

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea Magistrale

Data-Driven Design e le opportunità di automatizzazione dei processi di progettazione



Relatore

Prof.ssa Francesca Montagna

Correlatore

Stefania Altavilla, PhD

Candidato

Andrea Gabriele

s242035

Anno Accademico 2018/2019

Sommario

Lista delle Figure	5
Ringraziamenti	6
Introduzione	7
1 Data-Driven Design	9
1.1 Intelligenza artificiale	9
1.1.1 Definizione.....	9
1.1.2 Storia.....	10
1.1.3 Machine Learning	13
1.1.4 Deep Learning.....	14
1.1.5 Il mercato dell'intelligenza artificiale.....	15
1.1.6 Settori industriali.....	17
1.1.7 Applicazioni.....	28
1.1.8 Ambiti	29
1.2 Big Data	30
1.2.1 Definizione.....	30
1.2.2 Storia e dati	30
1.2.3 Tipologie di analisi	33
1.3 Processo di sviluppo prodotto.....	34
1.3.1 Definizione.....	34
1.3.2 Classificazione dei metodi di generazione delle idee esistenti.....	37
2 Obiettivi dell'analisi	45
2.1 Domande di ricerca.....	45
3 Metodologia	47
3.1 Systematic Literature Review.....	47
3.2 Classificazione degli articoli scientifici	48
3.3 Svolgimento delle analisi descrittive sul Database.....	49
3.4 Realizzazione di un indice dell'automatizzazione nel tempo della fase di Conceptual Design grazie a tecniche di intelligenza artificiale	50
3.5 Validazione dei risultati tramite analisi statistica	52
4 Risultati	54
4.1 Metodi di intelligenza artificiale applicati alla fase di Conceptual Design.....	54

4.1.1	Apprendimento non supervisionato	54
4.1.2	Apprendimento supervisionato	55
4.1.3	Apprendimento con rinforzo	57
4.1.4	Logica Fuzzy.....	61
4.2	Risultati delle analisi descrittive condotte sul Database.....	62
4.3	Indice di automatizzazione nel tempo della fase di Conceptual Design grazie a tecniche di intelligenza artificiale	67
4.4	Analisi statistiche.....	71
5	Conclusioni	75
	Appendice A	77
	Appendice B	92
	Referenze	100

Lista delle Figure

Fig. 1: Ricavi dal mercato dell'intelligenza artificiale a livello globale.....	15
Fig. 2: Crescita del mercato dell'intelligenza artificiale a livello globale	16
Fig. 3: Spesa a livello globale in tre sotto-settori dell'IA	16
Fig. 4: Volume di dati/informazioni creati a livello globale.....	31
Fig. 5: Tipi/fonti di Big Data usate dalle industrie a livello globale	32
Fig. 6: Design Process – Pahl and Beitz	35
Fig. 7: Esempio di “Functions Tree” per un cavatappi.....	38
Fig. 8: FAST Diagram	38
Fig. 9: Rodenacker Diagram	39
Fig. 10: Esempio di “Morphological Analysis” condotta su una bottiglietta di profumo	40
Fig. 11: Classificazione dei metodi di generazione delle idee.....	44
Fig. 12: Database creato su Microsoft Excel per poter svolgere le analisi	49
Fig. 13: Conceptual Design.....	51
Fig. 14: numero di papers analizzati per ogni anno	62
Fig. 15: numero delle diverse tecniche di IA	63
Fig. 16: numero di tecniche di IA per ogni anno	64
Fig. 17: numero di paper che svolgono un'analisi descrittiva, predittiva o prescrittiva.....	66
Fig. 18: numero di algoritmi descrittivi, predittivi o prescrittivi nel corso degli anni.....	67
Fig. 19: Grado di automatizzazione di ciascuna fase del processo di Conceptual Design....	69
Fig. 20: Grado di automatizzazione delle macrofasi del processo di Conceptual Design....	69
Fig. 21: Grado di automatizzazione di ciascun sistema dell'intero processo di Conceptual Design.....	70
Fig. 22: Grado di automatizzazione dell'intera fase di Conceptual Design nel tempo	71
Fig. 23: Descrittive risultanti dal test ANOVA	72
Fig. 24: ANOVA.....	72
Fig. 25: Test Post – Hoc (LSD)	73

Ringraziamenti

Vorrei ringraziare la Professoressa Francesca Montagna per i suoi suggerimenti e la sua pazienza durante l'intero lavoro. Vorrei inoltre esprimere i miei sinceri ringraziamenti a Stefania Altavilla per tutto il tempo che ha dedicato ad aiutarmi in questi mesi.

Vorrei inoltre manifestare la mia gratitudine verso il Politecnico di Torino per avermi messo a disposizione aule e laboratori per svolgere al meglio questo lavoro.

Ringrazio la mia famiglia per tutti gli sforzi fatti in questi 5 anni per permettermi di studiare a Trento prima e a Torino poi, e per il sostegno incondizionato che mi hanno dato in questo importante percorso.

Un grande grazie anche a tutti i miei amici con cui ho condiviso questa avventura: i miei amici di sempre, i coinquilini con i quali ho vissuto a Torino e tutti i miei colleghi di corso con i quali ho stretto amicizia. Un grazie particolare, infine, alla mia ragazza, che non ha mai smesso di supportarmi in questo lungo cammino.

Introduzione

Intelligenza artificiale, Big Data e Analytics sono termini sempre più spesso utilizzati e accostati al concetto di industria 4.0. Molto in voga negli ultimi anni, il termine industria 4.0 (Industry 4.0) venne introdotto nel 2011 in una fiera ad Hannover in Germania, ed indica quella trasformazione dell'ecosistema industriale a cui stiamo assistendo ai giorni d'oggi che consiste in una produzione sempre più automatizzata ed interconnessa che ha come fine ultimo quello di aumentare la produttività e le condizioni di lavoro. Fino ad ora il mondo occidentale ha assistito a tre rivoluzioni industriali: nel 1784 con la nascita della prima macchina a vapore e col conseguente sfruttamento della potenza di acqua a vapore per meccanizzare la produzione, nel 1870 con l'avvento della produzione di massa attraverso l'uso sempre più diffuso dell'elettricità, l'introduzione del motore a scoppio e l'aumento dell'utilizzo del petrolio come nuova fonte energetica, ed infine nel 1970 con la nascita dell'informatica, dalla quale è scaturita l'era digitale destinata ad incrementare i livelli di automazione avvalendosi di sistemi elettronici e dell'IT. La rivoluzione in atto oggi, rispetto alle precedenti, vede come protagonista l'utilizzo all'interno dell'impianto di produzione di tecnologie quali sistemi di movimentazione dei materiali e robot automatici, sistemi di produzione additiva, oggetti connessi ad internet in grado di immagazzinare ed inviare dati (Internet Of Things), realtà aumentata, simulazioni, tecnologie cloud e Big Data Analytics.

In questo lavoro ci si è concentrati in particolare su quest'ultimo approccio. Con il termine Big Data Analytics si indicano tutti quei metodi e tecnologie in grado di raccogliere ed analizzare grandi volumi di dati (Big Data) con l'obiettivo di estrapolare informazioni utili ai fini produttivi e fornire alle aziende delle previsioni su quelle che potrebbero essere le condizioni di mercato future riguardo un particolare campo di ricerca in questione, così da rendere l'attività decisionale più efficace e guadagnare un vantaggio competitivo rispetto alle altre aziende. Per fare ciò è necessario l'utilizzo di tecnologie molto performanti dal punto di vista computazionale e che siano in grado di fornire soluzioni in maniera automatica e in tempi ragionevoli con un grado di razionalità associabile a quello dell'uomo. Queste tecnologie rientrano nel campo della cosiddetta intelligenza artificiale (Artificial Intelligence), ovvero sistemi hardware e software in grado di fornire prestazioni e risultati che a prima vista sembrerebbero essere di pertinenza esclusiva dell'intelligenza umana. Come sarà descritto nel corso di questo elaborato, grazie a queste tecniche è possibile analizzare enormi quantità di dati, ricavare pattern e informazioni nascoste all'interno di esse, proiettare queste informazioni per prevedere il futuro con un grado di probabilità soddisfacente e fornire indicazioni e suggerimenti automatici su come agire per raggiungere le condizioni future previste.

Nel lavoro di ricerca condotto riguardante il tema appena presentato, ci si è focalizzati in particolare sullo studio delle applicazioni di queste tecnologie all'interno del processo di sviluppo prodotto che le aziende manifatturiere, tramite i propri designers, mettono in atto ogni qualvolta l'azienda decide di realizzare e portare sul mercato qualsiasi tipo di prodotto. Ogni qualvolta un'azienda decida di introdurre ai propri clienti un nuovo prodotto, infatti, si mettono in atto una serie di procedure che hanno lo scopo di progettare al meglio la soluzione

più adatta al mercato. Tra queste procedure, che verranno presentate dettagliatamente nel corso del documento, la fase più creativa è rappresentata senza dubbio dalla generazione delle idee riguardanti il prodotto da progettare; in questa fase, che dà poi origine ai primi concepts, i designers devono attingere a tutta la propria conoscenza riguardante la progettazione di un particolare oggetto o manufatto per generare delle idee creative di quello che sarà il prodotto finale da sviluppare. In questo lavoro di ricerca si è cercato di investigare la possibilità di automatizzare questa fase del processo di sviluppo prodotto tramite tecniche di intelligenza artificiale, cercando di capire quanto un algoritmo possa essere creativo e sostituire quindi la figura del designer nella fase di generazione delle idee. A tal scopo è stata condotta una Literature Review riguardante modelli e sistemi già implementati che fanno uso di intelligenza artificiale applicata allo sviluppo prodotto; le informazioni estrapolate dagli articoli scientifici di interesse sono state poi classificate all'interno di un Database appositamente creato, dove in seguito sono state condotte delle analisi per capire lo stato dell'arte attuale e in particolare le tecniche di intelligenza artificiale che meglio si adattano per automatizzare la fase di "concept generation", il tipo di analisi che questi algoritmi svolgono sui dati, le fasi del processo di sviluppo prodotto in cui sono già utilizzate e quelle dove si potrebbero applicare in futuro. Infine, scomponendo la fase di "Conceptual Design" in tutte le sue attività elementari e verificando per ogni sistema trovato durante la Literature Review quante di queste attività erano automatizzate tramite algoritmi di Artificial Intelligence, è stato possibile creare un indice riportante il grado di automatizzazione della fase di generazione delle idee nel corso del tempo, avendo a disposizione articoli scientifici in un arco temporale esteso. Grazie a questo indice, che rappresenta una novità all'interno della letteratura nell'ambito della creatività degli algoritmi di intelligenza artificiale applicati al processo di sviluppo prodotto, è stato possibile capire quanto la creatività degli algoritmi sia aumentata nel tempo, per poter così dedurre quali sono le aree già automatizzate tramite algoritmi e quali invece necessitano ancora dell'intervento umano e su cui si dovranno concentrare le ricerche future in questo ambito. I risultati conseguiti sono stati infine validati tramite un software statistico, svolgendo opportune analisi della varianza, in particolare i test ANOVA e Post-Hoc per verificare la significatività dei dati ottenuti.

Capitolo 1

1 Data-Driven Design

Col termine Data-Driven Design si definiscono tutti quei processi in grado di supportare o automatizzare la progettazione di qualsiasi artefatto, oggetto o servizio grazie ad analisi condotte su diverse tipologie di dati raccolti. Con la sempre crescente disponibilità dei cosiddetti Big Data e con tecniche di intelligenza artificiale che permettono analisi sempre più evolute, in questo lavoro si è cercato di studiare nel dettaglio quanto questi algoritmi di intelligenza artificiale, compiendo analisi sui Big Data, siano in grado di sostituirsi alla capacità umana all'interno del processo di progettazione di nuovi prodotti e in particolare nella fase di "Conceptual Design", ovvero quella più creativa.

Per comprendere pienamente lo scopo di questo lavoro è necessario per prima cosa introdurre i tre concetti chiave su cui si sono basate interamente le ricerche, ovvero: *intelligenza artificiale* (IA), *Big Data* e *processo di sviluppo prodotto* (New Product Development - NPD). Dopo una presentazione generale di questi aspetti, dove per ognuno verrà data una definizione e sarà proposto il percorso storico, il lettore dovrebbe avere acquisito la base di conoscenza necessaria a comprendere gli obiettivi che questo documento cerca di raggiungere. Dopo questa introduzione, nei capitoli successivi saranno quindi esposte le domande di ricerca su cui si è basato questo lavoro, la "Literature Review" che è stata svolta per rispondere alle domande di ricerca in questione, le metodologie usate per condurre la ricerca, i risultati raggiunti e infine le conclusioni dove saranno illustrate le limitazioni e le implicazioni per eventuali ricerche future.

1.1 Intelligenza artificiale

1.1.1 Definizione

L'*intelligenza artificiale* può essere definita, nel modo più conciso possibile, come l'abilità di un sistema computazionale di svolgere compiti, attività e in particolare di risolvere problemi tipici della mente e dell'abilità umana [1]. Questa disciplina, ramo dell'informatica, mira quindi a realizzare macchine sia dal lato dell'hardware che da quello del software in grado di agire autonomamente in tutte quelle situazioni in cui si possa pensare che solo un essere umano sia in grado di comprendere il contesto e agire di conseguenza.

Nel corso degli anni, come sarà presentato nel paragrafo successivo, l'intelligenza artificiale è stata protagonista di un acceso dibattito filosofico per rispondere alla domanda "una macchina è in grado di pensare come un essere umano?". A questo riguardo, come descritto in [2], si sono formate due correnti di pensiero, che definiscono l'intelligenza artificiale come "debole" e come "forte":

- ***Intelligenza artificiale debole***

Si parla di intelligenza artificiale debole (Weak Artificial Intelligence) quando lo scopo non è quello di realizzare sistemi che abbiano un'intelligenza paragonabile a quella umana, ma piuttosto sistemi che possano agire con successo in una o più attività complesse umane, come può essere ad esempio la traduzione automatica dei testi. In questi casi il software, nello svolgere il compito per il quale è stato programmato, agisce come se fosse un soggetto intelligente, ma per i fini del risultato non ha nessuna importanza che lo sia davvero o meno. Si parla quindi di intelligenza artificiale debole in tutti quei casi in cui la macchina non è in grado di pensare in maniera autonoma, ma è comunque in grado di simulare un'intelligenza. Questo tipo di IA si applica nei casi in cui comprendere i processi cognitivi dell'uomo non sia rilevante ai fini del risultato ultimo.

- ***Intelligenza artificiale forte***

Secondo questa differente visione, la macchina dotata di intelligenza artificiale non è soltanto uno "strumento". Se sviluppata in maniera opportuna diventa essa stessa una mente pensante, con una capacità cognitiva non distinguibile da quella umana. In questa filosofia, quindi, l'idea è che alcune forme di intelligenza artificiale possano veramente ragionare e risolvere problemi come farebbe un essere umano, pertanto distinguere i risultati della macchina o dell'uomo sarebbe impossibile.

Tornando alla nozione generale di intelligenza artificiale, dietro a questa definizione si nascondono teorie e concetti assolutamente non banali e per comprenderla pienamente è necessario introdurre per prima cosa il percorso storico di questa materia.

1.1.2 Storia

L'entusiasmo attuale riscontrabile attorno a questa disciplina, che può essere considerata relativamente giovane, si spiega con la maturità tecnologica raggiunta ai giorni d'oggi sia nel calcolo computazionale (sistemi hardware che negli ultimi anni hanno raggiunto performance sorprendenti per quanto riguarda potenza di calcolo e allo stesso tempo dimensioni e consumi energetici ridotti), sia nella sempre crescente capacità di analisi in tempi brevissimi di enormi quantità di dati di qualsiasi forma (*Analytics*). Il percorso per arrivare alla situazione odierna non è stato tuttavia per nulla facile e a causa delle tecnologie impiegate nello scorso secolo, non all'altezza delle teorie e delle ipotesi già sviluppate dalle menti più brillanti in ambito IA, la crescita è proceduta a rilento e gli intoppi non sono di certo mancati.

Il primo vero progetto di Artificial Intelligence risale al 1943, quando i due ricercatori Warren McCulloch e Walter Pitt portarono alla luce il primo neurone artificiale (tecnologia che sarà discussa nei paragrafi successivi e che può intanto essere definita come un modello matematico/informatico sviluppato per simulare il meccanismo che hanno i neuroni biologici e applicato per risolvere problemi di intelligenza artificiale che veniva intesa, in quegli anni, come la capacità di una macchina di compiere funzioni e fare ragionamenti paragonabili a quelli della mente umana) [3]. Tale sistema impiegava un modello di neuroni artificiali nel quale lo status di questi neuroni passava da “spento” ad “acceso” in presenza di stimoli causati da un numero sufficiente di neuroni circostanti. McCulloch e Pitts arrivarono quindi a dimostrare che qualsiasi funzione matematica può essere rappresentata da qualche rete di neuroni, e che tutti i connettivi logici (“and”, “or”, ecc.) possono essere messi in atto da una semplice struttura neurale. La prima rete neurale formalmente riconosciuta, chiamata SNARC, fu invece creata sette anni più tardi, nel 1950, da due studenti dell’università di Harvard di nome Marvin Minsky e Dean Edmonds [4]. Questi primi lavori, tuttavia, non riscosero grande interesse nel pubblico, che non comprendeva ancora come la tecnologia potesse essere applicata per risolvere dei problemi reali. Decisamente più scalpore suscitavano gli studi di Alan Turing, matematico, logico, crittografo e filosofo britannico che nel 1950 in [5] portò il dibattito su un piano filosofico fino ad allora rimasto inesplorato. La domanda a cui cercava di dare una risposta Turing era “può una macchina pensare?”; la questione, così come all’epoca, anche ai giorni d’oggi è in grado di creare discussioni, vedute contrastanti e di provocare una certa inquietudine tra la gente (nel 2014 il noto scienziato Stephen Hawking mise in allerta riguardo i pericoli dell’intelligenza artificiale, che considerava una vera e propria minaccia per la futura sopravvivenza dell’umanità). Per cercare di dare risposta a questo quesito, Turing inventò un test comportamentale chiamato “The Imitation Game” e ricordato anche come il “Test di Turing”. Questo test consente di misurare se una macchina è in grado o meno di pensare, se può farlo autonomamente e soprattutto se è in grado di farlo esattamente come un essere umano. Il test si svolge così: ci sono tre persone, indicate per facilità come A, B e C. A è un uomo, B una donna e C è un terzo individuo di cui non importa sapere il sesso e ha il ruolo di interrogatore. Al giocatore C spetta il compito di indovinare, ponendo una serie di domande, il sesso di A e B. A, però, dovrà cercare di ingannare C, mentre B dovrà cercare di aiutarlo a risolvere il quesito. I giocatori si trovano in tre stanze diverse senza la possibilità di entrare in contatto l’uno con l’altro e le risposte alle domande dovranno essere fornite con una macchina da scrivere, per evitare che la grafia e la voce possano aiutare C a trovare la soluzione. Il gioco si svolge in due step; la prima volta viene svolto il gioco così come descritto nelle righe precedenti, mentre la seconda volta alla persona A si sostituisce una macchina. Se C dopo questa sostituzione non si accorge di nulla allora A dovrebbe essere considerata intelligente quanto un essere umano. Secondo questo test la macchina è quindi definita come intelligente se la frequenza con cui l’interrogante individua correttamente l’uomo e la donna è almeno la stessa con cui individua correttamente la macchina e la donna. Alan Turing predisse che entro il 2050 le macchine potranno superare il suo test e che quindi sarà quella la data in cui una macchina potrà ritenersi intelligente.

Il termine Artificial Intelligence nasce in realtà ufficialmente nel 1956, quando il matematico statunitense John McCarthy, ad un convegno che si svolse al Dartmouth College nel New

Hampshire e al quale parteciparono numerose figure di spicco nel nascente campo della computazione dedicata allo sviluppo di sistemi intelligenti, lanciò i primi linguaggi di programmazione specifici per l'IA, in particolare Lisp, che per trent'anni fu riconosciuto come il linguaggio di programmazione dominante per la realizzazione dei sistemi di intelligenza artificiale [6]. Da questo momento in poi la storia dell'intelligenza artificiale è stata piuttosto altalenante; si sono verificate in più occasioni accelerate importanti dal punto di vista dei modelli matematici (sempre più sofisticati e implementati con lo scopo di imitare alcune funzionalità cerebrali come il riconoscimento dei pattern) ma allo stesso tempo con difficoltà dal punto di vista dello sviluppo dell'hardware. In particolare, ci si accorse dell'assoluta mancanza di conoscenza semantica relativa ai domini trattati dalle macchine, in quanto la loro capacità di ragionamento si limitava ad una mera manipolazione sintattica. Si arrivò quindi alla conclusione che avere a disposizione un algoritmo che a livello teorico fosse capace di arrivare ad una soluzione di un problema non significava per forza che un corrispondente programma fosse in grado di calcolare la stessa soluzione a livello pratico. Alla fine degli anni '60 si puntò quindi a concentrare l'attenzione su quelli che in seguito verranno chiamati "sistemi basati sulla conoscenza" (Knowledge-Based Systems), in grado di ricavare nuove idee partendo da una base di conoscenza (un Database in cui vengono inserite informazioni riguardanti un determinato dominio di conoscenza) e applicando un meccanismo inferenziale in grado di dedurre delle regole dalla conoscenza da applicare per nuovi dati che vengono forniti in input alla macchina. Si cominciò quindi a teorizzare dei sistemi noti come sistemi esperti (Expert Systems), ovvero in grado di possedere una conoscenza esperta in un determinato scenario di applicazione.

All'inizio degli anni '80 si assistette poi ad un progressivo adattamento, da parte delle aziende più grandi, alle tecnologie di Artificial Intelligence. In particolare, il primo di questi sistemi impiegato in ambito commerciale fu R1 [7], utilizzato dalla Digital Equipment nel 1982. Il programma era noto con lo scopo di configurare gli ordini per nuovi computer. Il sistema fu in grado di far risparmiare alla compagnia circa 40 milioni di dollari all'anno. Alla luce di questi risultati, quasi ogni grande azienda americana che avesse a disposizione sufficienti capacità economiche da investire nella tecnologia adottò l'intelligenza artificiale per migliorare il proprio business.

Arrivando ai giorni d'oggi, tecnologie di intelligenza artificiale si possono trovare applicate in una moltitudine di campi; nell'ambito di attività quotidiane si può facilmente pensare ai termostati per il riscaldamento e l'aria condizionata che hanno la capacità di anticipare il cambio di temperatura, gestendo i vari bisogni che possono avere gli inquilini e interagendo con altri dispositivi; oppure ad auto dotate di sistemi in grado di guidarle in completa autonomia senza la presenza di un pilota umano.

Per portare degli esempi più specifici, lo scorso anno in un centro commerciale negli USA è stato applicato un sistema di riconoscimento facciale tramite delle telecamere a scopo di sicurezza. Dopo aver raccolto dati per un certo periodo di tempo è stato però notato come le persone asiatiche e americane costituissero la grande maggioranza della clientela che entravano nel centro commerciale nella tarda mattinata e nel primo pomeriggio. La conseguenza è stata quella di cambiare gli orari dei dipendenti per avere più lavoratori asiatici

e americani nell'orario di pranzo, e nuovo personale di etnia asiatica e americana è stato assunto. Il risultato è stato un proficuo aumento delle vendite.

Un altro esempio concreto molto attuale è quello di Netflix. La piattaforma di streaming di contenuti è un'azienda altamente "Data-Driven". Essa infatti raccoglie una moltitudine di dati dagli utilizzatori riguardanti ad esempio la data di visione di un film, il momento in cui un contenuto è stato messo in pausa o si è interrotto definitivamente, ecc. Tutti questi dati vengono poi studiati attraverso algoritmi di intelligenza artificiale per prendere delle scelte sulla base dei dati dei clienti; ad esempio la serie statunitense *House of Cards* (diretta da David Fincher, in cui l'attore principale è Kevin Spacey) al momento del lancio sulla piattaforma, Netflix sapeva che:

- Molti utenti avevano guardato il film "The Social Network" diretto dallo stesso regista David Fincher dall'inizio alla fine;
- La versione inglese di "House of Cards", uscita qualche anno prima, aveva ricevuto molte views;
- Gli utenti che avevano guardato la versione inglese di "House of Cards" avevano guardato anche parecchi film in cui recitava Kevin Spacey o film diretti da David Fincher.

Questi due esempi concreti mostrano come la collezione automatica dei dati possa portare alla definizione di nuovi problemi di ottimizzazione e fornire opportunità di miglioramento per il business (nel caso del primo esempio), e come i dati raccolti dal comportamento degli utilizzatori finali possano influenzare fortemente le scelte dei decision makers (nel caso del secondo esempio).

Vi sono poi programmi che sono stati in grado di confrontarsi con noti campioni di scacchi, battendoli [8]. Le applicazioni e i settori possibili per sistemi di IA sono veramente tra i più disparati e verranno descritti dettagliatamente nei capitoli successivi.

1.1.3 Machine Learning

Con il termine *Machine Learning* (apprendimento automatico) si identificano un insieme di meccanismi appartenenti al mondo dell'intelligenza artificiale che permettono ad una macchina intelligente di migliorare le proprie capacità e prestazioni nel tempo [9]. La peculiarità di questa famiglia di tecniche è il fatto che le macchine, come suggerisce il nome stesso, sono in grado di imparare automaticamente con l'esperienza a svolgere determinati compiti migliorando sempre di più le proprie prestazioni nel tempo. Un esempio popolare di questa tecnologia è quella dell'applicazione della macchina AlphaGo al famoso gioco cinese Go. Si tratta di un gioco che può comprendere un numero infinito di mosse e azioni che i giocatori possono intraprendere ed è dunque impensabile programmare una macchina per poter compiere un numero di azioni che è infinito (nel caso di DeepBlue ad esempio, la macchina è in grado di giocare a scacchi essendo stata programmata per prendere delle decisioni come conseguenza a delle mosse dell'avversario che possono essere di un numero

finito, e che è stata in grado di battere il campione del mondo dell'epoca). AlphaGo è infatti un software di Machine Learning che è stato istruito facendogli osservare milioni di mosse prese da giocatori di Go durante delle partite e facendo giocare la macchina contro sé stessa, col risultato che è stata in grado di battere quello che era ritenuto il migliore giocatore del mondo di questo gioco.

Come sarà discusso nei capitoli successivi, gli algoritmi e le tecniche di interesse per questo lavoro di ricerca appartengono a questa branca dell'intelligenza artificiale e, dopo questa breve introduzione, nel secondo capitolo verranno classificate tutte le tecnologie che ne fanno parte.

1.1.4 Deep Learning

Un altro termine molto in voga negli ultimi anni è il *Deep Learning*. Esso è una sottocategoria del Machine Learning e indica quella famiglia di metodi appartenenti all'intelligenza artificiale che fa riferimento agli algoritmi ispirati alla struttura e alla funzione del cervello, ovvero le reti neurali artificiali (Artificial Neural Network), che saranno discusse nel dettaglio nel capitolo 3. Queste architetture vengono applicate in diversi contesti, come ad esempio nella Computer Vision, nel riconoscimento audio e della lingua parlata, nell'elaborazione del linguaggio naturale e nella bioinformatica. Le caratteristiche distintive del Deep Learning rispetto ad altre tecniche di IA sono [10]:

- Si tratta di algoritmi che usano vari livelli di unità non lineari. Questi livelli vengono utilizzati in cascata per svolgere compiti che possono essere classificati come problemi di trasformazione di caratteristiche estratte dai dati; ciascun livello utilizza l'uscita del livello precedente come input;
- Questi algoritmi rientrano nella più ampia classe di algoritmi di apprendimento della rappresentazione dei dati all'interno dell'apprendimento automatico (Machine Learning);
- Sono formati da livelli multipli di rappresentazione che possono essere intesi come differenti livelli di astrazione, in grado di formare una gerarchia di concetti.

I meccanismi con cui “funziona” il cervello umano vengono quindi simulati da questi algoritmi, in modo da insegnare alle macchine non solo ad apprendere autonomamente come nel Machine Learning, ma a farlo in modo più “profondo” come farebbe anche il cervello umano, dove per profondo si intende “su più livelli concettuali”. Seppure la richiesta di capacità computazionali enormi possa rappresentare un limite, la scalabilità del Deep Learning all'aumento dei dati disponibili e degli algoritmi è ciò che lo differenzia dal Machine Learning: i sistemi di Deep Learning, infatti, migliorano le proprie prestazioni all'aumentare dei dati mentre le applicazioni di Machine Learning una volta raggiunto un certo livello di performance non sono più scalabili nemmeno aggiungendo un numero maggiore di esempi e dati di training alla rete neurale. Per istruire un sistema di Deep Learning solitamente gli addetti usano etichettare i dati. Per esempio, nell'ambito del riconoscimento visivo si può inserire il meta tag “gatto” all'interno delle immagini che contengono un gatto e, senza

spiegare al sistema come riconoscerlo, sarà il sistema stesso, attraverso livelli gerarchici multipli, a intuire cosa caratterizza un gatto (le zampe, la coda, il pelo, ecc.) e quindi a imparare a riconoscerlo. Affinché l'output finale sia soddisfacente sono necessarie enormi quantità di dati; pensare però subito ai Big Data è un errore, in quanto almeno nella parte iniziale dell'addestramento, il sistema ha bisogno di dati etichettati e strutturati, perciò l'eterogeneità dei Big Data non può considerarsi una soluzione. I dati non strutturati possono essere analizzati da un modello di apprendimento profondo una volta formato e raggiunto un livello accettabile di accuratezza, ma non per la fase di training iniziale.

Il Deep Learning oggi è già applicato in diversi ambiti. Anche in questo caso troviamo le auto senza conducente fisico, ma anche i droni e i robot impiegati per la consegna di pacchi o per la gestione delle emergenze costituiscono un ottimo esempio. Infine, il riconoscimento e la sintesi vocale per chatbot e robot di servizio, riconoscimento facciale per sorveglianza e manutenzione predittiva sono tra le applicazioni emergenti più rilevanti.

1.1.5 Il mercato dell'intelligenza artificiale

Come introdotto nel paragrafo riguardante la storia dell'intelligenza artificiale, oggi questa famiglia di metodologie, grazie anche ai risultati raggiunti nell'ambito di tecnologie computazionali a livello hardware, sta vivendo un periodo di fortissima espansione. Le aziende stanno dedicando sempre più risorse economiche in investimenti per infrastrutture hardware e software a riguardo e di seguito sono presentati dei numeri a testimoniare questo trend. In *Fig. 1* sono riportati i ricavi generati dall'utilizzo di tecnologie di IA a livello globale.

