...	2020	X	X	X	X	X	X	8 STUDIO PRATICO	APPRENDIMENTO ORIENTATO ALL'AZIONE, APPRENDIMENTO ORIENTATIVO, FORMAZIONE MULTIDISCIPLINARE
Human-labo Ken...	2018	X	X	X	X	X	X		
Scenario-bas Ken...	2021	NON PRESENTE IN SCOPUS	X	X	X	X	X		

Tabella 6a: Screening dopo la lettura completa dei 47 articoli individuati tramite snowballing

TITOLO	AUTORE	ANNO	CITED BY	CITED BY
			(DATO AGGIORNATO AL 24/7)	(DATO AGGIORNATO AL 6/10)
A Systematic	Abele E.	2017	7	7
Learning fact	Tisch M.	2016	80	85
WORLDWIDE	Witeck G.R.	2023	0	0
A “learning sr	Angrisani L.	2020	10	10
Towards a pr	Marmier F.	2021	11	12
Learning Fac	Baena F.	2017	184	190
Bringing the E	Sörensen A.	2022	6	8
Sustainable M	Reise C.	2016	5	5
BIM, augmen	Dallasega P.	2020	43	44
Assessment c	Hambach J.	2016	7	7
Utility-based	Tisch M.	2017	9	9
Learning Envi	Schützer K.	2017	2	2
Learning fact	Abele E.	2015	260	274
Broadening p	Spillane D.R.	2020	3	4
Learning fact	Helm R.	2014	5	5
An approach	Alonso-Perez	2022	1	3
PROJECT-BA	Al Khatib A.	2023	0	0
Teaching Eng	Chelini J.	2023	0	0
Stress analys	Rasovic N.	2019	2	2
Product fami	Wagner U.	2014	20	19
Competence	Hummel V.	2015	29	29
Developing p	Wagner U.	2015	12	12
Implementin	Thiede S.	2016	90	91
Industry 4.0 l	Sackey S.M.	2017	59	59
A Classificati	Vailati S.	2023	0	0
A Learning Ap	Dahl H.	2023	0	0
Literature rev	Lozano C.V.	2020	27	29
Starting up a	Leal L.F.	2020	12	14
Idea Lab: Bric	Kleppe P.S.	2022	3	3
System devel	Kreß A.	2020	1	2
Towards a Mi	Vázquez-Hur	2023	1	1
AD Design Gu	Rauch E.	2019	9	10
Professional	Sallati C.	2019	30	30

Tabella 7a: Aggiornamento “CITED BY” corpus finale

TITOLO	AUTORE	ANNO	CITED BY	
			(DATO AGGIORNATO AL 24/7)	(DATO AGGIORNATO AL 6/10)
An interdiscip	Nöhring F.	2015	3	3
The MTA SZTA	Kemény Z.	2016	40	39
Implementat	Protic A.	2020	16	20
Integrated Pr	ElMaraghy H.	2017	22	22
Experiential l	Alves C.	2019	13	12
A Seamless C	Brenner B.	2016	12	12
Designing the	da Cunha C.	2021	12	14
Learning inte	ElMaraghy H.	2015	18	18
Learning fact	Abele E.	2017	223	235
Energy Efficie	Weeber M.	2016	6	6
A Literature S	Assad F.	2020	3	5
Guideline-ba	Hambach J.	2015	4	4
Scientific ma	Kipper L.M.	2021	144	155
Design conce	Mattsson S.	2018	8	9
A simplified c	AlGeddawy T	2019	1	1
Work in Progr	Heredia-Mar	2022	0	0
Design alterr	Schumacher	2020	1	1
An augmente	Mourtzis D.	2020	52	54
Advanced lea	Plorin D.	2015	17	17
Co-determin	Conrad A.	2019	5	5
Integrated ar	Lanza G.	2016	9	11
Mass custom	Merkel L.	2018	8	8
A Learning Fa	Quinn W.	2022	1	2
Integration o	Vijayan K.K.	2019	13	13
Guidelines to	Fuertes J.J.	2023	4	5
Evolution of t	Angrisani L.	2018	2	2
Learning Fac	Wolf M.	2022	4	8
Developmen	Tvenge N.	2018	21	23
Practical Eng	Vogel C.	2023	1	1
Research-ba	Engelhardt-N	2020	3	3
Advantages o	Andres M.	2019	3	3
Adopting Indu	Srivastava D.	2022	56	65
Conceptual c	Tan H.-S.	2020	11	12
Presenting th	Grøn H.G.	2020	7	9

Tabella 7b: Aggiornamento “CITED BY” corpus finale

TITOLO	AUTORE	ANNO	CITED BY	CITED BY
			(DATO AGGIORNATO AL 24/7)	(DATO AGGIORNATO AL 6/10)
Graphics and	Posada J.	2018	42	42
Development	Stojkić Z.	2019	3	4
Development	Devika	2020	9	10
Digital twinn	Lutters E.	2023	0	0
System dyna	Assuad C.S.A	2020	2	2
Learning Fac	Bellucci M.	2022	3	3
Integration o	Li F.	2019	14	15
Engineering e	Andersen A.-I	2019	33	35
Low-cost des	Orozco E.	2024	0	1
A Hybrid Met	Masse C.	2019	4	4
Towards 5.0 s	Lagorio A.	2024	1	2
Added value	Tvenge N.	2020	20	22
Integration o	Shakirov E.	2019	5	5
Advanced Au	Gualtieri L.	2018	25	27
Digital Twin &	Liyanawadug	2023	1	1
Towards a mo	Lang S.	2018	13	13
Sustainability	Jing Z.	2023	4	5
Learning fact	Wagner P.	2015	21	22
Learning fact	Bender B.	2015	12	12
Combining Le	Tvenge N.	2016	12	13
Cyber-physic	Seitz K.-F.	2015	83	84
Experiencing	Juraschek M.	2017	13	15
Project-base	Balve P.	2015	25	27
Learning fact	Lanza G.	2015	9	13
Learning Fac	Moldavska A.	2016	3	3
Complement	Kemény Z.	2016	15	15
Mini-factory	Matt D.T.	2014	54	60
Transition to	Karre H.	2017	119	121
Integrating In	Scholz M.	2016	9	9
Learning fact	Svasta P.	2016	0	0
Holistic learn	Kreimeier D.	2014	66	68

Tabella 7c: Aggiornamento “CITED BY” corpus finale

TITOLO	AUTORE	ANNO	CITED BY	CITED BY
			(DATO AGGIORNATO AL 24/7)	(DATO AGGIORNATO AL 6/10)
Intelligent Learning	Posselt G.	2016	11	11
Educational Innovation	Gräßler I.	2016	11	11
Die lernfabrik	Blume S.	2015	40	43
Tangible Industry	Erol S.	2016	435	441
Lean learning	Veza I.	2015	18	19
ETA Learning	Abele E.	2016	25	27
Evaluation Method	Petrusch N.	2020	0	0
BERTHA - A Framework	Schreiber S.	2016	13	14
Roller Skis As a Learning	Ogorodnyk O.	2017	6	6
SEPT Approach	Centea D.	2019	18	19
Building capabilities	Karre H.	2019	5	5
Concept Development	Liebrecht C.	2017	4	5
Development of Learning	Hegedic M.	2022	0	0
SEPT Learning	Elbestawi M.	2018	63	65
Concept, characteristics	Zarte M.	2019	12	13
TUWien Pilot	Hennig M.	2019	33	34
Industrie 4.0	Enke J.	2018	82	82
IdeaLab: A Learning	Vijayan K.K.	2020	5	5
A Learning Framework	Maheso N.	2019	7	7
Performance	Gjeldum N.	2018	16	16
Augmented reality	Vargas D.G.M.	2020	18	19
Development of Learning	Wahjusaputri	2022	0	1
Learning management	Pilati F.	2020	45	46
Learning Factors	Roll M.	2021	20	21
On the development	Sala R.	2022	2	2
Using a semi-structured	Pechmann A.	2019	3	3
Integration of Learning	Mukku V.D.	2019	14	13
Challenges in Learning	Marian R.	2019	4	4
A Cybersecurity	Tharot K.	2023	2	2
Design of a Digital	Brooks S.	2023	0	0

Tabella 7d: Aggiornamento “CITED BY” corpus finale

TITOLO	AUTORE	ANNO	CITED BY	CITED BY
			(DATO AGGIORNATO AL 24/7)	(DATO AGGIORNATO AL 6/10)
Learning-by-l	Mazzuto G.	2022	4	4
RFID in manu	Centea D.	2020	4	6
An implemen	Ralph B.J.	2020	16	18
Getting smal	Leona Nieme	2020	18	19
Using the SEF	Centea D.	2020	11	11
Cloud platfor	Kolesnyk O.	2021	4	2
Supporting SI	Buth L.	2018	3	3
Process Anal	Neacșu G.C.	2024	0	0
Towards a co	García Á.	2022	25	31
Outline of an	Mortensen S.	2019	8	9
Learning Fac	Prinz C.	2016	132	136
A Virtual Con	Mortensen S.	2018	30	30
Learning in th	Simons S.	2017	82	82
Learning Fac	Reuter M.	2017	45	45
Simulation G	Blöchl S.J.	2016	35	35
The AAU Sma	Madsen O.	2017	47	47
Design and ir	Louw L.	2018	13	14
Textile Learn	Küsters D.	2017	85	85
Service-orier	Faller C.	2018	21	21
Industry 4.0 l	Faller C.	2015	185	185
Developmen	Botha N.	2021	0	0
Reshaping th	Jamaludin K.	2023	0	0
Manufacturin	Purdon K.	2021	2	2
Approach for	Weyand A.	2023	0	1
Co-Creation	Kemény Z.	2023	0	1
Digital Triple	Umeda Y.	2022	7	8
Methodology	Oberc H.	2020	1	1
Bender - An e	Omidvarkarj	2020	10	10
A systematic	Sudhoff M.	2020	12	14
On the applic	Eder M.	2020	25	27

Tabella 7e: Aggiornamento “CITED BY” corpus finale

TITOLO	AUTORE	ANNO	CITED BY	CITED BY
			(DATO AGGIORNATO AL 24/7)	(DATO AGGIORNATO AL 6/10)
Integration o	Aljinovic A.	2020	9	10
Integration o	Kohlweiss A.	2020	1	2
Implementin	Sorko S.R.	2020	17	17
5G and AI tec	Zhang W.	2020	18	18
A digital twin	Al-Geddawy	2020	11	16
A Machine Vi	Kumar R.	2021	19	20
Machine Visi	Kumar R.	2021	4	5
A FabLab as i	Ropin H.	2020	8	9
Design Appro	Sadaj E.A.	2020	3	3
Agile implem	Riemann T.	2020	20	20
A new learnin	Lugaresi G.	2020	9	9
A data-driver	Yang S.	2020	2	2
A science ma	Martinez P.	2020	4	7
A practical tr	Oberc H.	2020	7	8
Teaching Indi	Louw L.	2020	12	15
Method to m	Glass R.	2020	5	7
A mixed reali	Czarski M.	2020	4	4
Reinforceme	Schmidl E.	2020	4	4
Opportunitie	Centea D.	2020	6	6
Order-orient	Siegert J.	2020	1	1
Design and d	Mourtzis D.	2020	26	27
Integrating vi	Büth L.	2020	4	6
Effectivity of	Sieckmann F.	2020	4	5
Integration o	Eder M.	2020	4	5
Software con	Siegert J.	2020	3	3
Data acquisi	Herstätter P.	2020	4	5
Learning Envi	Schumacher	2020	1	1
A cloud-base	Merz R.	2020	5	5
Concept of a	Sievers T.S.	2020	19	19
Exercise of di	Umeda Y.	2020	26	27

Tabella 7f: Aggiornamento “CITED BY” corpus finale

TITOLO	AUTORE	ANNO	CITED BY	CITED BY
			(DATO AGGIORNATO AL 24/7)	(DATO AGGIORNATO AL 6/10)
Consideratio	Brüggemann	2020	6	8
Influence of l	Glass R.	2018	6	8
Application o	Ogbemhe J.	2019	8	9
Developmen	Oberc H.	2018	9	9
Learning fact	Brunoe T.D.	2019	9	9
Students' int	Reining N.	2019	4	5
Learn how to	Karre H.	2018	9	10
Learning proc	Menn J.P.	2018	8	8
The Learning	Darun M.R.	2019	11	11
Integration o	Adam M.	2019	8	9
Learning fact	Tvenge N.	2019	0	0
Developmen	Louw L.	2019	25	27
Implementat	Vogt M.	2019	4	4
Subject-orier	Teichmann M	2019	6	7
Living Learnir	Rossmeißl T	2019	2	2
Digitalized m	Gotthardt S.	2019	16	19
Integration o	Kleinwort R.	2018	3	3
Enabling Sm	Mourtzis D.	2018	22	22
Low-cost 3D	Nielsen C.P.	2019	2	2
Human Robo	Oberc H.	2019	17	19
Lean meets li	Prinz C.	2018	74	74
Introduction	Auberger E.	2019	1	3
A knowledge-	Mahmoodpo	2019	7	8
Evolution of S	Wienbruch T.	2018	15	16
Ex Post Evalu	Balve P.	2019	8	9
Consideratio	Brüggemann	2019	2	8
Energy Stora	Schulze C.	2019	8	8
Integrated C	Schäfers P.	2019	10	11
Implementat	Bortolini M.	2019	3	3
A case study	Hulla M.	2019	26	28

