



**UNIVERSITÀ POLITECNICA
DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA**

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Gestionale

**“Strumenti di soft computing per l’analisi della
affidabilità di sistemi complessi”**

**“soft computing tools for the reliability analysis
of complex systems”**

Relatore: *Chiar.mo*

Prof. Maurizio BEVILACQUA

Correlatore:

Ing. Sara AN TOMARIONI

Laureando:

Federico PACI

Matricola: 1069768

Anno Accademico 2019-2020

Indice

Introduzione.....	1
--------------------------	----------

Capitolo I

Affidabilità dei sistemi complessi

1.1.	Cosa si intende per sistema complesso?.....	3
1.1.1.	Cos'è l'affidabilità? (Teoria dell'affidabilità)..	4
1.1.1.1.	Parametri affidabilistici.....	8
1.2.	La manutenzione.....	10
1.2.1.	Tipi di manutenzione.....	12
1.2.2.	La manutenzione nelle aziende.....	14
1.3.	Legame affidabilità e manutenzione.....	17

Capitolo II

Soft computing

2.1.	Cos'è il soft computing?.....	20
2.2.	Logica Fuzzy.....	24
2.2.1.	Applicazioni pratiche.....	25
2.3.	Reti neurali.....	28
2.3.1.	Artificial neural network & deep learning....	29
2.3.1.1.	Applicazioni del Deep Learning.....	30

2.4.	Algoritmi Genetici.....	31
2.4.1.	Applicazioni pratiche.....	33

Capitolo III

Tecniche di soft computing applicate all'affidabilità dei sistemi complessi

3.1.	Casi Studio.....	35
------	------------------	----

Conclusioni.....	51
-------------------------	-----------

Bibliografia.....	53
--------------------------	-----------

Ringraziamenti.....	57
----------------------------	-----------

Introduzione

Alla base di questo studio vi è l'utilizzo delle tecniche di soft computing applicate all'analisi di affidabilità dei sistemi. Quando si parla di soft computing non si fa riferimento ad una singola tecnica, ma ad un insieme di tecniche.

Il soft computing, però, non è semplicemente un'unione delle tecniche che lo compongono, ma è una disciplina nella quale ciascuna metodologia completa le altre intervenendo sull'aspetto del problema che meglio le si adatta.

In un mondo sempre più digitalizzato, il settore industriale non può che rimanere al passo: tali tecniche rappresentano un modello di calcolo evoluto per risolvere i problemi non lineari che comportano soluzioni incerte, imprecise e approssimative di un problema. Grazie a queste, infatti, si giunge a soluzioni molto più precise e immediate rispetto a quelle che si potevano avere tramite i metodi tradizionali negli anni passati. Negli ultimi decenni il soft computing è stato applicato all'interno delle aziende con il fine di valutare, monitorare e prevedere tutta una serie di caratteristiche che influenzano l'affidabilità dei sistemi.

L'obiettivo di questa tesi di laurea è quello di fornire un quadro quanto più completo possibile su cos'è il soft computing e come questo possa essere applicato nel mondo industriale al fine di analizzare l'affidabilità di un sistema complesso, basandosi su casi di studio presenti nella letteratura scientifica.

Per elaborare questa tesi è stata effettuata un'analisi di letteratura su di un grande numero di articoli provenienti principalmente dal database scientifico "*Science Direct*".

I paper scelti non riguardavano però soltanto la soft-computing, ma ci si è concentrato anche su gli altri concetti in modo da dare un quadro finale molto più chiaro.

Quest'analisi degli articoli ha poi portato a una suddivisione della tesi in tre filoni.

Nel primo capitolo viene racchiuso tutto quello che riguarda il significato dei termini "*affidabilità*", "*manutenzione*", "*sistema complesso*" e il modo in cui questi parametri influenzano il processo aziendale legandosi tra loro, fornendo inoltre cenni alla "*teoria dell'affidabilità*".;

Nel secondo capitolo viene poi analizzato il concetto di soft computing e delle tecniche che lo rappresentano. La “*logica fuzzy*”, le “*reti neurali*” e gli “*algoritmi genetici*” sono le principali componenti del soft computing e per ognuna di esse verrà analizzato il funzionamento e le applicazioni reali che si possono avere.

Il terzo capitolo rappresenta la totalità delle applicazioni reali delle tecniche di soft computing applicate all’affidabilità dei sistemi complessi.