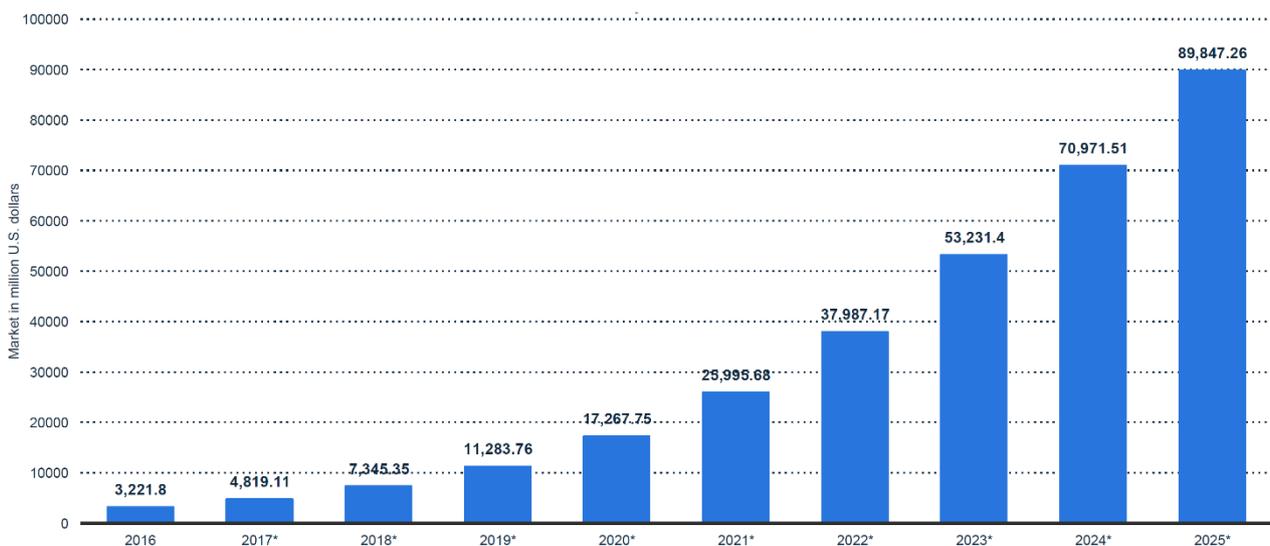


Fig. 1: Ricavi dal mercato dell'intelligenza artificiale a livello globale

Come è facile notare, la crescita è stata costante dal 2016 ai giorni d'oggi, e si prevede che nel 2025 sfiori una cifra enorme vicina ai 90 milioni di dollari americani.

Come quindi è naturale aspettarsi, si prevede che il mercato dell'Artificial Intelligence subisca una crescita proporzionale ai ricavi che ne conseguono. In Fig. 2 è riportato l'andamento di questa crescita. Anche se a tassi decrescenti, l'evoluzione del mercato sarà esponenziale dato che la crescita sarà più che doppia da un anno a quello successivo.

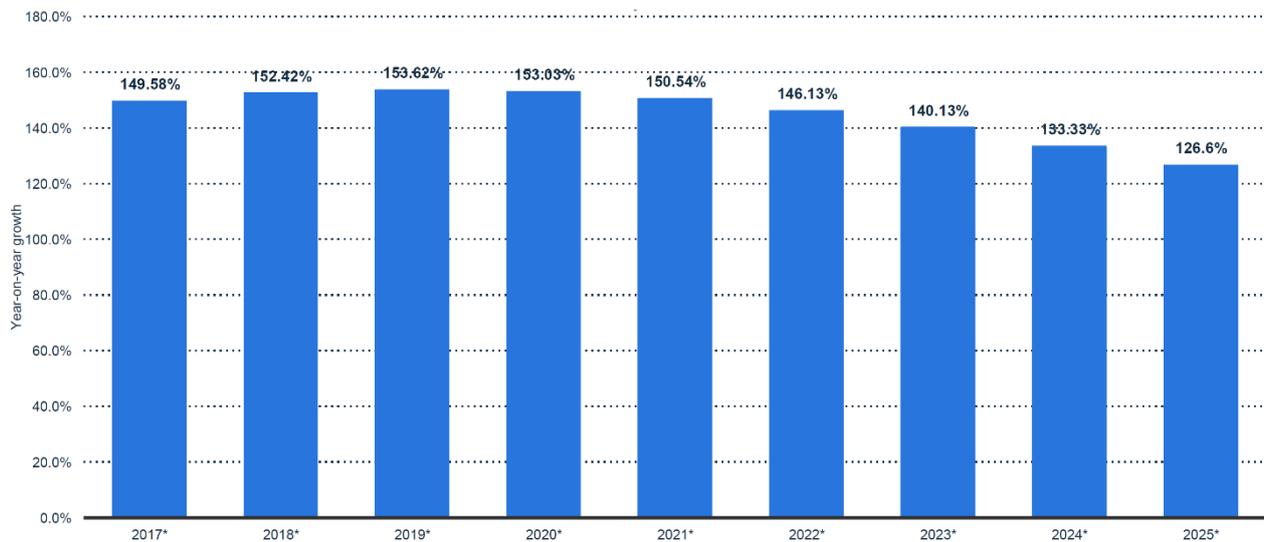


Fig. 2: Crescita del mercato dell'intelligenza artificiale a livello globale

Come ultima analisi, in Fig. 3 viene riportata la spesa complessiva effettuata e prevista nei tre principali sotto-settori, ovvero dell'automazione di processo robotizzata, automazione di processo intelligente e operazioni di AI in ambito business.

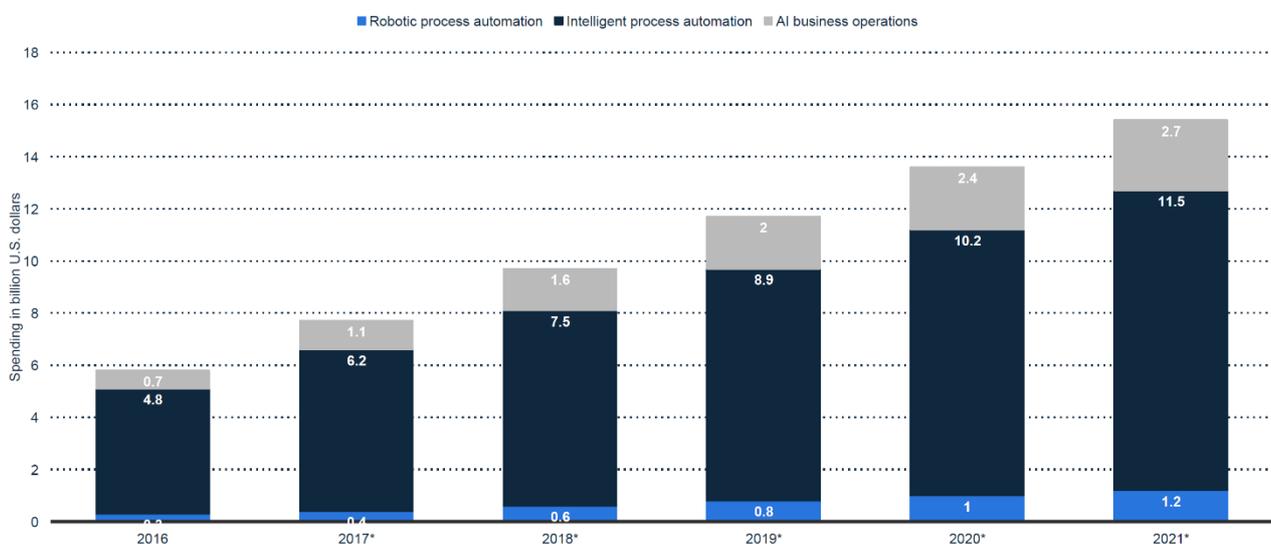


Fig. 3: Spesa a livello globale in tre sotto-settori dell'IA

1.1.6 Settori industriali

Quali sono quindi i campi maggiormente mutati a causa dell'intelligenza artificiale? Quali sono le applicazioni che queste tecnologie possono avere all'interno di questi ambiti? I *settori applicativi* e le *industrie* che negli ultimi 20 anni si sono visti travolgere da una rivoluzione tecnologica sono moltissimi e possono essere riassunti nelle categorie seguenti:

Agricoltura

Sebbene l'agricoltura non sia tra le industrie più prolifiche, anche in questo settore sono stati fatti passi da gigante grazie alle nuove tecnologie. Un primo esempio di tecnologie di IA applicate all'agricoltura si può trovare in "Blue River", startup californiana che realizza strumenti di Machine Learning per l'agricoltura. Essa ha sviluppato una tecnologia chiamata "See and Spray"; la tecnologia consiste in un insieme di macchine fotografiche che vengono fissate sugli spruzzatori delle colture e utilizzando il Machine Learning sono in grado di identificare le piante e capire il prodotto giusto da spruzzare. Diversi studi condotti sostengono che l'agricoltura sarà rivoluzionata sotto tantissimi aspetti nei prossimi anni per l'effetto combinato di diverse tecnologie. Le soluzioni di intelligenza artificiale e robotica utilizzate nel settore agricolo sono suddivise in 5 diverse categorie:

- *Monitoraggio delle colture*

Sotto questa categoria rientrano i produttori di droni specializzati nel settore agricolo e tutte quelle startup che lavorano con algoritmi di Computer Vision per elaborare i dati rilevati da droni e altre apparecchiature presenti sul campo come ad esempio telecamere. Per portare un esempio, sul versante software imprese come "Prospera" utilizzano tecnologie di Computer Vision basate sul Machine Learning al fine di monitorare le colture in tempo reale;

- *Analisi predittive*

Modelli di apprendimento automatico vengono già impiegati ai giorni d'oggi da startup per attività di ricerca e sviluppo all'interno del settore agricolo, per analisi stagionali di previsione, modellazione e simulazione di scenari di mercato, ottimizzazione di costi aziendali e molti altri tipi di analisi predittive;

- *Valutazione della salute del terreno*

Le startup in questo business utilizzano il Machine Learning in combinazione con altri strumenti per condurre delle analisi sulla salute del terreno. Ad esempio, "Indigo Agriculture" si serve di queste tecniche per prevedere l'effetto di vari microbi sulla salute delle piante e identificare mutazioni genetiche in agenti patogeni che potrebbero risultare dannosi per l'impianto;

- *Robot agricoli*

La startup “Blue River” descritta già in precedenza può essere portata come esempio anche in questo campo. Questa categoria include infatti i robot che operano sul terreno svolgendo varie attività agricole;

- *Raccolta ed elaborazione di immagini satellitari*

I dati raccolti dai satelliti possono fornire informazioni su cambiamenti climatici e possibili impatti sui terreni agricoli, e sulla distribuzione delle colture in tutto il mondo in modo da riuscire a dare una comprensione delle pratiche agricole a livello macro e a svolgere altri tipi di analisi. Le startup in tutti questi casi utilizzano algoritmi di Machine Learning e di Computer Vision per classificare i dati ed estrarre le informazioni significative da un gran numero di immagini satellitari.

Altri studi condotti sull’applicazione di tecniche di IA nel settore dell’agricoltura si possono trovare in [22] [23] [24].

Attività manifatturiere

Da quanto riportato in uno studio fatto da “Infosys” sull’AI, quasi tutte le aziende sono alla ricerca del maggior grado di automatizzazione della produzione possibile, non solo per accrescere la produttività, ma soprattutto per ridurre al minimo gli errori manuali che possono verificarsi, diminuire i costi generali e collocare gli sforzi dei dipendenti su mansioni meno ripetitive e che necessitino quindi dell’intervento umano. Il settore manifatturiero probabilmente è quello che sta venendo rivoluzionato maggiormente con l’industria 4.0 e i sistemi di intelligenza artificiale e di apprendimento automatico. Queste pratiche non stanno infatti solo mutando il modo in cui si interagisce con le informazioni e i computer, ma molto di più. La sempre più crescente domanda di prodotti personalizzati e a prezzi ragionevoli è infatti la principale causa che spinge ad utilizzare vari aspetti dell’IA e del Machine Learning nel processo di produzione. Queste tecnologie stanno già influenzando la produzione e sono ampiamente utilizzate dalle imprese, ma in futuro si prevede evolveranno ancora. Le soluzioni di Artificial Intelligence impiegate in questo settore possono essere così suddivise:

- *Riduzione dei costi conseguenti alla non corretta pianificazione della manutenzione preventiva*

La manutenzione preventiva ai giorni d’oggi viene ormai svolta nella maggior parte degli stabilimenti di produzione. Tuttavia, questi programmi di manutenzione spesso avvengono in modo indipendente dalle condizioni operative. La conseguenza di tutto ciò è che questi tipi di manutenzione possono portare a tempi di inattività non pianificati, con conseguenti perdite di produzione e di lavoro. Un monitoraggio dei dispositivi sarà quindi svolto dagli ingegneri di processo grazie all’uso della tecnologia cognitiva dell’intelligenza artificiale, che comprende un’interconnessione tra i macchinari con l’uso di sensori intelligenti. Ridurre i tempi di fermo è ormai l’obiettivo di qualsiasi tipo di azienda manifatturiera e monitorare automaticamente ogni fase del processo di produzione utilizzando varie tecnologie di Artificial Intelligence può rappresentare la soluzione migliore;

- *Riduzione dei tempi di fermo conseguenti al controllo di qualità*

Sempre con più frequenza nel settore manifatturiero si cerca di garantire una qualità elevata e la ricerca della qualità basata sull'apprendimento automatico è diventata la nuova frontiera di ricerca in questo settore. Negli anni meno recenti le aziende manifatturiere utilizzavano reti di computer e sensori per scartare prodotti difettosi dalla linea di montaggio. Tuttavia, l'AI e i sistemi basati sul Machine Learning forniranno un controllo continuo di qualità sull'intero processo produttivo. Anziché fare affidamento su ispezioni manuali in-process, i produttori potranno utilizzare computer e sensori capaci di rilevare i difetti con alti gradi di efficienza e accuratezza. Tutto questo consentirà alle aziende di migliorare le caratteristiche dei prodotti di bassa qualità anziché scartarli. Inoltre, aiuterà a ridurre i costi dovuti ai ritardi di produzione che si accumulano in continuazione nei sistemi di controllo qualità convenzionali. Di contro è facile immaginare che la domanda di manodopera umana nell'ambito del controllo di qualità sarà destinata a ridursi col tempo.

- *Produzione personalizzata incentrata sul cliente*

Data la sempre più crescente domanda di prodotti altamente personalizzati oggi i produttori devono necessariamente concentrarsi sul consumatore e le sue esigenze. L'apprendimento automatico in queste circostanze può rivelarsi una potentissima arma in quanto consente alle aziende di creare processi produttivi intelligenti in grado di adattarsi alla domanda in continuo mutamento dei consumatori. Tuttavia, sarà necessario creare una rete completa che colleghi i consumatori direttamente con i produttori, il che non è affatto banale. Uno dei modi migliori per fare ciò è connettere IoT (Internet of Things) con IIoT (Industrial Internet of Things). Ad esempio, le aziende potranno raccogliere dati da "case intelligenti" per comprendere le ultime tendenze dei consumatori; queste tecnologie introdurranno un nuovo livello di comunicazioni nel moderno settore manifatturiero;

- *Incremento dell'efficienza della Supply Chain*

L'ottimizzazione della Supply Chain è un altro importante aspetto sul quale si stanno concentrando sempre più imprese. Negli ultimi anni l'applicazione di tecnologie di IA ha riscosso un grande interesse per le aziende; le moderne catene di approvvigionamento generano infatti un'enorme quantità di dati e si prestano perfettamente a queste metodologie. L'AI non solo aiuta ad analizzare questi dati, ma anche ad organizzarli in pattern utili. Con l'aiuto della tecnologia diventa più facile adattarsi ai mutevoli scenari di mercato andando a raccogliere e analizzare i dati da diverse fonti tra cui i social media, i feed di notizie, le previsioni del tempo e i dati storici. Infine, risulta particolarmente utile la creazione di un ecosistema coeso e autosufficiente grazie all'AI e all'apprendimento automatico, in modo da favorire lo scambio di informazioni senza interruzioni. Questi sistemi sono quindi destinati a migliorare tutte le aree della supply chain, inclusi magazzino, trasporto, feedback dei clienti, produzione e imballaggio;

- *Favoreggiamento della collaborazione tra uomo e macchina*

Fino ad ora, in ambito manifatturiero, le imprese hanno sempre impiegato robot “non intelligenti” per compiere attività di produzione ripetitive. Questa fase sta piano piano volgendo al termine con l’avvento dell’AI e dell’apprendimento automatico. In futuro, uomini e robot si prevede che dovranno collaborare per creare processi di produzione agili. Per quanto riguarda la sicurezza, lavorare con robot stupidi è ancora considerato un fattore di rischio nella maggior parte delle industrie manifatturiere, tuttavia lavorare con robot intelligenza di prossima generazione sarà molto più sicuro e gestibile per la forza lavoro umana. Questi robot possono infatti migliorare l’efficienza e la flessibilità delle fabbriche essendo riprogrammabili per essere assegnati a qualsiasi attività venga loro data. Essi saranno inoltre in grado di riconoscere vari modelli e imparare a modificare la loro risposta di conseguenza.

Nella ricerca condotta per questo lavoro quasi tutti i sistemi presi in analisi consultando gli articoli scientifici sono applicati al settore manifatturiero, e sono consultabili nell’Appendice A.

Energia

Anche quello dell’energia è un settore in cui da poco hanno preso piede le tecniche computazionali basate sull’intelligenza artificiale. In questa industria, in particolare, l’Artificial Intelligence cerca di interconnettere in misura sempre maggiore i sistemi energetici globali, rendendoli di fatto più affidabili e sostenibili. Per quanto riguarda la produzione di energia pulita e il consumo di energia in generale ci sono numerose problematiche a cui l’AI può trovare soluzione e numerosi sono i progetti già avviati sulla base di questa tecnologia. In particolare, è utile fare la seguente distinzione:

- *Diminuzione dei rischi connessi all’utilizzo di energia rinnovabile*

Un esempio di intelligenza artificiale applicato nell’ambito delle energie rinnovabili si ritrova in “Xcel”, una società statunitense che opera in Colorado. Essa impiega l’AI per far fronte ai problemi connessi all’energia rinnovabile col fine di ottimizzare la produzione, la trasmissione e l’immagazzinamento dell’energia dai suoi parchi eolici sparsi nel territorio. Parlando di energia rinnovabile è normale pensare, come ormai risaputo, ai problemi che possono scaturire a causa delle condizioni meteorologiche. Dipendere in forte misura da sistemi fotovoltaici o eolici risulta infatti particolarmente rischioso poiché, in caso di condizioni meteo non favorevoli, bisognerebbe compensare la fornitura di energia con altre fonti, un’operazione cioè molto dispendiosa e poco sostenibile. Per ovviare a questi problemi l’azienda integra in tempo reale i propri dati meteorologici con quelli provenienti da satelliti; i loro sistemi di intelligenza artificiale sono poi in grado di identificare pattern e schemi ricorrenti massimizzando l’efficienza e minimizzando i rischi per la fornitura di energia elettrica.

- *Riduzione del consumo di energia e aumento dell’efficienza energetica*

I consumi di energia e il relativo impatto sulle casse delle aziende nell'ambito industriale hanno fatto sì che l'intelligenza artificiale venisse impiegata in questo senso, avendo un impatto forse ancora maggiore.

Una serie di esempi di Artificial Neural Network applicate al settore energetico sono riportati in [25].

Costruzioni

Il settore delle costruzioni è uno di quelli che ha subito meno cambiamenti a causa dell'intelligenza artificiale. Le metodologie che si possono utilizzare al giorno d'oggi non sono ancora capaci di essere applicate efficacemente in questo settore, anche se si prevede un ribaltamento della situazione in futuro. Una nota società di consulenza, dopo le opportune ricerche, ha stilato un report nel quale si considerano quali potrebbero essere le applicazioni di IA in questa industria che possano aumentare la produttività portando maggiori vantaggi. Negli ultimi anni il settore fattura circa 10 miliardi di dollari ogni anno e, nonostante i suoi clienti abbiano richieste sempre più sofisticate, resta comunque ad oggi un settore poco evoluto rispetto ad altri dal punto di vista tecnologico. L'analisi della società mira perciò a chiarire quali siano i sistemi migliori per accrescere la produttività in questo campo, nello specifico usando metodi di intelligenza artificiale. Secondo gli esperti le variabili da tenere maggiormente d'occhio sarebbero i costi, i tempi di completamento dei progetti e i rischi per la sicurezza associati, che in questo settore sono particolarmente mal ottimizzati o poco considerati. Importante sottolineare che, essendo presenti poche grandi aziende che abbiano la capacità economica di permettersi grandi investimenti fin da subito, l'impatto non sarebbe immediatamente enorme, ma avrebbe effetto nel lungo periodo.

Delle applicazioni che le imprese dovrebbero iniziare a considerare sono:

- Software per la progettazione, che favoriscano la generazione e la valutazione di un grande numero di alternative di sviluppo dei progetti e che partecipino allo sviluppo continuo della pianificazione;
- Sistemi di riconoscimento e classificazione delle immagini, in grado di valutare foto e video raccolti nei cantieri per poi individuare in modo automatico comportamenti non appropriati o rischiosi, per supportare una miglior preparazione dei corsi di sicurezza;
- Piattaforme di analisi evolute, che associano e analizzano i dati raccolti da sensori e altri dispositivi con lo scopo di diminuire i costi, anticipare fermi del cantiere e pianificare le manutenzioni.

L'analisi suggerisce poi quali potrebbero essere le applicazioni di IA attualmente in uso in altri settori che potrebbero essere impiegate nell'industria delle costruzioni:

- *Algoritmi di ottimizzazione della pianificazione*

Queste tecniche sono capaci di valutare potenzialmente un numero infinito di combinazioni di progetti simili, ottimizzando la versione migliore e correggendosi nel tempo;

- *Utilizzo di analisi predittive per limitare i problemi di costruzione*

Potrebbero essere usati per presumere i rischi dei progetti dando informazioni valide nel corso della fase decisionale, risparmiando risorse potenzialmente costose in fase di realizzazione; potrebbero inoltre permettere di sperimentare vari materiali, diminuendo i tempi di fermo di alcune strutture durante l'ispezione;

- *Miglioramento della catena di distribuzione e gestione dei magazzini*

Sono metodi che consentono di ottimizzare i costi logistici.

Servizi di informazione e comunicazione

Ai giorni d'oggi, nell'epoca della digitalizzazione che si sta vivendo, il settore dell'informazione e delle telecomunicazioni si sta piano piano spostando da un mondo costituito da telefoni fissi e servizi internet verso uno caratterizzato dalla mobilità e dall'automatizzazione. Le aziende in questa industria stanno cominciando ad utilizzare efficacemente tecniche di Artificial Intelligence per gestire Big Data, incrementare le prestazioni e aumentare i ricavi. Gli utilizzi più popolari di IA in questo settore sono [27]:

- *Chatbot per il servizio clienti*

L'obiettivo è quello di automatizzare le risposte ai quesiti dei clienti, "instradando" questi ultimi alle persone più opportune o proponendo in modo automatico una soluzione di prodotto da vendere secondo le esigenze del cliente. Queste metodologie permetterebbero il miglioramento del servizio erogato e allo stesso tempo un risparmio dei costi associati agli addetti del customer service;

- *Servizi vocali per facilitare la comunicazione col consumatore*

Consiste nel dare ai clienti l'opportunità di consultare e successivamente di acquistare i prodotti offerti con l'ausilio di comandi vocali piuttosto che da controllo remoto;

- *Manutenzione predittiva*

Si tratta della capacità di correggere problemi hardware prima che questi si verifichino in un secondo momento.

Attività finanziarie e assicurative

Il settore finanziario è stato uno dei primi ad adottare metodi di Artificial Intelligence in varie applicazioni. Dalla verifica delle transazioni fino ad arrivare a decisioni cruciali relative all'impresa, l'AI può davvero aiutare le aziende e le persone ad agire in maniera più intelligente e veloce. Le applicazioni più diffuse sono [28] [29]:

- *Gestione dei rischi*

L'apprendimento automatico di serie storiche di dati è una delle peculiarità principali dell'IA. Di conseguenza in ambito finanziario, dove contabilità e registri sono insiti nel business, può avere decisamente buoni risultati. Un esempio pratico può essere quello di personalizzare il tasso di interesse su una carta o su un mutuo in base ai dati di rimborso di ogni individuo, al numero di prestiti attivi fino a quel momento o il numero di carte di credito intestate. L'IA dipende completamente dai dati e proprio dall'analisi e dalla scansione di questi ultimi ottiene la possibilità di formulare una valutazione sulle offerte di credito, che ottengono in questo senso un autentico significato storico. L'intelligenza artificiale può quindi prendere il posto di un analista umano molto velocemente;

- *Gestione delle frodi*

Per le stesse considerazioni fatte nel caso del Risk Management, le tecnologie di intelligenza artificiale possono utilizzare i comportamenti di spesa passati per evidenziare anomalie nei movimenti, come ad esempio l'utilizzo di una carta dall'estero poche ore dopo che è stata utilizzata in un altro posto, o il tentativo di prelevare una somma di denaro insolita per il conto in questione;

- *Servizi di financial consulting*

Secondo un report redatto dalla società di consulenza finanziaria “PwC”, presto saranno disponibili consulenti robot. Lo stesso report sottolinea però come la chiave del processo sia la collaborazione: un equilibrio ottimo e la capacità di guardare all'intelligenza artificiale solo come componenti del processo decisionale, che ha la stessa importanza rispetto al punto di vista umano, è il futuro del processo decisionale finanziario;

- *Trading e compravendita*

La capacità delle macchine di analizzare dati rispetto a diversi punti di vista in tempi molto brevi le rende particolarmente adatte al trading. Le società di investimento si affidano a calcolatori e analisti per determinare i trend futuri sul mercato, in quanto trading e investimenti sono fortemente legati alla capacità di prevedere in modo più precisi possibile il futuro;

- *Gestione dei risparmi*

La gestione delle finanze personali è uno dei nuovi sviluppi delle competenze in ambito IA. Una startup con sede a San Francisco fa uso di intelligenza artificiale per sviluppare algoritmi che aiutino i consumatori a prendere decisioni oculate sul loro denaro nel momento in cui lo spendono. L'idea che sta alla base del progetto è quella di raccogliere tutti i dati dal proprio spazio web personale creando così un preciso grafico di spesa per condurre le analisi.

Attività professionali, scientifiche e tecniche

- *Accounting*

Il settore della contabilità è ricco di attività ripetitive e dispendiose in termini di tempo. Implementare un sistema di intelligenza artificiale in grado di svolgere questi compiti significa diminuire i ritardi dovuti all'accumulo delle pratiche da gestire. Un sistema di apprendimento automatico è capace di raccogliere i dati relativi a qualsiasi lavoro precedente per confrontarli ad un nuovo progetto che si vuole iniziare [31];

- *Advertising*

Alcuni grandi gruppi come “Unilver”, “GSK”, “Campbell Soup Company” stanno già lavorando alla sperimentazione di nuovi sistemi intelligenti da usare nella pubblicità. “Watson Ads”, ad esempio, è un framework intelligente di comunicazione one-to-one, sviluppato da IBM, tra un device digitale e il consumatore in grado di creare inserzioni pubblicitarie interattive ed evolutive che sono capaci di variare ed adattarsi in modo continuo. Watson sfrutta una mole enorme di dati e informazioni, interpretando persino il linguaggio naturale, per progettare una pubblicità che sia davvero mirata, non più di massa, personalizzata e umanizzata [30].

Istruzione

Il settore dell'educazione è un altro di quelli che sta ricevendo un grosso supporto dall'AI. In particolare, tra i vantaggi più facilmente intuibili c'è il comfort di svolgere operazioni comodamente da casa che prima dovevano necessariamente essere svolte con spostamenti fisici, di persone o strutture specifiche. Gli individui in questo settore infatti cercando sempre con maggior costanza soluzioni semplici che consentano loro di raggiungere in autonomia e autodidatticamente degli obiettivi specifici, senza dover far affidamento sull'aiuto di altre persone. Non si tratta però di una moda recentissima, infatti piattaforme quali “Youtube”, “Slideshare”, “Lynda.com”, ecc. da anni stanno sviluppando soluzioni in questo senso. La flessibilità è sicuramente il vantaggio maggiore derivante dall'uso di questi sistemi; l'utente infatti non è vincolato a degli orari o ad essere presente in strutture specifiche, inoltre può scegliere con autonomia il piano didattico a lui più adatto. Le applicazioni più interessanti in questo ambito sono [26]:

- *Didattica*

Un primo utilizzo dell'intelligenza artificiale applicata all'istruzione sono le tecnologie nate per adattare i programmi scolastici alle esigenze specifiche degli studenti. L'idea è quella di un software in grado di rilevare il livello di preparazione dello studente, individuare di conseguenza dove è più forte e quali sono invece le carenze, individuando in particolare i punti dove all'alunno serve una ripetizione o comunque un aiuto.

Tecniche di IA possono venire impiegate anche per riconoscere eventuali falle o imperfezioni nel programma didattico di un docente, in modo da migliorarlo e offrire

una soluzione più efficace. La frequenza di una domanda sbagliata in un test da parte degli studenti non implica infatti necessariamente la poca preparazione di questi ultimi, ma può essere un campanello d'allarme per quanto riguarda la qualità del metodo didattico utilizzato dal docente. In questi casi l'Artificial Intelligence non solo può rilevare il problema, ma può anche fornire una soluzione.

In fine, per quanto riguarda la didattica, un'altra possibile applicazione è quella del tutoring. Anche se non ancora in commercio, potrebbero esistere software capaci di aiutare gli studenti a prepararsi per i test in classe, segnalandogli gli errori commessi per migliorare la loro performance;

- *Valutazione*

Un secondo utilizzo dell'Artificial Intelligence applicato all'istruzione e già adottato in alcuni stati si può trovare nell'ambito della valutazione. Un problema con cui i docenti hanno sempre dovuto convivere è quello del lungo tempo impiegato per correggere esami o test di qualsiasi tipo svolti dagli studenti. In questo ambito gli algoritmi sono in grado di dare un grande aiuto e snellire di parecchio il carico di lavoro degli insegnanti. In questo caso infatti sono già da anni utilizzati software utilizzabili per i test a risposta multipla in grado di correggere automaticamente centinaia di risposte in pochi minuti, risparmiando ore di lavoro ai professori. Per quanto riguarda i compiti a domande aperte ad oggi non ci sono ancora algoritmi in grado di riconoscere perfettamente le grafie degli studenti per interpretarle e valutarle, ma si prevede che nei prossimi anni si possa raggiungere anche questo risultato.

Lasciando da parte la valutazione dei test, anche per quanto riguarda la valutazione degli istituti scolastici l'intelligenza artificiale può risultare particolarmente utile. Anche in questo caso infatti sono già disponibili metodi che consentono la raccolta di feedback provenienti da genitori e alunni che sono in grado di rielaborare i dati in un secondo momento, rappresentando di fatto uno strumento molto comodo per la rilevazione di punti di forza e di debolezza per gli istituti;

- *Chatbot e apprendimento*

I chatbot sono dei robot, ovvero un insieme di algoritmi che sono in grado di ricevere domande per elaborarle e fornire una risposta soddisfacente. Essi possono essere applicati a differenti settori. Il termine Chatbot nasce dall'unione delle parole "chat" (chiacchierare) e "bot" (cioè robot, software). Un'applicazione che negli ultimi anni sta spopolando è quella dell'apprendimento delle lingue straniere; in rete si possono trovare infatti parecchi programmi e applicazioni che offrono corsi didattici personalizzati per chi abbia voglia di imparare una nuova lingua.