Tabella 7g: Aggiornamento “CITED BY” corpus finale

TITOLO	AUTORE	ANNO	CITED BY	CITED BY
			(DATO AGGIORNATO AL 24/7)	(DATO AGGIORNATO AL 6/10)
Integration a	Mladineo M.	2019	14	15
Developmen	Veza I.	2017	10	11
Keeping Trac	Erol S.	2016	4	4
Simulation G	Blöchl S.J.	2017	18	18
Procedure fo	Müller B.C.	2017	11	11
Learning Fac	Enke J.	2016	13	13
Effectiveness	Makumbe S.	2018	13	13
Value stream	Oberhausen	2015	29	29
Using a Learn	Wank A.	2016	42	44
Learning Fac	Schallock B.	2018	100	105
Introducing C	Müller-From	2017	31	32
Employee Qu	Görke M.	2017	11	11
Classificatio	Schuh G.	2017	7	7
Extending the	Weeber M.	2016	7	7
Developmen	Hofmann C.	2018	20	21
Enhancing Le	Thiede B.	2017	10	11
Railway Oper	Streitzig C.	2016	4	4
Demonstrati	Buergin J.	2017	3	3
Holistic appr	Goerke M.	2015	18	18
A Web-based	Mavrikios D.	2017	16	16
Implementat	Prinz C.	2017	38	37
Developmen	Wiech M.	2017	7	8
Benefits of a	Rybski C.	2016	13	15
Developmen	Gronau N.	2017	43	44
Requirement	Bauernhansl	2018	16	17
Multimedia s	Pittschellis R	2015	14	15
Precondition	Ogorodnyk O	2016	5	6
Comparative	Sangwan K.S.	2018	13	13
Competency	Enke J.	2015	32	32
Alberta Learn	Ahmad	2018	22	22

Tabella 7h: Aggiornamento “CITED BY” corpus finale

TITOLO	AUTORE	ANNO	CITED BY	CITED BY
			(DATO AGGIORNATO AL 24/7)	(DATO AGGIORNATO AL 6/10)
Learning in C	Athinarayana	2019	8	8
Simulation G	Blöchl	2016	35	35
Developing a	Böhner	2015	13	13
Internet of Th	Cano-Suñén	2023	4	4
Systematic le	Enke	2018	11	11
Developmen	Erdmann	2020	9	9
Transfer of M	Gjeldum	2016	29	29
SMEs can tou	Grube	2019	41	41
Creation of a	Gräßler	2016	33	33
Metacognitiv	Henning	2017	11	11
Teaching mai	Jooste	2020	8	8
Human-robot	Kemény	2018	8	9
Translating th	Lindvig	2020	6	6
Teaching Sm	Merkel	2017	26	26
Lean Learnin	Nitu	2019	5	5
Integration o	Petrusch	2019	5	5
Lifting Table I	Rašović	2018	2	2
Learning Fac	Schallock	2018	104	104
Self-organiza	Schuhmache	2019	8	8
Decentralize	Schuhmache	2016	40	40
lot, iiot and c	Singh	2019	16	16
Using a Learn	Wank	2016	43	43
Machine visi	Zancul	2020	17	17

Tabella 7i: Aggiornamento “CITED BY” corpus finale

Il grafico in *Figura 21* ottenuto da Citation Gecko evidenzia chiaramente come alcuni articoli siano caratterizzati da “pallini” di maggiori dimensioni, i quali evidenziano che tali documenti sono particolarmente centrali nella Systematic Literature Review in quanto contraddistinti da un elevato numero di citazioni ricevute, e ciò risulta essere evidente anche dalla *Tabella 7*. Questi articoli infatti trattano temi fondamentali nel contesto delle Learning Factory e dell'Industry 4.0, rappresentando riferimenti chiave per la ricerca nel settore. Il lavoro di Baena et al. 2017, ad esempio, analizza come le Learning Factory siano utilizzate come strumenti per facilitare la transizione verso l'Industry 4.0, un argomento cruciale che attrae notevole attenzione in quanto integra innovazioni tecnologiche e metodologiche applicabili alla produzione. Allo stesso modo, i lavori di Abele et al 2015 e 2017 approfondiscono il ruolo delle Learning Factory nella formazione e nella ricerca, sottolineando come queste strutture siano essenziali per lo sviluppo di competenze pratiche e innovative. Questi contributi sono stati ampiamente citati perché delineano un quadro teorico e applicativo che collega le Learning Factory alla formazione e alla ricerca orientata al futuro, dimostrando la loro rilevanza nel campo manifatturiero. Anche l'articolo di Erol et al. 2016, si colloca al centro della rete di citazioni di *Figura 21*, con ben 436 citazioni, il che ne riflette l'importanza per il settore. Esso

presenta un approccio basato su scenari per l'apprendimento legato alla produzione, come ad esempio scenari relativi all'ottimizzazione dei tempi di assemblaggio di un prodotto, oppure relativi allo sviluppo di capacità di problem solving collaborativo tra i partecipanti. Inoltre il metodo che l'autore ha utilizzato per l'analisi dei vari scenari ha attratto molto interesse per la sua applicabilità e concretezza. Nel dettaglio la metodologia impiegata è il problem-competency framework, la quale è utilizzata per sviluppare scenari di apprendimento mirati, focalizzandosi sulle competenze necessarie per affrontare i problemi specifici del contesto industriale. Questo approccio viene rappresentato graficamente come un cubo tridimensionale, che prende in considerazione tre aspetti principali: i livelli di gestione (cioè le competenze manageriali allenate all'interno della Learning Factory), le aree di processo (cioè le diverse fasi del ciclo produttivo trattate nel documento) e i tipi di competenze (necessarie per i vari ruoli svolti all'interno della Learning Factory). Infine, Faller et al. 2015 mostrano come le Learning Factory possano supportare le PMI regionali nell'implementazione di tecnologie e metodologie proprie dell'Industry 4.0, un tema particolarmente rilevante per l'adozione di queste pratiche innovative su scala più ampia. Analizzando questi articoli e la loro posizione nel grafico, risulta chiaro che la loro centralità è motivata dal fatto che offrono contributi teorici e pratici fondamentali per il campo delle Learning Factory, integrando l'industria, l'educazione e la formazione tecnologica in un contesto che è cruciale per la transizione verso l'Industry 4.0.

Al termine del lavoro di snowballing, è possibile affermare come una limitazione di Citation Gecko sia il suo approccio di non immediata interpretazione. Infatti, la piattaforma non consente di distinguere quali articoli siano stati aggiunti tramite backward snowballing e quali tramite forward snowballing. Ciò è dovuto al fatto che Citation Gecko restituisce un unico elenco bibliografico contenente tutti gli articoli suggeriti da questo strumento, rendendo difficile tracciare l'origine specifica di ciascuno di questi. Tale mancanza di chiarezza si manifesta anche nella lettura dei grafici, dove risulta difficile identificare quali articoli siano i più citati e quindi centrali rispetto alla tematica trattata. Nel presente lavoro di tesi, per giungere alle conclusioni finali appena effettuate, è stata necessaria un'analisi accurata, che ha richiesto un lungo confronto tra i grafici della *Figura 21* e *Figura 22*, e la *Tabella 5*. Questo approccio ha reso più complicata l'analisi e la valutazione della pertinenza e dell'impatto degli articoli nella Systematic Literature Review.

7.1 CONSIDERAZIONI FINALI SUL CORPUS COMPLETO AL TERMINE DEL PROCESSO DI SNOWBALLING

Analizzando i risultati ottenuti dalla lettura degli articoli completi inclusi nel corpus finale, composto dai documenti della *Tabella 5* e della *Tabella 6*, ivi compresi gli articoli selezionati con l'applicazione dello snowballing, emerge un quadro più dettagliato e articolato rispetto a quello presentato nella *Tabella 4*.

Il confronto tra il set di dati finale (cioè composto dagli articoli che hanno superato la *Fase 4* più gli articoli individuati dal processo di snowballing) e il set di dati ottenuto al termine della

Fase 3, permette di osservare come la lettura completa dei testi, effettuata nella fase 4, abbia permesso di acquisire informazioni più approfondite e dettagliate rispetto alla sola analisi dei titoli e degli abstract eseguita nella *Fase 3*. Nella *Tabella 4* si osservava già una prevalenza di Learning Factory con finalità didattiche, ma grazie alla lettura completa del testo si quantifica con precisione questa tendenza, mostrando che l'85% dei documenti del corpus finale si concentra su questo aspetto. Tale dato conferma e rafforza le osservazioni iniziali, ma l'analisi più approfondita rivela anche come il 54% di tali articoli includa l'industrial training e solamente il 38% si dedichi alla ricerca, confermando che queste due dimensioni, seppur presenti, restano secondarie rispetto all'obiettivo didattico principale.

L'approfondimento dei contenuti, reso possibile dalla lettura completa, evidenzia come quasi tutte le Learning Factory includano insegnamenti legati alle operations. Ad esempio, in Zancul et al. (2020) l'autore analizza come gli studenti apprendano l'utilizzo di tecnologie avanzate relative alla produzione. La tematica relativa l'insegnamento delle operations è presente nel 96% dei documenti del corpus finale, un dato che sottolinea la forte attenzione rivolta alle competenze operative che i lavoratori utilizzeranno in contesto aziendale. Tuttavia, solo il 49% di tali documenti affronta anche temi relativi alle strategie manageriali (in *Tabella 5* identificate come "contenuti" -> "business"), come l'efficientamento delle linee di produzione, suggerendo che queste tematiche, sebbene importanti, non sono sempre una priorità. Questi risultati sono coerenti con l'idea che molte Learning Factory si focalizzino prevalentemente sugli aspetti operativi, rispondendo a una domanda di mercato orientata alla preparazione pratica dei lavoratori, presenti e futuri. Poiché spesso viene criticato agli studenti di possedere una solida formazione teorica ma poche competenze pratiche, l'obiettivo di tali Learning Factory, pertanto, è proprio quello di colmare questo gap, offrendo un ambiente in cui teoria e pratica si fondono, consentendo agli studenti di applicare in contesti operativi reali le conoscenze acquisite.

La lettura completa dei testi ha permesso anche di ottenere un quadro più preciso sulle fasi del ciclo di vita analizzate all'interno delle Learning Factory. Se al termine della *Fase 3*, le fasi di produzione/assemblaggio e distribuzione/logistica risultavano essere le più sviluppate, l'analisi più dettagliata ottenuta da una lettura completa dei documenti, rivela come in realtà è la fase di production/assembly a prevalere nell'84% dei documenti del corpus finale, mentre il Research and Development viene trattato nel 41% degli articoli. Le fasi di supply (3%), service (14%), distribution/logistics (15%) e disposal (2%) restano marginali, confermando una mancanza di attenzione su questi aspetti. Questo potrebbe indicare che, sebbene le Learning Factory si concentrino su attività produttive e di sviluppo, trascurano altre fasi cruciali del ciclo di vita del prodotto, che sono fondamentali per un approccio olistico alla formazione industriale, soprattutto in un contesto di Industry 4.0 e 5.0, dove la tematica del disposal così come della manutenzione (che si può identificare all'interno della categoria "service" nella *Tabella 5*), ricoprono un'importanza sempre maggiore sia in termini di efficienza produttiva, ma soprattutto in termini di riduzione dell'impatto ambientale.

L'utilizzo di software (87%) e hardware (84%) nelle Learning Factory risulta frequente e ampiamente diffuso, un dato che rispecchia pienamente le aspettative in un contesto

dominato dai principi dell'Industry 4.0 così come della 5.0. La grande diffusione di tecnologie digitali e strumenti avanzati è coerente con la necessità di formare lavoratori capaci di operare in ambienti automatizzati e interconnessi. La definizione del range temporale di ricerca degli articoli che va tra il 2014 e il 2024 come criterio di inclusione, permette di catturare il periodo di massimo sviluppo dell'Industry 4.0 e i dati confermano come, all'interno di questo decennio, la trasformazione digitale abbia avuto un impatto significativo sulle Learning Factory.

L'analisi dei documenti più recenti evidenzia come le tematiche legate all'Industry 5.0 stiano iniziando ad emergere, seppur in misura minore rispetto all'Industry 4.0. Con soli 16 articoli del corpus finale (5,9%) dedicati all'Industry 5.0 rispetto ai 155 (57,2%) che trattano l'Industry 4.0, è evidente che l'evoluzione verso un nuovo paradigma è ancora in fase d'avvio. Tuttavia, il riferimento crescente all'utilizzo dell'intelligenza artificiale e dei robot nella produzione suggerisce che le Learning Factory stiano già iniziando ad aprirsi a queste nuove tecnologie, in quanto perfettamente aderenti ai tre principi dell'Industry 5.0, ovvero centralità dell'uomo, sostenibilità e resilienza, confermando la loro funzione di avanguardia tecnologica.