In questo capitolo viene principalmente svolta un’analisi della letteratura sugli articoli presi in esame ed, infine, tramite l’ausilio di tabelle, ci viene mostrato quali sono le tecniche maggiormente utilizzate e a quale scopo viene scelta una tecnica rispetto ad un’altra.

In conclusione vedremo poi come l’insieme di tutti questi elementi ha portato a miglioramenti tangibili nella sicurezza, affidabilità di un sistema o processo industriale.

È bene tenere a mente che le applicazioni dalla soft computing sono innumerevoli e che questa rappresenta solo una piccola goccia in un grande mare.

Capitolo I

Affidabilità dei sistemi complessi

1.1 Cosa si intende per sistema complesso?

Secondo l'enciclopedia Treccani, un *sistema complesso* è, “in termini generali, un insieme di elementi variabili e fortemente interconnessi anche nella loro evoluzione temporale, sicché la conoscenza singola d'ognuno di essi non è sufficiente a stabilire l'evoluzione complessiva del sistema. Gli ecosistemi, i mercati finanziari e il sistema nervoso sono esempi di sistemi complessi. Benché non ne esista una definizione formale unanime, si può affermare che un *sistema complesso* ha alcune caratteristiche di fondo: è composto da un numero notevole di sottosistemi interagenti; presenta caratteristiche emergenti, cioè comportamenti ordinati derivanti dalle interazioni fra i sottosistemi quando i sottosistemi stessi o le loro connessioni superano un certo numero; è altamente strutturato; presenta meccanismi di retroazione (per cui una risposta in uscita diventa anche uno stimolo in entrata); è caratterizzato da una dinamica non lineare e sensibile alle condizioni iniziali (\rightarrow caos). Un sistema complesso è, quindi, caratterizzato da un gran numero di variabili e i comportamenti osservabili dipendono in larga misura dal modo in cui i sottosistemi si organizzano e interagiscono tra loro.”

Il motivo per cui servono strumenti più sofisticati rispetto ai tradizionali (che si basano sui principi di precisione, certezza e inflessibilità) è il fatto che, nei sistemi complessi una piccola variazione, può comportare una grande trasformazione a livello globale. Infatti, se venisse prodotta una successione di eventi produrrebbe un risultato finale osservabile. Il sistema si modifica in modo plastico quando viene a contatto con un'informazione a cui è suscettibile e attiva una serie di reazioni di diverso genere e tipo. Queste producono una risposta armonica, organizzata, coordinata, ordinata e globale che comporta una ristrutturazione di tutto il sistema. Esso cambierà e non sarà più lo stesso di prima. Per *risposta* si intende proprio la reazione attiva del sistema

nelle diverse situazioni. Il sistema può reagire con modalità molto varie e diversificate. Il numero di possibili soluzioni e comportamenti è indeterminato, molto alto ma finito.

La particolarità dei sistemi complessi sta nel fatto che il loro comportamento non è prevedibile, se non in modo molto parziale, probabilistico e inesatto. Infatti se le singole modifiche locali sono prevedibili attraverso formule, lo stato futuro del sistema nella sua interezza non può essere arguito tramite esse. La precisione della previsione sarà direttamente proporzionale all'esattezza dei parametri che riusciamo a misurare, alla completezza delle equazioni e dei relativi calcoli necessari per la descrizione del sistema, e alla conoscenza di tutte le variabili in campo.

1.1.1 Cos'è l'affidabilità? (Teoria dell'affidabilità)

L'affidabilità [Der. di affidare, dal lat. fidus "fidato"] invece è la proprietà che ha un impianto, un apparecchio, un dispositivo di garantire un adeguato periodo di corretto funzionamento.

Dietro questo concetto si nasconde la Teoria dell'affidabilità sviluppata con lo scopo di fornire metodi per valutare se un prodotto o un servizio sarà funzionante per la durata richiesta dall'utilizzatore. Questo concetto risale al periodo tra la prima e la seconda guerra mondiale in cui con la comparsa dei primi aerei a più motori utilizzati a scopo bellico. Infatti il non funzionamento anche solo di alcune parti dello stesso potevano pregiudicare la missione, e spesso la sicurezza del volo. La diffusione di questa teoria dall'ambito militare a quello civile si ebbe intorno agli anni 60 con l'aumentare della complessità dei sistemi dei vari settori industriali.