Sanità e assistenza sociale

La nota società di consulenza "Frost&Sullivan" nel 2016 ha condotto una ricerca di mercato sull'applicazione dell'Artificial Intelligence al settore dell'healthcare, stimando che si possa

raggiungere una cifra attorno ai 6,6 miliardi di dollari entro il 2021, con un tasso di crescita del 40%. Molte compagnie private hanno infatti già intuito il potenziale di queste tecnologie applicate al settore sanitario e in commercio si possono trovare diverse applicazioni già in uso [2] [32]:

- *Elaborazione di dati medici*

L'applicazione più naturale dell'intelligenza artificiale all'industria sanitaria è quella della gestione dei dati. I dati storici di ogni paziente devono infatti essere raccolti e immagazzinati dai medici: risultati di laboratorio, visite mediche condotte, eventuali patologie del paziente, genoma, ecc. Per portare l'esempio di un colosso, Google ha sviluppato la piattaforma "DeepMind Health". Questo sistema è capace di gestire milioni di informazioni mediche in tempi brevissimi, snellendo non di poco i processi sanitari;

- *Diagnostica e piani di trattamento*

L'IA può essere usata anche per effettuare diagnosi e definire piani di cure. Per esempio, IBM ha portato sul mercato un particolare programma per oncologi in grado di dare agli specialisti alternative di cure basate su evidenze. "Watson for Oncology" ha una capacità avanzata di analizzare il significato e il contesto di dati strutturati o meno contenuti all'interno delle note cliniche e dei report, dati che possono diventare determinanti per scegliere il percorso di cura del paziente. In poche parole, è l'algoritmo che decide come curare una persona affetta da cancro;

- *Consulenza online*

"Babylond Health", startup inglese, ha messo a disposizione un'applicazione per la sanità digitale che usa un mix tra Artificial Intelligence, video e consultazioni via sms con medici e specialisti. Il fine ultimo è quello di diminuire i tempi di attesa per le visite mediche e allo stesso tempo aiutare a migliorare la validità di una diagnosi. L'app fornisce quindi consulenza basandosi sull'anamnesi personale e sulle conoscenze di medicina generale.

Con l'aiuto del riconoscimento vocale i pazienti possono riportare sull'applicazione i propri sintomi. Il sistema confronta poi questi dati con un Database in cui sono inserite le malattie, per poter offrire in questo modo indicazioni su come meglio intervenire. Tra le altre funzioni, l'applicazione può funzionare da promemoria per ricordare al paziente quando prendere i farmaci, o può attivarsi dopo la cura per verificare se il paziente sia guarito. La startup, con questo metodo, ha curato almeno 300 mila persone, definendolo un aiuto agli specialisti per la diagnosi accurata della malattia e del trattamento più opportuno. La stessa azienda ha dichiarato che l'obiettivo futuro sarà quello di curare i pazienti usando esclusivamente l'intelligenza artificiale;

- *Assistenza al paziente*

L'assistenza al paziente automatica è stata da poco resa possibile da soluzioni di AI. Un esempio è quello di "Sense.ly", startup americana che ha creato una vera e propria

infermiera virtuale. L'infermiera, implementata da un avatar, aiuta medici e pazienti a monitorare e gestire la propria salute in un modo comodo e preciso. L'interfaccia, implementata con tecniche di apprendimento automatico, è particolarmente utile per supportare i malati cronici tra una visita e l'altra.

Una soluzione simile è quella fornita da "AiCure", applicazione che utilizza la webcam dello smartphone e l'intelligenza artificiale per confermare in autonomia se i pazienti sitano rispettando le prescrizioni del medico o meno. Quest'ultima applicazione è risultata utile per i malati gravi, che tendono a non rispettare le indicazioni del dottore a causa delle loro situazioni di salute.

Attività artistiche, sportive, di intrattenimento e divertimento

- *Musica*

L'intelligenza artificiale è già in grado di compiere lavori che possono definirsi creativi in questo campo. L'IA può di fatto comporre musica imitando stili e generi diversi fra loro, ma senza plagiare alcun brano. Il Politecnico di Losanna, ad esempio, ha sviluppato un nuovo algoritmo chiamato "Deep Artificial Composer" (DAC) che è in grado di generare melodie del tutto inedite;

- *Sport*

Già da qualche anno l'intelligenza artificiale sembra essersi facilmente diffusa anche nel mondo dello sport. Dal 2014, infatti, la Major League di baseball americana utilizza i servizi offerti da Amazon Web Services. Questo nuovo servizio digitale fornisce un'innovativa soluzione per i Big Data chiamata Player Tracking System; si tratta di un sistema di IA in grado di raccogliere i dati in tempo reale di un'azione, cogliendone le infinite sfaccettature. Un battitore nel baseball può dare maggiore o minore forza al suo colpo a seconda di diversi fattori. La posizione assunta al momento della battuta, l'inclinazione della mazza da baseball, il momento in cui il battitore reagisce all'arrivo della pallina e così via. Il Player Tracking System è in grado di analizzare nel dettaglio ognuno di questi singoli aspetti, per giunta in tempo reale. L'obiettivo dichiarato di questo sistema di Big Data è quello di favorire conversazioni consapevoli tra gruppi di tifosi. Non è però solo il baseball l'unico sport ad essere toccato dall'intelligenza artificiale. Anche nelle gare automobilistiche si stanno sperimentando strumenti tipici di questo sport 4.0. È il caso della Nascar, la competizione automobilistica organizzata dall'omonima azienda in Stati Uniti e Canada. Durante questo campionato sono già stati utilizzati con successo strumenti ad intelligenza artificiale in grado di diagnosticare in tempo reale se l'auto rischia di subire un guasto o meno, con buona pace per i colpi di scena che tanto appassionano i tifosi. Infine, anche il mondo del calcio rischia di essere investito da una rivoluzione tecnologica. Il ruolo più a rischio è sicuramente quello dell'allenatore. Si sta affermando infatti sempre di più l'idea di un coach 4.0, in grado di raccogliere quanti più dati possibili sui propri giocatori e sulla squadra avversaria ed elaborare in questo modo una strategia per affrontare la partita.

Tecnologie che secondo gli osservatori del settore sono già approdate in molti campionati, tra cui la Premier League inglese;

- *Intrattenimento e divertimento*

In questo campo è ormai da diversi anni che si vedono adottare tecnologie intelligenti. Basti pensare ai milioni di Videogames sviluppati per diversi tipi di piattaforme. Gli algoritmi in questo senso sono stati migliorati sempre di più negli anni, arrivando a raggiungere livelli di realtà altissima ai giorni d'oggi;

- *Arte*

L'artista Mario Klingemann ha progettato un network neurale a partire dalle immagini di decine di muse che hanno ispirato la storia dell'arte. Il network ha così appreso quali sono le principali caratteristiche di questo sottogenere artistico e ha poi generato una propria opera. Durante Sonar+D l'artista umano Albert Barquà-Duran ha riprodotto a mano e in grande formato la musa generata dal software. Un connubio uomo-macchina che è anche una metafora delle potenzialità creative nell'era del Machine Learning.

Alcuni esempi in questi settori si possono trovare in [33] [34].

1.1.7 Applicazioni

Se quindi le tecniche di intelligenza artificiale possono essere impiegate in numerosi settori, che col tempo cresceranno ancora di più, esse possono essere applicate in svariati modi. Una classificazione delle *applicazioni* dell'IA potrebbe quindi essere così presentata:

- *Elaborazione intelligente dei dati*

Soluzioni che prevedono l'uso di algoritmi di IA per estrapolare informazioni ed utilizzarle autonomamente per compiere azioni strategiche;

- *Assistenti virtuali o Chatbot*

Software capaci di interagire con un interlocutore umano per guidarlo nella navigazione di un sito, effettuare acquisti od offrire un servizio;

- *Raccomandazioni agli utilizzatori*

L'intelligenza artificiale interagisce di propria iniziativa con l'utilizzatore del sistema per suggerire e dare raccomandazioni riguardo le decisioni del cliente nel processo di acquisto, in modo da indirizzarlo verso le scelte più opportune;

- *Elaborazione delle immagini*

Consiste nell'analisi di immagini per il riconoscimento biometrico e l'estrazione di informazioni da utilizzare per scopi diversi;

- *Guida autonoma*

Mezzi a guida autonoma in grado di percepire l'ambiente circostante e adattare le manovre di conseguenza (un classico esempio è quello della frenata automatica in seguito al riconoscimento dei pedoni);

- ***Oggetti intelligenti***

Si tratta di oggetti di qualsiasi tipologia capaci di interagire con l'ambiente grazie all'uso di sensori e capaci di apprendere azioni degli utenti che li utilizzano quotidianamente;

- ***Elaborazione del linguaggio***

Sistemi che comprendono i testi, li traducono e li producono in totale autonomia;

- ***Robot autonomi***

Robot che si muovono in autonomia, interagendo con gli spazi, le persone e spostando oggetti in funzione di determinate indicazioni.

1.1.8 Ambiti

Infine, si può fare una distinzione di quelli che sono gli *ambiti*, all'interno dell'azienda, nei quali vengono utilizzate tecniche di intelligenza artificiale. Essi sono:

- ***Marketing***

Si riferisce a tutto quello che occorre per preparare le condizioni per far avvenire le transizioni dall'azienda verso l'esterno. È diverso dal concetto di "vendita", la quale viene intesa come l'atto della transizione vera e propria. In questa area aziendale si studia quindi il mercato, per capire come influenzare e stimolare i comportamenti dei clienti. In questo ambito sono particolarmente d'aiuto tecnologie di intelligenza artificiale di Data Mining quali tecniche di clustering e regole di associazione che verranno descritte nel paragrafo successivo. Esse hanno infatti lo scopo di studiare il mercato, per capire quali sono i bisogni dei clienti e poter soddisfarli nel migliore dei modi;

- ***Design***

Per "Design" all'interno delle aziende manifatturiere e di produzione, si intende l'insieme delle fasi creative che portano alla definizione del prodotto giusto da portare sul mercato. Il lavoro svolto in questa tesi si è concentrato in particolare in questo ambito, cercando di comprendere quali siano le tecniche più adatte ad essere applicate per questa fase;

- ***Risorse umane***

Anche per quanto riguarda le risorse umane e la loro selezione si stanno iniziando ad adottare sistemi automatizzati. Alcuni software sono infatti in grado di facilitare il

lavoro dei recruiters analizzando i curriculum per selezionare quelli più adatti al profilo ricercato;

- **Logistica**

Riguarda tutte le metodologie di Artificial Intelligence capaci di migliorare l'efficienza dell'intera supply chain;

- **Produzione**

Comprende tutte le tecnologie di intelligenza artificiale che facilitano la produzione e la rendono migliore.

1.2 Big Data

1.2.1 Definizione

Il termine *Big Data* si riferisce ad un enorme insieme di dati in termini di volume e complessità di gestione che richiede modalità e tecnologie diverse di elaborazione rispetto ai software e alle architetture informatiche tradizionali [11]. Se per un database tradizionale occorre un sistema in grado di gestire tabelle composte da molte righe ma di poche decine di colonne, nel caso dei Big Data si richiedono strumenti in grado di gestire lo stesso numero di record, ma con migliaia di colonne. Pensando per esempio alle attività quotidiane della maggior parte delle persone, le interazioni sui social network, i click sui siti web e gli smartphone interconnessi sono ormai diventati parte delle attività routinarie per quasi tutti gli individui. Tutto ciò genera una mole di dati incredibilmente più elevata di qualche decennio fa. Enormi volumi di dati eterogenei per fonte e formato, analizzabili in tempo reale, costituiscono quelli che vengono definiti Big Data. Negli ultimi due anni il numero dei dati prodotti nel mondo è incrementato addirittura del 90% e si prevede che le aziende possano arrivare a produrre Zetabyte di dati considerando fonti quali sensori, dati satellitari, finanziari, telefonici, ecc. [12]. La necessità di analisi su un unico insieme di dati è la causa dell'aumento progressivo delle dimensioni dei set di dati; l'obiettivo è quello di estrarre pattern ed informazioni utili rispetto a quelle che si potrebbero ottenere analizzando piccole serie (anche con la stessa quantità di dati) come in passato. Un'altra distinzione tra i Big Data e i dataset tradizionali è che i Big Data comprendono soprattutto dati provenienti da fonti eterogenee, perciò non sono formati solo da dati strutturati, come i database, ma anche non strutturati, come immagini, email, dati GPS e informazioni prelevate dai social network.

1.2.2 Storia e dati

Sebbene il termine Big Data sia relativamente recente, la tendenza a raggruppare e immagazzinare ampi volumi di informazioni, per un eventuale analisi futura, non è poi così nuova. Il concetto prende piede nei primi anni 2000 quando Doug Laney, analista di settore, formula la ormai nota definizione delle tre “V” dei Big Data [13]:

- **Volume**

L’eterogeneità delle fonti dalle quali le organizzazioni raccolgono i dati è molto elevata. Questo, come è intuibile, genera un volume elevatissimo di dati (strutturati e non). In Fig. 4 è possibile osservare come il volume dei dati generati si prevede che evolva nel tempo;

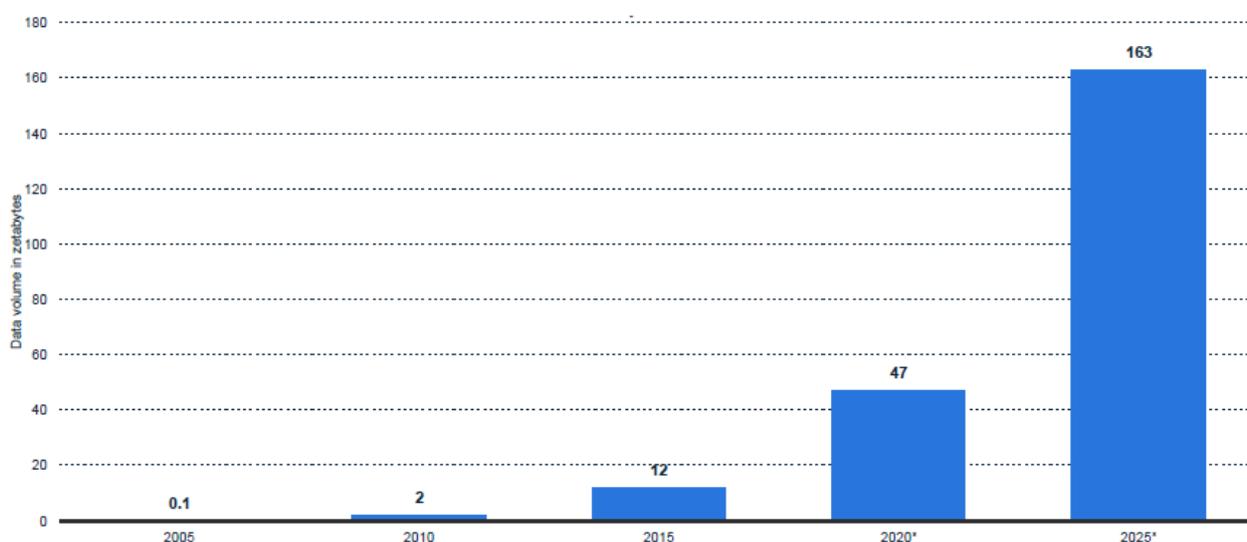


Fig. 4: Volume di dati/informazioni creati a livello globale

- **Velocità**

Questa caratteristica fa riferimento alla velocità con cui i nuovi dati vengono generati. Con ciò non si vuole intendere solo la velocità della generazione dei dati, ma anche e soprattutto alla necessità che questi dati arrivino in tempo reale al fine di effettuare le dovute analisi su di essi;

- **Varietà**

Si riferisce alla differente tipologia dei dati che vengono generati, collezionati ed utilizzati. Prima dell’avvento dei Big Dati la tendenza era quella di analizzare solo dati strutturati e la loro manipolazione avveniva mediante l’uso di database relazionali. Per avere analisi più accurate e più profonde, oggi è necessario prendere in considerazione anche dati non strutturati e semi strutturati oltre a quelli strutturati. In Fig. 5 si possono consultare le varie fonti alternative da cui i dati sono generati.

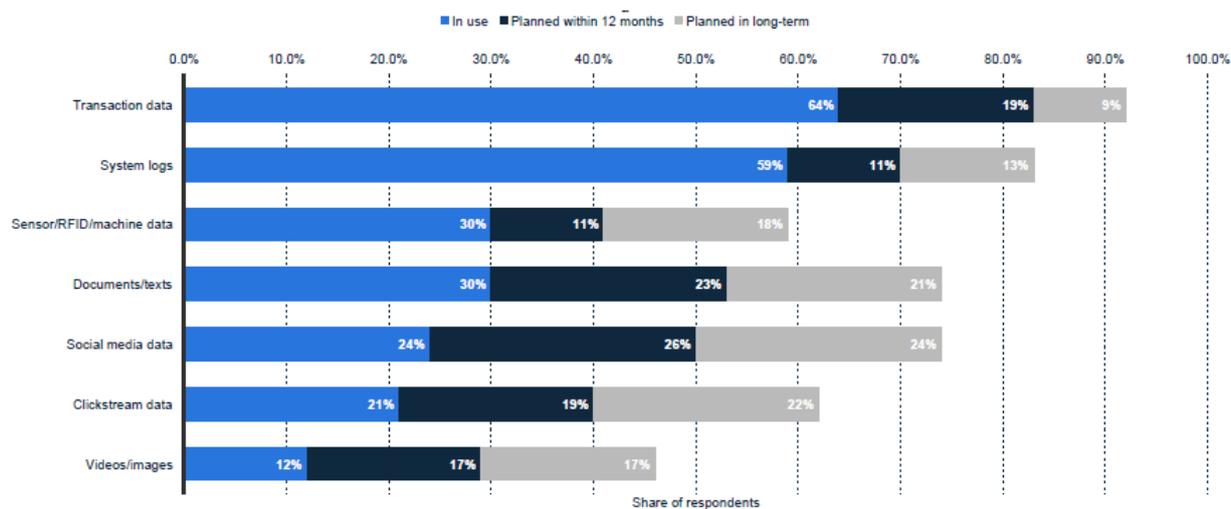


Fig. 5: Tipi/fonti di Big Data usate dalle industrie a livello globale

Con il tempo, oltre alle classiche tre “V” se ne sono aggiunte altre due [14][15][16]:

- **Veridicità**

Considerando la varietà dei dati in input e la velocità alla quale tali dati possono variare, la qualità dei dati in ingresso ai sistemi di analisi tradizionalmente disponibili in processi di estrazione, trasformazione e caricamento di dati in sistemi di sintesi è probabile che non possa essere raggiunta. È quindi evidente che se i dati alla base delle analisi risultano poco accurati, i risultati delle analisi non possono sicuramente rivelarsi migliori. Visto che su tali risultati possono essere basate delle decisioni, è fondamentale assegnare un indice di veridicità ai dati su cui si basano le analisi, in modo da avere una misura dell'affidabilità di questi ultimi;

- **Valore**

Un progetto che fa uso di Big Data necessita di investimenti, anche importanti, per la raccolta dei dati e la loro analisi. Prima di avviare un'iniziativa del genere è importante valutare e documentare quale sia il valore effettivo portato al business e quest'ultimo punto si riferisce proprio alla possibilità di trasformare i dati in valore.

Con il passare degli anni l'importanza dei Big Data è cresciuta sempre di più. Le aziende hanno cominciato a capire quali siano i modi più interessanti per applicare le informazioni racchiuse in questi dati. L'importanza dei dati dipende infatti solo dall'utilizzo che se ne vuole fare; aziende ed enti possono raccogliere dati da qualsiasi fonte e analizzarli per trovare risposte che permettano loro di tagliare i costi, ridurre i tempi, sviluppare nuovi prodotti e ottimizzare l'offerta rendendo le decisioni più consapevoli. Quando i Big Data si uniscono agli Analytics è inoltre importante sottolineare come sia possibile:

- Individuare comportamenti fraudolenti prima che colpiscano la propria organizzazione;
- Trasformare le esigenze dei clienti in offerte concrete nei punti vendita;

- Individuare le cause di guasti, avarie o difetti in brevissimo tempo;
- Determinare interi portafogli di rischio, anche di grandi dimensioni, in pochi minuti.

1.2.3 Tipologie di analisi

Per analizzare ingenti quantità di dati, negli anni sono nati diversi tipi di algoritmi. Oltre a differenziarsi per le tecnologie usate e per la logica che utilizzano per portare risultati, questi algoritmi si distinguono per il tipo di analisi che conducono sui dati. In particolare, esistono tre tipi di analisi che possono essere effettuate sui Big data: l'analisi descrittiva, l'analisi predittiva e l'analisi prescrittiva [17].

- ***Analisi descrittiva***

È il tipo di analisi più semplice. Si tratta di studi che mirano a sintetizzare e descrivere dei dati grezzi. Queste analisi vengono condotte su ampi database con lo scopo di trovare delle correlazioni nascoste tra i dati, affinché emergano delle informazioni utili per chi conduce l'analisi. Nel dettaglio, al fine di riassumere e chiarire le dinamiche e le performance di metriche prestabilite e ricavarne indicazioni sul modo migliore per approcciare le attività future, si occupa di analizzare eventi passati sotto diversi punti di vista. Questo tipo di analisi è di vitale importanza per le aziende, che grazie ad esse sono in grado di comprendere cosa stia succedendo in un determinato dominio di interesse ed effettuare delle scelte mirate di conseguenza. Nonostante non occorra utilizzare tecnologie sofisticate per condurre queste ricerche, senza l'aiuto della potenza computazionale gli esseri umani non sarebbero in grado di condurre queste analisi;

- ***Analisi predittiva***

Il secondo tipo di analisi presentata è quella predittiva. Come suggerisce il nome, il fine ultimo di questo tipo di studi è quello di prevedere cosa accadrà in futuro in un determinato campo applicativo. Per condurre queste analisi è necessario aver effettuato in precedenza un'analisi descrittiva sui dati di interesse, in modo da avere delle informazioni riguardanti l'evoluzione storica dei dati ed eventuali correlazioni tra set di dati; in seguito, degli algoritmi saranno in grado di proiettare queste informazioni in un futuro più o meno prossimo ed evidenziare quelli che potranno essere i trend e i risultati a cui si arriverà. È da sottolineare però che nessun algoritmo statistico è in grado di prevedere con esattezza il futuro, ma si può comunque arrivare a delle probabilità assolute molto buone che spesso sono soddisfacenti per le aziende. Questo tipo di analisi è quindi in grado di migliorare la comprensione del business, contribuendo a prevedere il comportamento dei clienti e le performance dell'organizzazione. Comunemente viene utilizzata per migliorare in termini di competitività le strategie di marketing digitale, per far emergere nuove opportunità di business e per ottimizzare le campagne;

- ***Analisi prescrittiva***

Il terzo tipo di analisi è quella prescrittiva. Si tratta di un campo relativamente nuovo dell'analisi dei Big Data ma che sta prendendo sempre più piede ai giorni d'oggi. L'analisi prescrittiva si spinge oltre la previsione dei risultati futuri che svolge l'analisi predittiva, fornendo raccomandazioni in maniera automatica sulle migliori azioni da intraprendere. Questo è possibile grazie alla sintesi dei dati e all'utilizzo congiunto di scienze matematiche, regole di business e tecnologie di Machine Learning. La similitudine con l'analisi predittiva è molto alta, entrambe forniscono all'utente informazioni relative a quello che sarà con una certa probabilità il futuro; la differenza con il tipo di analisi precedente è però che l'analisi prescrittiva spiega come si dovrà agire per raggiungere l'obiettivo desiderato. Le analisi prescrittive sono complesse da amministrare e la maggior parte delle aziende non le utilizza ancora. Tuttavia, quando vengono implementate correttamente, possono avere un grande impatto su come le imprese adottano decisioni e, in tal modo, aiutarle a fornire i prodotti giusti al momento giusto, ottimizzando così l'esperienza del cliente.

1.3 Processo di sviluppo prodotto

1.3.1 Definizione

Con il termine *processo di sviluppo prodotto*, o processo di progettazione (New Product Development – NPD) si indicano tutte quelle attività che vengono eseguite da una o più persone, dette progettisti, al fine di costruire/realizzare qualsiasi tipo di prodotto, che può essere fisico, soltanto concettuale, oppure un servizio, attraverso la stesura di un progetto [18]. Prima di descrivere nel dettaglio tutte le fasi del processo di sviluppo prodotto è bene soffermarsi un attimo sulla figura del progettista (o designer); si tratta di una figura professionale che possiede un proprio bagaglio culturale ed un'adeguata esperienza che gli permettono di concepire nuovi prodotti od oggetti. La figura del progettista è quindi fondamentale in questo processo, in quanto deve possedere conoscenze, esperienza e creatività sufficienti a realizzare la progettazione. Le conoscenze principali che egli possiede spaziano dalla conoscenza dei materiali da impiegare, alle tecniche di assemblaggio fino alle norme tecniche e alle leggi che insistono sulla materia in cui intende operare. Il designer, oltre a queste conoscenze tecniche, è tenuto inoltre ad avere informazioni e dati provenienti dal marketing, che gli permettono di comprendere in quale direzione si sta muovendo il mercato e quali sono i bisogni dei clienti; solo così il designer sarà in grado di individuare il prodotto più adatto da progettare.

Tornando al processo di sviluppo prodotto, esso copre quindi interamente il processo che porta un nuovo prodotto sul mercato e che trasforma un'opportunità di mercato in un prodotto disponibile per la vendita. Per fare ciò, come accennato in precedenza, è necessaria una comprensione approfondita dei bisogni del cliente, dell'ambiente competitivo e della natura

del mercato; tempo, qualità e costi sono le variabili principali da tenere in considerazione in tutto ciò. Facendo riferimento a queste variabili, le imprese stanno sviluppando continuamente nuove pratiche e metodi per soddisfare i requisiti dei clienti in modo sempre più efficace, con l'obiettivo di guadagnare quote di mercato ed ottenere posizioni favorevoli. Negli anni sono stati sviluppati parecchi modelli per formalizzare il processo di sviluppo prodotto; quello più utilizzato è il modello proposto da Pahl e Beitz, che si compone di quattro fasi [18] come mostrato in Fig. 6:

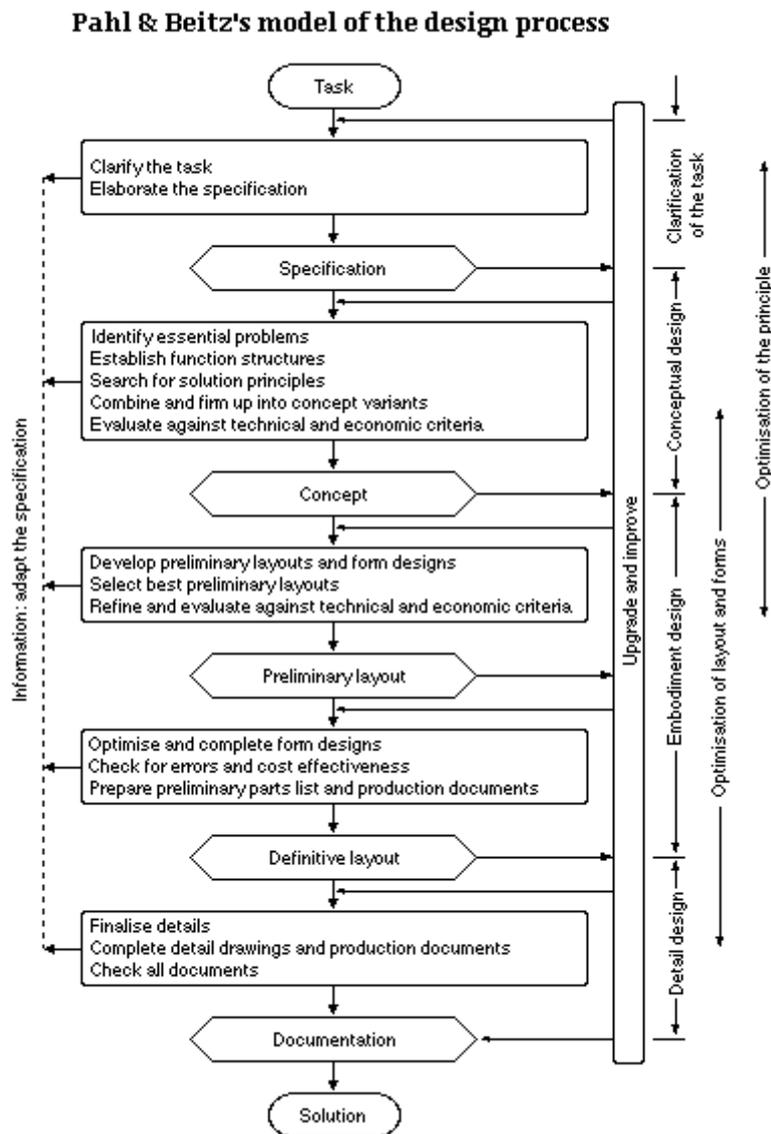


Fig. 6: Design Process – Pahl and Beitz

1) *Planning and Clarifying the Task*

La prima fase è costituita da una pianificazione e un inquadramento generale dell'attività. In questo primo step l'obiettivo è comprendere su quale categoria di

prodotti concentrarsi, scartando quelli di minor interesse. I progettisti devono quindi capire qual è il prodotto adatto al mercato e con quali funzionalità. Per questo si svolgono attività di project portfolio, market research, comprensione dei bisogni dei clienti, pianificazione di attività e risorse ed infine studio di fattibilità funzionale ed economica. In poche parole, si fa il Business Plan dei prodotti che si intende sviluppare. Le funzioni aziendali coinvolte sono: marketing, sales, R&D e corporate finance; le decisioni che occorre prendere sono invece di tipo: strategico, di segmentazione di mercato e di risorse (make or buy);

2) *Conceptual Design*

Dopo aver formulato il problema si passa ad una fase in cui si immagina una rappresentazione completa del prodotto. Le attività svolte in questa fase sono: analisi degli stakeholders, generazione delle idee, selezione delle alternative generate. L'essenza del Design è quella di elaborare una soluzione che funziona "in pratica"; il progettista deve prima di tutto strutturare e capire il problema, poi egli genererà uno spazio delle potenziali soluzioni (fase divergente), che è la fase creativa di base, infine sceglierà e perfezionerà le soluzioni finché non ne esce una idonea (fase convergente). Al centro di questa fase c'è la scelta delle soluzioni tecniche che saranno in grado di soddisfare i requisiti dell'utente precedentemente definiti. Queste soluzioni tecniche definiranno collettivamente un "concept" di prodotto. Una volta creato il concept del prodotto l'impresa redigerà specifiche tecniche dettagliate che fornirà ai progettisti coinvolti nelle fasi successive con una chiara idea delle funzioni e dei livelli di prestazioni che il prodotto dovrà raggiungere. Le funzioni aziendali coinvolte in questa fase sono: R&D, production and maintenance e sales and marketing;

3) *Embodiment Design*

Dopo aver definito il prodotto nel suo insieme si passa a studiare i componenti e l'architettura del prodotto. Nella fase di Embodiment Design molti dettagli devono essere chiariti, confermati o ottimizzati e una volta fatto ciò diventerà più chiaro se sia stato scelto il giusto concept di prodotto. Per ogni concept il progettista dovrà determinare il layout che finirà per essere il prodotto o il sistema tecnico e verificare che i requisiti di funzionalità, resistenza e compatibilità spaziale siano soddisfatti;

4) *Detail Design*

L'esplorazione delle opzioni non termina con una soluzione concettuale ma si estende alla realizzazione fisica dei prodotti. In questa fase, l'ultima, avviene la scelta delle soluzioni tecniche dettagliate, lo studio delle interfacce, la scelta dei materiali, dei fornitori e vengono specificati tempi e costi. Le funzioni aziendali coinvolte sono: R&D, product and maintenance e purchasing. La progettazione di dettaglio include anche la produzione di disegni di progetto finali che possono essere utilizzati per fabbricare il prodotto. Ciò risolve ogni possibile soluzione di un concept di prodotto in un design potenzialmente riproducibile. In questa fase, un progettista può dire di aver esplorato tutti i fattori che potenzialmente potrebbero avere un impatto significativo sulla progettazione, finendo con uno o più progetti potenzialmente fabbricabili.