Un ulteriore aspetto interessante è l'attenzione rivolta all'apprendimento orientato all'azione, individuato nei documenti come "Action oriented learning" e/o "Active Learning". Come afferma Enke et al (2018), questi sono due approcci didattici che enfatizzano l'importanza dell'interazione e dell'impegno attivo degli studenti nel processo di apprendimento. La tematica è presente in 200 articoli del corpus finale (73,8%) ed è affiancata dal tema dell'apprendimento interattivo, che viene trattato in quasi 100 articoli (36,9%). Nel dettaglio, l'apprendimento interattivo sfrutta le tecnologie moderne (ex. Realtà aumentata, AI, ...) per potenziare l'interazione tra studenti, insegnanti e contenuti didattici, come descritto da Singh et al. (2019). Questi dati sono coerenti con l'uso intensivo di software e hardware e confermano come le Learning Factory puntino a una formazione esperienziale e immersiva, fondamentale per il contesto industriale moderno. Altre tematiche emergenti sono la Lean Production, presente in quasi 50 articoli corpus finale (18,5%), così come l'Efficienza Energetica, trattata in una trentina di studi (cioè circa l' 11,1%). Questi aspetti riflettono la crescente attenzione verso la sostenibilità e l'efficienza, due pilastri dell'Industry 4.0 e soprattutto della 5.0. In sintesi, la *Tabella 5* offre una visione più dettagliata e precisa rispetto alla *Tabella 4*, confermando le tendenze principali ottenute al termine della *Fase 3*, ma arricchendole di nuovi dettagli, grazie agli approfondimenti e alla maggior precisione e dettaglio ottenuti dalla lettura completa dei testi.

CONCLUSIONI

Questa tesi apporta un contributo rilevante allo stato dell'arte sulle Learning Factory esistenti, non solo per l'analisi approfondita di queste strutture, poiché l'argomento inizia ad essere già esplorato nella letteratura esistente, ma anche per l'approccio metodologico innovativo adottato per realizzare la Systematic Literature Review. In questo senso, la novità risiede nelle tematiche trattate, in quanto non sufficientemente esplorate nella letteratura attuale. Infatti, la maggior parte dei contributi relativi alle Learning Factory disponibili si focalizza su aspetti molto specifici, come ad esempio quelli esclusivamente legati all'Industry 4.0. In questo lavoro, al contrario, si è intrapresa un'analisi delle Learning Factory in un contesto più ampio e diversificato. Un'ulteriore novità è rappresentata dal modo in cui tali risultati sono stati raggiunti, sfruttando strumenti e tecniche di automazione per rendere più efficiente il processo di revisione. A causa dei tempi limitati, il lavoro si è concentrato principalmente sulla fase di screening della Systematic Literature Review, senza arrivare a completare l'intero processo. Nonostante questo, l'utilizzo di tool di supporto e l'integrazione di analisi automatizzate e manuali ha permesso di ottenere un processo ottimizzato, che può essere di grande utilità per i futuri ricercatori del settore.

Un elemento centrale e innovativo di questa tesi è stato quindi l'automatizzazione, parziale o totale, della fase di screening, realizzata attraverso l'uso combinato sia di strumenti digitali avanzati e che attraverso l'intervento manuale del tesista. In questo modo, è stato possibile non solo effettuare una selezione più rapida ed efficiente degli articoli rilevanti, ma anche migliorare la precisione delle analisi. Questo approccio potrebbe rappresentare un valore aggiunto per i futuri operatori del settore, facilitando l'esecuzione di analisi più approfondite ed auspicabilmente, riducendo i lunghi tempi necessari per completare una Systematic Literature Review. In un contesto in cui la quantità di pubblicazioni scientifiche aumenta esponenzialmente e le tecnologie per l'analisi automatica dei dati si evolvono costantemente, disporre di metodologie efficienti e automatizzate diventa cruciale per mantenere l'aggiornamento e la rilevanza degli studi accademici.

Tuttavia, il lavoro presenta alcuni limiti significativi che devono essere riconosciuti e affrontati. Uno dei principali è legato al fatto che la tesi si è interrotta alla fine della fase di screening, senza procedere con le fasi successive, come l'analisi dei dati e la sintesi dei risultati. Di conseguenza, l'analisi dei dati si è limitata a una panoramica dei trend principali emergenti, ottenuti dalla lettura completa degli articoli inclusi nel corpus, senza una sintesi dettagliata e un'interpretazione critica approfondita degli stessi. Questo implica che non è stato possibile valutare in modo esaustivo l'efficacia delle Learning Factory nei contesti aziendali o educativi specifici, né esaminare a fondo le metodologie impiegate dagli autori nella realizzazione degli studi, al fine di valutare la loro efficienza e appropriatezza. Inoltre, non sono stati esplorati in dettaglio aspetti come la loro sostenibilità, il loro contributo nell'ambito dell'Industry 4.0 e 5.0, o le sfide che queste strutture affrontano in termini di implementazione e adattamento alle esigenze mutevoli del mercato del lavoro. Questi elementi avrebbero potuto arricchire l'analisi

e offrire un quadro più completo e robusto, ma richiedono ulteriori indagini che non sono state affrontate in questa tesi a causa delle limitazioni temporali e pratiche.

Alla luce di questi limiti, i passi futuri per la ricerca in questo ambito sono chiari e mirano a completare le fasi mancanti della Systematic Literature Review per ottenere una comprensione più completa e dettagliata delle Learning Factory. Il primo passo è, quindi, proseguire con l'estrazione dei dati, la loro sintesi e l'analisi comparativa dei risultati, al fine di verificare se i trend preliminari emersi nella fase di screening trovano conferma in una valutazione più strutturata. Inoltre, si dovrebbe valutare la possibilità di integrare ulteriori tool e metodologie innovative per automatizzare le fasi finali della Systematic Literature Review, come l'estrazione e la sintesi dei dati. Ad esempio, strumenti basati su tecnologie di machine learning e intelligenza artificiale potrebbero essere utilizzati per migliorare l'efficienza dell'intero processo di revisione, riducendo i tempi necessari per analizzare grandi quantità di dati e garantendo, al contempo, una maggiore precisione nell'identificazione delle tematiche rilevanti.

Un'altra direzione di ricerca futura potrebbe riguardare l'applicazione pratica delle Learning Factory nei diversi contesti aziendali e formativi, esplorando come queste strutture possano essere adattate alle esigenze specifiche delle aziende in diversi settori e in che modo possano essere ottimizzate per migliorare l'apprendimento e la formazione dei lavoratori. Potrebbe inoltre essere utile indagare ulteriormente l'impatto delle tecnologie emergenti, come l'intelligenza artificiale e la robotica in linea con l'Industry 5.0, all'interno delle Learning Factory, per comprendere come queste innovazioni stiano cambiando la struttura e l'organizzazione di questi ambienti di apprendimento.

Infine, sarebbe importante esplorare i temi della sostenibilità e dell'efficienza energetica, che sono sempre più rilevanti in un contesto di Industry 4.0 e 5.0. Un'indagine approfondita su come queste fabbriche possano contribuire a tali obiettivi, integrando pratiche sostenibili e riducendo l'impatto ambientale dei processi produttivi, potrebbe aprire nuove prospettive di ricerca e sviluppo. In sintesi, il lavoro futuro dovrebbe concentrarsi non solo sul completamento della revisione sistematica e sull'automatizzazione delle sue fasi, ma anche sull'espansione della portata delle analisi per includere questi aspetti critici, con l'obiettivo di rendere le Learning Factory strumenti sempre più efficaci, innovativi e sostenibili nel panorama industriale e formativo moderno.

SITOGRAFIA

<https://www.prisma-statement.org>

<https://www.rayyan.ai>

<https://www.anaconda.com>

<https://www.riskofbias.info/welcome/rob-2-0-tool>

<https://www.laser.ai>

<https://www.covidence.org>

<https://www.distillersr.com>

<https://www.popai.pro>

<https://asreview.nl>

<https://publish-or-perish.it.softonic.com>

<https://citationgecko.azurewebsites.net>

<https://medium.com/geekculture/using-citation-gecko-to-map-references-for-scientific-papers-9c0f2871c540>

<https://products.aspose.app/cells/it/merger/csv>

<https://www.jetbrains.com/pycharm/download/?section=mac>

<https://typeset.io>

BIBLIOGRAFIA

- Abele, E., Bauerdick, C.J.H., Strobel, N., Panten, N., 2016. ETA Learning Factory: A Holistic Concept for Teaching Energy Efficiency in Production. *Procedia CIRP* 54, 83–88. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.06.051>
- Abele, E., Chryssolouris, G., Sihn, W., Metternich, J., ElMaraghy, H., Seliger, G., Sivard, G., ElMaraghy, W., Hummel, V., Tisch, M., Seifermann, S., 2017a. Learning factories for future oriented research and education in manufacturing. *CIRP Annals* 66, 803–826. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.05.005>
- Abele, E., Flum, D., Strobel, N., 2017b. A Systematic Approach for Designing Learning Environments for Energy Efficiency in Industrial Production. *Procedia Manufacturing* 9, 9–16. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.001>
- Abele, E., Metternich, J., Tisch, M., Chryssolouris, G., Sihn, W., ElMaraghy, H., Hummel, V., Ranz, F., 2015. Learning Factories for Research, Education, and Training. *Procedia CIRP* 32, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.187>
- Adam, M., Hofbauer, M., Mandl, B., 2019. Integration of IT Into a Lean Basic Training: Target Group-Specific Insights and Recommendations. *Procedia Manufacturing* 31, 52–59. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.009>
- Ahmad, R., Masse, C., Jituri, S., Doucette, J., Mertiny, P., 2018. Alberta Learning Factory for training reconfigurable assembly process value stream mapping. *Procedia Manufacturing* 23, 237–242. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.023>
- Al Faruq, M.S.S., Sunoko, A., Ibda, H., Wahyudi, K., 2023. Digital Learning Management using OpenAI ChatGPT: A Systematic Literature Review. *IJLTER* 22, 21–41. <https://doi.org/10.26803/ijlter.22.12.2>
- Al Khatib, A., Malhaire, J.-M., Dauvé, S., Fougères, A.-J., 2023. PROJECT-BASED LEARNING FOR ENGINEERING STUDENTS IN THE CONTEXT OF INDUSTRY 4.0: APPLICATION TO AUTOMOTIVE ASSEMBLY SYSTEM. *Proc. Des. Soc.* 3, 2965–2974. <https://doi.org/10.1017/pds.2023.297>
- Alfnes, E., Romsdal, A., Strandhagen, J.O., Von Cieminski, G., Romero, D. (Eds.), 2023. *Advances in Production Management Systems. Production Management Systems for Responsible Manufacturing, Service, and Logistics Futures: IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2023, Trondheim, Norway, September 17–21, 2023, Proceedings, Part II, IFIP Advances in Information and Communication Technology.* Springer Nature Switzerland, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-43666-6>
- Al-Geddawy, T., 2020. A Digital Twin Creation Method for an Opensource Low-cost Changeable Learning Factory. *Procedia Manufacturing* 51, 1799–1805. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.250>

- AlGeddawy, T., 2019. A Simplified Changeable Learning Factory Design Based on a Granularity Complexity Model. *Procedia Manufacturing* 38, 654–662. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.084>
- Aljinovic, A., Crnjac, M., Nikola, G., Mladineo, M., Basic, A., Ivica, V., 2020. Integration of the human-robot system in the learning factory assembly process. *Procedia Manufacturing* 45, 158–163. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.088>
- Alonso-Perez, J.L., Cardenas-Maciel, S.L., Trujillo-Navarrete, B., Reynoso-Soto, E.A., Cazarez-Cazarez, N.R., 2022. An approach for designing smart manufacturing for the research and development of dye-sensitize solar cell. *J Intell Manuf* 33, 2307–2320. <https://doi.org/10.1007/s10845-021-01794-z>
- Alves, C., Putnik, G., 2019. Experiential Learning of CAD Systems Interoperability in Social Network-based Education. *Procedia CIRP* 84, 209–214. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.07.002>
- Anas, M., Shahzad, S.J.H., Yarovaya, L., 2024. The use of high-frequency data in cryptocurrency research: a meta-review of literature with bibliometric analysis. *Financ Innov* 10, 90. <https://doi.org/10.1186/s40854-023-00595-y>
- Andersen, A.-L., Brunoe, T.D., Nielsen, K., 2019. Engineering Education in Changeable and Reconfigurable Manufacturing: Using Problem-Based Learning in a Learning Factory Environment. *Procedia CIRP* 81, 7–12. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.002>
- Andrés, M., Álvaro, G., Julián, M., n.d. Advantages of Learning Factories for Production Planning based on shop floor simulation: A step towards smart factories in Industry 4.0.
- Angrisani, L., Arpaia, P., Bonavolontá, F., Moccaldi, N., Schiano Lo Moriello, R., 2020. A “learning small enterprise” networked with a FabLab: An academic course 4.0 in instrumentation and measurement. *Measurement* 150, 107063. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107063>
- Angrisani, L., Arpaia, P., Capaldo, G., Moccaldi, N., Salatino, P., Ventre, G., 2018. Evolution of the academic FabLab at University of Naples Federico II. *J. Phys.: Conf. Ser.* 1065, 022013. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1065/2/022013>
- Assad, F., Konstantinov, S., Rushforth, E.J., Vera, D.A., Harrison, R., 2020. A Literature Survey of Energy Sustainability in Learning Factories, in: 2020 IEEE 18th International Conference on Industrial Informatics (INDIN). Presented at the 2020 IEEE 18th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), IEEE, Warwick, United Kingdom, pp. 361–366. <https://doi.org/10.1109/INDIN45582.2020.9442119>
- Assuad, C.S.A., Tvenge, N., Martinsen, K., 2020. System dynamics modelling and learning factories for manufacturing systems education. *Procedia CIRP* 88, 15–18. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.003>
- Athinarayanan, R., Newell, B., Garcia, J., Ostanek, J., Diao, X., Sundararajan, R., Zhang, H., Richards, G., 2019. Learning in Context with Horizontally & Vertically Integrated Curriculum in

- a Smart Learning Factory. *Procedia Manufacturing* 31, 91–96. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.015>
- Auberger, E., Karre, H., Ramsauer, C., 2019. Introduction of a new product in an operating assembly process at Graz University of Technology´s LEAD Factory. *Procedia Manufacturing* 31, 103–108. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.017>
- Baena, F., Guarin, A., Mora, J., Sauza, J., Retat, S., 2017. Learning Factory: The Path to Industry 4.0. *Procedia Manufacturing* 9, 73–80. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.022>
- Balve, P., Albert, M., 2015. Project-based Learning in Production Engineering at the Heilbronn Learning Factory. *Procedia CIRP* 32, 104–108. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.215>
- Balve, P., Ebert, L., 2019. Ex Post Evaluation of a Learning Factory – Competence Development Based on Graduates Feedback. *Procedia Manufacturing* 31, 8–13. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.002>
- Bauernhansl, T., Tzempetonidou, M., Rossmeissl, T., Groß, E., Siegert, J., 2018. Requirements for designing a cyber-physical system for competence development. *Procedia Manufacturing* 23, 201–206. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.017>
- Bellucci, M., Chiurco, A., Cimino, A., Ferro, D., Longo, F., Padovano, A., 2022. Learning Factories: a review of state of the art and development of a morphological model for an Industrial Engineering Education 4.0, in: 2022 IEEE 21st Mediterranean Electrotechnical Conference (MELECON). Presented at the 2022 IEEE 21st Mediterranean Electrotechnical Conference (MELECON), IEEE, Palermo, Italy, pp. 260–265. <https://doi.org/10.1109/MELECON53508.2022.9843084>
- Bender, B., Kreimeier, D., Herzog, M., Wienbruch, T., 2015. Learning Factory 2.0 – Integrated View of Product Development and Production. *Procedia CIRP* 32, 98–103. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.226>
- Blöchl, S.J., Michalicki, M., Schneider, M., 2017. Simulation Game for Lean Leadership – Shopfloor Management Combined with Accounting for Lean. *Procedia Manufacturing* 9, 97–105. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.031>
- Blöchl, S.J., Schneider, M., 2016. Simulation Game for Intelligent Production Logistics – The PuLL® Learning Factory. *Procedia CIRP* 54, 130–135. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.04.100>
- Blume, S., Madanchi, N., Böhme, S., Posselt, G., Thiede, S., Herrmann, C., 2015. Die Lernfabrik – Research-based Learning for Sustainable Production Engineering. *Procedia CIRP* 32, 126–131. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.113>
- Böhner, J., Weeber, M., Kuebler, F., Steinhilper, R., 2015. Developing a Learning Factory to Increase Resource Efficiency in Composite Manufacturing Processes. *Procedia CIRP* 32, 64–69. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.05.003>

- Bortolini, M., Ferrari, E., Galizia, F.G., Mora, C., 2019. Implementation of Reconfigurable Manufacturing in the Italian Context: State-of-the-Art and Trends. *Procedia Manufacturing* 39, 591–598. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.425>
- Botha, N., Marais, S., 2021. Development of a Graphical User Interface as a Learning Tool for Artificial Intelligence, in: 2021 Rapid Product Development Association of South Africa - Robotics and Mechatronics - Pattern Recognition Association of South Africa (RAPDASA-RobMech-PRASA). Presented at the 2021 Rapid Product Development Association of South Africa - Robotics and Mechatronics - Pattern Recognition Association of South Africa (RAPDASA-RobMech-PRASA), IEEE, South Africa, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1109/RAPDASA-RobMech-PRAS53819.2021.9829102>
- Brenner, B., Hummel, V., 2016. A Seamless Convergence of the Digital and Physical Factory Aiming in Personalized Product Emergence Process (PPEP) for Smart Products within ESB Logistics Learning Factory at Reutlingen University. *Procedia CIRP* 54, 227–232. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.06.108>
- Brooks, S., McFarlane, D., Thorne, A., Ling, Z., Hawkrigde, G., Danaei, D., Tadeja, S., Ratchev, S., Rama Murthy, S., Kazantsev, N., Pattinson, S., Velu, C., Bohné, T., 2023. Design of a Demonstrator Environment for Investigating Multi-Factory Production and Operation Challenges, in: Thomas, A., Murphy, L., Morris, W., Dispenza, V., Jones, D. (Eds.), *Advances in Transdisciplinary Engineering*. IOS Press. <https://doi.org/10.3233/ATDE230908>
- Brüggemann, H., Stempin, S., Meier, J.-M., 2020. Consideration of digitalization for the purpose of resource efficiency in a learning factory. *Procedia Manufacturing* 45, 140–145. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.085>
- Brunoe, T.D., Mortensen, S.T., Andersen, A.-L., Nielsen, K., 2019. Learning Factory with Product Configurator for Teaching Product Family Modelling and Systems Integration. *Procedia Manufacturing* 28, 70–75. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.12.012>
- Buergin, J., Minguillon, F.E., Wehrle, F., Haefner, B., Lanza, G., 2017. Demonstration of a Concept for Scalable Automation of Assembly Systems in a Learning Factory. *Procedia Manufacturing* 9, 33–40. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.026>
- Buth, L., Juraschek, M., Posselt, G., Herrmann, C., 2018. Supporting SMEs towards adopting mixed reality : A training concept to bring the reality-virtuality continuum into application, in: 2018 IEEE 16th International Conference on Industrial Informatics (INDIN). Presented at the 2018 IEEE 16th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), IEEE, Porto, pp. 544–549. <https://doi.org/10.1109/INDIN.2018.8471990>
- Büth, L., Juraschek, M., Sangwan, K.S., Herrmann, C., Thiede, S., 2020. Integrating virtual and physical production processes in learning factories. *Procedia Manufacturing* 45, 121–127. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.082>
- Cano-Suñén, E., Martínez, I., Fernández, Á., Zalba, B., Casas, R., 2023. Internet of Things (IoT) in Buildings: A Learning Factory. *Sustainability* 15, 12219. <https://doi.org/10.3390/su151612219>

- Centea, D., Singh, I., Boer, J., 2020a. RFID in Manufacturing: An Implementation Case in the SEPT Learning Factory. *Procedia Manufacturing* 51, 543–548. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.076>
- Centea, D., Singh, I., Elbestawi, M., 2019. SEPT Approaches for Education and Training using a Learning Factory. *Procedia Manufacturing* 31, 109–115. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.018>
- Centea, D., Singh, I., Wanyama, T., Magolon, M., Boer, J., Elbestawi, M., 2020b. Using the SEPT Learning Factory for the Implementation of Industry 4.0: case of SMEs. *Procedia Manufacturing* 45, 102–107. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.079>
- Centea, D., Singh, I., Yakout, M., Boer, J., Elbestawi, M., 2020c. Opportunities and Challenges in Integrating Additive Manufacturing in the SEPT Learning Factory. *Procedia Manufacturing* 45, 108–113. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.080>
- Chauhan, A., Mohana, R., 2022. Implementing LDA Topic Modelling Technique to Study User Reviews in Tourism, in: 2022 Seventh International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing (PDGC). Presented at the 2022 Seventh International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing (PDGC), IEEE, Solan, Himachal Pradesh, India, pp. 357–360. <https://doi.org/10.1109/PDGC56933.2022.10053153>
- Chelini, J., Richert, D., 2023. Teaching Engineering Design for Industry 4.0 Using a Cyber-Physical Learning Factory. *IFAC-PapersOnLine* 56, 4699–4704. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2023.10.994>
- Conrad, A., Oberc, H., Wannöffel, M., Kuhlenkötter, B., 2019. Co-determination – An interdisciplinary concept to train PhD students from different disciplines. *Procedia Manufacturing* 31, 129–135. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.020>
- Cunha, C.D., Cardin, O., Gallot, G., Viaud, J., 2021. Designing the Digital Twins of Reconfigurable Manufacturing Systems: application on a smart factory. *IFAC-PapersOnLine* 54, 874–879. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.08.103>
- Czarski, M., Ng, Y.T., Vogt, M., Juraschek, M., Thiede, B., Tan, P.S., Thiede, S., Herrmann, C., 2020. A Mixed Reality application for studying the improvement of HVAC systems in learning factories. *Procedia Manufacturing* 45, 373–378. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.039>
- Dahl, H., Tvenge, N., Assuad, C.S.A., Martinsen, K., 2023. A Learning Approach for Future Competencies in Manufacturing using a Learning Factory. *Procedia CIRP* 118, 1039–1043. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.06.178>
- Dallasega, P., Revolti, A., Sauer, P.C., Schulze, F., Rauch, E., 2020. BIM, Augmented and Virtual Reality empowering Lean Construction Management: a project simulation game. *Procedia Manufacturing* 45, 49–54. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.059>
- Darun, M.R., Palm, D., Athinarayanan, R., Hummel, V., Von Leipzig, K., 2019. The Learning Factory – A New Stimulus to Enhance International Collaboration. *Procedia Manufacturing* 31, 290–295. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.046>

- Devika, Raj, P., Venugopal, A., Thiede, B., Herrmann, C., Sangwan, K.S., 2020. Development of the Transversal Competencies in Learning Factories. *Procedia Manufacturing* 45, 349–354. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.031>
- Eder, M., Hulla, M., Mast, F., Ramsauer, C., 2020a. On the application of Augmented Reality in a learning factory working environment. *Procedia Manufacturing* 45, 7–12. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.030>
- Eder, M., Ketenci, A., Auberger, E., Gotthard, M., Ramsauer, C., 2020b. Integration of low-cost digital energy meters in learning factory assembly lines. *Procedia Manufacturing* 45, 202–207. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.095>
- Elbestawi, M., Centea, D., Singh, I., Wanyama, T., 2018. SEPT Learning Factory for Industry 4.0 Education and Applied Research. *Procedia Manufacturing* 23, 249–254. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.025>
- ElMaraghy, H., ElMaraghy, W., 2015. Learning Integrated Product and Manufacturing Systems. *Procedia CIRP* 32, 19–24. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.222>
- ElMaraghy, H., Moussa, M., ElMaraghy, W., Abbas, M., 2017. Integrated Product / System Design and Planning for New Product Family in a Changeable Learning Factory. *Procedia Manufacturing* 9, 65–72. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.008>
- Engelhardt-Nowitzki, C., Aburaia, M., Otrebski, R., Rauer, J., Orsolits, H., 2020. Research-based teaching in Digital Manufacturing and Robotics – the Digital Factory at the UAS Technikum Wien as a Case Example. *Procedia Manufacturing* 45, 164–170. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.089>
- Enke, J., Glass, R., Kreß, A., Hambach, J., Tisch, M., Metternich, J., 2018a. Industrie 4.0 – Competencies for a modern production system. *Procedia Manufacturing* 23, 267–272. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.028>
- Enke, J., Kraft, K., Metternich, J., 2015. Competency-oriented Design of Learning Modules. *Procedia CIRP* 32, 7–12. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.211>
- Enke, J., Metternich, J., Bentz, D., Klaes, P.-J., 2018b. Systematic learning factory improvement based on maturity level assessment. *Procedia Manufacturing* 23, 51–56. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.160>
- Enke, J., Tisch, M., Metternich, J., 2016. Learning Factory Requirements Analysis – Requirements of Learning Factory Stakeholders on Learning Factories. *Procedia CIRP* 55, 224–229. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.026>
- Erdmann, J.G., Hummela, V., Leipzig, K.V., Schuhmacher, J., 2020. Development and implementation of an autonomous control system for target-optimised use of intralogistics transport systems in the Learning Factory Werk 150 at Reutlingen University. *Procedia Manufacturing* 45, 405–410. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.044>
- Erol, S., Hold, P., 2016. Keeping Track of the Physical in Assembly Processes, in: 2016 IEEE 20th International Enterprise Distributed Object Computing Workshop (EDOCW). Presented at the

- 2016 IEEE 20th International Enterprise Distributed Object Computing Workshop (EDOCW), IEEE, Vienna, Austria, pp. 1–4. <https://doi.org/10.1109/EDOCW.2016.7584365>
- Erol, S., Jäger, A., Hold, P., Ott, K., Sihn, W., 2016. Tangible Industry 4.0: A Scenario-Based Approach to Learning for the Future of Production. *Procedia CIRP* 54, 13–18. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.162>
- Faller, C., Feldmüller, D., 2015. Industry 4.0 Learning Factory for regional SMEs. *Procedia CIRP* 32, 88–91. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.117>
- Faller, C., Höftmann, M., 2018. Service-oriented communication model for cyber-physical-production-systems. *Procedia CIRP* 67, 156–161. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.12.192>
- Fuertes, J.J., González-Herbón, R., Rodríguez-Ossorio, J.R., González-Mateos, G., Alonso, S., Morán, A., 2023. Guidelines to develop demonstration models on industry 4.0 for engineering training. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 36, 1465–1481. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2023.2189308>
- García, Á., Bregon, A., Martínez-Prieto, M.A., 2022. Towards a connected Digital Twin Learning Ecosystem in manufacturing: Enablers and challenges. *Computers & Industrial Engineering* 171, 108463. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108463>
- Gjeldum, N., Mladineo, M., Crnjac, M., Veza, I., Aljinovic, A., 2018. Performance analysis of the RFID system for optimal design of the intelligent assembly line in the learning factory. *Procedia Manufacturing* 23, 63–68. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.162>
- Gjeldum, N., Mladineo, M., Veza, I., 2016. Transfer of Model of Innovative Smart Factory to Croatian Economy Using Lean Learning Factory. *Procedia CIRP* 54, 158–163. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.06.096>
- Glass, R., Metternich, J., 2020. Method to measure competencies - a concept for development, design and validation. *Procedia Manufacturing* 45, 37–42. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.056>
- Glass, R., Miersch, P., Metternich, J., 2018. Influence of learning factories on students' success – a case study. *Procedia CIRP* 78, 155–160. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.08.307>
- Goerke, M., Schmidt, M., Busch, J., Nyhuis, P., 2015. Holistic Approach of Lean Thinking in Learning Factories. *Procedia CIRP* 32, 138–143. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.221>
- Görke, M., Bellmann, V., Busch, J., Nyhuis, P., 2017. Employee Qualification by Digital Learning Games. *Procedia Manufacturing* 9, 229–237. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.040>
- Gotthardt, S., Hulla, M., Eder, M., Karre, H., Ramsauer, C., 2019. Digitalized milk-run system for a learning factory assembly line. *Procedia Manufacturing* 31, 175–179. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.028>
- Gräßler, I., Pöhler, A., Pottebaum, J., 2016a. Creation of a Learning Factory for Cyber Physical Production Systems. *Procedia CIRP* 54, 107–112. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.063>