1.3.2 Classificazione dei metodi di generazione delle idee esistenti

Prima di studiare le tecniche di intelligenza artificiale applicate all'interno del processo di sviluppo prodotto, è bene riportare le tecniche di supporto alla generazione delle idee attualmente utilizzate che non hanno a che fare con l'intelligenza artificiale.

La generazione delle idee, che si trova a sua volta all'interno della fase di "Conceptual Design", è la parte creativa del processo di sviluppo prodotto. Il designer deve accingere a tutte le proprie conoscenze ed esperienze riguardo il particolare artefatto da progettare, per arrivare a definire una serie di alternative che poi saranno valutate. Per fare ciò il progettista si serve di adeguati strumenti e metodologie; le principali vengono presentate di seguito:

- *Analisi funzionale*

L'analisi funzionale è un tipo di studio che viene generalmente condotto all'inizio della fase di Idea Generation e che ha l'obiettivo di far comprendere al designer tutte le funzioni che il prodotto sarà in grado di soddisfare, così da poter collegare le funzioni ai componenti e permettere studi più approfonditi [19]. Essa è un metodo per analizzare e sviluppare una struttura funzionale, cioè un modello astratto di quello che sarà il nuovo prodotto, senza tenere in considerazione features materiali come la forma dell'oggetto, le sue dimensioni e i materiali che verranno impiegati. L'idea che sta alla base è che una struttura di funzioni possa essere costruita da un numero limitato di funzioni elementari su un alto livello di astrazione. Le funzioni sono delle astrazioni di quello che il prodotto dovrebbe fare. Essere forzati a pensare al prodotto in modo astratto stimola infatti la creatività, evitando di "far saltare alla soluzione" il progettista immediatamente elaborando la prima cosa che gli salta in mente, che potrebbe non essere la soluzione migliore. L'analisi funzionale è solitamente seguita da un'analisi morfologica (metodo che sarà presentato in seguito); le funzioni e le sotto-funzioni che sono identificate in questa analisi vengono infatti usate come parametri per il successivo metodo. Come viene svolta quindi questo tipo di analisi? Essa si serve di più tecniche:

- *Functions Tree*

Gli alberi delle funzioni sono rappresentazioni gerarchiche delle varie funzioni del prodotto [19]. Si inizia definendo un nodo padre, la radice, che rappresenta la funzione generale del prodotto e il suo scopo; questa viene scomposta in sotto-funzioni che sono poi scomposte a loro volta in altre sotto-funzioni più specifiche arrivando così ad avere una serie di nodi foglie che rappresentano tutte le singole funzioni che il prodotto andrà a soddisfare. Una volta scomposte tutte le funzioni solitamente viene effettuata un'analisi simile con protagonisti però i componenti e non più le funzioni. La classificazione gerarchica dei componenti (Bill of Material) verrà in seguito utilizzata insieme all'albero delle funzioni, collegando i componenti e le rispettive funzioni che soddisfano;

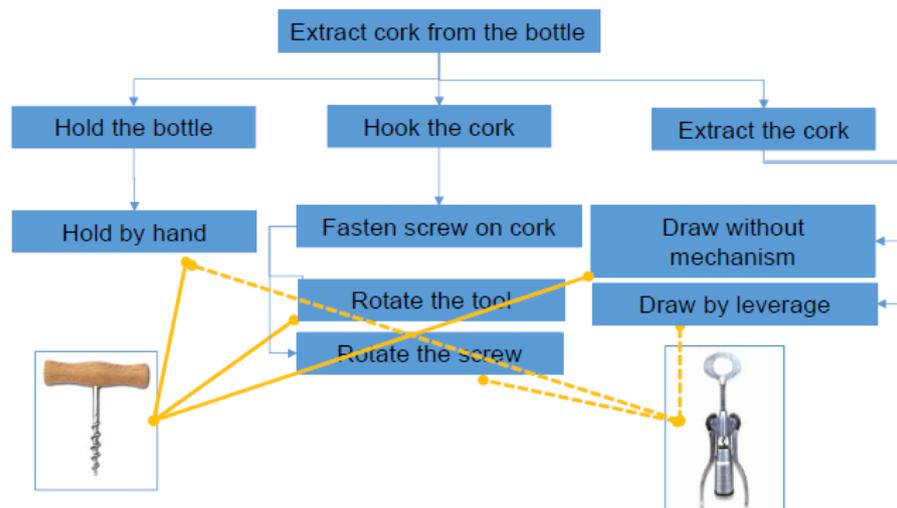


Fig. 7: Esempio di “Functions Tree” per un cavatappi

○ *FAST Diagram*

Il digramma FAST (Function Analysis System Technique) è un particolare tipo di diagramma che mira a rappresentare le relazioni logiche tra le funzioni del prodotto/servizio considerato [19]. Partendo da un input le funzioni sono collegate logicamente tra di loro, fino ad arrivare ad un output. Viene fatta una distinzione tra gli elementi funzionali primari e quelli secondari. I primi sono quelli direttamente coinvolti nella conversione del flusso di ingressi in uscite, gli altri sono invece necessari solo per abilitare il funzionamento degli elementi funzionali primari. Ad esempio, un proiettore può avere un elemento funzionale primario “fornisce luce” che solitamente sarà incarnato da una lampada alogena; il proiettore avrà però anche un elemento secondario “generare flusso d’aria” (probabilmente svolto da un ventilatore) che consente il funzionamento dell’elemento “fornisce luce”. In Fig. 8 viene riportata una rappresentazione di FAST Diagram;

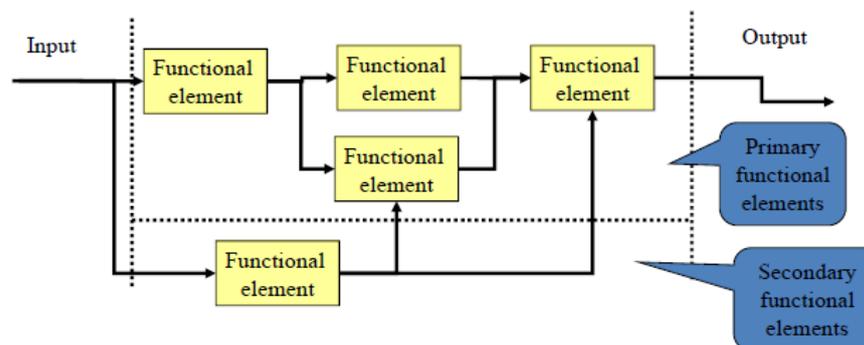


Fig. 8: FAST Diagram

- *Rodenacker Diagram*

Molto simile al diagramma FAST; qui però viene fatta una distinzione tra i flussi che collegano gli elementi funzionali, che possono essere: materiali, energia, informazione e controllo [19]. In Fig. 9 viene mostrata una rappresentazione di Rodenacker Diagram;

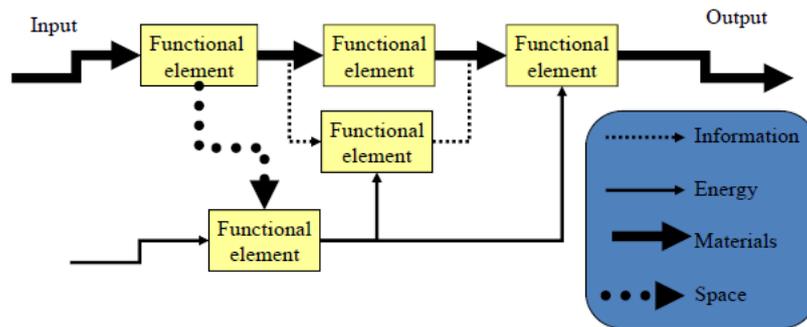


Fig. 9: Rodenacker Diagram

- *Morphological Analysis*

L'analisi morfologica, come detto in precedenza, è un'analisi che prende in input i dati provenienti dall'analisi funzionale. Essa consiste nel ricavare tutti gli elementi di forma del prodotto, ovvero le parti principali del prodotto, ed elencare poi tutte le possibili alternative con cui queste parti possono essere implementate [20]. Riunendosi in focus group i progettisti combinano poi le varie alternative degli elementi di forma del prodotto, fino ad arrivare alla combinazione ottimale;

Design Form Element	Design Form Type					
	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Type 6
Shape of bottle top (x_1)	 Arch (x_{11})	 T-shape (x_{12})	 Rectangle (x_{13})	 Extraordinary-shape (x_{14})	 Cylinder (x_{15})	None (x_{16})
Connection of bottle top and body (x_2)	 With-connection (x_{21})	 None (x_{22})				
Shape of bottle shoulder (x_3)	 0-40° (x_{31})	 40°-70° (x_{32})	 Above 70° (x_{33})	 Others (x_{34})		
Shape of bottle body (x_4)	 Symmetrical-curves (x_{41})	 Symmetrical-lines (x_{42})	 Parallels (x_{43})	 Irregular-lines (x_{44})		
Shape of bottle bottom (x_5)	 Obtuse-angled (> 90°) (x_{51})	 Acute-angled (< 90°) (x_{52})	 Right-angled (= 90°) (x_{53})			
Ratio of width and length (x_6)	 1:1 (x_{61})	 1:1-1:3 (x_{62})	 Above 1:3 (x_{63})			
Transparency of bottle top (x_7)	 Transparent (x_{71})	 Opaque (x_{72})				
Transparency of bottle body (x_8)	Transparent (x_{81})	Opaque (x_{82})				
Texture of bottle body (x_9)	 Patterned (x_{91})	 Geometric (x_{92})	 Streaked (x_{93})	 None (x_{94})		

Fig. 10: Esempio di “Morphological Analysis” condotta su una bottiglietta di profumo

- **Brainstorming**

Il brainstorming è un altro diffusissimo strumento di generazione delle idee. È una tecnica di gruppo che ha l’obiettivo di far emergere idee volte alla risoluzione di un problema. Esso consiste nell’organizzare una riunione in cui è presente un moderatore a dirigere il lavoro. Il focus è molto specifico nonché limitato e nella versione classica i componenti, dopo essere stati istruiti sul tema, discutono a turno delle idee che essi hanno per risolvere il problema. Solitamente ogni partecipante ha una decina di minuti per esporre le idee; una volta finito il giro dei partecipanti vengono dettagliate le soluzioni del problema a cui segue poi solitamente una fase di voto, volta a ridurre il numero delle idee e tenere soltanto quelle più significative. Il processo si ripete poi in altri round finché non si arriva ad una soluzione soddisfacente. Oltre alla versione classica esistono altre varianti di brainstorming [19]:

- *Crawford Slip Writing*

Ha la stessa logica della versione classica solo che in questo caso le idee non vengono espone oralmente ma vengono scritte su dei post-it;

- *Brain Writing*

Ogni partecipante scrive la propria idea su un foglio che viene poi consegnato al vicino di posto. Quest'ultimo deve dettagliare l'idea del compagno e passarla poi a sua volta al suo vicino;

- *Crawford 6(x)-3-5*

Si tratta di un brainstorming costituito da pochi partecipanti (solitamente 6, oppure "x"), in cui un foglio è diviso in tre colonne e una riga per ogni partecipante; nei primi cinque minuti ogni partecipante scrive tre idee e poi il foglio viene passato come nel caso precedente al proprio vicino di posto.

Esistono poi versioni di brainstorming basate sulla competizione:

- *Brain writing game*

I partecipanti vengono divisi in gruppi che gareggiano uno contro l'altro; vince il gruppo che riesce a trovare la soluzione per le idee degli altri gruppi;

- *Force fit game*

I partecipanti in questo caso vengono divisi soltanto in due gruppi: uno genera l'idea e l'altro cerca di trovare la soluzione;

- *Rawlinson Brainstorming*

Uguale al metodo precedente, con la differenza che in questo caso i gruppi vengono organizzati gerarchicamente;

- *Imaginary Brainstorming*

Procedura di brainstorming classica ma il problema viene riformulato in un contesto diverso;

- *Negative Brainstorming*

Procedura di brainstorming classica nel quale vengono presi in considerazione gli aspetti negativi e i problemi del tema trattato.

- ***Checklist Method***

Le checklist sono strumenti semplici che supportano la generazione di concepts. Esse consistono in una serie di semplici domande, che possono essere utilizzate singolarmente o in gruppi; le checklist hanno lo scopo di incoraggiare uno sviluppo sistematico di concetti. Inoltre, l'uso di liste di controllo incoraggia la creatività e la divergenza nella generazione di concepts;

- ***Attribute Listing Method***

L'Attribute Listing Method (metodo dell'elenco degli attributi) è un approccio analitico per riconoscere nuove forme di un sistema o un prodotto identificando/riconoscendo le sue aree di miglioramento. Per capire come valorizzare un particolare prodotto, esso viene suddiviso in parti, si notano le caratteristiche fisiche

di ciascun componente e tutte le funzioni di ciascun componente sono spiegate e studiate per vedere se eventuali modifiche o ricombinazioni danneggerebbero o migliorerebbero il prodotto;

- ***Biomimicry***

È un metodo di supporto alla creatività che consiste nel prendere spunto dalla natura per progettare nuovi prodotti. Gli artefatti saranno quindi generati con una forma simile a quella dell'aspetto naturale preso in considerazione, oppure con gli stessi materiali, colori, ecc.;

- ***TRIZ***

TRIZ è uno strumento di supporto alla creatività e alla soluzione di problemi. Esso è stato proposto da Genrich Saulovich Altshuller, ed è l'acronimo del russo Teorija Rešenija Izobretatel'skich Zadač. L'obiettivo di questo metodo è di catturare il processo creativo in ambito tecnico e tecnologico, codificarlo e renderlo così ripetibile e applicabile [19]. Lo strumento si basa sull'idea che qualsiasi sistema tecnico che sia in grado di consegnare una funzione consta di quattro elementi:

- Uno strumento, che è l'elemento di lavoro che fornisce la funzione;
- Un motore, che è l'elemento che fornisce l'energia richiesta dall'attrezzo per produrre l'effetto previsto della funzione;
- Una trasmissione, che porta energia dal motore allo strumento;
- Un controllo, che è un elemento che governa uno o più dei precedenti elementi.

I 3 postulati su cui si basa il modello sono invece:

- 1) I sistemi tecnici evolvono secondo leggi note;
- 2) Un progettista nel suo processo risolutivo incorre in problemi; per risolverli deve risolvere le cosiddette contraddizioni. Una contraddizione è un trade-off, ovvero un conflitto tra un sistema e il suo ambiente o tra i componenti del sistema stesso. Ogni qualvolta si presenta una contraddizione, questa può essere espressa nella sua forma più elementare mediante tre elementi: una variabile di controllo su cui il progettista può agire e due parametri di valutazione i cui valori dipendono dalla variabile di controllo; una contraddizione si verifica se, cambiando la variabile di controllo, l'effetto su un parametro è vantaggioso e l'altro è dannoso. Ad esempio, un tavolo dovrebbe essere robusto affinché si possa lavorare in sicurezza, ma anche abbastanza leggero in modo che possa essere facilmente spostato. Una variabile di controllo che influenza entrambi questi parametri è lo spessore del tavolo. Tuttavia, questo porta ad una contraddizione poiché uno spessore maggiore garantisce robustezza ma rende il tavolo più pesante. Le contraddizioni individuate da Altshuller sono di numero finito, 39 per la precisione. I principi solutivi sono invece tre:

- *Separazione*

Consiste in una separazione di tipo spaziale (ad esempio una tazza che deve essere calda dentro e fredda fuori), temporale o su condizione;

- *Compromesso*

È una soluzione che soddisfa parzialmente entrambi i parametri, ma non ne soddisfa pienamente neanche uno;

- *Bypassing*

Consiste nel bypassare la contraddizione e di fatto ignorarla.

- 3) Si può separare in base alle cinque risorse che sono: tempo, spazio, info, energia e materiali.

Le maggiori evidenze che TRIZ porta sono due:

- Il 99% delle soluzioni non sono innovazioni, ma sfruttano principi innovativi già esistenti;
- Le innovazioni davvero tecnicamente diverse nascono dalle contraddizioni.

Una classificazione possibile di questi metodi viene proposta da [21] ed è stata qui raffinata per completezza. Secondo questa suddivisione matriciale i metodi possono dapprima dividersi in:

- *Manual-Based Approaches*

Sono tutti quei metodi che vengono applicati manualmente, senza nessun ausilio tecnologico;

- *Computer-Aided Approaches*

Comprendono tutti quegli approcci che utilizzano computer e potenza di calcolo artificiale per guidare una persona nel processo creativo al fine di generare idee;

- *Computer-Generated Approaches*

Quest'ultima categoria contiene tutti quei metodi di generazione delle idee completamente automatizzati da un computer, in cui quindi il designer non ricopre alcun ruolo.

Un secondo tipo di distinzione che si può fare fra questi metodi è la seguente:

- *Systematic Design*

Comprende tutti quei metodi per la generazione delle idee già formalizzati e appunto "sistematici", cioè metodi in cui bisogna effettuare una serie di passi formalizzati, prestabiliti e ben definiti per arrivare al risultato;

- *Altri*

Cioè tutti quei metodi che non appartengono alla categoria di “Systematic Design”.

Il risultato di questa classificazione può essere così rappresentato in *Fig. 11*:

	Systematic Design	Other
Manual-Based Approach	<ul style="list-style-type: none"> • Functional Analysis (<u>function trees</u>, FAST, <u>Rodenacker diagram</u>) • <u>Morphological Analysis</u> 	<ul style="list-style-type: none"> • Brainstorming • Check List Method • <u>Attribute Listing Method</u>
Computer-Aided Approach	<ul style="list-style-type: none"> • TRIZ 	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Biomimicry</u>
Computer-Generated Approach		<ul style="list-style-type: none"> • <u>Artificial Intelligence Methods</u>

Fig. 11: Classificazione dei metodi di generazione delle idee

In letteratura è possibile trovare diversi sistemi o modelli che utilizzano i metodi descritti in questo capitolo come supporto alla generazione delle idee; dalla Literature Review condotta da Kai Wang e Jeffrey V. Nickerson [36] sono state estrapolate le principali metodologie che rientrano in questa categoria che possono essere consultate in Appendice B.

Capitolo 2

2 Obiettivi dell'analisi

La crescente mole di dati disponibili al giorno d'oggi e gli sviluppi nel campo dell'intelligenza artificiale hanno fatto sì che i Big Data e le analisi condotte su di essi diventassero un driver vitale per l'innovazione, la competizione e la crescita dell'economia globale. Le imprese stanno sempre di più imparando ad usare questi strumenti per sviluppare il proprio business, applicandoli in contesti diversi per raggiungere gli obiettivi più disparati. Lo studio svolto in questo lavoro si è concentrato sul processo di sviluppo prodotto; in particolare si è cercato di comprendere come le tecniche di Artificial Intelligence potessero essere applicate nella fase creativa del processo, ovvero quella del "Conceptual Design", dove i primi concepts di prodotto vengono generati, e la possibilità di automatizzazione di quest'ultima è stata investigata. Le aziende sono infatti sommerse da dati che arrivano sia dal Marketing, ovvero dati raccolti direttamente dai clienti, sia dal normale processo di sviluppo prodotto. La gestione del ciclo di vita del prodotto (Product Lifecycle Management – PLM), ovvero il processo con il quale si gestiscono tutte le informazioni dei processi e delle risorse che supportano il ciclo di vita di prodotti e servizi a partire dalla loro ideazione, passando per lo sviluppo, fino al lancio sul mercato, con il passare del tempo produce una serie di dati in quanto l'azienda ha informazioni sempre migliori su come si progetta un determinato prodotto o servizio. Quanto un algoritmo, dandogli in pasto tutti questi dati, è in grado di progettare quanto un uomo? Gli algoritmi sono già abbastanza evoluti per fare ciò? Bisogna essere per forza un essere umano per progettare e generare idee? La possibilità di arrivare ad un'automatizzazione del processo di progettazione non è però un'idea recente; negli scorsi cinquant'anni diverse ricerche sono state condotte per testare la fattibilità di questa strada. L'ostacolo maggiore per l'implementazione di un tale sistema risiedeva probabilmente nella mancanza di sufficienti dati e nella scarsa potenza di calcolo disponibile. Negli ultimi anni però, come descritto nel primo capitolo, la situazione è notevolmente cambiata. Il numero di dati raccolti è aumentato esponenzialmente e contemporaneamente si sono resi disponibili computer molto potenti che permettono di eseguire operazioni complicate in poco tempo. La ricerca si è quindi concentrata sulle possibilità reali di automatizzare il processo di sviluppo o almeno parte di esso, come ad esempio la generazione delle idee.

2.1 Domande di ricerca

In termini di obiettivi di ricerca, questo studio è stato approcciato cercando di rispondere alle seguenti domande di ricerca:

- 1) *Quali sono gli algoritmi di intelligenza artificiale che possono essere utilizzati all'interno della fase di Conceptual Design?*
- 2) *Che caratteristiche devono avere questi algoritmi? Sono descrittivi, predittivi o prescrittivi?*
- 3) *È possibile automatizzare la fase di Conceptual Design, o almeno parte di essa, come ad esempio la generazione delle idee?*

Per rispondere a queste domande è stata svolta una Literature Review che ha preso in considerazione articoli di descrizione generale degli argomenti di interesse e articoli riportanti modelli implementati o framework teorici.

Capitolo 3

3 Metodologia

In questo capitolo verranno illustrati tutti i passi che hanno permesso di condurre una ricerca mirata a rispondere alle Research Questions, dalla selezione iniziale degli articoli appropriati fino alla definizione dei risultati.

Il primo passo, preliminare al lavoro di ricerca vero e proprio, è stato quello di inquadrare l'argomento specifico di studio e comprendere a fondo il problema per poter condurre delle ricerche il più mirate possibile in un secondo momento. Si è quindi proceduto ad una ricerca di materiale su Internet riguardante l'intelligenza artificiale in generale in tutte le sue sfaccettature, i Big Data e il grande interesse attuale che stanno suscitando e infine il processo di sviluppo prodotto già discusso nel corso di studi "Gestione dell'Innovazione e Sviluppo del Prodotto". Dopo aver portato a termine questo primo step è stato possibile iniziare il lavoro vero e proprio di Literature Review che sarà descritto nel paragrafo successivo.

3.1 Systematic Literature Review

La Literature Review svolta ha preso in considerazione articoli scientifici riportanti modelli, sistemi o framework teorici di tecniche di intelligenza artificiale applicate alla fase di Conceptual Design. Per selezionare solo gli articoli pertinenti, sono state scelte con cura le fonti di informazione, l'intervallo di tempo da considerare e le parole chiave da ricercare:

- Per quanto riguarda le *fonti di informazioni* da cui accingere per le ricerche si sono consultati Journals quali Elsevier o International Journal of u- and e-Service, Databases di articoli scientifici come IEEE Xplore, Design Society, Springer, Emerald e Wiley e il più generale Google Scholar, conducendo una ricerca per selezionare il maggior numero possibile di papers riguardanti l'argomento;
- La letteratura consultata è stata quella relativa alla creatività degli algoritmi di intelligenza artificiale, per cercare di rispondere al quesito principale, ovvero la possibilità di automatizzare il processo di sviluppo prodotto e in particolare la fase creativa di questo processo, ovvero la generazione delle idee. Negli articoli scientifici selezionati, l'obiettivo era quindi capire se e come gli algoritmi siano in grado di sostituirsi alla capacità progettuale. Le *parole chiave* inserite per condurre la Literature Review sono state: Idea Generation, Creativity, Product Development Process, Big Data, Data-Driven Design, Artificial Intelligence algorithms e Data Mining;

- L'*intervallo di tempo* considerato, infine, va dal 1990 al 2018.

Combinando le parole chiave, circa 150 papers sono stati inizialmente identificati. Per giungere al set finale di articoli utili per le analisi sono stati condotti gli ulteriori passi:

- Sono stati letti gli abstract di tutti i papers iniziali, in modo da identificare quelli che effettivamente riguardavano il Data Analytics in ambito Design, arrivando ad avere circa 100 articoli;
- Nel secondo step è stata condotta una seconda review degli articoli rimanenti, in particolare si è fatta una distinzione tra gli articoli di carattere generale sull'Artificial Intelligence applicata in ambito sviluppo prodotto, che hanno contribuito alla comprensione dell'argomento e alla redazione di questo elaborato, e quelli invece riportanti modelli o sistemi già implementati da altri autori che invece sono stati aggiunti al database sul quale si sono svolte le analisi successive e che hanno permesso di creare l'indice di automatizzazione della fase di Conceptual Design nel tempo (che verrà introdotto in seguito). Questi ultimi ammontavano a 45.
- Infine, è stata condotta una full review degli articoli rimanenti i quali, come accennato, hanno contribuito alla creazione del database sul quale si sono svolte le analisi.

3.2 Classificazione degli articoli scientifici

Il passo successivo è stato quello di trasferire queste conoscenze in un Database appositamente creato su un foglio di calcolo Microsoft Excel per poter effettuare delle statistiche e ulteriori analisi; per ogni articolo è stato quindi creato un record formato da dodici attributi come mostrato in *Fig. 12*, ovvero:

- 1) *Nome articolo;*
- 2) *Numero identificativo;*
- 3) *Settori industriali;*
- 4) *Applicazioni;*
- 5) *Ambiti;*
- 6) *Tipologia di analisi svolta dell'algoritmo (descrittiva, predittiva o prescrittiva);*
- 7) *Autore;*
- 8) *Tipologia (framework teorico, sistema, modello, ecc.);*
- 9) *Descrizione dell'articolo;*
- 10) *Anno;*
- 11) *Tecnologia utilizzata;*
- 12) *Fase del processo di sviluppo prodotto in cui veniva applicata la tecnologia;*

Articoli	n°	Settori	Applicazioni	Ambiti	Descrittivo	Predittivo	Prescrittivo	Autore	Tipologia	Descrizione	Anno	Tecnologia 1	Tecnologia 2
Neural Network model for design retrieval in manufacturing systems	63	Manifatturiero	Intelligent Data Processing	Design	X		X	V. Venugopal and T. T. Narendran	System	Sistema di product retrieval per la progettazione di parti di prodotti uguali fra loro	1991	ANN	
A genetic algorithm based preliminary design system	70	Manifatturiero	Intelligent Data Processing	Design			X	D.T. Pham and Y. Yang	System	Algoritmo genetico che genera concepts multipli	1993	AG	
The evolution of solid objects using genetic algorithms	72	Manifatturiero	Intelligent Data Processing	Design			X	Peter J. Bentley and Jonathan P. Wakefield	Framework	Generazione e valutazione di concepts con algoritmi genetici	1995	AG	
Using ART1 neural networks with destructive solid geometry for design retrieving systems	64	Manifatturiero	Intelligent Data Processing	Design			X	C. A. Chang and C. Y. Tsai	System	Sistema che utilizza la rete neurale artificiale ART1 per generare concepts	1996	ANN	
Conceptual Evolutionary Design by a Genetic Algorithm	2	Manifatturiero	Intelligent Data Processing, Image Processing	Design		X	X	Peter J. Bentley and Jonathan P. Wakefield	Prototype System	Applicazione di un algoritmo genetico per generare dei design alternativi di un prisma	1997	AG	
A semantic and shape grammar based approach for product design	12	Manifatturiero	Intelligent Data Processing, Image Processing	Design			X	Shih-Wen Hsiao and Ching-Hai Chen	Model	applicazione di un SE rule-based per il conceptual design di una sedia da ufficio	1997	SE Rule-Based	
An Artificial Intelligence Approach to Industrial Design Support	56	Manifatturiero	Intelligent Data Processing	Design			X	Ming Xi Tang	Framework	sistema per il conceptual design e l'embodiment design di prodotti industriali	1998	AG	
Design Automation with the Aids of Multiple Artificial Intelligence Techniques	34	Manifatturiero	Intelligent Data Processing	Design, Produzione			X	Daizhong Su	Prototype System	integrazione di un expert system, ANN e AG in un sistema per il conceptual design, l'embodiment design e la produzione di un sistema che applica un algoritmo genetico alla fase di conceptual design	1999	SE Rule-Based	ANN
Genetic algorithms based systems for conceptual engineering design	60	Manifatturiero	Intelligent Data Processing	Design	X		X	Dragan Cvetkovic and Ian C. Parmee	Framework		1999	AG	

Fig. 12: Database creato su Microsoft Excel per poter svolgere le analisi

La descrizione completa di ogni articolo selezionato in seguito alla Literature Review, così come svolta all'interno del database, è consultabile nell'Appendice A.

3.3 Svolgimento delle analisi descrittive sul Database

Grazie alle informazioni riportate nel database è stato possibile condurre le successive analisi combinando questi dati in diversi modi; in particolare sono state condotte sette tipi di analisi differenti, i cui risultati saranno riportati nel capitolo successivo. Esse sono:

- **Calcolo del numero di papers trovati per ogni anno**

Si sono conteggiati il numero di articoli scientifici trovati per ogni anno, così da evidenziare eventuali trends riguardanti l'interesse verso questo tema di ricerca;

- **Calcolo del numero delle diverse tecniche di IA**

Si è poi andati a identificare quali siano tutte le tecniche di IA applicabili allo sviluppo prodotto e in particolare alla fase di Conceptual Design. Si è quindi proceduto a conteggiare le varie tecniche per identificare quelle più usate e quelle invece di minor interesse.

- **Calcolo del numero delle diverse tecniche di IA nel tempo**

Distinte le diverse tecniche di intelligenza artificiale usate in ambito sviluppo prodotto, si è proceduto a calcolare quanto frequentemente sia stata impiegata ciascuna tecnica nel corso degli anni. Con questa analisi temporale è stato possibile capire quali

tecnologie sono state usate maggiormente negli anni, su quali si sta puntando per il presente e il futuro e quali sono state quelle abbandonate nel corso degli anni passati;

- ***Calcolo del numero di algoritmi che svolgono un'analisi descrittiva, predittiva o prescrittiva***

Ogni algoritmo è stato classificato come descrittivo, predittivo o prescrittivo (è possibile anche che un algoritmo svolga più di un'analisi) e il numero totale di articoli appartenenti a ciascuna categoria è stato calcolato;

- ***Calcolo del numero di algoritmi descrittivi, predittivi e prescrittivi nel tempo***

È stata svolta un'analisi temporale che evidenzia quale tipo di analisi è stata maggiormente svolta per ogni anno. Così facendo si possono far emergere trend riguardanti l'evoluzione degli algoritmi in questo senso;

3.4 Realizzazione di un indice dell'automatizzazione nel tempo della fase di Conceptual Design grazie a tecniche di intelligenza artificiale

Al termine di queste analisi è stato infine stilato un indice per capire come sia evoluto nel tempo il grado di automatizzazione delle tecniche di Artificial Intelligence applicate alla fase di Conceptual Design. Facendo riferimento alla letteratura di Pahl e Beitz, la fase di Conceptual Design è stata scomposta in tutte le sue fasi elementari di seguito elencate [18]:

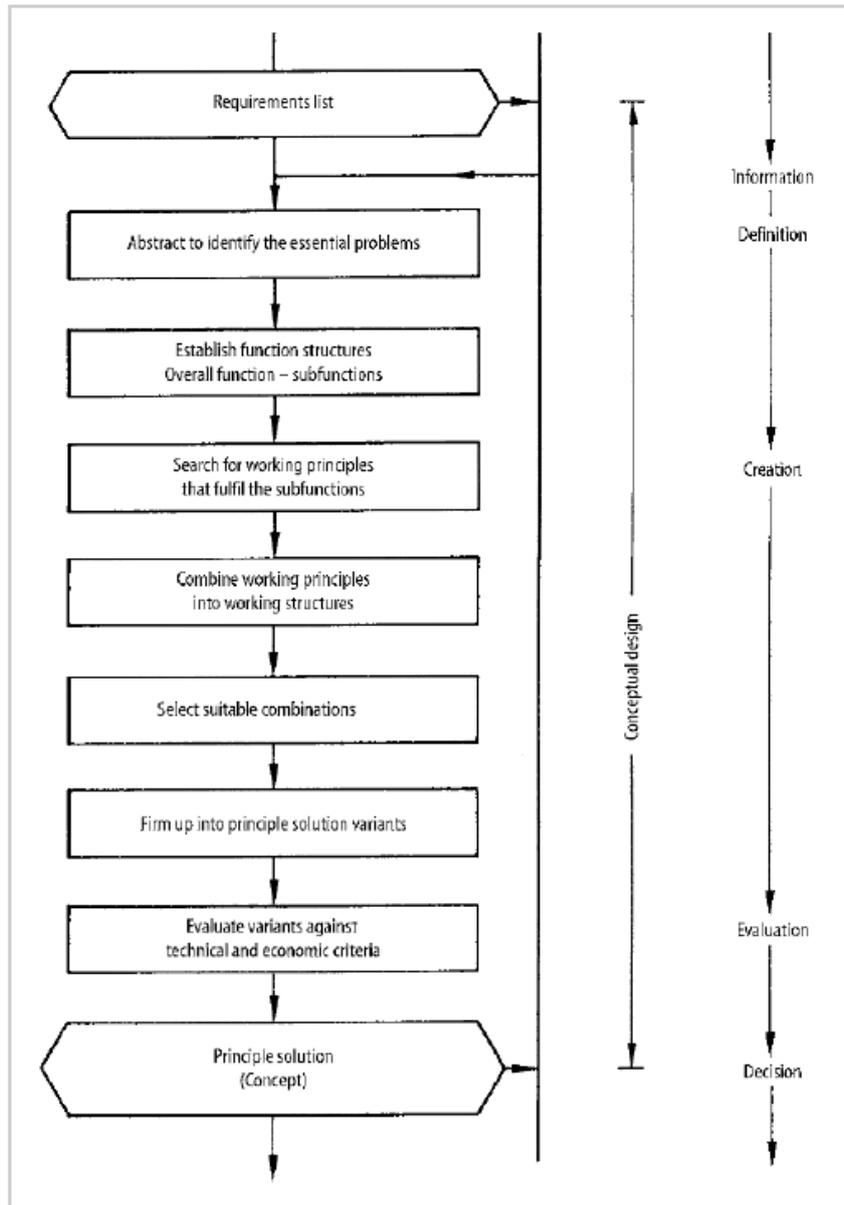


Fig. 13: Conceptual Design

Infine, ogni paper all'interno del Database è stato consultato con lo scopo di definire quali fasi del Conceptual Design venivano svolte dall'intelligenza artificiale e quante invece dal designer. Queste informazioni, riportate all'interno del Database, hanno permesso di studiare l'evoluzione del grado di automatizzazione della fase di Conceptual Design nel tempo e di capire quali sono le fasi già automatizzate e quelle invece che hanno ancora bisogno di ulteriori sviluppi per essere automatizzate. I risultati ottenuti sono visibili nel capitolo successivo.

3.5 Validazione dei risultati tramite analisi statistica

Definito l'indice dell'automatizzazione così come descritto nel paragrafo precedente, è stato infine svolto uno studio statistico per validare i risultati raggiunti. In particolare, è stato usato il software statistico IBM SPSS, che mette a disposizione diversi strumenti di statistica avanzata. Il software è stato impiegato per condurre un'analisi delle varianze che miravano a verificare la significatività dei dati raccolti. Le analisi condotte, nello specifico, sono state:

- *Analisi ANOVA*

Si tratta di un insieme di tecniche di statistica inferenziale che permettono di studiare due o più gruppi di dati confrontando la variabilità interna a questi gruppi con la variabilità esterna, ovvero tra i gruppi. In alcuni casi è infatti possibile che le differenze tra le medie rilevate in più insiemi di dati siano frutto della casualità, a causa dell'elevata variabilità dei dati interna ad un gruppo. Per condurre l'analisi solitamente si parte formulando una cosiddetta ipotesi nulla, ovvero si ipotizza che le differenze osservate tra i gruppi di dati in questione siano attribuibili ad oscillazioni casuali. Calcolando le varianze interna ed esterna ai gruppi è poi possibile condurre un test chiamato test F per il confronto di due varianze, basato sulla distribuzione F di Fisher-Snedecor, con lo scopo di verificare l'ipotesi nulla. Con il calcolo poi del cosiddetto p-value, ovvero la probabilità di ottenere un risultato uguale o "più estremo" di quello osservato è possibile calcolare il grado di significatività relativo alla differenza tra i gruppi fissando un valore soglia (solitamente uguale a 0,05); se il p-value risulta minore del valore soglia si può affermare che l'evidenza empirica è fortemente contraria all'ipotesi nulla la quale va quindi rifiutata, che non significa che sicuramente la differenza tra i gruppi di dati non è da attribuire al caso, ma che con una probabilità del 95% (fissato un valore soglia dello 0,05 come di consuetudine) esiste una significativa differenza tra i dati. È stata condotta un'analisi ANOVA piuttosto che un t-test in quanto i gruppi di dati da analizzare erano superiori a due.

- *Analisi Post-Hoc*

A volte il rifiuto dell'ipotesi nulla quando ci sono più di due gruppi a confronto non costituisce un risultato sufficiente. In questi casi bisogna chiedersi quali siano i gruppi le cui medie effettivamente differiscono significativamente tra di loro. Per rispondere a questo quesito è opportuno svolgere una serie di confronti appaiati tra tutte le possibili combinazioni di medie prese a due a due. Le Analisi Post-Hoc servono proprio a questo scopo. Esse racchiudono una serie di test che, confrontando a due a due i gruppi di dati di riferimento delle analisi, sono in grado di stabilire tra quali gruppi la differenza tra le medie è significativa al livello soglia fissato in un primo momento. In particolare, i test più usati sono l'LSD (Least Significance Difference) e i test di Bonferroni, Sidak o Tukey. Per l'analisi statistica condotta in questo lavoro è stato usato il test LSD, che compara a due a due le medie di ciascun gruppo con tutte le altre medie con l'obiettivo di verificare tra quali gruppi la differenza delle medie è significativa.

Queste analisi sono state quindi svolte con l'obiettivo di verificare la significatività dei risultati ottenuti per la creazione dell'indice e sono mostrati nel capitolo relativo ai risultati.

Capitolo 4

4 Risultati

In questo capitolo verranno presentati i risultati a cui si è giunti in seguito alle analisi svolte sugli articoli scientifici consultati durante la Literature Review descritta nel capitolo 3.

4.1 Metodi di intelligenza artificiale applicati alla fase di Conceptual Design

Durante la Literature Review, leggendo i paper derivanti dalla prima scrematura che ammontavano a circa 150, è emerso come il Machine Learning comprenda gli algoritmi e le tecniche utilizzate in ambito sviluppo prodotto. In questo paragrafo si descriveranno nel dettaglio tutte le tecniche che svolgendo la Literature Review sono risultate essere applicate per la fase creativa del processo di sviluppo prodotto.

Come introdotto nel primo capitolo il *Machine Learning* (apprendimento automatico) è la principale famiglia di metodi dell'intelligenza artificiale. Essa consiste in algoritmi che sono in grado di migliorare le proprie capacità e prestazioni nel tempo. Questi sistemi permettono quindi di imparare a svolgere determinati compiti migliorando, tramite l'esperienza, le proprie capacità, le proprie risposte e le proprie funzioni. Gli algoritmi, partendo da nozioni primitive, sono capaci di prendere una specifica decisione piuttosto che un'altra o effettuare azioni apprese nel tempo. Da quanto emerso svolgendo la Literature Review, a seconda del modo con cui la macchina impara ed accumula dati e informazioni si possono suddividere i sistemi di apprendimento automatico in tre categorie:

- 1) *Apprendimento non supervisionato*
- 2) *Apprendimento supervisionato*
- 3) *Apprendimento con rinforzo*

4.1.1 Apprendimento non supervisionato

La prima tipologia di apprendimento automatico discussa è quella di apprendimento non supervisionato. Come tutti gli altri tipi di apprendimento automatico questi metodi mirano ad estrarre della conoscenza in maniera automatica a partire da basi di dati. In questo particolare

caso tale operazione avviene senza una specifica conoscenza a priori dei contenuti da analizzare. Al sistema vengono infatti forniti dei dati in input (esperienza del sistema) che egli classificherà e organizzerà in base a caratteristiche comuni, con lo scopo di prevedere dei comportamenti o delle situazioni che potrebbero presentarsi nel momento in cui al sistema verranno dati altri dati in input. I dati in input però, a differenza di quanto accade nel caso dell'apprendimento supervisionato, non sono etichettati, ovvero non hanno nessuna corrispondenza con dei dati in output. In poche parole, il sistema non ha già una base di conoscenza da cui imparare in cui un certo insieme di caratteristiche nei dati in input è correlato ad un determinato output, ma deve invece “arrangiarsi” per trovare dei pattern e delle logiche nei dati. Queste tecniche sono particolarmente efficienti con dati di tipo numerico, in quanto lavorano confrontando gli elementi e ricercando similarità o differenze. Avendo a che fare con dei numeri è possibile quindi applicare metodi statistici che rendono queste tecniche molto accurate. Questi algoritmi sono anche detti algoritmi di *Data Mining* (estrazione dei dati), in quanto si concentrano sulla scoperta di proprietà prima sconosciute nei dati, e possono essere classificati come segue:

- ***Clustering***

Il *Clustering* è una tecnica di intelligenza artificiale che ha come scopo quello di selezionare e raggruppare un insieme di elementi omogenei in “clusters”. Queste tecniche si basano sul concetto di distanza tra due elementi e possono essere di due diversi tipi:

- 1) Bottom-Up

La situazione iniziale è rappresentata da dati che sono separati tra di loro. L'algoritmo provvede a unire gli elementi che reputa “meno distanti”, ovvero più simili, in base a determinate caratteristiche;

- 2) Top-Down

Inizialmente i dati sono tutti raggruppati in un unico cluster. L'algoritmo divide poi gli elementi in sotto-clusters.

- ***Association Rules***

Nel mondo dell'intelligenza artificiale le *regole di associazione* sono delle formule logiche che permettono di associare dei dati ad altri dati. Queste regole permettono di individuare collegamenti anche tra raccolte di dati molto estese. Queste informazioni possono essere utilizzate come base per le decisioni riguardanti attività di marketing, ma possono essere impiegate anche in altre aree quali web mining o rilevamento di anomalie.

4.1.2 Apprendimento supervisionato

L'apprendimento supervisionato è la seconda tipologia di apprendimento automatico discussa. Essa, come nel caso dell'apprendimento supervisionato, ha come fine ultimo quello di istruire un sistema informatico in modo tale da svolgere autonomamente dei compiti. La differenza con il primo metodo discusso sta nel fatto che al sistema vengono forniti in input dei dati che sono etichettati, ovvero agli input corrispondono determinati output desiderati. Perciò se nel caso precedente le tecniche di Data Mining si concentrano sulla scoperta di proprietà nei dati prima sconosciute, in questo caso ci si concentra sulla previsione basata su proprietà note apprese dai dati. Il sistema sarà infatti in grado di estrarre una regola generale che associa l'input all'output che gli viene sottoposto inizialmente e che sarà applicabile anche ai nuovi dati in input. In questa categoria di apprendimento rientrano due tecniche:

- ***Decision Trees***

I *Decision Trees* (alberi di decisione), sono tecniche nate al fine di supportare l'azione decisionale (decision making). Essi sono classificatori che vengono implementati attraverso una struttura ad albero. Si tratta quindi di una struttura gerarchica alla quale viene applicata una strategia di “dividi et impera” per classificare i dati. Ogni nodo interno all'albero rappresenta un vincolo che porta a una scelta determinando quello che viene chiamato uno “split”, ovvero una divisione del nodo in due sotto-nodi (se l'albero è binario) oppure in più sotto-nodi (se l'albero non è binario). Ogni nodo verifica quindi una condizione, detta test, su una particolare proprietà dell'ambiente (variabile) e ha due o più diramazioni verso il basso in funzione di essa. Il processo consiste in una sequenza di test. Si comincia sempre dal nodo radice, o nodo genitore, ovvero quello situato più in alto nella struttura, per procedere poi gradualmente verso il basso. Scendendo verso il basso, lo spazio delle ipotesi si riduce poiché gran parte dei rami decisionali dell'albero sono eliminati. L'agente può giungere alla decisione finale analizzando le varie condizioni contenute nei nodi foglia, ovvero i nodi del livello più basso della struttura, che contengono le decisioni finali.

- ***Expert Systems***

Gli *Expert Systems* (sistemi esperti) sono uno dei programmi di intelligenza artificiale più popolari. Il termine identifica una categoria di programmi informatici che, dopo essere stati opportunamente istruiti, sono in grado di dedurre nuove informazioni attingendo a della conoscenza precedentemente ricavata. Tutti questi sistemi si compongono di due componenti: una base di conoscenza e un meccanismo di inferenza. La base di conoscenza consiste in un database dove sono registrate il maggior numero possibile di informazioni riguardanti un determinato dominio di interesse. Nel database saranno riportate informazioni generali, regole deduttive e i dettami procedurali di cui il sistema si serve nel suo operato. Il motore inferenziale invece, è la componente software che elabora la conoscenza contenuta nel database, interpreta l'esigenza dell'utente e fornisce una soluzione al problema. Questo componente può fare uso della logica induttiva oppure di altri algoritmi che saranno presentati in seguito. La logica induttiva è un approccio all'apprendimento di regole che usa la programmazione logica come rappresentazione uniforme per gli esempi di input, per la conoscenza di base della macchina e per le ipotesi. Da sottolineare infine

che l'utente interagisce con il sistema tramite un'interfaccia utente, che può consistere in una semplice interfaccia input/output in cui l'utente digita la domanda con la tastiera e visualizza le risposte sullo schermo, oppure in un sistema più avanzato basato sul riconoscimento vocale e l'interpretazione del linguaggio naturale. I sistemi esperti possono essere di tre tipi:

1) *Rule-Based Expert Systems*

Sono sistemi esperti nei quali la base di conoscenza è costituita da regole nella forma IF - THEN (condizione - azione). Questi sono i sistemi esperti più utilizzati, in quanto le regole implementate in questa forma sono facilmente rappresentabili e interpretabili dagli algoritmi;

2) *Case-Based Expert Systems*

Si tratta di sistemi esperti nei quali la base di conoscenza è costituita da casi passati riguardanti il dominio di interesse. Il motore di ricerca quindi elabora dal passato una nuova soluzione, che sarà sicuramente meno originale di quella che potrebbe scaturire da delle regole di deduzione;

3) *Frame-Based Expert Systems*

Sono simili ai sistemi esperti basati su regole, ma in questo caso la conoscenza è espressa tramite vincoli più generici.

4.1.3 Apprendimento con rinforzo

Il terzo e ultimo tipo di apprendimento automatico è l'apprendimento con rinforzo. Questa famiglia di metodi, come nel caso dell'apprendimento non supervisionato, riceve in input dei dati non etichettati, ovvero non associati a degli output desiderati. Questa tipologia di apprendimento è particolarmente utilizzata in tutti quei contesti nei quali l'ambiente circostante è fortemente mutevole ed è importante che il sistema si adatti a questi cambiamenti. Questa tecnica si fonda sulla presenza di tre meccanismi all'interno del sistema:

- 1) Un meccanismo logico, che ha il compito di scegliere degli output sulla base degli input ricevuti;
- 2) Un secondo meccanismo logico che ha invece la funzione di valutare l'efficacia degli output rispetto ad un preciso parametro di riferimento;
- 3) Un terzo meccanismo logico capace di cambiare il primo tipo di meccanismo, per massimizzare la valutazione di efficacia effettuata dal meccanismo 2).

Questo tipo di apprendimento viene definito "con rinforzo" per il seguente motivo: quando il meccanismo numero 1) deve scegliere gli output in funzione degli input ricevuti ed effettua una scelta efficace allora il meccanismo 2) invia in output un premio proporzionale all'efficacia della scelta del primo meccanismo. Se invece 1) effettua una scelta poco efficace (sempre considerando le valutazioni del meccanismo numero 2)) allora 2) manda in output

una penalità che è di intensità proporzionale all'inefficacia della scelta di 1). Allo stesso tempo, in entrambi i casi il meccanismo numero 3) osserva l'agire di 1) e di 2), provando a modificare la funzione matematica che regola il comportamento di 1), per fare in modo che la quantità e la qualità dei premi sia massima. In questa categoria rientrano due importanti famiglie di algoritmi:

- ***Artificial Neural Networks***

Le *reti neurali artificiali* (Artificial Neural Network - ANN) sono modelli matematici formati da neuroni artificiali che prendono ispirazione dal funzionamento biologico del cervello umano. Per funzionare adeguatamente hanno bisogno di risorse hardware notevoli ed è per questo motivo che sono diventati molto popolari ultimamente nonostante la tecnologia fosse nata molti anni fa. La caratteristica chiave di questi sistemi sta nel fatto di apprendere sfruttando meccanismi simili a quelli dell'intelligenza umana, conferendogli prestazioni impossibili da raggiungere per altri algoritmi. Come accennato prima, le reti neurali artificiali prendono ispirazione dal funzionamento del cervello umano; le reti neurali del cervello umano infatti sono la sede della capacità di comprensione dell'ambiente e dei suoi mutamenti e sono in grado di fornire risposte adattive appositamente calibrate sulle esigenze che si presentano. Esse sono costituite da insiemi di cellule nervose fortemente interconnesse tra di loro. Al loro interno troviamo:

- **Somi neuronali:** si tratta dei corpi dei neuroni. Il loro compito è quello di ricevere e processare le informazioni;
- **Neurotrasmettitori:** si tratta di composti biologici di diverse categorie, sintetizzati nei somi e responsabili della modulazione di qualsiasi impulso nervoso;
- **Assoni o neuriti:** costituiscono la via di comunicazione in output da un neurone;
- **Dendriti:** sono la principale via di comunicazione in input;
- **Sinapsi:** sono siti funzionali ad alta specializzazione nei quali avviene il passaggio delle informazioni fra neuroni.

Un concetto fondamentale dei neuroni, da cui la tecnologia ha preso spunto essendo stato implementato anche nelle reti artificiali, è che un singolo neurone può ricevere simultaneamente segnali da diverse sinapsi; una sua capacità intrinseca è quella di misurare il potenziale elettrico di tali segnali in modo globale, stabilendo quindi se è stata raggiunta la soglia di attivazione per generare a sua volta un impulso nervoso. Tale proprietà è appunto implementata anche nelle reti artificiali. Altra caratteristica chiave è la dinamicità della configurazione sinaptica; il numero di sinapsi può aumentare o diminuire a seconda degli stimoli che riceve la rete. Come riportato nei paragrafi precedenti, il primo modello teorico di un rudimentale neurone artificiale viene creato nel 1943 dagli scienziati Pitt e McCulloch. La prima rete neurale viene invece sviluppata nel 1958 da Rosenblatt ed il suo nome è Perceptron.

Una rete biologica riceve in ingresso dati e segnali esterni che vengono percepiti attraverso i sensi; questi vengono elaborati in informazioni attraverso un imponente numero di neuroni interconnessi tra loro in una struttura non lineare e variabile in risposta a quei dati e stimoli esterni. Allo stesso modo, le reti neurali artificiali sono strutture non lineari di dati statistici organizzate come strumenti di modellazione: ricevono segnali esterni su uno strato di nodi (che rappresenta il processore); ognuno di questi nodi d'ingresso è collegato a svariati nodi interni della rete che, tipicamente, sono organizzati su più livelli in modo che ogni singolo nodo possa elaborare i segnali ricevuti trasmettendo ai livelli successivi il risultato delle sue elaborazioni. Tipicamente le reti neurali sono formate da tre strati:

- Input Layer: è il primo strato della rete ed è quello che ha la funzione di ricevere ed elaborare i segnali in ingresso adattandoli alle richieste dei neuroni all'interno della rete;
- Hidden Layer: è lo strato intermedio che ha in carico il processo di elaborazione vero e proprio;
- Output Layer: è lo strato finale dove vengono raccolti i risultati dell'elaborazione dello strato "Hidden" e vengono adattati alle richieste del successivo livello-blocco della rete neurale.

Il processo inizia dai neuroni posti nell'input layer, che ricevono in ingresso degli stimoli che successivamente vengono elaborati. L'elaborazione può essere molto complessa o in casi semplici può essere rappresentata come una moltiplicazione degli ingressi per un opportuno valore detto peso. In quest'ultimo caso il risultato delle moltiplicazioni viene sommato e se la somma supera una certa soglia il neurone si attiva attivando di conseguenza la sua uscita. Il peso ha quindi la funzione di indicatore dell'efficacia sinaptica della linea di ingresso e ha la funzione di quantificarne l'importanza.

I compiti a cui le reti neurali sono applicate possono essere classificati nelle seguenti grandi categorie di applicazioni:

- Funzioni di approssimazione o di regressione tra cui l'analisi di serie temporali e la modellazione;
- Classificazione, compresa la strutturazione di sequenze di generici dati, l'individuazione delle novità all'interno di un dataset con la conseguente facilitazione del processo decisionale;
- L'elaborazione dei dati, compreso il filtraggio, la clusterizzazione, la separazione di segnali e la compressione.

Da notare infine come i modelli prodotti dalle reti neurali, anche se molto efficienti, non sono spiegabili in linguaggio simbolico umano: i risultati vanno infatti accettati "così come sono", da cui anche la definizione inglese delle reti neurali come "black box".

- ***Genetic Algorithms***

Gli *algoritmi genetici* sono una famiglia di algoritmi informatici fondati su metodi euristici di ricerca e in particolare sul principio della selezione naturale di Darwin. Il termine “genetico” viene usato per indicare la somiglianza tra la logica usata nel funzionamento degli algoritmi e quella della genetica per spiegare l’evoluzione della specie. Questi algoritmi prendono infatti in prestito le teorie della selezione umana e della sopravvivenza, reinterpretandole e utilizzandole per risolvere problemi di ottimizzazione anche molto complicati a livello di potenza di calcolo. Durante il ventennio che va dagli anni ’50 agli anni ’70 i ricercatori nel campo della computazione evolutiva cominciarono a interessarsi ai sistemi naturali nella convinzione che potessero costituire un modello per nuovi algoritmi di ottimizzazione. I meccanismi dell’evoluzione naturale possono essere reinterpretati in un’ottica “digitale” e adottati per affrontare alcuni dei più complicati problemi computazionali. Il concetto principale è rappresentato dal fatto che l’evoluzione biologica è assimilabile a un metodo di ricerca all’interno di un grandissimo numero di soluzioni, costituite dall’insieme di tutte le sequenze genetiche i cui risultati, ossia le soluzioni desiderate, sono organismi altamente adattati, dotati di forte capacità di sopravvivenza e di riproduzione in un ambiente mutevole, che trasmetteranno poi alle generazioni future il loro materiale genetico. In questo contesto, gli esseri viventi possono essere quindi considerati come ottimi risolutori di problemi, poiché sono in grado di sopravvivere nel loro ambiente sviluppando comportamenti e abilità che sono il risultato dell’evoluzione stessa.

Entrando nello specifico del funzionamento, questi tipi di algoritmi si basano sul principio darwiniano secondo il quale gli elementi più adatti all’ambiente abbiano una probabilità più alta di sopravvivere e di trasmettere le loro caratteristiche ai successori. Si parte da una popolazione di individui (le soluzioni ad un dato problema) che viene fatta evolvere di generazione in generazione attraverso meccanismi simili alla riproduzione sessuale e alla mutazione dei geni. Anche i termini utilizzati negli algoritmi sono ereditati dalla genetica:

- Cromosoma: rappresenta una delle soluzioni al problema di ricerca considerato. Viene codificata con un vettore di bit o di caratteri;
- Popolazione: è l’insieme delle soluzioni al problema considerato;
- Gene: indica una parte di un cromosoma, quindi una o più parti del vettore di bit che codificano il cromosoma;
- Fitness: grado di valutazione associato ad una soluzione. la valutazione avviene in base ad una funzione appositamente progettata detta funzione di fitness;
- Crossover: generazione di una nuova soluzione mescolando delle soluzioni esistenti;
- Mutazione: alterazione casuale di una soluzione.

Un algoritmo genetico per prima cosa genera casualmente una popolazione iniziale di soluzioni (che vengono definite cromosomi). Su queste soluzioni viene in secondo luogo applicata la funzione di fitness; lo scopo è quello di selezionare solo i cromosomi ritenuti migliori. Al termine di questa seconda fase viene applicato il processo di crossover per generare delle soluzioni ibride a partire dalle soluzioni ricavate dopo

l'applicazione della funzione di fitness. Una nuova popolazione viene quindi generata e ad essa viene infine applicato il processo di mutazione; questa fase, come descritto prima, consiste nell'alterazione casuale delle soluzioni e il processo di verifica tramite la funzione di fitness viene ripetuto un numero n di volte finché ci si ritiene soddisfatti del risultato. Ripetendo i passi precedenti si può evolvere verso una soluzione ottima del problema considerato.

In breve, si tratta quindi di algoritmi iterativi che operano su una popolazione di individui che codificano le possibili soluzioni di un dato problema. Gli individui vengono valutati ad ogni iterazione tramite una funzione che misura la loro capacità di risolvere il problema identificando i più adatti alla riproduzione. La nuova popolazione si evolve poi in base a operatori random, ispirati alla riproduzione sessuale e alla mutazione. Il ciclo completo è ripetuto fino al raggiungimento di un dato criterio di fermata. Tra i punti di forza di questi algoritmi si possono citare:

- Con questi algoritmi è possibile risolvere problemi complessi senza conoscere il preciso metodo di soluzione;
- Sono adattivi, caratteristica data dalla capacità di auto modificarsi in base al mutamento del problema;
- Hanno la capacità di simulare alcuni fenomeni naturali, data una struttura e una modalità operativa isomorfa con quella dell'evoluzione biologica.

4.1.4 Logica Fuzzy

È doveroso dedicare un paragrafo anche alla così detta *Fuzzy Logic* (logica sfocata). Si tratta di una logica adottata per programmare e modellare teorie e ragionamenti che si avvicinino il più possibile al modo di pensare degli esseri umani e che si contrappone alla più classica e limitata logica booleana [35]. In quest'ultima, le variabili possono assumere solamente due tipi di valori: 0 (falso) e 1 (vero). In questo modo è possibile modellare tutte quelle situazioni in cui è consentito solamente un risultato esprimibile in forma binaria. Con la logica fuzzy si cerca invece di estendere questa rappresentazione ammettendo un numero superiore di gradi di verità invece che solamente due. Per grado di verità si intende quanto un'affermazione può essere definita come vera o falsa; invece che ammettere solo soluzioni vere o false, si introduce la possibilità di modellare soluzioni parzialmente vere o parzialmente false. Per fare un esempio si pensi di avere a disposizione quattro bicchieri A, B, C e D: A è completamente pieno di acqua, B è vuoto, in C è presente una quantità di acqua poco superiore alla metà mentre in D il bicchiere è quasi vuoto e contiene una quantità minima di acqua. Dovendo assegnare un valore numerico correlato alla presenza di acqua all'interno dei bicchieri, è facile intuibile come al bicchiere A possa essere assegnato un valore pari a 1 (il bicchiere è pieno), mentre al bicchiere B un valore pari a 0 (il bicchiere è completamente vuoto). Fin qui non si presentano problemi e la logica booleana si adatta perfettamente al problema. Diverso è però il caso dei bicchieri C e D: il bicchiere D è considerabile come vuoto avendo poca acqua al suo interno? E il bicchiere C deve essere definito vuoto o pieno? In questi casi la logica binaria

introduce delle ambiguità a cui la logica fuzzy viene in soccorso. Con quest'ultima infatti non sono obbligato ad usare solo i due valori binari (0 o 1), ma anche tutti gli altri valori intermedi (0.2, 0.5, 0.97, ecc.). Così facendo al bicchiere C, riempito poco più della metà, si potrà assegnare ad esempio un valore di 0.6, mentre al bicchiere D, che conteneva pochissima acqua, un valore ad esempio di 0.1.

In definitiva, per superare i limiti della logica booleana la quale lavora solo su due tipi di valori (lo zero e l'uno) senza vie di mezzo, è necessario ricorrere alla logica fuzzy in tutti quei contesti nei quali si vogliono affrontare problemi reali più complessi. La realtà, infatti, non è quasi mai bianca o nera, zero o uno, ma è caratterizzata da infinite sfumature. Diventa dunque necessario che un oggetto possa essere considerato contemporaneamente vero o falso, ma con gradi di verità differenti.