- Gräßler, I., Taplick, P., Yang, X., 2016b. Educational Learning Factory of a Holistic Product Creation Process. *Procedia CIRP* 54, 141–146. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.103>
- Grøn, H.G., Lindgren, K., Nielsen, I.H., 2020. Presenting the UCN Industrial Playground for teaching and researching Industry 4.0. *Procedia Manufacturing* 45, 196–201. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.094>
- Gronau, N., Ullrich, A., Teichmann, M., 2017. Development of the Industrial IoT Competences in the Areas of Organization, Process, and Interaction Based on the Learning Factory Concept. *Procedia Manufacturing* 9, 254–261. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.029>
- Grube, D., Malik, A.A., Bilberg, A., 2019. SMEs can touch Industry 4.0 in the Smart Learning Factory. *Procedia Manufacturing* 31, 219–224. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.035>
- Gualtieri, L., Rojas, R., Carabin, G., Palomba, I., Rauch, E., Vidoni, R., Matt, D.T., 2018. Advanced Automation for SMEs in the I4.0 Revolution: Engineering Education and Employees Training in the Smart Mini Factory Laboratory, in: 2018 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM). Presented at the 2018 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), IEEE, Bangkok, Thailand, pp. 1111–1115. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2018.8607719>
- Hambach, J., Diezemann, C., Tisch, M., Metternich, J., 2016. Assessment of Students' Lean Competencies with the Help of Behavior Video Analysis – Are Good Students Better Problem Solvers? *Procedia CIRP* 55, 230–235. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.08.012>
- Hambach, J., Tenberg, R., Metternich, J., 2015. Guideline-based Video Analysis of Competencies for a Target-oriented Continuous Improvement Process. *Procedia CIRP* 32, 25–30. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.212>
- Hegedic, M., Greguric, P., Golec, M., Gudlin, M., 2022. Development of Learning Factory Directory - DoLF, in: 2022 21st International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH). Presented at the 2022 21st International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH), IEEE, East Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, pp. 1–5. <https://doi.org/10.1109/INFOTEH53737.2022.9751321>
- Helm, R., Reise, C., Rößle, D., 2014. Learning Factories for Sustainable Manufacturing - A Generic Design Approach. *AMR* 1018, 517–524. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1018.517>
- Hennig, M., Reisinger, G., Trautner, T., Hold, P., Gerhard, D., Mazak, A., 2019. TU Wien Pilot Factory Industry 4.0. *Procedia Manufacturing* 31, 200–205. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.032>
- Henning, M., Hagedorn-Hansen, D., Von Leipzig, K., 2017. METACOGNITIVE LEARNING: SKILLS DEVELOPMENT THROUGH GAMIFICATION AT THE STELLENBOSCH LEARNING FACTORY AS A CASE STUDY. *SAJIE* 28. <https://doi.org/10.7166/28-3-1845>
- Heredia-Marin, I.B., Tijerina-Berzosa, A., Vazquez-Badillo, P.E., Osorio-Oliveros, R., Vazquez-Hurtado, C., 2022. Work in Progress: Developing Competencies by Designing an Adaptive

- Automated Storage And Retrieval System Using ROS, in: 2022 IEEE World Engineering Education Conference (EDUNINE). Presented at the 2022 IEEE World Engineering Education Conference (EDUNINE), IEEE, Santos, Brazil, pp. 1–4. <https://doi.org/10.1109/EDUNINE53672.2022.9782352>
- Herstätter, P., Wildbolz, T., Hulla, M., Ramsauer, C., 2020. Data acquisition to enable Research, Education and Training in Learning Factories and Makerspaces. *Procedia Manufacturing* 45, 289–294. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.019>
- Hofmann, C., Lauber, S., Haefner, B., Lanza, G., 2018. Development of an agile development method based on Kanban for distributed part-time teams and an introduction framework. *Procedia Manufacturing* 23, 45–50. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.159>
- Hulla, M., Hammer, M., Karre, H., Ramsauer, C., 2019. A case study based digitalization training for learning factories. *Procedia Manufacturing* 31, 169–174. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.027>
- Hummel, V., Hyra, K., Ranz, F., Schuhmacher, J., 2015. Competence Development for the Holistic Design of Collaborative Work Systems in the Logistics Learning Factory. *Procedia CIRP* 32, 76–81. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.111>
- Jamaludin, K.A., Ealangov, S., Saleh, S.N.H.M., Zabidi, N.A., Alias, N., Yasin, M.H.M., Alias, B.S., 2023. Reshaping the Curriculum for Academy in Factory in Malaysia. *Front. Psychol.* 14, 1120611. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1120611>
- Jing, Z., Turi, J.A., Lu, S., Rosak-Szyrocka, J., 2023. Sustainability through Factory-Based Learning in Higher Education. *Sustainability* 15, 5376. <https://doi.org/10.3390/su15065376>
- Jooste, J.L., Louw, L., Leipzig, K.V., Conradie, P.D.F., Asekun, O.O., Lucke, D., Hagedorn-Hansen, D., 2020. Teaching maintenance plan development in a learning factory environment. *Procedia Manufacturing* 45, 379–385. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.040>
- Juraschek, M., Cerdas, F., Posselt, G., Herrmann, C., 2017. Experiencing Closed Loop Manufacturing in a Learning Environment. *Procedia Manufacturing* 9, 57–64. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.046>
- Karre, H., Hammer, M., Kleindienst, M., Ramsauer, C., 2017. Transition towards an Industry 4.0 State of the LeanLab at Graz University of Technology. *Procedia Manufacturing* 9, 206–213. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.006>
- Karre, H., Hammer, M., Ramsauer, C., 2019. Building capabilities for agility in a learning factory setting. *Procedia Manufacturing* 31, 60–65. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.010>
- Karre, H., Hammer, M., Ramsauer, C., 2018. Learn how to cope with volatility in operations at Graz University of Technology's LEAD Factory. *Procedia Manufacturing* 23, 15–20. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.154>
- Kemény, Z., Beregi, R., Nacs, J., Kardos, C., Horváth, D., 2018. Human–robot collaboration in the MTA SZTAKI learning factory facility at Győr. *Procedia Manufacturing* 23, 105–110. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.001>

- Kemény, Z., Beregi, R.J., Erdős, G., Nacsa, J., 2023. Co-Creation of Production Resources and Processes in Pilot and Learning Factories—a Case Study. *IFAC-PapersOnLine* 56, 7820–7825. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2023.10.1148>
- Kemény, Z., Beregi, R.J., Erdős, G., Nacsa, J., 2016a. The MTA SZTAKI Smart Factory: Platform for Research and Project-oriented Skill Development in Higher Education. *Procedia CIRP* 54, 53–58. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.060>
- Kemény, Z., Nacsa, J., Erdős, G., Glawar, R., Sihn, W., Monostori, L., Ilie-Zudor, E., 2016b. Complementary Research and Education Opportunities—A Comparison of Learning Factory Facilities and Methodologies at TU Wien and MTA SZTAKI. *Procedia CIRP* 54, 47–52. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.064>
- Kipper, L.M., Iepsen, S., Dal Forno, A.J., Frozza, R., Furstenau, L., Agnes, J., Cossul, D., 2021. Scientific mapping to identify competencies required by industry 4.0. *Technology in Society* 64, 101454. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101454>
- Kleinwort, R., Semm, T., Falger, P.M., Zaeh, M.F., 2018. Integration of an Android Application into the Learning Factory for Optimized Machining. *Procedia Manufacturing* 23, 9–14. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.153>
- Kleppe, P.S., Bjelland, O., Hansen, I.E., Mork, O.-J., 2022. Idea Lab: Bridging Product Design and Automatic Manufacturing in Engineering Education 4.0, in: 2022 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON). Presented at the 2022 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), IEEE, Tunis, Tunisia, pp. 195–200. <https://doi.org/10.1109/EDUCON52537.2022.9766542>
- Kohlweiss, A., Auberger, E., Ketenci, A., Ramsauer, C., 2020. Integration of a teardown approach at Graz University of Technology's LEAD Factory. *Procedia Manufacturing* 45, 240–245. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.101>
- Kolesnyk, O., Bubeník, Ing.P., Čapek, J., 2021. Cloud platform for learning factories. *Transportation Research Procedia* 55, 561–567. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.07.022>
- Kreimeier, D., Morlock, F., Prinz, C., Krückhans, B., Bakir, D.C., Meier, H., 2014. Holistic Learning Factories – A Concept to Train Lean Management, Resource Efficiency as Well as Management and Organization Improvement Skills. *Procedia CIRP* 17, 184–188. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.01.040>
- Kreß, A., Metternich, J., 2020. System development for the configuration of learning factories. *Procedia Manufacturing* 45, 146–151. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.086>
- Kumar, D., Kukreja, V., 2024. Image segmentation, classification, and recognition methods for wheat diseases: Two Decades' systematic literature review. *Computers and Electronics in Agriculture* 221, 109005. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109005>
- Kumar, R., Patil, O., Nath S, K., Rohilla, K., Singh Sangwan, K., 2021a. Machine Vision and Radio-Frequency Identification (RFID) based Real-Time Part Traceability in a Learning Factory. *Procedia CIRP* 104, 630–635. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.106>

- Kumar, Rishi, Patil, O., Nath S, K., Sangwan, K.S., Kumar, Rajneesh, 2021b. A Machine Vision-based Cyber-Physical Production System for Energy Efficiency and Enhanced Teaching-Learning Using a Learning Factory. *Procedia CIRP* 98, 424–429. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.01.128>
- Küsters, D., Praß, N., Gloy, Y.-S., 2017. Textile Learning Factory 4.0 – Preparing Germany’s Textile Industry for the Digital Future. *Procedia Manufacturing* 9, 214–221. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.035>
- Lagorio, A., Cimini, C., 2024. Towards 5.0 skills acquisition for students in industrial engineering: the role of learning factories. *Procedia Computer Science* 232, 317–326. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.01.031>
- Lagorio, A., Pinto, R., Golini, R., 2016. Research in urban logistics: a systematic literature review. *IJPDLM* 46, 908–931. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-01-2016-0008>
- Lagorio, A., Zenezini, G., Mangano, G., Pinto, R., 2022. A systematic literature review of innovative technologies adopted in logistics management. *International Journal of Logistics Research and Applications* 25, 1043–1066. <https://doi.org/10.1080/13675567.2020.1850661>
- Lang, S., Reggelin, T., Jobran, M., Hofmann, W., 2018. Towards a Modular, Decentralized and Digital Industry 4.0 Learning Factory, in: 2018 Sixth International Conference on Enterprise Systems (ES). Presented at the 2018 Sixth International Conference on Enterprise Systems (ES), IEEE, Limassol, pp. 123–128. <https://doi.org/10.1109/ES.2018.00026>
- Lanza, G., Minges, S., Stoll, J., Moser, E., Haefner, B., 2016. Integrated and Modular Didactic and Methodological Concept for a Learning Factory. *Procedia CIRP* 54, 136–140. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.06.107>
- Lanza, G., Moser, E., Stoll, J., Haefner, B., 2015. Learning Factory on Global Production. *Procedia CIRP* 32, 120–125. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.081>
- Leal, L.F., Fleury, A., Zancul, E., 2020. Starting up a Learning Factory focused on Industry 4.0. *Procedia Manufacturing* 45, 436–441. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.049>
- Li, F., Yang, J., Wang, J., Li, S., Zheng, L., 2019. Integration of digitization trends in learning factories. *Procedia Manufacturing* 31, 343–348. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.054>
- Liao, R., Hu, L., Yu, J., Chen, Y., Chen, M., Yan, J., Li, X., Han, X., Jike, C., Yu, G., Wang, J., Liao, Q., Xia, L., Bai, X., Shi, J., Jiang, T., Du, L., Zhang, T., 2024. Association between TB delay and TB treatment outcomes in HIV-TB co-infected patients: a study based on the multilevel propensity score method. *BMC Infect Dis* 24, 457. <https://doi.org/10.1186/s12879-024-09328-7>
- Liebrecht, C., Hochdörffer, J., Treber, S., Moser, E., Erbacher, T., Gidion, G., Lanza, G., 2017. Concept Development for the Verification of the Didactic Competence Promotion for the Learning Factory on Global Production. *Procedia Manufacturing* 9, 315–322. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.019>