4.2 Risultati delle analisi descrittive condotte sul Database

Gli esiti presentati di seguito sono stati redatti graficamente con Microsoft Excel, combinando i dati all'interno del Database di articoli ottenuto considerando solo gli articoli relativi a tecniche applicate alla fase creativa del processo di sviluppo prodotto, che è stato creato come descritto nel paragrafo 3.2 relativo alla metodologia usata durante la ricerca. I risultati sono i seguenti:

- *Calcolo del numero di papers trovati per ogni anno*

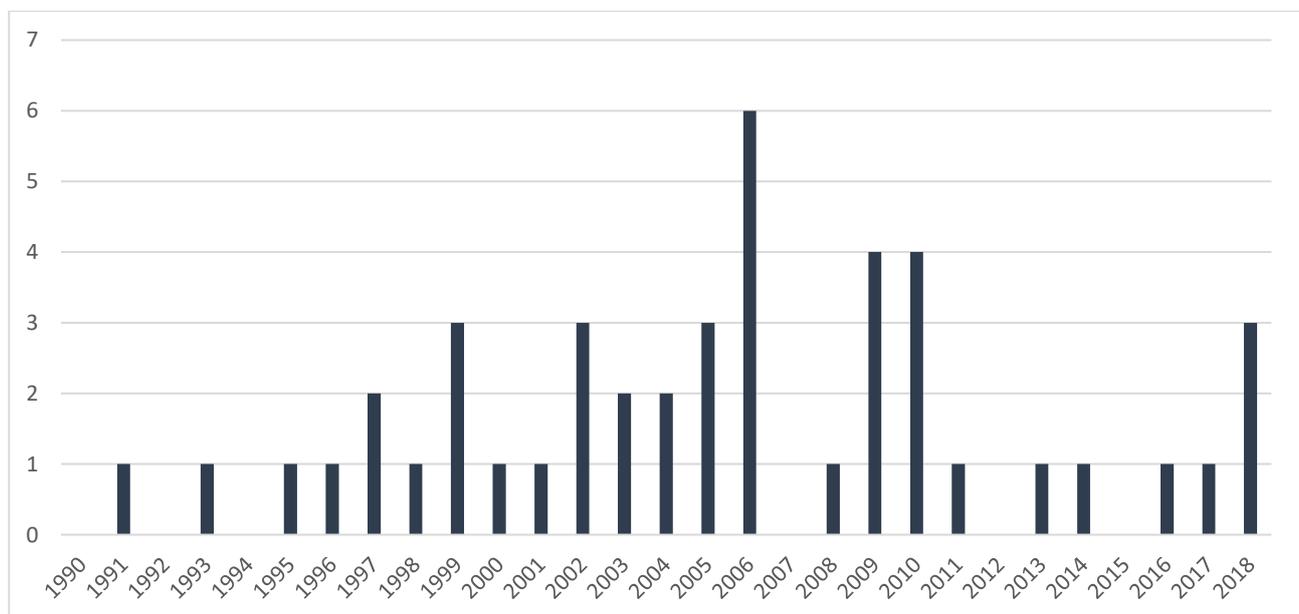


Fig. 14: numero di papers analizzati per ogni anno

In questo primo grafico vengono mostrati il numero di articoli scientifici trovati per ogni anno dopo aver condotto la Literature Review ed aver scremato gli articoli così come descritto nel paragrafo 3.1, prendendo quindi in considerazione l'intervallo usato per le ricerche, ovvero dal 1990 al 2018. Come è facile notare, nei primi anni '90 il numero di papers riguardanti tecniche di Artificial Intelligence in ambito Conceptual Design è decisamente basso. L'interesse per questo campo di ricerca non era ancora così diffuso; le tecnologie computazionali non avevano ancora la potenza di calcolo necessaria per simulazioni di questo tipo e come già discusso nel paragrafo relativo alla storia dell'intelligenza artificiale nel capitolo 1, le tecnologie di IA non erano ancora così sviluppate e soprattutto non si conoscevano quelle che potevano essere le loro possibili applicazioni. A partire dagli anni 2000 si nota come il numero di studi scientifici condotti in questo ambito sia aumentato nettamente; nel decennio degli anni 2000 il numero di articoli scientifici è più che doppio rispetto a quello degli anni '90. La tendenza in questo senso è quindi quella di un crescente interesse riguardo a questo argomento, dato probabilmente dalle capacità computazionali sempre più performanti e dalla crescita esponenziale dei dati disponibili a cui stiamo assistendo negli ultimi anni. Tuttavia, nel decennio a partire dall'anno 2010 il numero di articoli è nuovamente diminuito; questo probabilmente non denota un minor interesse verso l'argomento, ma piuttosto uno spostamento dall'ambito accademico a quello industriale, essendo già parecchie le realtà che stanno cercando di attuare sistemi per automatizzare parte del processo creativo, denotando una certa consolidazione delle tecnologie.

- *Calcolo del numero delle diverse tecniche di IA*

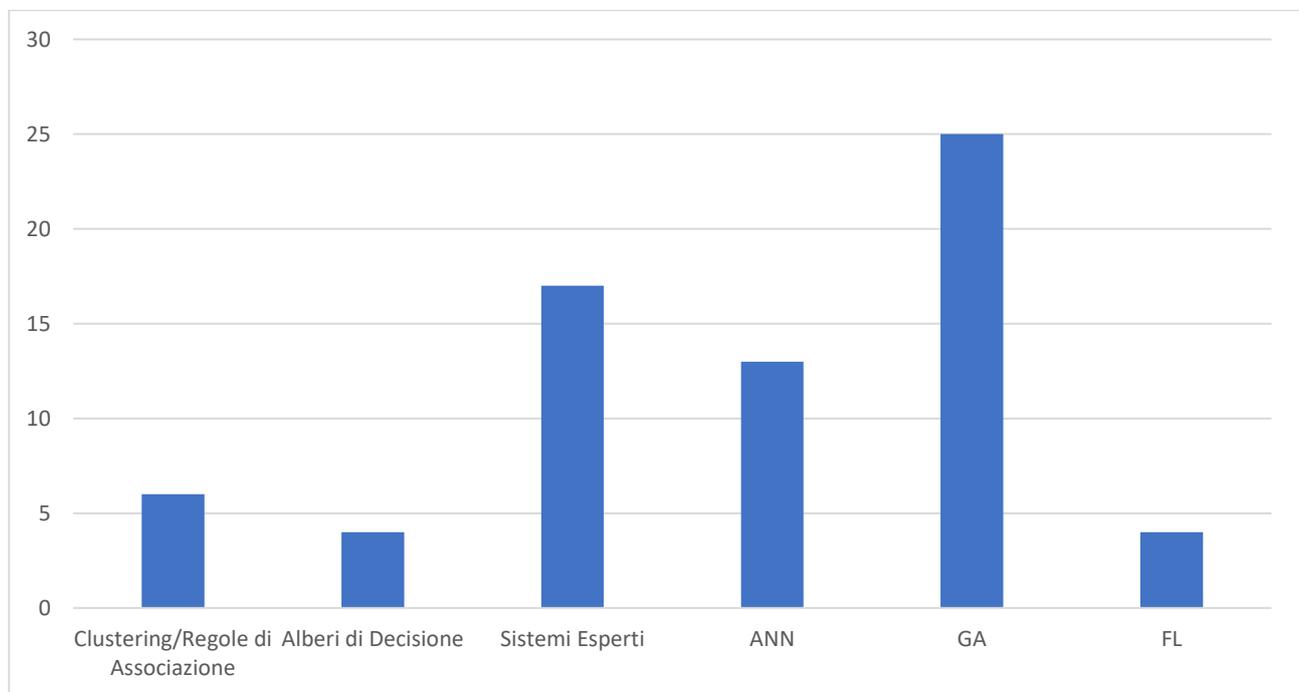


Fig. 15: numero delle diverse tecniche di IA

Le tecniche di Artificial Intelligence impiegate in ambito sviluppo prodotto e più in particolare nella fase di Conceptual Design sono:

- Clustering e regole di associazione
- Alberi di decisione
- Sistemi esperti
- Reti neurali artificiali (ANN)
- Algoritmi genetici (GA)
- Fuzzy Logic

Gli algoritmi genetici rappresentano la tecnica più diffusa; la loro adattabilità a problemi di diverso tipo unita ad una particolare efficacia nell'ottimizzare le soluzioni li rende adatti per questo impiego. Un po' più indietro, ma comunque molto diffusi, si possono trovare i sistemi esperti e le reti neurali artificiali. I sistemi esperti sono stati i primi veri programmi di intelligenza artificiale utilizzati, anche se col tempo l'interesse su di essi è diminuito a causa dei limiti evidenziati nei capitoli precedenti. In questi ultimi anni sono però tornati di moda in quanto sempre più spesso usati in coppia con le reti neurali, che sono in grado di aumentarne le prestazioni. Proprio le reti neurali rappresentano oggi una delle tecnologie più utilizzate, anche se non si è ancora assistito ad un'esplosione definitiva a causa dei limiti di queste metodologie rappresentati da un grande costo in termini di tempo e potenza di calcolo per addestrare le reti e dalla non possibilità di spiegare i risultati a cui si arriva.

• *Calcolo del numero delle diverse tecniche di IA nel tempo*

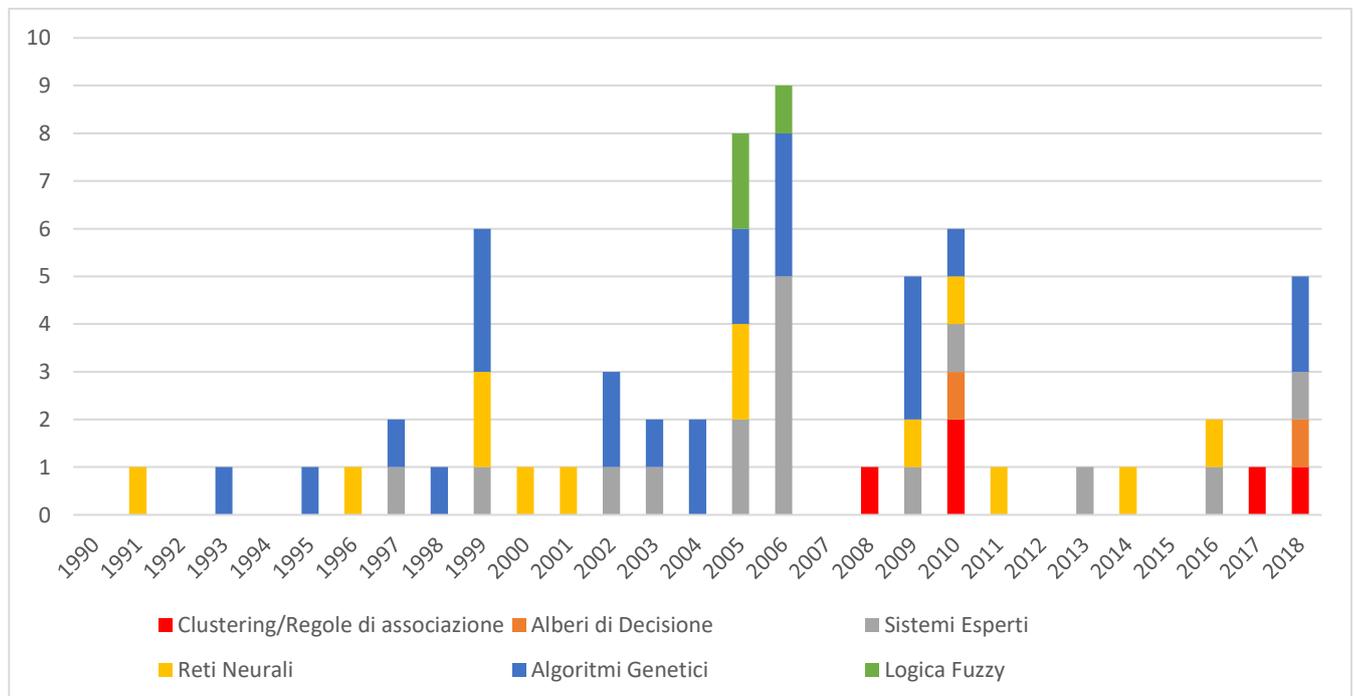


Fig. 16: numero di tecniche di IA per ogni anno

In questo secondo grafico sono visibili le diverse tecniche di intelligenza artificiale trovate, divise per ogni anno. Così facendo è possibile analizzare come si sia spostato l'interesse per le varie tecnologie nel corso di diversi periodi. La prima cosa che si può notare è come gli algoritmi genetici (AG) siano la tecnologia più utilizzata praticamente durante tutto il periodo preso in considerazione. Questo può essere spiegato dal fatto che questa tecnologia ha la peculiarità di risolvere problemi complessi senza conoscere il preciso metodo di soluzione; sono infatti capaci di auto-modificarsi in base al mutamento del problema, risultando quindi degli algoritmi adattivi. Hanno inoltre la capacità di simulare alcuni fenomeni, date una struttura e una modalità operativa isomorfe con quelle dell'evoluzione biologica. Al secondo posto per diffusione troviamo le reti neurali artificiali (ANN) e i sistemi esperti (SE); le prime sono state usate abbastanza uniformemente nel corso degli anni, senza però diventare mai la tecnologia predominante a causa di diversi motivi: per prima cosa questo tipo di tecnologia necessita di una fase di training molto dispendiosa in termini di tempo, in secondo luogo il successo e il giusto funzionamento di queste reti dipendono in forte misura dall'esperienza del creatore del network in quanto non esiste un modello ottimale generale, e infine sono delle "black box", in quanto non sono in grado di spiegare i passi compiuti per arrivare ad una determinata soluzione finale. Un discorso analogo lo si può fare per i sistemi esperti (SE); i sistemi esperti sono stati utilizzati inizialmente in quanto, come già accennato nel paragrafo 4.1, sono uno dei metodi più semplici. Nonostante ciò, questa tecnologia non si è rivelata efficace in quei tempi in quanto i dati a disposizione per costruire una base di conoscenza adeguata (Knowledge Base) non erano sufficienti. Nei primi anni 2000 si è però assistito ad una crescita nell'utilizzo di questa tecnica, data dalla crescente disponibilità di dati. Negli anni recenti c'è stato però un passo indietro nella diffusione dei sistemi esperti; la loro limitazione alle sole informazioni contenute esclusivamente nella base di conoscenza, ha fatto virare l'interesse degli esperti verso altre tecnologie che nel tempo si sono migliorate. Quello che si nota è l'utilizzo maggiore negli ultimi anni di tecniche di Clustering e Decision Trees. Queste tecniche sono impiegate prevalentemente per la prima fase del processo di sviluppo prodotto, ovvero quella che viene definita "Clarify the Task" e per le prime fasi del Conceptual Design. Queste tecniche di Data Mining hanno lo scopo di estrarre delle informazioni e della conoscenza da dei dati grezzi non etichettati e risultano perciò utili in tutti in quei contesti dove occorre far emergere i bisogni dei clienti e inquadrare il problema generale.

- *Calcolo del numero di algoritmi che svolgono un'analisi descrittiva, predittiva o prescrittiva*

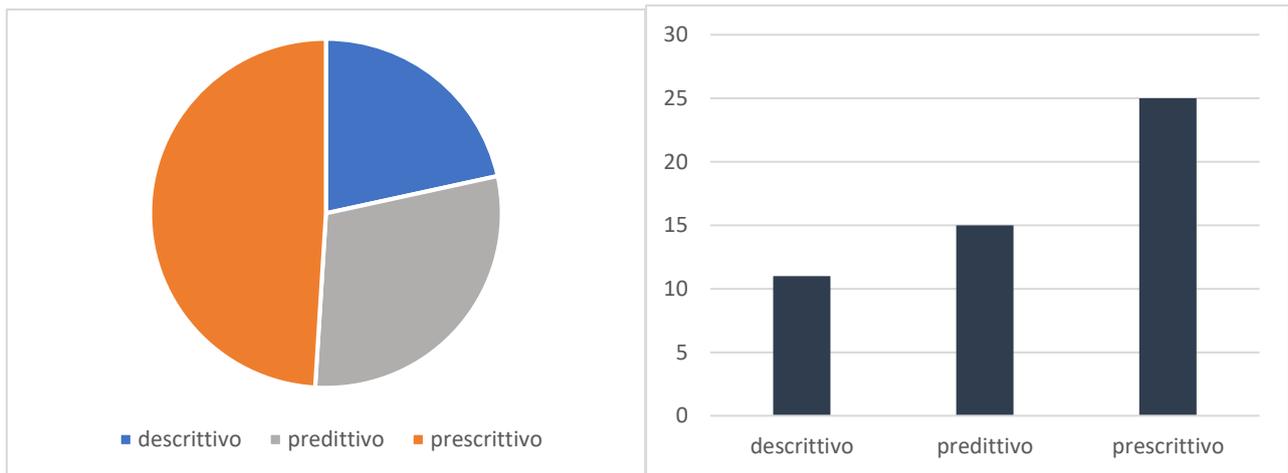


Fig. 17: numero di paper che svolgono un'analisi descrittiva, predittiva o prescrittiva

In queste ultime analisi si è andati a considerare il tipo di analisi svolta dagli algoritmi. Come già introdotto nei capitoli precedenti, gli algoritmi possono effettuare tre tipi di analisi differenti: descrittiva, predittiva e prescrittiva. Come è facile notare dai grafici, le analisi prescrittive sono quelle più diffuse in questo ambito. Esse infatti consistono in simulazioni che hanno l'obiettivo di "prescrivere" le azioni da compiere. In questo caso gli algoritmi sono in grado di generare una serie di concepts, di definire il design degli specifici componenti dei prodotti e di tradurre le esigenze dei clienti in specifiche tecniche. Gli algoritmi descrittivi incontrati, invece, si focalizzano sul descrivere la situazione attuale, oppure i bisogni dei clienti nella prima fase del processo, senza però effettuare nessuna simulazione o azione, risultando perciò utili nella comprensione del problema ma non sufficienti per quanto riguarda l'automatizzazione del processo. Caso analogo è quello degli algoritmi predittivi, che predicono quello che dovrà essere il prodotto giusto da progettare, ma non svolgono simulazioni concrete.

- ***Calcolo del numero di algoritmi descrittivi, predittivi e prescrittivi nel tempo***

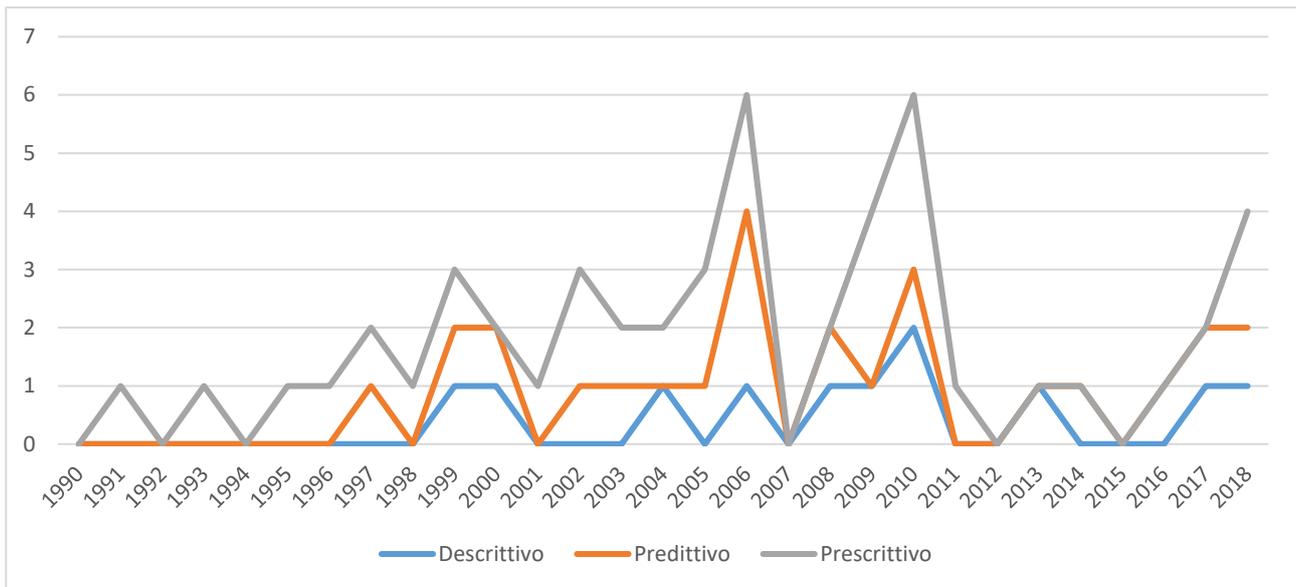


Fig. 18: numero di algoritmi descrittivi, predittivi o prescrittivi nel corso degli anni

In questo grafico le diverse tipologie di analisi vengono spalmate negli anni per studiare eventuali trend. Quello che si può notare è come fin dagli anni '90 gli algoritmi siano stati in maggior misura prescrittivi piuttosto che descrittivi o predittivi e non si notano particolari trend. Come infatti già mostrato precedentemente è logico aspettarsi l'uso di algoritmi prescrittivi per questa particolare applicazione.

4.3 Indice di automatizzazione nel tempo della fase di Conceptual Design grazie a tecniche di intelligenza artificiale

Dopo aver svolto le analisi sul database ed aver ottenuto i risultati illustrati nel paragrafo 4.2, si è proceduto a stilare un indice di automatizzazione nel tempo della fase di Conceptual Design grazie a tecniche di intelligenza artificiale. Lo scopo è quello di capire come è evoluto il grado di automatizzazione di questa fase del processo di sviluppo prodotto nel tempo e comprendere quali specifiche fasi sono già automatizzate e quali invece hanno ancora bisogno di un intervento umano.

Per prima cosa, come anticipato nel paragrafo 3.4, è stata presa come riferimento la letteratura di Pahl e Beitz e sono state esplicitati tutti i passi che compongono il Conceptual Design, ovvero:

- Requirements List (input)
- Abstract to identify the essential problems

- Establish function structures
- Search for working principles that fulfil the subfunctions
- Combine working principles into working structures
- Select suitable combinations
- Firm up into principle solution variants
- Evaluate variants against technical and economic criteria
- Principle Solution (output)

Avendo quindi a disposizione tutte le microfasi, per ogni articolo scientifico incluso nel Database in seguito alla Literature Review è stato studiato il grado di automatizzazione di queste fasi. Per fare ciò è stata utilizzata la seguente codifica:

- 0 = Uomo
- 0,5 = Uomo/Macchina
- 1 = Macchina

Per ogni paper è stato quindi assegnato uno tra questi valori per ciascuna fase del Conceptual Design; il valore 0 è stato attribuito se la fase era eseguita dal designer senza alcun aiuto dalla macchina, il valore 0,5 se la fase era eseguita dal designer con il supporto della macchina, mentre il valore 1 se il designer non svolgeva quell'attività, che era totalmente automatizzata dalla macchina. Alla fine di questo studio si è arrivati a possedere un dataset con 45 righe rappresentate dagli articoli scientifici ottenuti dalla Literature Review, 7 colonne indicanti le fasi del processo e nel mezzo una serie di 0, 1 e 0,5 che dovevano essere studiati. A questo scopo sono state condotte due diverse analisi:

- ***Calcolo del grado medio di automatizzazione di ciascuna fase del Conceptual Design***

Il primo studio che è stato condotto è uno studio descrittivo che mira a capire quali siano le fasi del Conceptual Design più automatizzate; come prima cosa per ogni fase del processo si è andati a calcolare la somma totale dei punteggi ottenuti. Il secondo passaggio è stato quello di calcolare il punteggio massimo raggiungibile, che è 45, essendo gli articoli 45 e 1 il punteggio massimo assegnabile ad ogni fase. Infine, per ogni fase, è stato calcolato il rapporto tra il valore massimo ottenuto per la fase di interesse e il punteggio massimo raggiungibile, così da ottenere il valore medio. I risultati ottenuti sono consultabili nelle figure sotto riportate:

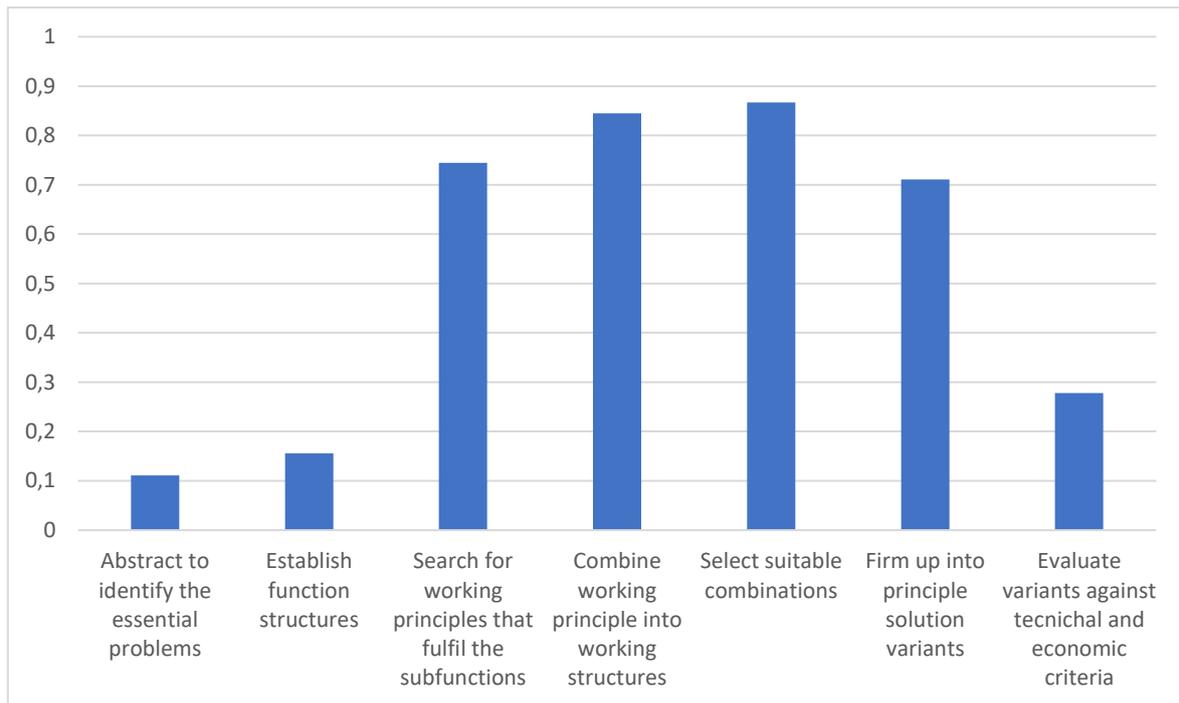


Fig. 19: Grado di automatizzazione di ciascuna fase del processo di Conceptual Design

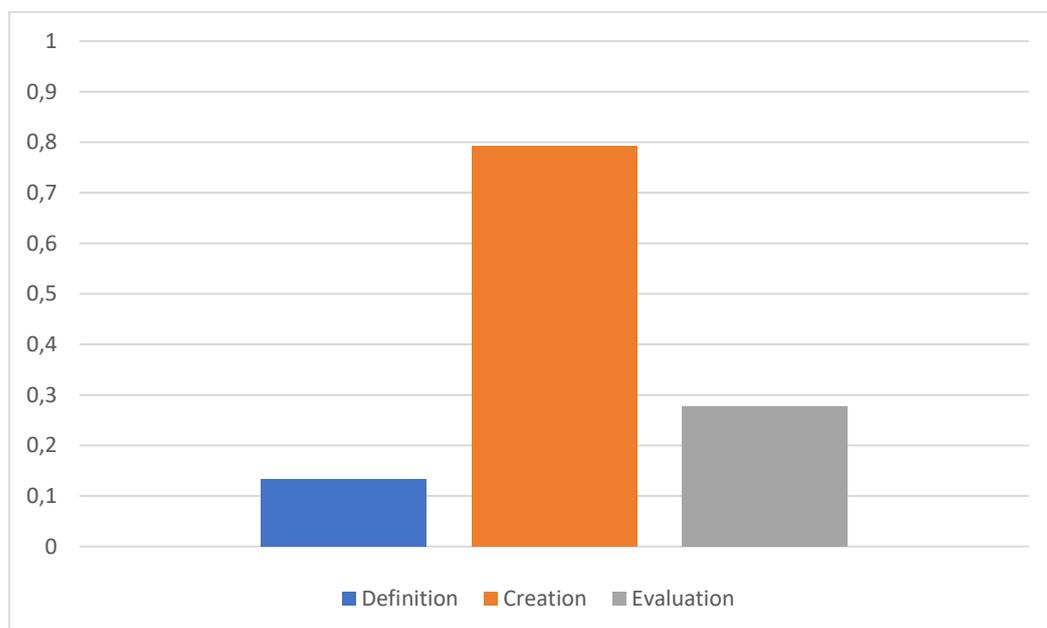


Fig. 20: Grado di automatizzazione delle macrofasi del processo di Conceptual Design

Come si può notare le fasi più automatizzate sono quelle relative alla “creation”; molti sistemi sono infatti già in grado di creare una serie di concept automaticamente una volta forniti una serie di parametri al sistema. Proprio quest’ultima operazione deve essere svolta ancora prevalentemente dal designer e come si può constatare dal grafico il grado di automatizzazione di queste fasi iniziali è ancora molto basso. Allo stesso modo, anche se in misura minore, anche l’ultima fase del processo, relativa alla valutazione dei concept prodotti

in base a vincoli tecnici ed economici, non è ancora del tutto ottimizzata e diffusa; i sistemi infatti presentano metodi non del tutto efficaci per valutare le soluzioni create e la figura del designer è ancora essenziale in questa fase.

- ***Realizzazione dell'indice dell'andamento del grado di automatizzazione nel Conceptual Design nel tempo***

In questa seconda analisi si è andati a creare l'indice vero e proprio. Per ogni paper è infatti stata calcolata la somma dei punteggi attribuiti ad ogni fase del processo. In un secondo momento si è facilmente calcolato il numero di fasi del processo considerato, che sono 7, e analogamente a quanto fatto nella prima analisi, per ogni articolo si è calcolata la frazione tra la somma dei punteggi assegnati e la somma massima raggiungibile, ovvero 7. In questo modo è stato possibile ottenere una percentuale di quanto ogni sistema automatizzasse la fase creativa del processo di sviluppo prodotto. I risultati sono visibili nei seguenti grafici:

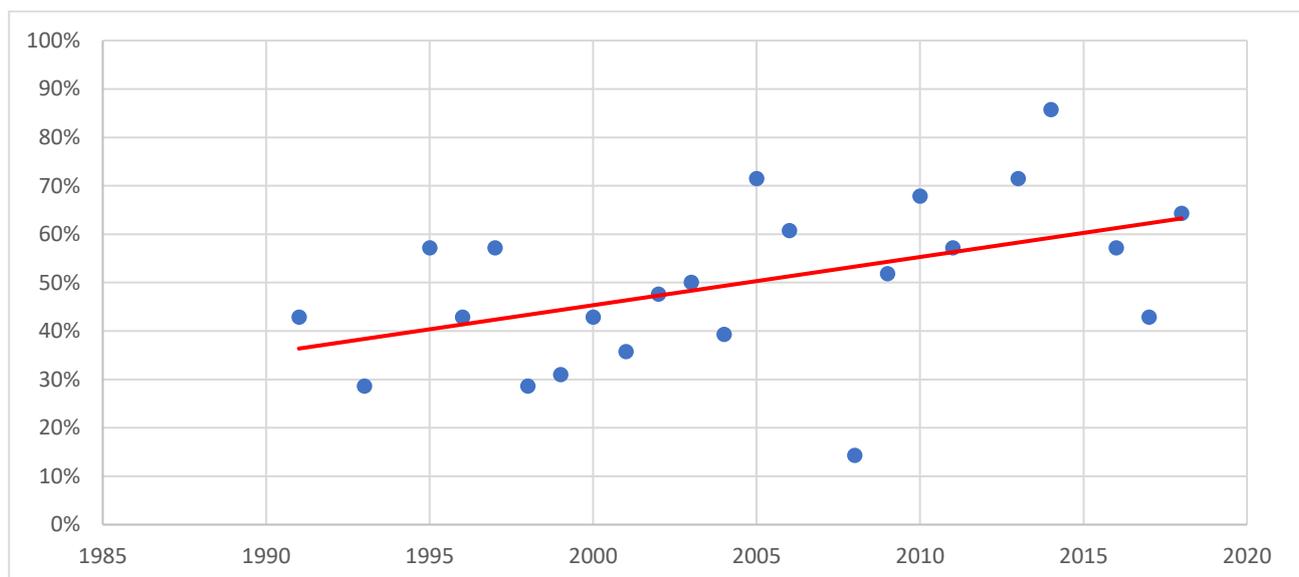


Fig. 21: *Grado di automatizzazione di ciascun sistema dell'intero processo di Conceptual Design*

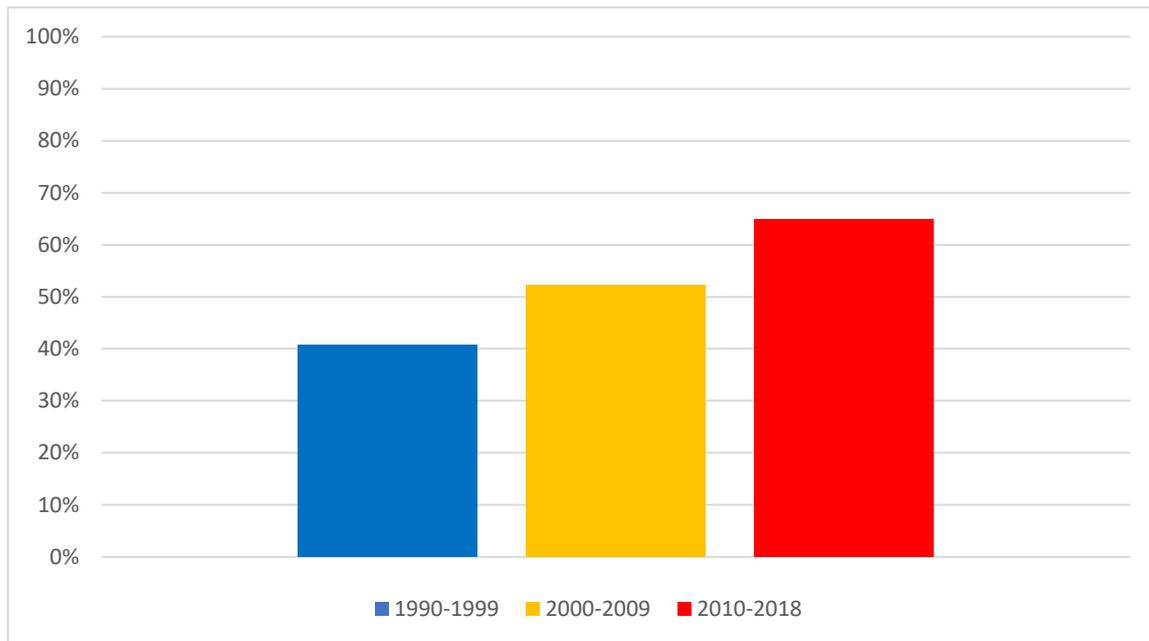


Fig. 22: *Grado di automatizzazione dell'intera fase di Conceptual Design nel tempo*

Come è possibile vedere nel primo grafico, la tendenza è quella di un sempre crescente grado di automatizzazione della fase di Conceptual Design nel tempo. Nel secondo grafico invece è stato diviso l'arco temporale in tre decenni. Nel decennio degli anni '90 infatti l'interesse nell'applicare tecniche di intelligenza artificiale nel processo di sviluppo prodotto è esploso definitivamente e molti studi e sistemi sono stati sviluppati. Nei primi dieci anni del nuovo secolo gli studi sono stati messi sempre più in pratica, anche se il reale potenziale della tecnologia era ancora sconosciuto e non si sapeva esattamente come sfruttare la potenza di queste tecnologie. Intorno all'anno 2010 invece l'industria 4.0 ha rivoluzionato il mondo industriale e della produzione, che ha assistito ad un esponenziale utilizzo di tecnologie di intelligenza artificiale per migliorare le condizioni di lavoro e contemporaneamente la produttività e la qualità dei prodotti. Anche in questo caso è chiaramente visibile il progressivo aumento del grado di automatizzazione della fase creativa del processo di sviluppo prodotto.

Per validare i risultati ottenuti sono state infine condotte delle analisi statistiche per dimostrare la significatività dell'aumento del grado di automatizzazione.

4.4 Analisi statistiche

Per la conduzione dei test statistici ci si è serviti del software IBM SPSS. Tale software mette a disposizione una serie di sofisticate analisi per misurare la significatività dei risultati ottenuti. Nello specifico i test condotti sono due: il test ANOVA e il test LSD che rientra

all'interno della categoria delle analisi Post – Hoc. Le descrizioni di tali test statistici sono consultabili nel paragrafo 3.5, mentre in questa sezione verranno riportati solamente i risultati ottenuti. In particolare, si è cercato di validare i risultati ottenuti dalla stesura dell'indice dell'andamento del grado di automatizzazione nella fase di Conceptual Design rappresentati in Fig. 21 e 22.

- **Test ANOVA**

Descrittive								
automatizzazione								
	N	Media	Deviazione std.	Errore std.	95% di intervallo di confidenza per la media		Minimo	Massimo
					Limite inferiore	Limite superiore		
anni 1990-1999	10	,4080	,14227	,04499	,3062	,5098	,14	,57
anni 2000-2009	23	,5222	,18774	,03915	,4410	,6034	,14	,79
anni 2010-2018	12	,6483	,12467	,03599	,5691	,7275	,43	,86
Totale	45	,5304	,18133	,02703	,4760	,5849	,14	,86

Fig. 23: Descrittive risultanti dal test ANOVA

ANOVA					
automatizzazione					
	Somma dei quadrati	gl	Media quadratica	F	Sign.
Tra gruppi	,318	2	,159	5,923	,005
Entro i gruppi	1,129	42	,027		
Totale	1,447	44			

Fig. 24: ANOVA

Il primo risultato delle analisi statistiche è visibile in Fig. 23. In questa figura sono riportate le statistiche descrittive risultanti dal test ANOVA. I gruppi di dati considerati sono i tre decenni considerati in precedenza nell'indice del grado di automatizzazione. Nella prima colonna, con N, sono riportati i numeri di articoli scientifici appartenenti a ciascuna decade. Nella seconda colonna è riportata la media di ciascun gruppo di dati; l'obiettivo di questo tipo di analisi è quello di verificare la significatività dell'incremento di questa media nel corso dei tre decenni. In aggiunta a questi dati sono riportati anche l'errore standard, i limiti inferiori e superiori di ciascun gruppo e i valori minimi e massimi per ogni gruppo.

Dopo una panoramica sui gruppi di dati è stato svolto il test vero e proprio i cui risultati sono consultabili in Fig. 24. Il dato più importante è il p-value, indicato con "Sign." e posto nell'ultima colonna. Il valore in questo campo, essendo pari a 0,05, ci dice che la differenza

delle medie tra i gruppi di dati (i tre decenni) è statisticamente significativa, in quanto questo dato minore di 0,05, ovvero il livello di significatività impostato. Questo significa che con una probabilità del 95% la differenza delle medie tra i gruppi non è dovuta ad oscillazioni casuali dei dati, il che è un risultato positivo.

- *Test Post – Hoc (LSD)*

Test post hoc						
Confronti multipli						
Variabile dipendente: automatizzazione						
LSD						
(I) decenni	(J) decenni	Differenza della media (I-J)	Errore std.	Sign.	Intervallo di confidenza 95%	
					Limite inferiore	Limite superiore
anni 1990-1999	anni 2000-2009	-,11417	,06209	,073	-,2395	,0111
	anni 2010-2018	-,24033*	,07019	,001	-,3820	-,0987
anni 2000-2009	anni 1990-1999	,11417	,06209	,073	-,0111	,2395
	anni 2010-2018	-,12616*	,05837	,036	-,2440	-,0084
anni 2010-2018	anni 1990-1999	,24033*	,07019	,001	,0987	,3820
	anni 2000-2009	,12616*	,05837	,036	,0084	,2440

*. La differenza della media è significativa al livello 0.05.

Fig. 25: *Test Post – Hoc (LSD)*

Svolto il test ANOVA è stato appurato che la differenza delle medie tra i gruppi è significativa. Con quest’altro test si è andati a cercare in particolare tra quali gruppi di dati la differenza è significativa e tra quali invece non lo è. Questo tipo di test mette quindi in relazione ogni coppia di gruppi possibile. Nella prima riga si è messo in relazione il decennio degli anni ’90 con quello degli anni 2000. Il risultato della colonna “Significatività” indica un valore di 0,073 che, essendo maggiore di 0,05, anche se di poco, risulta non significativo. Questo risultato è in linea con i risultati sperati: negli anni ’90 infatti i primi sistemi di automatizzazione della fase di Conceptual Design stavano venendo alla luce e negli anni 2000 gli investimenti in questo ambito sono aumentati anche se le applicazioni non erano ancora note e infatti i progressi non sono stati notevoli. Comparando invece la prima decade con la terza si nota che il valore di significatività risultante dal test risulta essere pari a 0,001, e quindi significativo; questo dato conferma che con l’avvento dell’industria 4.0 gli investimenti sono aumentati significativamente portando a migliorie nelle tecnologie, che hanno di fatto rivoluzionato il settore industriale. Nelle righe sottostanti si può notare come anche la differenza tra la media della terza decade e quella della seconda decade sia significativa, avendo un valore pari a 0,036.

I risultati ottenuti sono, riassumendo, quelli pronosticati; tra gli anni '90 e gli anni 2000 il grado di automatizzazione del Conceptual Design è aumentato progressivamente, ma l'aumento di questo valore tra i decenni non è stato sempre significativo. Tra le prime due decenni gli investimenti non sono stati abbastanza forti da permettere un miglioramento consistente delle tecnologie, cosa che è invece avvenuta tra gli anni 2000 e il decennio attuale, grazie all'avvento dell'Industry 4.0.

Capitolo 5

5 Conclusioni

In questo lavoro di ricerca si è investigata la possibilità di automatizzare completamente la fase creativa del processo di sviluppo prodotto tramite tecniche di intelligenza artificiale che, sfruttando la sempre crescente mole di dati a disposizione che contengono informazioni utili, potrebbero essere in grado di sostituirsi alla figura del designer, rendendo il lavoro più rapido ed efficace. A questo scopo è stata condotta una Literature Review, in cui si sono andati a ricercare i sistemi messi in atto oggi per raggiungere tale obiettivo; una volta classificate le informazioni in un database si sono svolte delle analisi descrittive mirate a comprendere quali fossero le tecniche di intelligenza artificiale impiegabili in questo ambito e che tipo di analisi compissero sui dati; fatto ciò, si è andati a realizzare un indice riportante il grado di automatizzazione della fase di Conceptual Design nel tempo, considerando come archi temporali le tre decadi a partire dagli anni '90; intorno al 1990 esplodeva infatti l'interesse nell'applicare tecniche di intelligenza artificiale per migliorare determinate aree aziendali inclusa quella relativa alla progettazione di nuovi prodotti. Negli anni 2000 la comprensione su come impiegare tali sistemi non era ancora pienamente nota e nonostante i progressi delle tecnologie non c'è stato un boom in questo ambito. L'esplosione definitiva si è verificata intorno all'anno 2011; con l'avvento dell'industria 4.0 le imprese si sono movimentate per rendere la propria produzione sempre più automatizzata ed interconnessa, avendo una consapevolezza sempre maggiore che le informazioni contenute all'interno dell'enorme mole di dati a loro disposizione proveniente dal marketing e dalla produzione possono essere sfruttate per ricavarne valore. A questi risultati si è giunti, come detto, in seguito alla redazione dell'indice del grado di automatizzazione nel tempo, che ha evidenziato un grado di automatizzazione sempre crescente nelle tre decadi, con una significatività tra il secondo e il terzo decennio. Le imprese ai giorni d'oggi stanno infatti investendo in maniera decisamente più decisa sull'automatizzazione industriale e la situazione in futuro è destinata a seguire questo trend. Contemporaneamente, si è anche studiato nel dettaglio il grado di automatizzazione medio di ogni fase che compone il Conceptual Design. Prendendo come riferimento la letteratura di Pahl e Beitz, il Conceptual Design è stato diviso nei suoi sette passi fondamentali, così come descritto nel capitolo 3.4. Questi sette passi possono per comodità essere raggruppati in tre macro-fasi denominate: "definition", "creation" ed "evaluation". La prima consiste in quelle operazioni che mirano a comprendere pienamente qual è il tipo di prodotto su cui concentrarsi, andando ad identificare completamente la sua struttura tramite componenti e funzioni essenziali. La fase di "creation" è la vera fase creativa del processo, che consiste nel trovare soluzioni per ogni sottocomponente del prodotto per poi combinarle assieme e creare diversi concepts. L'ultima fase è invece relativa alla valutazione dei risultati ottenuti e alla selezione del concept o dei concepts più adatti ai clienti, al mercato

e alle condizioni tecniche ed economiche prefissate. Quello che è risultato dalle analisi condotte è che gli algoritmi, attualmente, sono già in grado di rendere automatica la fase di “Creation”, in quanto già capaci di generare autonomamente dei concepts di prodotto. Nelle rimanenti due fasi è però ancora necessaria la figura del designer, che solo grazie alle proprie competenze ed esperienze è in grado di settare dei parametri iniziali riguardanti i tipi di componenti da progettare, i materiali giusti da impiegare ecc. e di svolgere delle analisi finali per effettuare una valutazione finale e selezionare solo i concepts più adatti. Le tecnologie di intelligenza artificiale quindi ad oggi sono in grado di facilitare considerevolmente il lavoro del designer, ma non sono ancora in grado di sostituire quest’ultimo completamente.

In futuro l’attenzione verso l’applicazione di tecniche di Artificial Intelligence in ambito industriale è destinata ad aumentare: i report di mercato mostrati nel capitolo 1 e i risultati ottenuti dalla realizzazione dell’indice di automatizzazione confermano questo trend. Nello specifico campo relativo allo sviluppo prodotto, gli algoritmi possono essere già definiti “creativi” ma non sono ancora in grado di sostituire una figura umana come quella del designer, in quanto quest’ultimo ha il compito di prendere delle decisioni fondamentali all’inizio e alla fine del processo che le macchine non sono ancora capaci di prendere. È quindi su questi aspetti che dovranno necessariamente concentrarsi le ricerche future se si vuole arrivare ad un’automazione totale del processo.

Appendice A

1. **An Idea Generation Supporting System based on Anchor and Gestalt Theories**
 - a. **Autore:** Heng-Li Yang, Cheng-Hwa Lee
 - b. **Anno:** 2009
 - c. **Settori:** Manifatturiero
 - d. **Applicazioni:** Intelligent Data Processing
 - e. **Ambiti:** Design
 - f. **Analisi:** Descrittiva
 - g. **Tipologia:** Prototype System
 - h. **Descrizione:** Sistema di supporto alla creatività e alla generazione delle idee che grazie a della conoscenza acquisita in un Database e all'applicazione di regole è in grado di fornire delle domande al designer che fungono da stimoli alla generazione di idee di quest'ultimo.
 - i. **Tecnologia:** Sistema Esperto Rule-Based
 - j. **NPD Phase:** Conceptual Design

2. **Conceptual Evolutionary Design by a Genetic Algorithm**
 - a. **Autore:** Peter J. Bentley and Jonathan P. Wakefield
 - b. **Anno:** 1997
 - c. **Settori:** Manifatturiero
 - d. **Applicazioni:** Intelligent Data Processing, Image Processing
 - e. **Ambiti:** Design
 - f. **Analisi:** Prescrittiva
 - g. **Tipologia:** Prototype System
 - h. **Descrizione:** Applicazione di un algoritmo genetico per la generazione di design alternativi di un prisma
 - i. **Tecnologia:** Algoritmo Genetico
 - j. **NPD Phase:** Conceptual Design

3. **Intelligent Decision Support for New Product Development: A Consumer - Oriented Approach**
 - a. **Autore:** Yang-Cheng Lin, Chun-Chih Chen and Chung-Hsing Yeh
 - b. **Anno:** 2014
 - c. **Settori:** Manifatturiero
 - d. **Applicazioni:** Intelligent Data Processing
 - e. **Ambiti:** Design
 - f. **Analisi:** Predittiva
 - g. **Tipologia:** Framework
 - h. **Descrizione:** sistema di supporto decisionale per lo sviluppo prodotto che raccoglie manualmente dai clienti le sensazioni che il prodotto provoca in loro (Kansei Engineering) e con l'uso di reti neurali e una tecnica di ordine delle preferenze in base al grado di similarità con la soluzione ideale (TOPSIS)

vengono per prima cosa combinate tutte le alternative di prodotto (dalla matrice morfologica creata manualmente) con l'algoritmo, e poi vengono scelte le più adatte alle preferenze dei consumatori con la tecnica TOPSIS

- i. **Tecnologia:** Artificial Neural Network
- j. **NPD Phase:** Conceptual Design

4. **A Computational Technique for Concept Generation**

- a. **Autore:** Cari R. Bryant, Daniel A. McAdams, Robert B. Stone, Tolga Kurtoglu and Matthew I. Campbell
- b. **Anno:** 2005
- c. **Settori:** Manifatturiero
- d. **Applicazioni:** Intelligent Data Processing
- e. **Ambiti:** Design
- f. **Analisi:** Predittiva
- g. **Tipologia:** Framework
- h. **Descrizione:** Si inizia con un'analisi funzionale del prodotto in questione svolta manualmente, quindi scomponendo la funzione principale in sotto-funzioni; vengono poi trovate delle soluzioni a tutte le sotto-funzioni e il prodotto finale è generato attraverso l'assemblaggio di tutte le soluzioni alle sotto-funzioni. Le «functional basis» sono quindi memorizzate in una «design repository», che contiene tutte le informazioni di determinate categorie di prodotti. Gli algoritmi sono poi in grado di collegare componenti e funzionalità attraverso delle matrici componente-componente e componente-funzionalità precedentemente generate, per poi generare varie alternative di prodotti
- i. **Tecnologia:** Sistema Esperto Frame-Based
- j. **NPD Phase:** Conceptual Design

5. **Artificial Intelligent Models for New Product Design: An Application Study**

- a. **Autore:** Yang-Cheng Lin and Yun-Ting Chen
- b. **Anno:** 2016
- c. **Settori:** Manifatturiero
- d. **Applicazioni:** Intelligent Data Processing
- e. **Ambiti:** Design
- f. **Analisi:** Prtedittiva
- g. **Tipologia:** Framework
- h. **Descrizione:** Analizzando 500 bottigliette per profumi e scartando quelle simili si arriva ad averne 200 (analisi manuale). Su queste viene condotta un'analisi morfologica, cioè vengono individuati tutti i componenti principali delle bottigliette e per ognuno vengono elencate tutte le possibili varianti di forma (anche questa fatta manualmente). Infine, un algoritmo di Artificial Neural Network prende in input la matrice morfologica e genera dei concept di prodotto avendo a disposizione le preferenze dei clienti. In questo sistema è però il designer che deve inserire le preferenze dei clienti come parametri nell'algoritmo.

- i. **Tecnologia:** Artificial Neural Network, Sistema Esperto Frame-Based
- j. **NPD Phase:** Conceptual Design

6. **An Integrated Computational Intelligence Approach to Product Concept Generation and Evaluation**

- a. **Autore:** Hong-Zhong Huang, Ruifeng Bo and Wei Chen
- b. **Anno:** 2005
- c. **Settori:** Manifatturiero
- d. **Applicazioni:** Intelligent Data Processing
- e. **Ambiti:** Design
- f. **Analisi:** Prescrittiva
- g. **Tipologia:** Framework
- h. **Descrizione:** Sistema che consiste in: un'analisi funzionale (svolta dal designer) per ricavare la matrice morfologica; In seguito, grazie alla «knowledge base» di concept di design alternativi viene generato un concept per ogni sotto-funzione del prodotto con l'uso di un algoritmo genetico; infine con una tecnica di «fuzzy neural network» viene scelto il design migliore tra quelli proposti.
- i. **Tecnologia:** Algoritmo Genetico, Artificial Neural Network, Sistema Esperto Frame-Based, Fuzzy Logic
- j. **NPD Phase:** Conceptual Design, Embodiment Design

7. **A fuzzy CBR Technique for Generating Product Ideas**

- a. **Autore:** Muh-Cherng Wu, Ying-Fu Lo and Shang-Hwa Hsu
- b. **Anno:** 2006
- c. **Settori:** Manifatturiero
- d. **Applicazioni:** Intelligent Data Processing
- e. **Ambiti:** Design
- f. **Analisi:** Predittiva
- g. **Tipologia:** Framework
- h. **Descrizione:** Ricerca una soluzione basandosi su casi passati memorizzati in un database; in seguito un meccanismo di estrazione delle informazioni estrapola i giusti casi passati che vengono manipolati da un meccanismo di inferenza.
- i. **Tecnologia:** Sistema Esperto Case-Based, Fuzzy Logic
- j. **NPD Phase:** Conceptual Design, Embodiment Design

8. **Impacting Designer Creativity through IT-Enabled Concept Generation**

- a. **Autore:** Ken English, Aziz Naim, Kemper Lewis, Susanne Schmidt, Vimal Viswanathan, Julie Linsey, Daniel A. McAdams, Bryan Bishop, Matthew I. Campbell, Kerry Poppa, Robert B. Stone and Seth Osborne
- b. **Anno:** 2010
- c. **Settori:** Manifatturiero
- d. **Applicazioni:** Intelligent Data Processing

- e. **Ambiti:** Design
- f. **Analisi:** Descrittiva, Prescrittiva
- g. **Tipologia:** Framework
- h. **Descrizione:** Inizialmente il designer seleziona un design problem e configurazioni diverse di design sono generate automaticamente collegando opportunamente un'analisi funzionale del prodotto con concept generation rules e informazioni proveniente da una base di conoscenza. I risultati sono salvati in un database e clusterizzati insieme ad altri prodotti che mostrano feature simili.
- i. **Tecnologia:** Clustering/Regole di associazione, Sistema Esperto Rule-Based
- j. **NPD Phase:** Conceptual Design

9. **Generating Stylistically Consistent Products Form Designs Using Interactive Evolutionary Parametric Shape Grammars**

- a. **Autore:** Ho Cheong Lee and Ming Xi Tang
- b. **Anno:** 2006
- c. **Settori:** Manifatturiero
- d. **Applicazioni:** Intelligent Data Processing
- e. **Ambiti:** Design
- f. **Analisi:** Descrittiva
- g. **Tipologia:** Framework
- h. **Descrizione:** framework di uno “shape grammar”; generano designs codificando la conoscenza di “shape grammar rules”. Per prima cosa vengono derivate delle «shape rules» sfruttando l’esperienza passata, teorie, e analizzando forme di prodotti esistenti; queste sono poi inserite all’interno di un algoritmo genetico che genera nuove «shape rules»; queste nuove regole definiscono infine una nuova serie di designs alternativi. Questo sistema non sostituisce il lavoro del designer, in quanto il suo compito è solo quello di generare una serie di forme alternative di prodotto che variano in base a delle regole che modificano dei parametri e che non sono collegate ai requisiti funzionali. I parametri inoltre sono scelti inizialmente dal designer manualmente, che poi sceglie il design preferito ad ogni simulazione, finchè non ottiene un risultato soddisfacente.
- i. **Tecnologia:** Sistema Esperto Rule-Based, Algoritmo Genetico
- j. **NPD Phase:** Conceptual Design, Embodiment Design

10. **Designing Inner Hood Panels Through a Shaper Grammar Based Framework**

- a. **Autore:** Jay McCommark and Jonathan Cagan
- b. **Anno:** 2002
- c. **Settori:** Manifatturiero
- d. **Applicazioni:** Intelligent Data Processing
- e. **Ambiti:** Design
- f. **Analisi:** Prescrittiva
- g. **Tipologia:** Framework

- h. Descrizione:** Applicazione di un SE rule-based per il conceptual design di un "inner hood".
- i. Tecnologia:** Sistema Esperto Rule-Based
- j. NPD Phase:** Conceptual Design

11. A Semantic and Shape Grammar Based Approach for Product Design

- a. Autore:** Shih-Wen Hsiao and Ching-Hai Chen
- b. Anno:** 1997
- c. Settori:** Manifatturiero
- d. Applicazioni:** Intelligent Data Processing, Image Processing
- e. Ambiti:** Design
- f. Analisi:** Predittiva
- g. Tipologia:** Model
- h. Descrizione:** Applicazione di un SE rule-based per il Conceptual Design di una sedia da ufficio.
- i. Tecnologia:** Sistema Esperto Rule-Based
- j. NPD Phase:** Conceptual Design

12. Combining Evolutionary Algorithms and Shape Grammars to generate Branded Product Design

- a. Autore:** Mei Choo Ang, Hau Hing Chau, Alison McKay and Alan De Pennington
- b. Anno:** 2006
- c. Settori:** Manifatturiero
- d. Applicazioni:** Intelligent Data Processing
- e. Ambiti:** Design
- f. Analisi:** Prescrittiva
- g. Tipologia:** Framework
- h. Descrizione:** È uno shape grammar system che incorpora un algoritmo genetico per individuare automaticamente le regole usate dallo shape grammar, invece che inserire manualmente le regole come succede di solito.
- i. Tecnologia:** Sistema Esperto Rule-Based, Algoritmo Genetico
- j. NPD Phase:** Conceptual Design, Embodiment Design

13. Utilizing Text Mining and Kansei Engineering to Support Data-Driven Design Automation

- a. Autore:** Kong-Zhao LIN and Ming-Chuan CHIU
- b. Anno:** 2017
- c. Settori:** Manifatturiero
- d. Applicazioni:** Intelligent Data Processing
- e. Ambiti:** Design
- f. Analisi:** Descrittiva, Predittiva
- g. Tipologia:** Framework

- h. Descrizione:** Metodo che combina il Data Mining e il Kansei Engineering per cercare di estrapolare I requisiti dei clienti. Il Text Mining è usato per analizzare le parole chiave usate dai client nelle recensioni. Il Kansei Engineering mira a tradurre I bisogni dei clienti nel dominio dello sviluppo prodotto.
- i. Tecnologia:** Clustering/Regole di associazione
- j. NPD Phase:** Clarify the Task

14. **Data-Driven Decision Tree Classification for Product Portfolio Design Optimization**

- a. Autore:** Conrad S. Tucker and Harrison M. Kim
- b. Anno:** 2010
- c. Settori:** Manifatturiero
- d. Applicazioni:** Intelligent Data Processing
- e. Ambiti:** Design
- f. Analisi:** Descrittiva, Predittiva
- g. Tipologia:** Framework
- h. Descrizione:** Ai clienti viene chiesto di selezionare una combinazione di attributi e prezzo che più incontrano le loro necessità. I dati vengono processati per togliere informazioni non utili e per portarli in una forma processabile. C'è poi la fase di “pattern discovery” che viene svolta da un algoritmo di Data Mining “Decision Tree”. Una serie di concepts sono poi generati tramite l'algoritmo “Decision Tree”, e i concepts sono poi valutati tramite tecniche di ottimizzazione.
- i. Tecnologia:** Clustering/Regole di associazione, Decision Tree
- j. NPD Phase:** Clarify the Task, Conceptual Design, Embodiment Design

15. **Product Family Concept Generation and Validation Through Predictive Decision Tree Data Mining and Multi-Level Optimization**

- a. Autore:** Conrad S. Tucker and Harrison M. Kim
- b. Anno:** 2018
- c. Settori:** Manifatturiero
- d. Applicazioni:** Intelligent Data Processing
- e. Ambiti:** Design
- f. Analisi:** Descrittiva, Predittiva
- g. Tipologia:** Framework
- h. Descrizione:** Framework di una tecnica di Data Mining che oltre a permettere di capire i bisogni dei clienti e a intuire come evolverà il mercato, è in grado di generare una serie di concept.
- i. Tecnologia:** Clustering/Regole di associazione, Decision Tree
- j. NPD Phase:** Clarify the Task, Conceptual Design

16. **A Generative Evolutionary Design Method**

- a. Autore:** Patrick Janssen
- b. Anno:** 2006

- c. **Settori:** Manifatturiero
- d. **Applicazioni:** Intelligent Data Processing
- e. **Ambiti:** Design
- f. **Analisi:** Prescrittiva
- g. **Tipologia:** Prototype System
- h. **Descrizione:** Sistema di Generative Design che evolve concept di prodotti a partire da delle regole iniziali.
- i. **Tecnologia:** Algoritmo Genetico
- j. **NPD Phase:** Conceptual Design

17. Constructing an Intelligent Conceptual Design System Using Genetic Algorithm

- a. **Autore:** Jeng-Jong Lin
- b. **Anno:** 2003
- c. **Settori:** Manifatturiero
- d. **Applicazioni:** Intelligent Data Processing
- e. **Ambiti:** Design
- f. **Analisi:** Prescrittiva
- g. **Tipologia:** Framework teorico
- h. **Descrizione:** Framework teorico di un algoritmo genetico applicato alla fase di Conceptual Design.
- i. **Tecnologia:** Algoritmo Genetico
- j. **NPD Phase:** Conceptual Design

18. A Constraint Based Evolutionary Decision Support System for Product Design

- a. **Autore:** Yu guoyan, Wang Xiaozhen, Li Peng
- b. **Anno:** 2009
- c. **Settori:** Manifatturiero
- d. **Applicazioni:** Intelligent Data Processing
- e. **Ambiti:** Design
- f. **Analisi:** Prescrittiva
- g. **Tipologia:** Framework
- h. **Descrizione:** Sistema che combina un algoritmo genetico e una rete neurale artificiale per la progettazione di prodotto.
- i. **Tecnologia:** Algoritmo Genetico, Artificial Neural Network
- j. **NPD Phase:** Conceptual Design, Embodiment Design

19. A Practical Generative Design Method

- a. **Autore:** Sivam Krish
- b. **Anno:** 2010
- c. **Settori:** Manifatturiero
- d. **Applicazioni:** Intelligent Data Processing
- e. **Ambiti:** Design
- f. **Analisi:** Prescrittiva
- g. **Tipologia:** Framework

- h. Descrizione:** Sistema di Generative Design che evolve concept di prodotti a partire da delle regole iniziali.
- i. Tecnologia:** Algoritmo Genetico
- j. NPD Phase:** Embodiment Design

20. Automated Antenna Design with Evolutionary System

- a. Autore:** Derek Linden, Greg Hornby, Jason Lohn, Al Globus
- b. Anno:** 2018
- c. Settori:** Manifatturiero
- d. Applicazioni:** Intelligent Data Processing
- e. Ambiti:** Design
- f. Analisi:** Prescrittiva
- g. Tipologia:** Framework
- h. Descrizione:** Metodo di Generative Design applicato alla progettazione di un'antenna,
- i. Tecnologia:** Algoritmo Genetico
- j. NPD Phase:** Embodiment Design

21. A Neural Network Based Approach for Product Form Design

- a. Autore:** Shih-Wen Hsiao and H.C. Huang
- b. Anno:** 2001
- c. Settori:** Manifatturiero
- d. Applicazioni:** Intelligent Data Processing, Image Processing
- e. Ambiti:** Design
- f. Analisi:** Prescrittiva
- g. Tipologia:** Model
- h. Descrizione:** Applicazione di ANN per il Conceptual Design di una sedia da ufficio.
- i. Tecnologia:** Artificial Neural Network
- j. NPD Phase:** Conceptual Design