- Lindvig, K., Mathiasen, H., 2020. Translating the Learning Factory model to a Danish Vocational Education Setting. *Procedia Manufacturing* 45, 90–95. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.077>
- Liyanawaduge, N.N., Kumarasinghe, E.M.H.K., Iyer, S.S., Kulatunga, A.K., Lakmal, G., 2023. Digital Twin & Virtual Reality Enabled Conveyor System to Promote Learning Factory Concept, in: 2023 IEEE 17th International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS). Presented at the 2023 IEEE 17th International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS), IEEE, Peradeniya, Sri Lanka, pp. 85–90. <https://doi.org/10.1109/ICIIS58898.2023.10253555>
- Louw, L., Deacon, Q., 2020. Teaching Industrie 4.0 technologies in a learning factory through problem-based learning: case study of a semi-automated robotic cell design. *Procedia Manufacturing* 45, 265–270. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.105>
- Louw, L., Droomer, M., 2019. Development of a low cost machine vision based quality control system for a learning factory. *Procedia Manufacturing* 31, 264–269. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.042>
- Louw, L., Walker, M., 2018. Design and implementation of a low cost RFID track and trace system in a learning factory. *Procedia Manufacturing* 23, 255–260. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.026>
- Lozano, C.V., Vijayan, K.K., 2020. Literature review on Cyber Physical Systems Design. *Procedia Manufacturing* 45, 295–300. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.020>
- Lugaresi, G., Frigerio, N., Matta, A., 2020. A New Learning Factory Experience Exploiting LEGO For Teaching Manufacturing Systems Integration. *Procedia Manufacturing* 45, 271–276. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.106>
- Lutters, E., Damgrave, R., 2023. Digital twinning as the basis for integration of education and research in a learning factory. *Procedia CIRP* 120, 1463–1468. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.09.194>
- Madsen, O., Møller, C., 2017. The AAU Smart Production Laboratory for Teaching and Research in Emerging Digital Manufacturing Technologies. *Procedia Manufacturing* 9, 106–112. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.036>
- Maheso, N., Mpofo, K., Ramatsetse, B., 2019. A Learning Factory concept for skills enhancement in rail car manufacturing industries. *Procedia Manufacturing* 31, 187–193. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.030>
- Mahmoodpour, M., Lobov, A., 2019. A knowledge-based approach to the IoT-driven data integration of enterprises. *Procedia Manufacturing* 31, 283–289. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.045>
- Makumbe, S., Hattingh, T., Plint, N., Esterhuizen, D., 2018. Effectiveness of using Learning Factories to impart Lean principles in mining employees. *Procedia Manufacturing* 23, 69–74. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.163>

- Manten, K., Katzenschlager, S., Brümmer, L.E., Schmitz, S., Gaeddert, M., Erdmann, C., Grilli, M., Pollock, N.R., Macé, A., Erkosar, B., Carmona, S., Ongarello, S., Johnson, C.C., Sacks, J.A., Faehling, V., Bornemann, L., Weigand, M.A., Denkinger, C.M., Yerlikaya, S., 2024. Clinical accuracy of instrument-based SARS-CoV-2 antigen diagnostic tests: a systematic review and meta-analysis. *Virology* 21, 99. <https://doi.org/10.1186/s12985-024-02371-5>
- Marian, R., Campbell, D., Jin, Z., Stumptner, M., Chahl, J., 2019. Challenges in Implementing Industry 4 Laboratories and Learning Factories in Academia, in: 2019 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM). Presented at the 2019 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), IEEE, Macao, Macao, pp. 506–510. <https://doi.org/10.1109/IEEM44572.2019.8978634>
- Marmier, F., Deniaud, I., Rasovska, I., Michalak, J.-L., 2021. Towards a proactive vision of the training for the 4.0 Industry: From the required skills diagnostic to the training of employees. *IFAC-PapersOnLine* 54, 1144–1149. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.08.135>
- Marshall, I.J., Kuiper, J., Wallace, B.C., 2016. RobotReviewer: evaluation of a system for automatically assessing bias in clinical trials. *Journal of the American Medical Informatics Association* 23, 193–201. <https://doi.org/10.1093/jamia/ocv044>
- Marshall, I.J., Wallace, B.C., 2019. Toward systematic review automation: a practical guide to using machine learning tools in research synthesis. *Syst Rev* 8, 163, s13643-019-1074–9. <https://doi.org/10.1186/s13643-019-1074-9>
- Martinez, P., Vargas-Martinez, A., Roman-Flores, A., Ahmad, R., 2020. A science mapping study on learning factories research. *Procedia Manufacturing* 45, 84–89. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.072>
- Masoumi, S., Shahraz, S., 2022. Meta-analysis using Python: a hands-on tutorial. *BMC Med Res Methodol* 22, 193. <https://doi.org/10.1186/s12874-022-01673-y>
- Masse, C., Martinez, P., Mertiny, P., Ahmad, R., 2019. A Hybrid Method Based on Systems Approach to Enhance Experiential Learning in Mechatronic Education, in: 2019 7th International Conference on Control, Mechatronics and Automation (ICCMA). Presented at the 2019 7th International Conference on Control, Mechatronics and Automation (ICCMA), IEEE, Delft, Netherlands, pp. 403–407. <https://doi.org/10.1109/ICCMA46720.2019.8988746>
- Matt, D.T., Rauch, E., Dallasega, P., 2014. Mini-factory – A Learning Factory Concept for Students and Small and Medium Sized Enterprises. *Procedia CIRP* 17, 178–183. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.01.057>
- Mattsson, S., Salunke, O., Fast-Berglund, Å., Li, D., Skoogh, A., 2018. Design concept towards a human-centered learning factory. *Procedia Manufacturing* 25, 526–534. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.06.121>
- Mavrikios, D., Alexopoulos, K., Georgoulas, K., Makris, S., Michalos, G., Chryssolouris, G., 2019. Using Holograms for visualizing and interacting with educational content in a Teaching Factory. *Procedia Manufacturing* 31, 404–410. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.063>

- Mavrikios, D., Sipsas, K., Smparounis, K., Rentzos, L., Chryssolouris, G., 2017. A Web-based Application for Classifying Teaching and Learning Factories. *Procedia Manufacturing* 9, 222–228. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.002>
- Mazzuto, G., Antomarioni, S., Marcucci, G., Ciarapica, F.E., Bevilacqua, M., 2022. Learning-by-Doing Safety and Maintenance Practices: A Pilot Course. *Sustainability* 14, 9635. <https://doi.org/10.3390/su14159635>
- Menn, J.P., Sieckmann, F., Kohl, H., Seliger, G., 2018. Learning process planning for special machinery assembly. *Procedia Manufacturing* 23, 75–80. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.164>
- Merkel, L., Atug, J., Berger, C., Braunreuther, S., Reinhart, G., 2018. Mass Customization and Paperless Assembly in the Learning Factory for Cyber-Physical-Production Systems: Learning Module ‘From Paperbased to Paperless Assembly,’ in: 2018 IEEE 18th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT). Presented at the 2018 IEEE 18th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT), IEEE, Mumbai, pp. 270–271. <https://doi.org/10.1109/ICALT.2018.00130>
- Merkel, L., Atug, J., Merhar, L., Schultz, C., Braunreuther, S., Reinhart, G., 2017. Teaching Smart Production: An Insight into the Learning Factory for Cyber-Physical Production Systems (LVP). *Procedia Manufacturing* 9, 269–274. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.034>
- Merz, R., Hoch, R., Drexel, D., 2020. A Cloud-Based Research and Learning Factory for Industrial Production. *Procedia Manufacturing* 45, 215–221. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.097>
- Mladineo, M., Veza, I., Gjeldum, N., Crnjac, M., Aljinovic, A., Basic, A., 2019. Integration and testing of the RFID-enabled Smart Factory concept within the Learning Factory. *Procedia Manufacturing* 31, 384–389. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.060>
- Moldavska, A., Abreu-Peralta, J.V., 2016. Learning Factories for the Operationalization of Sustainability Assessment Tools for Manufacturing: Bridging the Gap between Academia and Industry. *Procedia CIRP* 54, 95–100. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.104>
- Molina Vargas, D.G., Vijayan, K.K., Mork, O.J., 2020. Augmented Reality for Future Research Opportunities and Challenges in the Shipbuilding Industry: A Literature Review. *Procedia Manufacturing* 45, 497–503. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.063>
- Mortensen, S.T., Madsen, O., 2018. A Virtual Commissioning Learning Platform. *Procedia Manufacturing* 23, 93–98. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.167>
- Mortensen, S.T., Nygaard, K.K., Madsen, O., 2019. Outline of an Industry 4.0 Awareness Game. *Procedia Manufacturing* 31, 309–315. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.049>
- Mourtzis, D., Angelopoulos, J., Dimitrakopoulos, G., 2020a. Design and development of a flexible manufacturing cell in the concept of learning factory paradigm for the education of generation 4.0 engineers. *Procedia Manufacturing* 45, 361–366. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.035>

- Mourtzis, D., Boli, N., Dimitrakopoulos, G., Zygomalas, S., Koutoupes, A., 2018. Enabling Small Medium Enterprises (SMEs) to improve their potential through the Teaching Factory paradigm. *Procedia Manufacturing* 23, 183–188. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.014>
- Mourtzis, D., Siatras, V., Angelopoulos, J., Panopoulos, N., 2020b. An Augmented Reality Collaborative Product Design Cloud-Based Platform in the Context of Learning Factory. *Procedia Manufacturing* 45, 546–551. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.076>
- Mukku, V.D., Lang, S., Reggelin, T., 2019. Integration of LiFi Technology in an Industry 4.0 Learning Factory. *Procedia Manufacturing* 31, 232–238. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.037>
- Müller, B.C., Menn, J.P., Seliger, G., 2017. Procedure for Experiential Learning to Conduct Material Flow Simulation Projects, Enabled by Learning Factories. *Procedia Manufacturing* 9, 283–290. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.047>
- Müller-Frommeyer, L.C., Aymans, S.C., Bargmann, C., Kauffeld, S., Herrmann, C., 2017. Introducing Competency Models as a Tool for Holistic Competency Development in Learning Factories: Challenges, Example and Future Application. *Procedia Manufacturing* 9, 307–314. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.015>
- Neacșu (Dobrișan), G.C., Nițu, E.L., Gavriluță, A.C., Vlad, G.G., Dobre, E.M., Gheorghe, M., Stan, M.M., 2024. Process Analysis and Modelling of Operator Performance in Classical and Digitalized Assembly Workstations. *Processes* 12, 533. <https://doi.org/10.3390/pr12030533>
- Nielsen, C.P., Malik, A.A., Hansen, D.G., Bilberg, A., 2019. Low-Cost 3D Scanning in a Smart Learning Factory. *Procedia Manufacturing* 38, 824–831. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.163>
- Niemeyer, C.L., Gehrke, I., Müller, K., Küsters, D., Gries, T., 2020. Getting Small Medium Enterprises started on Industry 4.0 using retrofitting solutions. *Procedia Manufacturing* 45, 208–214. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.096>
- Nitu, E.L., Gavriluta, A.C., 2019. Lean Learning Factory at the University of Pitesti. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 591, 012095. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/591/1/012095>
- Nöhring, F., Rieger, M., Erohin, O., Deuse, J., Kuhlenkötter, B., 2015. An Interdisciplinary and Hands-on Learning Approach for Industrial Assembly Systems. *Procedia CIRP* 32, 109–114. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.112>
- Oberc, H., Fahle, S., Prinz, C., Kuhlenkötter, B., 2020. A Practical Training Approach in Learning Factories to Make Artificial Intelligence Tangible. *Procedia CIRP* 93, 467–472. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.04.074>
- Oberc, H., Kuhlenkötter, B., 2020. Methodology for the development of transformation concepts for digital challenges in the production site. *Procedia Manufacturing* 45, 485–490. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.060>

- Oberc, H., Prinz, C., Glogowski, P., Lemmerz, K., Kuhlenkötter, B., 2019. Human Robot Interaction – learning how to integrate collaborative robots into manual assembly lines. *Procedia Manufacturing* 31, 26–31. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.005>
- Oberc, H., Reuter, M., Wannöffel, M., Kuhlenkötter, B., 2018. Development of a learning factory concept to train participants regarding digital and human centered decision support. *Procedia Manufacturing* 23, 165–170. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.011>
- Oberhausen, C., Plapper, P., 2015. Value Stream Management in the “Lean Manufacturing Laboratory.” *Procedia CIRP* 32, 144–149. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.087>
- Ogbemhe, J., Mpofo, K., Tlale, N., Ramatsetse, B., 2019. Application of robotics in rail car manufacturing learning factory: A case of welding complex joints. *Procedia Manufacturing* 31, 316–322. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.050>
- Ogorodnyk, O., Granheim, M., Holtskog, H., Ogorodnyk, I., 2017. Roller Skis Assembly Line Learning Factory – Development and Learning Outcomes. *Procedia Manufacturing* 9, 121–126. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.045>
- Ogorodnyk, O., Granheim, M.V., Holtskog, H., 2016. Preconditions for Learning Factory A Case Study. *Procedia CIRP* 54, 35–40. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.076>
- Omidvarkarjan, D., Conrad, J., Herbst, C., Klahn, C., Meboldt, M., 2020. Bender – An Educational Game for Teaching Agile Hardware Development. *Procedia Manufacturing* 45, 313–318. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.023>
- Önal Süzek, T., 2017. Using latent semantic analysis for automated keyword extraction from large document corpora. *Turk J Elec Eng & Comp Sci* 25, 1784–1794. <https://doi.org/10.3906/elk-1511-203>
- Orozco, E., Cárdenas, P.C., López, J.A., Rodriguez, C.K., 2024. Low-cost desktop learning factory to support the teaching of artificial intelligence. *HardwareX* 18, e00528. <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2024.e00528>
- Pechmann, A., Wermann, J., Colombo, A.W., Zarte, M., 2019. Using a semi-automated job-shop production system model to prepare students for the challenges of Industrial Cyber-Physical Systems. *Procedia Manufacturing* 31, 377–383. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.059>
- Petrusch, N., Schliephack, W., Kohl, H., 2020. Evaluation Model for Mobility Design of Learning Factories. *Procedia CIRP* 91, 659–664. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.224>
- Petrusch, N., Sieckmann, F., Menn, J.P., Kohl, H., 2019. Integration of Active Pharmaceutical Ingredient production into a pharmaceutical Lean Learning Factory. *Procedia Manufacturing* 31, 245–250. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.039>
- Pilati, F., Faccio, M., Gamberi, M., Regattieri, A., 2020. Learning manual assembly through real-time motion capture for operator training with augmented reality. *Procedia Manufacturing* 45, 189–195. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.093>