22. A Big Data Approach to Computational Creativity

- a. Autore:** Lav R. Varshney, Florian Pinel, Kush R. Varshney, Debarun Bhattacharjya, Angela Schörgendorfer, and Yi-Min Chee
- b. Anno:** 2013
- c. Settori:** Attività artistiche, sportive, di intrattenimento e divertimento
- d. Applicazioni:** Intelligent Data Processing
- e. Ambiti:** Design
- f. Analisi:** Descrittiva
- g. Tipologia:** Framework
- h. Descrizione:** Sistema per creare automaticamente delle ricette culinarie.
- i. Tecnologia:** Sistema Esperto Case-Based
- j. NPD Phase:** -

- 23. Supporting Creative Design in a Visual Evolutionary Computing Environment**
- a. **Autore:** Hong Liu, Mangxi Tang, John Hamilton Frazer,
 - b. **Anno:** 2004
 - c. **Settori:** Manifatturiero
 - d. **Applicazioni:** Intelligent Data Processing
 - e. **Ambiti:** Design
 - f. **Analisi:** Prescrittiva
 - g. **Tipologia:** Framework
 - h. **Descrizione:** Framework che descrive l'applicazione di un algoritmo genetico per il design di una lampada.
 - i. **Tecnologia:** Algoritmo Genetico
 - j. **NPD Phase:** Conceptual Design
- 24. Stimulating Designers' Creativity Based on a Creative Evolutionary System and Collective Intelligence in Product Design**
- a. **Autore:** Ji-Hyun Lee, Ming-Luen Chang
 - b. **Anno:** 2009
 - c. **Settori:** Manifatturiero
 - d. **Applicazioni:** Intelligent Data Processing
 - e. **Ambiti:** Design
 - f. **Analisi:** Prescrittiva
 - g. **Tipologia:** Framework
 - h. **Descrizione:** Sistema formato da un algoritmo genetico applicato alla fase di Conceptual Design.
 - i. **Tecnologia:** Algoritmo Genetico
 - j. **NPD Phase:** Conceptual Design, Embodiment Design
- 25. Generation of New Service Concepts: A Morphology Analysis and Genetic Algorithm Approach**
- a. **Autore:** Changyong Lee, Bomi Song, Yongtae Park
 - b. **Anno:** 2009
 - c. **Settori:** Manifatturiero
 - d. **Applicazioni:** Intelligent Data Processing
 - e. **Ambiti:** Design
 - f. **Analisi:** Prescrittiva
 - g. **Tipologia:** Framework
 - h. **Descrizione:** Algoritmo genetico applicato al design di servizi.
 - i. **Tecnologia:** Algoritmo Genetico
 - j. **NPD Phase:** Conceptual Design, Embodiment Design
- 26. Design Automation with the Aids of Multiple Artificial Intelligence Techniques**
- a. **Autore:** Daizhong Su
 - b. **Anno:** 1999
 - c. **Settori:** Manifatturiero

- d. Applicazioni:** Intelligent Data Processing
- e. Ambiti:** Design, Produzione
- f. Analisi:** Predittiva
- g. Tipologia:** Prototype System
- h. Descrizione:** Integrazione di un Expert System, Artificial Neural Network e algoritmo genetico in un sistema per il Conceptual Design, Embodiment Design e produzione di un sistema di trasmissione di potenza meccanica.
- i. Tecnologia:** Sistema Esperto Rule-Based, Artificial Neural Network, Algoritmo Genetico
- j. NPD Phase:** Conceptual Design, Embodiment Design

27. **A Validation Study of an Automated Concept Generator Design Tool**

- a. Autore:** Cari R. Bryant, Daniel A. McAdams, Robert B. Stone, Tolga Kurtoglu, Matthew I. Campbell
- b. Anno:** 2006
- c. Settori:** Manifatturiero
- d. Applicazioni:** Intelligent Data Processing
- e. Ambiti:** Design
- f. Analisi:** Predittiva
- g. Tipologia:** Framework
- h. Descrizione:** Ricerca una soluzione basandosi su una base di conoscenza creata grazie a prodotti passati. Da questi deriva delle regole per generare nuovi concepts.
- i. Tecnologia:** Sistema Esperto Case-Based
- j. NPD Phase:** Conceptual Design

28. **Optimal Product Portfolio Formulation by Merging Predictive Data Mining with Multilevel Optimization**

- a. Autore:** Conrad S. Tucker, Harrison M. Kim
- b. Anno:** 2008
- c. Settori:** Manifatturiero
- d. Applicazioni:** Intelligent Data Processing
- e. Ambiti:** Design, Marketing
- f. Analisi:** Descrittiva, Predittiva
- g. Tipologia:** Generic
- h. Descrizione:** Presentazione di alcune applicazioni di Data Mining applicate alla progettazione.
- i. Tecnologia:** Clustering/Regole di associazione
- j. NPD Phase:** Clarify the Task

29. **Applying a Hybrid Approach based on Fuzzy Neural Network and Genetic Algorithm to Product Form Design**

- a. Autore:** Shih-Wen Hsiao, Hung-Cheng Tsai
- b. Anno:** 2005

- c. **Settori:** Manifatturiero
- d. **Applicazioni:** Intelligent Data Processing
- e. **Ambiti:** Design
- f. **Analisi:** Prescrittiva
- g. **Tipologia:** Framework
- h. **Descrizione:** Articolo in cui si applica un algoritmo genetico per generare delle forme alternative di design grazie a dei parametri che gli vengono forniti, e in seguito una rete neurale fuzzy per valutare il migliore.
- i. **Tecnologia:** Algoritmo Genetico, Artificial Neural Network, Fuzzy Logic
- j. **NPD Phase:** Embodiment Design

30. Idea Generation Algorithm Based Systems

- a. **Autore:** Usha A. Jogalekar, Akhil Mangla
- b. **Anno:** 2010
- c. **Settori:** Manifatturiero
- d. **Applicazioni:** Intelligent Data Processing
- e. **Ambiti:** Design
- f. **Analisi:** Prescrittiva
- g. **Tipologia:** Framework Teorico
- h. **Descrizione:** Processo di generazione delle idee che cerca di replicare il processo del pensiero umano, applicabile anche allo sviluppo prodotto.
- i. **Tecnologia:** Artificial Neural Network
- j. **NPD Phase:** -

31. An Artificial Intelligence Approach to Industrial Design Support

- a. **Autore:** Ming Xi Tang
- b. **Anno:** 1998
- c. **Settori:** Manifatturiero
- d. **Applicazioni:** Intelligent Data Processing
- e. **Ambiti:** Design
- f. **Analisi:** Prescrittiva
- g. **Tipologia:** Framework
- h. **Descrizione:** Sistema per il Conceptual Design e l'Embodiment Design di prodotti industriali.
- i. **Tecnologia:** Algoritmo Genetico
- j. **NPD Phase:** Conceptual Design, Embodiment Design

32. Genetic Algorithms based Systems for Conceptual Engineering Design

- a. **Autore:** Dragan Cvetkovic e Ian C.Parmee
- b. **Anno:** 1999
- c. **Settori:** Manifatturiero
- d. **Applicazioni:** Intelligent Data Processing
- e. **Ambiti:** Design
- f. **Analisi:** Descrittiva

- g. **Tipologia:** Framework
- h. **Descrizione:** Sistema che applica un algoritmo genetico alla fase di conceptual design.
- i. **Tecnologia:** Algoritmo Genetico
- j. **NPD Phase:** Conceptual Design

33. Application of genetic algorithms to conceptual design of a micro-air vehicle

- a. **Autore:** T. T. H. Ng, G. S. B. Leng
- b. **Anno:** 2002
- c. **Settori:** Manifatturiero
- d. **Applicazioni:** Intelligent Data Processing
- e. **Ambiti:** Design
- f. **Analisi:** Predittiva
- g. **Tipologia:** Sistema
- h. **Descrizione:** Sistema che applica un algoritmo genetico alla fase di conceptual design per la progettazione un veicolo di volo.
- i. **Tecnologia:** Algoritmo Genetico
- j. **NPD Phase:** Conceptual Design

34. Design candidate identification using neural network-based fuzzy reasoning

- a. **Autore:** J. Sun, D. K. Kalenchuk, D. Xue and P. Gu
- b. **Anno:** 2000
- c. **Settori:** Manifatturiero
- d. **Applicazioni:** Intelligent Data Processing
- e. **Ambiti:** Design
- f. **Analisi:** Descrittiva, Predittiva
- g. **Tipologia:** Sistema
- h. **Descrizione:** Applicazione di una rete neurale artificiale con logica fuzzy per la creazione di concepts in base alle esigenze dei clienti e la valutazione dei concepts.
- i. **Tecnologia:** Rete Neurale Artificiale, Fuzzy Logic
- j. **NPD Phase:** Conceptual Design, Embodiment Design

35. Neural Network model for design retrieval in manufacturing systems

- a. **Autore:** V. Venugopal and T. T. Narendran
- b. **Anno:** 1991
- c. **Settori:** Manifatturiero
- d. **Applicazioni:** Intelligent Data Processing
- e. **Ambiti:** Design
- f. **Analisi:** Prescrittiva
- g. **Tipologia:** Framework
- h. **Descrizione:** Sistema di product retrieval per la progettazione di parti di prodotti uguali fra loro.
- i. **Tecnologia:** Rete Neurale Artificiale
- j. **NPD Phase:** Conceptual Design

36. Using ART1 neural networks with destructive solid geometry for design retrieving systems

- a. **Autore:** C. A. Chang and C. Y. Tsai
- b. **Anno:** 1996
- c. **Settori:** Manifatturiero
- d. **Applicazioni:** Intelligent Data Processing
- e. **Ambiti:** Design
- f. **Analisi:** Prescrittiva
- g. **Tipologia:** Sistema
- h. **Descrizione:** Sistema che utilizza la rete neurale artificiale ART1 per generare concepts
- i. **Tecnologia:** Rete Neurale Artificiale
- j. **NPD Phase:** Conceptual Design

37. Automatic Design Synthesis with artificial intelligence techniques

- a. **Autore:** F.J. Vico, F.J. Verades, J.M. Bravo and J.Almaraz
- b. **Anno:** 1999
- c. **Settori:** Manifatturiero
- d. **Applicazioni:** Intelligent Data Processing
- e. **Ambiti:** Design
- f. **Analisi:** Prescrittiva
- g. **Tipologia:** Sistema
- h. **Descrizione:** Applicazione di un algoritmo genetico per il conceptual design di un telephone handset. Con un ANN si valutano poi i concepts generati.
- i. **Tecnologia:** Algoritmo Genetico, Rete Neurale Artificiale
- j. **NPD Phase:** Conceptual Design, Embodiment Design

38. A design optimization tool based on genetic algorithm

- a. **Autore:** Luisa Gama Caldas and Leslie K. Norford
- b. **Anno:** 2002
- c. **Settori:** Manifatturiero
- d. **Applicazioni:** Intelligent Data Processing
- e. **Ambiti:** Design
- f. **Analisi:** Prescrittiva
- g. **Tipologia:** Framework
- h. **Descrizione:** Sistema che con l'utilizzo di un algoritmo genetico ottimizza il design e la dimensione di finestre per edifici generici.
- i. **Tecnologia:** Algoritmo Genetico
- j. **NPD Phase:** Conceptual Design

39. Evolutionary shape grammars for product design

- a. **Autore:** H.C. Lee and M.X. Tang
- b. **Anno:** 2018

- c. **Settori:** Manifatturiero
- d. **Applicazioni:** Intelligent Data Processing
- e. **Ambiti:** Design
- f. **Analisi:** Descrittiva
- g. **Tipologia:** Sistema
- h. **Descrizione:** Shape grammar che ottimizza le forme dei prodotti.
- i. **Tecnologia:** Sistema Esperto Rule-Based, Algoritmo Genetico
- j. **NPD Phase:** Conceptual Design

40. A Application of genetic algorithms to lubrication pump stacking design

- a. **Autore:** V. Kelner and O. Leonard
- b. **Anno:** 2004
- c. **Settori:** Manifatturiero
- d. **Applicazioni:** Intelligent Data Processing
- e. **Ambiti:** Design
- f. **Analisi:** Descrittiva
- g. **Tipologia:** Sistema
- h. **Descrizione:** Sistema per la generazione di concepts di "pump stacking" che fa uso di algoritmi genetici.
- i. **Tecnologia:** Algoritmo Genetico
- j. **NPD Phase:** Conceptual Design

41. A An intelligent decision support model for product design

- a. **Autore:** Yang-Cheng Lin and Chun-Chun Wei
- b. **Anno:** 2011
- c. **Settori:** Manifatturiero
- d. **Applicazioni:** Intelligent Data Processing
- e. **Ambiti:** Design
- f. **Analisi:** Prescrittiva
- g. **Tipologia:** Framework
- h. **Descrizione:** Sistema che addestra una rete neurale dopo aver condotto un'analisi morfologica sul prodotto in questione. La rete neurale artificiale sceglie poi la combinazione migliore di componenti dalla matrice morfologica.
- i. **Tecnologia:** Rete Neurale Artificiale
- j. **NPD Phase:** Conceptual Design

42. An A genetic algorithm based preliminary design system

- a. **Autore:** D.T. Pham and Y. Yang
- b. **Anno:** 1993
- c. **Settori:** Manifatturiero
- d. **Applicazioni:** Intelligent Data Processing
- e. **Ambiti:** Design
- f. **Analisi:** Prescrittiva
- g. **Tipologia:** Sistema

- h. Descrizione:** Algoritmo genetico che genera concepts multipli.
- i. Tecnologia:** Algoritmo Genetico
- j. NPD Phase:** Conceptual Design

43. The application of case-based reasoning to decision support in new product development

- a. Autore:** R. Belecheanu, K.S Pawar, R.J. Barson, B. Bredehorst and F. Weber
- b. Anno:** 2003
- c. Settori:** Manifatturiero
- d. Applicazioni:** Intelligent Data Processing
- e. Ambiti:** Design
- f. Analisi:** Predittiva
- g. Tipologia:** Sistema
- h. Descrizione:** Generazione di concepts basata su casi passati.
- i. Tecnologia:** Sistema Esperto Case-Based
- j. NPD Phase:** Conceptual Design

44. A The evolution of solid objects using genetic algorithms

- a. Autore:** Peter J. Bentley and Jonathan P. Wakefield
- b. Anno:** 1995
- c. Settori:** Manifatturiero
- d. Applicazioni:** Intelligent Data Processing
- e. Ambiti:** Design
- f. Analisi:** Prescrittiva
- g. Tipologia:** Framework
- h. Descrizione:** Generazione e valutazione di concepts con algoritmi genetici.
- i. Tecnologia:** Algoritmo Genetico
- j. NPD Phase:** Conceptual Design

45. A case-based reasoning approach to generating new product ideas

- a. Autore:** Muh.Cherng, Ying-Fu Lo and Shang-Hwa Hsu
- b. Anno:** 2006
- c. Settori:** Manifatturiero
- d. Applicazioni:** Intelligent Data Processing
- e. Ambiti:** Design
- f. Analisi:** Predittiva
- g. Tipologia:** Framework
- h. Descrizione:** Sistema esperto case-based applicato per generare idee accingendo ad un database di prodotti simili.
- i. Tecnologia:** Sistema Esperto Case-Based
- j. NPD Phase:** Conceptual Design

Appendice B

1. En Passant 2

- a. **Anno:** 1998
- b. **Autore:** Aihara e Hori
- c. **Approccio:** Organize research notes and trigger recalls
- d. **Dominio:** Domain general
- e. **Stadio:** Information finding

2. ThoughtpathTM, Mindmapper, IdeaFisher

- a. **Anno:** 2016
- b. **Autore:** Althuizen e Reichel
- c. **Approccio:** Process guide, mind map, stimuli provider
- d. **Dominio:** Domain general
- e. **Stadio:** Problem finding, idea finding, solution finding

3. N/A

- a. **Anno:** 2014
- b. **Autore:** Althuizen e Wierenga
- c. **Approccio:** Case based reasoning
- d. **Dominio:** Domain general
- e. **Stadio:** Information finding, idea finding, solution finding

4. BrainDump

- a. **Anno:** 2011
- b. **Autore:** Brade et al.
- c. **Approccio:** Visualize associations and organization of information
- d. **Dominio:** Domain general
- e. **Stadio:** Information finding

5. N/A

- a. **Anno:** 1996
- b. **Autore:** Chen
- c. **Approccio:** Generate suggestions using analogical reasoning through document structure mapping
- d. **Dominio:** Domain General
- e. **Stadio:** Idea finding, solution finding

6. N/A

- a. **Anno:** 2008
- b. **Autore:** Cheung et al.
- c. **Approccio:** Use a web-based knowledge repository to promote creative thinking

- d. **Dominio:** Domain general
- e. **Stadio:** Information finding, idea finding, solution finding

7. N/A

- a. **Anno:** 2013
- b. **Autore:** Dennis et al.
- c. **Approccio:** Use a simple computer game to implement achievement priming
- d. **Dominio:** Domain general
- e. **Stadio:** Idea finding

8. Ods/CONSULTANT

- a. **Anno:** 1990
- b. **Autore:** Elam e Mead
- c. **Approccio:** Use questions to guide users through a complete creative process
- d. **Dominio:** Domain general
- e. **Stadio:** Problem finding, information finding, idea finding, solution finding

9. N/A

- a. **Anno:** 1998
- b. **Autore:** Fentem et al.
- c. **Approccio:** Spatial representations of strategic knowledge in the form of maps
- d. **Dominio:** Domain general
- e. **Stadio:** Information finding, idea finding

10. CDMSS

- a. **Anno:** 2007
- b. **Autore:** Forgionne e Newman
- c. **Approccio:** In addition to a regular support system, provide creativity enhancing tools that visualize and organize ideas
- d. **Dominio:** Domain general
- e. **Stadio:** Problem finding, information finding, idea finding, solution finding

11. N/A

- a. **Anno:** 2001
- b. **Autore:** Garfield et al.
- c. **Approccio:** Use different creativity techniques, show others' ideas
- d. **Dominio:** Domain general
- e. **Stadio:** Idea finding

12. NID

- a. **Anno:** 2013
- b. **Autore:** Jenkin et al.
- c. **Approccio:** Identify novel yet relevant information by iteratively search the Internet using newly found keywords

- d. **Dominio:** Domain general
- e. **Stadio:** Information finding, idea finding

13. CombinFormation

- a. **Anno:** 2007
- b. **Autore:** Kho et al.
- c. **Approccio:** Gather and present relevant information visually to facilitate information discovery and exploratory search
- d. **Dominio:** Domain general
- e. **Stadio:** Information finding

14. N/A

- a. **Anno:** 2011
- b. **Autore:** Lewis et al.
- c. **Approccio:** Show pictures to induce positive effects
- d. **Dominio:** Domain general
- e. **Stadio:** Idea finding

15. USE

- a. **Anno:** 2009
- b. **Autore:** Lopes, Alvarez-Napaguo e Vazquez-Salceda
- c. **Approccio:** A system for recommending tagged pictures from the web, which can help brainstorming
- d. **Dominio:** Domain general
- e. **Stadio:** Information finding

16. GENI

- a. **Anno:** 1994
- b. **Autore:** MacCrimmon e Wagner
- c. **Approccio:** Provide different types of stimuli, support the connection of different elements in a problem
- d. **Dominio:** Domain general
- e. **Stadio:** Problem finding, idea finding, solution finding

17. N/A

- a. **Anno:** 2000
- b. **Autore:** Malaga
- c. **Approccio:** Use picture and word stimuli to promote creative thinking
- d. **Dominio:** Domain general
- e. **Stadio:** Information finding, idea finding

18. Od/CONSULTANT

- a. **Anno:** 1997
- b. **Autore:** Marakas e Elam

- c. **Approccio:** Guide users through a series of steps in a creative process
- d. **Dominio:** Domain general
- e. **Stadio:** Problem finding, information finding, idea finding, solution finding

19. IdeaFisher, Ideatree

- a. **Anno:** 1996
- b. **Autore:** Massetti
- c. **Approccio:** Provide stimuli such as topics, phrases, questions, mind mapping
- d. **Dominio:** Domain general
- e. **Stadio:** Idea finding

20. N/A

- a. **Anno:** 2011
- b. **Autore:** Mueller-Wienbergen et al.
- c. **Approccio:** A set of measures is proposed to support divergent and convergent thinking
- d. **Dominio:** Domain general
- e. **Stadio:** Information finding, idea finding

21. OROC

- a. **Anno:** 2016
- b. **Autore:** Olteteanu e Falomir
- c. **Approccio:** Use object replacement and object composition to generate ideas automatically
- d. **Dominio:** Domain general
- e. **Stadio:** Idea finding

22. N/A

- a. **Anno:** 2004
- b. **Autore:** Santanen et al.
- c. **Approccio:** Provide stimuli such as suggestions to inspire ideas
- d. **Dominio:** Domain general
- e. **Stadio:** Idea finding

23. Eureka!

- a. **Anno:** 2011
- b. **Autore:** Viriyayudhakorn et al.
- c. **Approccio:** Provide Wikipedia-based stimuli
- d. **Dominio:** Domain general
- e. **Stadio:** Idea finding

24. VRMDS

- a. **Anno:** 2012
- b. **Autore:** Alvarez e Su

- c. **Approccio:** Virtual environment for supporting the conceptual design of mechanisms, 3D modeling and prototyping
- d. **Dominio:** Engineering design and innovation
- e. **Stadio:** information finding, idea finding, solution finding

25. N/A

- a. **Anno:** 1999
- b. **Autore:** Chen
- c. **Approccio:** Use computational methods to realize heuristics for technical inventions
- d. **Dominio:** Engineering design and innovation
- e. **Stadio:** Problem finding, information finding, idea finding

26. Innovation assistant

- a. **Anno:** 2011
- b. **Autore:** McCaffrey e Spector
- c. **Approccio:** Use a semantic network of physical features to guide users to obscure features
- d. **Dominio:** Engineering design and innovation
- e. **Stadio:** Information finding, idea finding

27. N/A

- a. **Anno:** 2009
- b. **Autore:** Shai et al.
- c. **Approccio:** Generate design solutions by using designs from remote disciplines
- d. **Dominio:** Engineering design and innovation
- e. **Stadio:** Idea finding, solution finding

28. N/A

- a. **Anno:** 1994
- b. **Autore:** Sugimoto et al.
- c. **Approccio:** Visualize viewpoints and their semantic relationships
- d. **Dominio:** Engineering design and innovation
- e. **Stadio:** Idea finding, solution finding

29. DANE

- a. **Anno:** 2010
- b. **Autore:** Vattam et al.
- c. **Approccio:** Provide a design case library of biological systems
- d. **Dominio:** Engineering design and innovation
- e. **Stadio:** Idea finding, solution finding

30. N/A

- a. **Anno:** 2009

- b. **Autore:** Zanni-Merk et al.
- c. **Approccio:** Develop an ontology for computer aided innovation with TRIZ
- d. **Dominio:** Engineering design and innovation
- e. **Stadio:** Idea finding, solution finding

31. N/A

- a. **Anno:** 2013
- b. **Autore:** Hung e Choy
- c. **Approccio:** Use conceptual recombination to transform unfinished creative work into final output
- d. **Dominio:** Graphic design
- e. **Stadio:** Idea finding, solution finding

32. Speak 'n' Sketch

- a. **Anno:** 2000
- b. **Autore:** Sedivy e Johnson
- c. **Approccio:** Voice activation of functionalities, supporting for layers, allowing easy manipulation on drawings
- d. **Dominio:** Graphic design
- e. **Stadio:** Idea finding

33. N/A

- a. **Anno:** 2016
- b. **Autore:** Hedblom et al.
- c. **Approccio:** Use image schemas in computational conceptual blending
- d. **Dominio:** Linguistic creativity
- e. **Stadio:** Idea finding

34. N/A

- a. **Anno:** 2006
- b. **Autore:** Veale
- c. **Approccio:** Computational retrieval of analogies from WordNet
- d. **Dominio:** Linguistic creativity
- e. **Stadio:** Idea finding

35. N/A

- a. **Anno:** 1987
- b. **Autore:** Young
- c. **Approccio:** A relational database method for automatic metaphor generation
- d. **Dominio:** Linguistic creativity
- e. **Stadio:** Idea finding

36. N/A

- a. **Anno:** 2007

- b. **Autore:** Chuan e Chew
- c. **Approccio:** Create accompaniment by combining music knowledge, human input, and statistical learning
- d. **Dominio:** Linguistic creativity
- e. **Stadio:** Idea finding

37. N/A

- a. **Anno:** 2009
- b. **Autore:** Riley et al.
- c. **Approccio:** Develop a touch screen interface to control chords and create music
- d. **Dominio:** Musical creativity
- e. **Stadio:** Idea finding

38. Ideallnspire

- a. **Anno:** 2005
- b. **Autore:** Charkrabarti et al.
- c. **Approccio:** Systematics biomimetics for product development. Automated analogical search of ideas from databases
- d. **Dominio:** Product design
- e. **Stadio:** Information finding, idea finding, solution finding

39. N/A

- a. **Anno:** 2012
- b. **Autore:** Gerber e Martin
- c. **Approccio:** A set of design principles is proposed such as providing challenge, autonomy, supporting goal setting and positive affect
- d. **Dominio:** Product design
- e. **Stadio:** Idea finding, solution finding

40. Rhino5.0

- a. **Anno:** 2016
- b. **Autore:** Chang et al.
- c. **Approccio:** 3D-CAD. its effect and influence of representational abilities
- d. **Dominio:** Product design
- e. **Stadio:** Idea finding, solution finding

41. CACDP

- a. **Anno:** 2011
- b. **Autore:** Liu et al.
- c. **Approccio:** Use a knowledge base, a web searching tool, creative methods and CAD tools to support creative design
- d. **Dominio:** Product design
- e. **Stadio:** Problem finding, information finding, idea finding, solution finding

42. OntoTag

- a. **Anno:** 2010
- b. **Autore:** Setchi e Bouchard
- c. **Approccio:** Semantic based image retrieval algorithm
- d. **Dominio:** Product design
- e. **Stadio:** Idea finding

43. N/A

- a. **Anno:** 2012
- b. **Autore:** Wang, Ohsawa e Nishihara
- c. **Approccio:** Use scenario graph to supporting idea generation; use an innovators market game to simulate a real market
- d. **Dominio:** Product design
- e. **Stadio:** Information finding, idea finding

44. Galaxy

- a. **Anno:** 2013
- b. **Autore:** Wang e Ohsawa
- c. **Approccio:** Using data synthesis for uncovering latent information and its dynamic changes for idea creation, integration and evaluation
- d. **Dominio:** Product design
- e. **Stadio:** Information finding, idea finding

Referenze

- [1] Marco Somalvico, **“Intelligenza Artificiale”**, 1987;
- [2] Stuart J. Russel e Peter Norvig, **“Artificial Intelligence: A Modern Approach”** Third Edition, 2016, pag. 1020 – 1034;
- [3] Warren McCulloch e Walter Pitt, **“A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity”**, 1943;
- [4] Johannes Verwijnen, **“Marvin Minsky – the father of AI”**, 2016;
- [5] Alan Turing, **“Computing Machinery and Intelligence”**, 1950;
- [6] Bruce G. Buchanan, **“A (very) Brief History of Artificial Intelligence”**, 2006;
- [7] John McDermott, **“R1: A Rule-Based Configurer of Computer Systems”**, 1980;
- [8] Murray Campbell, A. Joseph Hoane Jr., Feng-Hsiung Hsu, **“Deep Blue”**, 2002;
- [9] M. I. Jordan e T. M. Mitchell, **“Machine Learning: Trends, perspectives, and prospects”**, 2015;
- [10] L. Deng e D. Yu, **“Deep Learning: Methods and Applications”**, 2014;
- [11] Jonathan Stuart Ward e Adam Barker, **“Undefined Big Data: A Survey of Big Data Definitions”**, 2013;
- [12] Marco Russo, Luca De Biasi, **“Che cosa pensereste se vi dicessero che in Italia i Big Data non esistono?”**, 2014;
- [13] D. Laney, **“3-D Data Management: Controlling Data Volume, Velocity and Variety”**, 2001;
- [14] IBM, **“The Four V’s of Big Data”**, 2012;
- [15] Anil Jain, **“The 5 V’s of Big Data”**, 2016;
- [16] Bernard Marr, **“Why only one of the 5 V’s of Big Data really matters”**, 2015;
- [17] Dursen Dele e Haluk Demirkan, **“Data, Information and Analytics as Services”**, 2012;
- [18] G. Pahl, W. Beitz, J. Feldhusen and K. H. Grote, **“Engineering Design – A Systematic Approach”**, 1996;
- [19] M. Cantamessa e F. Montagna, **“Management of Innovation and Product Development – Integrating Business and Technological Perspectives”**, 2016;
- [20] Yang-Cheng Lin e Yun-Ting Chen, **“Artificial Intelligent Models for New Product Design: An Application Study”**, 2016;
- [21] Muh-Cherng Wu, Ying-Fu Lo, Shang-Hwa Hsu, **“A fuzzy CBR Technique for Generating Product Ideas”**, 2006;
- [22] Shu-Hsien Liao, **“Expert System Methodologies and Applications – A Decade Review From 1995 to 2004”**, 2004;
- [23] Richard E. Plant e Marc P. Vayssières, **“Combining Expert System and GIS Technology to Implement a state-transition Model of Oak Woodlands”**, 2000;
- [24] B. D. Mahaman, H.C. Passam, A.B. Sideridis, C.P. Yalouris, **“DIARES-IPM: a Diagnostic advisory Rule-Based Expert System for integrated Pest Management in Solanaceous Crop System”**, 2003;
- [25] S. A. Kalogirou, **“Applications of Artificial Neural Networks in Energy Systems – A Review”**, 1998;

- [26] Alice Kerley, Phil Hall, Susan Bull, **“Bringing Chatbots into Education: Towards Natural Language Negotiation of Open Learner Models”**, 2006;
- [27] Jennifer Hill, W. Randolph Ford, Ingrid G. Ferrares, **“Real Conversations with Artificial Intelligence: A Comparison between Human-Human Online Conversations and Human-Chatbot Conversations”**, 2015;
- [28] Daniel E. O’Leary, **“Artificial Intelligence and Big Data”**, 2013;
- [29] Desheng Dash Wu, Shu-Heng Chen, David L. Olson, **“Business Intelligence in Risk Management: Some Recent Progresses”**, 2014;
- [30] Foster Provost e Tom Fawcett, **“Data Science and its Relationship to Big Data and Data-Driven Decision Making”**, 2013;
- [31] James R. Coackley e Carol E. Brown, **“Artificial Neural Network in Accounting and Finance: Modeling Issues”**, 2000;
- [32] Vimla L. Patel, Edward H. Shortliffe, Mario Stefanelli, Peter Szolovits, Michael R. Berthold, Riccardo Bellazzi, Ameen Abu-Hanna, **“The Coming Age of Artificial Intelligence in Medicine”**, 2009;
- [33] Alan McCabe, Jarrod Trevathan, **“Artificial Intelligence in Sports Prediction”**, 2008;
- [34] Jon McCormack, Mark d’Inverno, **“Computers and Creativity: The Road Ahead”**, 2012;
- [35] Lofti A. Zadeh, **“Fuzzy Logic”**, 1988;
- [36] Kai Wang e Jeffrey V. Nickerson, **“A Literature Review on Individual Creativity Support Systems”**, 2017.