- Pittschellis, R., 2015. Multimedia Support for Learning Factories. *Procedia CIRP* 32, 36–40. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.06.001>
- Plorin, D., Jentsch, D., Hopf, H., Müller, E., 2015. Advanced Learning Factory (aLF) – Method, Implementation and Evaluation. *Procedia CIRP* 32, 13–18. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.115>
- Posada, J., Zorrilla, M., Dominguez, A., Simoes, B., Eisert, P., Stricker, D., Rambach, J., Dollner, J., Guevara, M., 2018. Graphics and Media Technologies for Operators in Industry 4.0. *IEEE Comput. Grap. Appl.* 38, 119–132. <https://doi.org/10.1109/MCG.2018.053491736>
- Posselt, G., Böhme, S., Aymans, S., Herrmann, C., Kauffeld, S., 2016. Intelligent Learning Management by Means of Multi-sensory Feedback. *Procedia CIRP* 54, 77–82. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.061>
- Prinz, C., Kreggenfeld, N., Kuhlenkötter, B., 2018. Lean meets Industrie 4.0 – a practical approach to interlink the method world and cyber-physical world. *Procedia Manufacturing* 23, 21–26. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.155>
- Prinz, C., Kreimeier, D., Kuhlenkötter, B., 2017. Implementation of a Learning Environment for an Industrie 4.0 Assistance System to Improve the Overall Equipment Effectiveness. *Procedia Manufacturing* 9, 159–166. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.004>
- Prinz, C., Morlock, F., Freith, S., Kreggenfeld, N., Kreimeier, D., Kuhlenkötter, B., 2016. Learning Factory Modules for Smart Factories in Industrie 4.0. *Procedia CIRP* 54, 113–118. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.105>
- Protic, A., Jin, Z., Marian, R., Abd, K., Campbell, D., Chahl, J., 2020. Implementation of a Bi-Directional Digital Twin for Industry 4 Labs in Academia: A Solution Based on OPC UA, in: 2020 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM). Presented at the 2020 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), IEEE, Singapore, Singapore, pp. 979–983. <https://doi.org/10.1109/IEEM45057.2020.9309953>
- Purdon, K., Setati, T., Marais, S., 2021. Manufacturing and Evaluation of the Open-Source AR3 Robot Arm for Educational Uses, in: 2021 Rapid Product Development Association of South Africa - Robotics and Mechatronics - Pattern Recognition Association of South Africa (RAPDASA-RobMech-PRASA). Presented at the 2021 Rapid Product Development Association of South Africa - Robotics and Mechatronics - Pattern Recognition Association of South Africa (RAPDASA-RobMech-PRASA), IEEE, South Africa, pp. 01–05. <https://doi.org/10.1109/RAPDASA-RobMech-PRAS53819.2021.9829064>
- Quinn, W., Cionca, V., Withephanich, K., Ozturk, C., 2022. A Learning Factory Framework: Challenges and Solutions for an Irish University*. *IFAC-PapersOnLine* 55, 631–636. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.471>
- Ralph, B.J., Schwarz, A., Stockinger, M., 2020. An Implementation Approach for an Academic Learning Factory for the Metal Forming Industry with Special Focus on Digital Twins and Finite

- Element Analysis. Procedia Manufacturing 45, 253–258.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.103>
- Rasovic, N., Vučina, A., Obad, M., 2019. Stress analysis of lifting table using finite element method. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 659, 012012. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/659/1/012012>
- Rauch, E., Morandell, F., Matt, D.T., 2019. AD Design Guidelines for Implementing I4.0 Learning Factories. Procedia Manufacturing 31, 239–244.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.038>
- Reining, N., Kauffeld, S., Herrmann, C., 2019. Students' interactions: Using video data as a mean to identify competences addressed in learning factories. Procedia Manufacturing 31, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.001>
- Reise, C., Phan, L., 2016. Sustainable Manufacturing in Vietnamese Engineering Education – Approaches from the Vietnamese-German University. Procedia CIRP 40, 341–346.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.059>
- Reuter, M., Oberc, H., Wannöffel, M., Kreimeier, D., Klippert, J., Pawlicki, P., Kuhlenkötter, B., 2017. Learning Factories' Trainings as an Enabler of Proactive Workers' Participation Regarding Industrie 4.0. Procedia Manufacturing 9, 354–360.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.020>
- Riemann, T., Kreß, A., Roth, L., Klipfel, S., Metternich, J., Grell, P., 2020. Agile Implementation of Virtual Reality in Learning Factories. Procedia Manufacturing 45, 1–6.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.029>
- Roll, M., Ifenthaler, D., 2021. Learning Factories 4.0 in technical vocational schools: can they foster competence development? Empirical Res Voc Ed Train 13, 20.
<https://doi.org/10.1186/s40461-021-00124-0>
- Ropin, H., Pflieger-Landthaler, A., Irsa, W., 2020. A FabLab as integrative part of a Learning Factory. Procedia Manufacturing 45, 355–360. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.033>
- Rossmeissl, T., Groß, E., Tzempetonidou, M., Siegert, J., 2019. Living Learning Environments. Procedia Manufacturing 31, 20–25. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.004>
- Rybski, C., Jochem, R., 2016. Benefits of a Learning Factory in the Context of Lean Management for the Pharmaceutical Industry. Procedia CIRP 54, 31–34.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.106>
- Sackey, S.M., Bester, A., Adams, D., 2017. INDUSTRY 4.0 LEARNING FACTORY DIDACTIC DESIGN PARAMETERS FOR INDUSTRIAL ENGINEERING EDUCATION IN SOUTH AFRICA. SAJIE 28. <https://doi.org/10.7166/28-1-1584>
- Sadaj, E.A., Hulla, M., Ramsauer, C., 2020. Design Approach for a Learning Factory to train Services. Procedia Manufacturing 45, 60–65. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.064>

- Sala, R., Pirola, F., Pezzotta, G., 2023. On the development of the Digital Shadow of the Fischertechnik Training Factory Industry 4.0: an educational perspective. *Procedia Computer Science* 217, 640–649. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.260>
- Sallati, C., Bertazzi, J.D.A., Schützer, K., 2019. Professional skills in the Product Development Process: the contribution of learning environments to professional skills in the Industry 4.0 scenario. *Procedia CIRP* 84, 203–208. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.214>
- Sanchez Giralt, J.A., Tusman, G., Wallin, M., Hallback, M., Perez Lucendo, A., Sanchez Galindo, M., Abad Santamaria, B., Paz Calzada, E., Garcia Garcia, P., Rodriguez Huerta, D., Canabal Berlanga, A., Suarez-Sipmann, F., 2024. Clinical validation of a capnodynamic method for measuring end-expiratory lung volume in critically ill patients. *Crit Care* 28, 142. <https://doi.org/10.1186/s13054-024-04928-w>
- Sangwan, K.S., Herrmann, C., Soni, M.S., Jakhar, S., Posselt, G., Sihag, N., Bhakar, V., 2018. Comparative Analysis for Solar Energy Based Learning Factory: Case Study for TU Braunschweig and BITS Pilani. *Procedia CIRP* 69, 407–411. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.018>
- Schäfers, P., Mütze, A., Nyhuis, P., 2019. Integrated Concept for Acquisition and Utilization of Production Feedback Data to Support Production Planning and Control in the Age of Digitalization. *Procedia Manufacturing* 31, 225–231. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.036>
- Schallock, B., Rybski, C., Jochem, R., Kohl, H., 2018. Learning Factory for Industry 4.0 to provide future skills beyond technical training. *Procedia Manufacturing* 23, 27–32. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.156>
- Schmidl, E., Fischer, E., Steindl, J., Wenk, M., Franke, J., 2021. Reinforcement learning for energy reduction of conveying and handling systems. *Procedia CIRP* 97, 290–295. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.240>
- Scholz, M., Kreitlein, S., Lehmann, C., Böhner, J., Franke, J., Steinhilper, R., 2016. Integrating Intralogistics into Resource Efficiency Oriented Learning Factories. *Procedia CIRP* 54, 239–244. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.067>
- Schreiber, S., Funke, L., Tracht, K., 2016. BERTHA - A Flexible Learning Factory for Manual Assembly. *Procedia CIRP* 54, 119–123. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.163>
- Schuh, G., Prote, J.-P., Dany, S., Cremer, S., Molitor, M., 2017. Classification of a Hybrid Production Infrastructure in a Learning Factory Morphology. *Procedia Manufacturing* 9, 17–24. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.007>
- Schuhmacher, J., Hummel, V., 2019. Self-organization of changeable intralogistics systems at the ESB Logistics Learning Factory. *Procedia Manufacturing* 31, 194–199. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.031>

- Schuhmacher, J., Hummel, V., 2016. Decentralized Control of Logistic Processes in Cyber-physical Production Systems at the Example of ESB Logistics Learning Factory. *Procedia CIRP* 54, 19–24. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.04.095>
- Schulze, C., Blume, S., Herrmann, C., Thiede, S., 2019. Energy Storage Technologies to foster Energy Flexibility in Learning Factories. *Procedia Manufacturing* 31, 330–336. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.052>
- Schumacher, B.C., Kohl, H., 2020. Learning Environment for Introduction in Discrete-Event Simulation for Design and Improvement of New and Existing Material Flow Systems, in: 2020 Winter Simulation Conference (WSC). Presented at the 2020 Winter Simulation Conference (WSC), IEEE, Orlando, FL, USA, pp. 3224–3235. <https://doi.org/10.1109/WSC48552.2020.9384099>
- Schumacher, B.C., Steinbach, A., Vi, N.H., Yükseltürk, A., Kohl, H., Krüger, J., Quoc, H.N., 2020. Design alternatives for internationally distributed learning factories in global production engineering. *Procedia Manufacturing* 45, 392–397. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.042>
- Schützer, K., Rodrigues, L.F., Bertazzi, J.A., Durão, L.F.C.S., Zancul, E., 2017. Learning Environment to Support the Product Development Process. *Procedia Manufacturing* 9, 347–353. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.018>
- Seitz, K.-F., Nyhuis, P., 2015. Cyber-Physical Production Systems Combined with Logistic Models – A Learning Factory Concept for an Improved Production Planning and Control. *Procedia CIRP* 32, 92–97. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.220>
- Shakirov, E., Brandl, F.J., Bauer, H., Kattner, N., Becerril, L., Fortin, C., Lindemann, U., Reinhart, G., Uzhinsky, I., 2019. Integration of Engineering and Manufacturing Change Management: Infrastructure and Scenarios for Teaching and Demonstration. *Procedia CIRP* 81, 535–540. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.151>
- Sieckmann, F., Petrusch, N., Kohl, H., 2020. Effectivity of Learning Factories to convey problem solving competencies. *Procedia Manufacturing* 45, 228–233. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.099>
- Siegert, J., Schlegel, T., Zarco, L., Bauernhansl, T., 2020a. Order-Oriented Learning Factories: Why and How Learning Factories Have to Adapt. *Procedia Manufacturing* 45, 460–465. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.053>
- Siegert, J., Zarco, L., Schlegel, T., Bauernhansl, T., 2020b. Software Control System Requirements for Ultra-Flexible Learning Factories. *Procedia Manufacturing* 45, 442–447. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.050>
- Sievers, T.S., Schmitt, B., Rückert, P., Petersen, M., Tracht, K., 2020. Concept of a Mixed-Reality Learning Environment for Collaborative Robotics. *Procedia Manufacturing* 45, 19–24. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.034>

- Simons, S., Abé, P., Nesar, S., 2017. Learning in the AutFab – The Fully Automated Industrie 4.0 Learning Factory of the University of Applied Sciences Darmstadt. *Procedia Manufacturing* 9, 81–88. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.023>
- Singh, I., Centea, D., Elbestawi, M., 2019. IoT, IIoT and Cyber-Physical Systems Integration in the SEPT Learning Factory. *Procedia Manufacturing* 31, 116–122. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.019>
- Sörensen, A., Mitra, R., Hulthén, E., Hartmann, T., Clausen, E., 2022. Bringing the Entrepreneurial Mindset into Mining Engineering Education. *Mining, Metallurgy & Exploration* 39, 1333–1344. <https://doi.org/10.1007/s42461-022-00620-1>
- Sorko, S.R., Trattner, C., Komar, J., 2020. Implementing AR/MR – Learning factories as protected learning space to rise the acceptance for Mixed and Augmented Reality devices in production. *Procedia Manufacturing* 45, 367–372. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.037>
- Spillane, D.R., Menold, J., Parkinson, M.B., 2020. Broadening participation in learning factories through Industry 4.0. *Procedia Manufacturing* 45, 534–539. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.074>
- Spillias, S., Tuohy, P., Andreotta, M., Annand-Jones, R., Boschetti, F., Cvitanovic, C., Duggan, J., Fulton, E., Karcher, D., Paris, C., Shellock, R., Trebilco, R., 2023. Human-AI Collaboration to Identify Literature for Evidence Synthesis. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3099291/v1>
- Srivastava, D.K., Kumar, V., Ekren, B.Y., Upadhyay, A., Tyagi, M., Kumari, A., 2022. Adopting Industry 4.0 by leveraging organisational factors. *Technological Forecasting and Social Change* 176, 121439. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121439>
- Sterne, J.A.C., Savović, J., Page, M.J., Elbers, R.G., Blencowe, N.S., Boutron, I., Cates, C.J., Cheng, H.-Y., Corbett, M.S., Eldridge, S.M., Emberson, J.R., Hernán, M.A., Hopewell, S., Hróbjartsson, A., Junqueira, D.R., Jüni, P., Kirkham, J.J., Lasserson, T., Li, T., McAleenan, A., Reeves, B.C., Shepperd, S., Shrier, I., Stewart, L.A., Tilling, K., White, I.R., Whiting, P.F., Higgins, J.P.T., 2019. RoB 2: a revised tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ* l4898. <https://doi.org/10.1136/bmj.l4898>
- Stojkić, Ž., Bošnjak, I., 2019. Development of Learning Factory at FSRE, University of Mostar. *Procedia Manufacturing* 31, 180–186. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.029>
- Streitzig, C., Oetting, A., 2016. Railway Operation Research Centre – A Learning Factory for the Railway Sector. *Procedia CIRP* 54, 25–30. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.071>
- Sudhoff, M., Prinz, C., Kuhlenkötter, B., 2020. A Systematic Analysis of Learning Factories in Germany - Concepts, Production Processes, Didactics. *Procedia Manufacturing* 45, 114–120. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.081>
- Svasta, P., Illyefalvi-Vitez, Z., Illes, B., 2016. Learning factories for open schooling and collaboration on science education, in: 2016 39th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE). Presented at the 2016 39th International Spring Seminar on Electronics

- Technology (ISSE), IEEE, Pilsen, Czech Republic, pp. 494–499.
<https://doi.org/10.1109/ISSE.2016.7563248>
- Tan, H.-S., Ivander, Oktarina, R., Reynaldo, V., Sharina, C., 2020. Conceptual development of learning factory for industrial engineering education in Indonesia context as an enabler of students' competencies in industry 4.0 era. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 426, 012123.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/426/1/012123>
- Teichmann, M., Ullrich, A., Gronau, N., 2019. Subject-oriented learning - A new perspective for vocational training in learning factories. Procedia Manufacturing 31, 72–78.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.012>
- Tharot, K., Duong, Q.B., Riel, A., Thiriet, J.-M., 2023. A Cybersecurity Training Concept for Cyber-physical Manufacturing Systems. Procedia CIRP 120, 1375–1380.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.09.179>
- Thiede, B., Posselt, G., Kauffeld, S., Herrmann, C., 2017. Enhancing Learning Experience in Physical Action-orientated Learning Factories Using a Virtually Extended Environment and Serious Gaming Approaches. Procedia Manufacturing 9, 238–244.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.042>
- Thiede, S., Juraschek, M., Herrmann, C., 2016. Implementing Cyber-physical Production Systems in Learning Factories. Procedia CIRP 54, 7–12.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.04.098>
- Tisch, M., Hertle, C., Abele, E., Metternich, J., Tenberg, R., 2016. Learning factory design: a competency-oriented approach integrating three design levels. International Journal of Computer Integrated Manufacturing 29, 1355–1375.
<https://doi.org/10.1080/0951192X.2015.1033017>
- Tisch, M., Hertle, C., Cachay, J., Abele, E., Metternich, J., Tenberg, R., 2013. A Systematic Approach on Developing Action-oriented, Competency-based Learning Factories. Procedia CIRP 7, 580–585. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.06.036>
- Tisch, M., Laudemann, H., Kreß, A., Metternich, J., 2017. Utility-based Configuration of Learning Factories Using a Multidimensional, Multiple-choice Knapsack Problem. Procedia Manufacturing 9, 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.017>
- Tvenge, N., Martinsen, K., Holtskog, H., 2019. Learning factories as laboratories for socio-technical experiments. Procedia Manufacturing 31, 337–342.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.053>
- Tvenge, N., Martinsen, K., Kolla, S.S.V.K., 2016. Combining Learning Factories and ICT- based Situated Learning. Procedia CIRP 54, 101–106. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.031>
- Tvenge, N., Ogorodnyk, O., 2018. Development of evaluation tools for learning factories in manufacturing education. Procedia Manufacturing 23, 33–38.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.157>

- Tvenge, N., Ogorodnyk, O., Østbø, N.P., Martinsen, K., 2020. Added value of a virtual approach to simulation-based learning in a manufacturing learning factory. *Procedia CIRP* 88, 36–41. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.007>
- Umeda, Y., Hongo, Y., Goto, J., Kondoh, S., 2022. Digital Triplet and its Implementation on Learning Factory. *IFAC-PapersOnLine* 55, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.04.160>
- Umeda, Y., Ota, J., Shirafuji, S., Kojima, F., Saito, M., Matsuzawa, H., Sukekawa, T., 2020. Exercise of digital kaizen activities based on ‘digital triplet’ concept. *Procedia Manufacturing* 45, 325–330. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.025>
- Vailati, S., Zanchi, M., Cimini, C., Lagorio, A., 2023. A Classification Framework for Analysing Industry 4.0 Learning Factories, in: Alfnes, E., Romsdal, A., Strandhagen, J.O., Von Cieminski, G., Romero, D. (Eds.), *Advances in Production Management Systems. Production Management Systems for Responsible Manufacturing, Service, and Logistics Futures*, IFIP Advances in Information and Communication Technology. Springer Nature Switzerland, Cham, pp. 392–402. https://doi.org/10.1007/978-3-031-43666-6_27
- Van Der Veer, A., Madern, T., Van Lenthe, F.J., 2024. Tunneling, cognitive load and time orientation and their relations with dietary behavior of people experiencing financial scarcity – an AI-assisted scoping review elaborating on scarcity theory. *Int J Behav Nutr Phys Act* 21, 26. <https://doi.org/10.1186/s12966-024-01576-9>
- Van Dijk, S.H.B., Brusse-Keizer, M.G.J., Bucsán, C.C., Van Der Palen, J., Doggen, C.J.M., Lenferink, A., 2023. Artificial intelligence in systematic reviews: promising when appropriately used. *BMJ Open* 13, e072254. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2023-072254>
- Vázquez-Hurtado, C., Altamirano-Avila, E., Roman-Flores, A., Vargas-Martinez, A., 2023. Towards a Mixed Virtual Reality Environment Implementation to Enable Industrial Robot Programming Competencies within a Cyber-Physical Factory, in: 2023 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON). Presented at the 2023 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), IEEE, Kuwait, Kuwait, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1109/EDUCON54358.2023.10125175>
- Veza, I., Gjeldum, N., Mladineo, M., 2015. Lean Learning Factory at FESB – University of Split. *Procedia CIRP* 32, 132–137. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.223>
- Veza, I., Gjeldum, N., Mladineo, M., Celar, S., Peko, I., Cotic, M., Ljumovic, P., Stojkic, Z., 2017. Development of Assembly Systems in Lean Learning Factory at the University of Split. *Procedia Manufacturing* 9, 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.038>
- Vijayan, K.K., Mork, O.J., 2020. IdeaLab: A Learning Factory Concept for Norwegian Manufacturing SME. *Procedia Manufacturing* 45, 411–416. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.045>
- Vijayan, K.K., Mork, O.J., Giske, L.A.L., 2019. Integration of a Case Study into Learning Factory for Future Research. *Procedia Manufacturing* 31, 258–263. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.041>

- Vogel, C., Lindner, F., Kratzsch, A., 2023. Practical Engineering Education: Use of collaborative robots in the context of Industry 5.0, in: 2023 World Engineering Education Forum - Global Engineering Deans Council (WEEF-GEDC). Presented at the 2023 World Engineering Education Forum - Global Engineering Deans Council (WEEF-GEDC), IEEE, Monterrey, Mexico, pp. 1–11. <https://doi.org/10.1109/WEEF-GEDC59520.2023.10344213>
- Vogt, M., Uhlig, B., Sangwan, K.S., Herrmann, C., Thiede, S., 2019. Implementation of a cyber-physical cooling storage station in a learning factory. *Procedia Manufacturing* 31, 142–147. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.022>
- Wagner, P., Prinz, C., Wannöffel, M., Kreimeier, D., 2015. Learning Factory for Management, Organization and Workers' Participation. *Procedia CIRP* 32, 115–119. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.118>
- Wagner, U., AlGeddawy, T., ElMaraghy, H., Müller, E., 2015. Developing products for changeable learning factories. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 9, 146–158. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2014.11.001>
- Wagner, U., AlGeddawy, T., ElMaraghy, H., Müller, E., 2014. Product Family Design for Changeable Learning Factories. *Procedia CIRP* 17, 195–200. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.01.119>
- Wahjusaputri, S., Bunyamin, B., 2022. Development of teaching factory competency-based for vocational secondary education in Central Java, Indonesia. *IJERE* 11, 353. <https://doi.org/10.11591/ijere.v11i1.21709>
- Wank, A., Adolph, S., Anokhin, O., Arndt, A., Anderl, R., Metternich, J., 2016. Using a Learning Factory Approach to Transfer Industrie 4.0 Approaches to Small- and Medium-sized Enterprises. *Procedia CIRP* 54, 89–94. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.068>
- Weeber, M., Frötschner, B., Böhner, J., Steinhilper, R., 2016a. Energy Efficiency in Assembly Systems. *Procedia CIRP* 44, 334–340. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.021>
- Weeber, M., Gebbe, C., Lutter-Günther, M., Böhner, J., Glasschroeder, J., Steinhilper, R., Reinhart, G., 2016b. Extending the Scope of Future Learning Factories by Using Synergies Through an Interconnection of Sites and Process Chains. *Procedia CIRP* 54, 124–129. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.04.102>
- Weyand, A., Lehnert, S., Alish, V., Weigold, M., 2023. Approach for the implementation of resource analysis methods in learning factories. *Production & Manufacturing Research* 11, 2209152. <https://doi.org/10.1080/21693277.2023.2209152>
- Wiech, M., Böllhoff, J., Metternich, J., 2017. Development of an Optical Object Detection Solution for Defect Prevention in a Learning Factory. *Procedia Manufacturing* 9, 190–197. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.037>
- Wienbruch, T., Leineweber, S., Kreimeier, D., Kuhlenkötter, B., 2018. Evolution of SMEs towards Industrie 4.0 through a scenario based learning factory training. *Procedia Manufacturing* 23, 141–146. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.007>

- Witeck, G.R., Alves, A.C., 2023. Worldwide Lean Learning Factories, in: Volume 8: Engineering Education. Presented at the ASME 2023 International Mechanical Engineering Congress and Exposition, American Society of Mechanical Engineers, New Orleans, Louisiana, USA, p. V008T09A017. <https://doi.org/10.1115/IMECE2023-112983>
- Wolf, M., Ketenci, A., Weyand, A., Weigold, M., Ramsauer, C., 2022. Learning Factories and Sustainable Engineering—Competencies for Students and Industrial Workforce. *IEEE Eng. Manag. Rev.* 50, 115–122. <https://doi.org/10.1109/EMR.2022.3195452>
- Xu, P., Wei, Z., Shuai, W., 2023. Feature Model Construction Of Learning Factories Based On Authentic Learning Theory: A Case Study Of The School Of Micro-Nano Electronics At Zhejiang University. <https://doi.org/10.21427/KTZE-FV54>
- Yang, S., Liu, H., Zhang, Y., Arndt, T., Hofmann, C., Häfner, B., Lanza, G., 2020. A Data-Driven Approach for Quality Analytics of Screwing Processes in a Global Learning Factory. *Procedia Manufacturing* 45, 454–459. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.052>
- Zancul, E., Martins, H.O., Lopes, F.P., Da Silva Neto, F.A.T.V., 2020. Machine Vision applications in a Learning Factory. *Procedia Manufacturing* 45, 516–521. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.069>
- Zarte, M., Wermann, J., Heeren, P., Pechmann, A., 2019. Concept, Challenges, and Learning Benefits Developing an Industry 4.0 Learning Factory with Student Projects, in: 2019 IEEE 17th International Conference on Industrial Informatics (INDIN). Presented at the 2019 IEEE 17th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), IEEE, Helsinki, Finland, pp. 1133–1138. <https://doi.org/10.1109/INDIN41052.2019.8972065>
- Zhang, W., Cai, W., Min, J., Fleischer, J., Ehrmann, C., Prinz, C., Kreimeier, D., 2020. 5G and AI Technology Application in the AMTC Learning Factory. *Procedia Manufacturing* 45, 66–71. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.066>