Intorno la fine degli anni 80 gli studi sull'affidabilità (Total Quality Management) ed alcuni metodi di valutazione dell'affidabilità dei sistemi cominciarono ad essere richiesti per ottenere la certificazione di qualità ISO-9000.

Lo studio affidabilistico include un insieme di teorie, di metodi matematici e statistici e di tecniche operative utilizzate per determinare cosa potrebbe non funzionare, quali strategie attuare per evitare il guasto e, nel caso in cui questo si verifichi, quali siano

gli interventi più adatti a ripristinarne rapidamente il funzionamento e limitare le conseguenze. (Fig. 1)

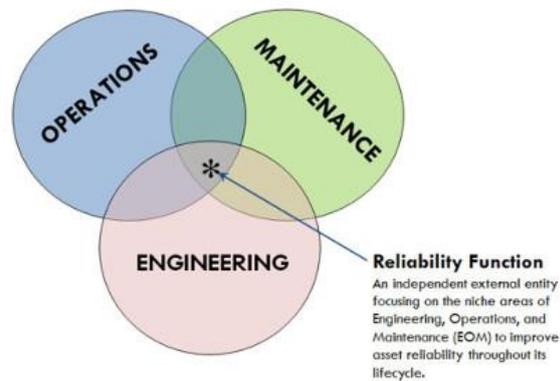


Fig. 1 *L'affidabilità è la relazione che lega ingenerizzazione, manutenzione e operations (By Obaidullah A. Syed et al. (2015)).*

Esso ci permette inoltre di distinguere tra sistemi riparabili e non riparabili e di analizzare sistemi a due o più stati di funzionamento (per es. funzionante / parzialmente guasto / guasto). Fa parte della teoria dell'affidabilità anche la "manutenibilità" che, come vedremo più avanti, è una grandezza simile e complementare all'affidabilità.

Essa non rappresenta una grandezza deterministica ma una probabilità che, come una variabile aleatoria, può essere determinata con formule analitiche e il cui valore può essere previsto solo attraverso considerazioni di tipo probabilistico. Questa non fornisce quindi la certezza che un guasto si verifichi o meno, ma applicata in modo sistematico su un sistema, ci dà risultati di notevole utilità sui quali è possibile basare importanti decisioni sulle modalità di funzionamento di un impianto.

In ambito industriale, per motivi economici, occorre garantire la continuità di funzionamento degli impianti di produzione; per motivi etici ed economici, occorre garantire la qualità dei prodotti ed il funzionamento in sicurezza sia degli impianti sia dei prodotti.

I principali motivi che spingono l'industria ad impiegare le tecniche affidabilistiche sono legati a:

- Sicurezza
- Aumento della complessità degli impianti e dei macchinari con conseguente aumento della probabilità di guasto.
- Necessità di ridurre il peso e il volume dei prodotti mantenendone invariato il livello di sicurezza.
- Esigenza di prolungare la durata di funzionamento di una macchina o impianto.
- Difficoltà di manutenzione per le parti meno accessibili di una macchina o impianto.

Lo studio dell'affidabilità inoltre, coinvolge quasi tutti gli aspetti legati al possesso di un bene, quali possono essere:

- Costi di gestione: Riguarda sia il costo di acquisto sia quello di manutenzione di un bene: l'impiego di materiali più affidabili spesso comporta un aumento del prezzo. Altre volte accade che l'adozione di tecnologie più affidabili implica invece un decremento del costo.
- Gestione delle risorse: meno un componente si guasta e minore è la quantità di risorse che deve essere dedicata alla gestione delle situazioni di inefficienza.
- Soddisfazione del cliente: se un componente non rispetta le aspettative di affidabilità del cliente, può succedere spesso che ci sia una disaffezione rispetto agli altri prodotti della stessa azienda, con chiari danni di immagine.
- Capacità di vendere i prodotti o i servizi: La maggiore affidabilità dei componenti permette di aumentare la soddisfazione del cliente e di guadagnare nuove fette di mercato.
- Qualità: Essendo la capacità di essere attinenti alle specifiche di un prodotto, una scarsa qualità può significare una bassa affidabilità
- Sicurezza: L'affidabilità è strettamente correlata ad alcuni aspetti della sicurezza.
- Manutenibilità: è la probabilità che al tempo t dal guasto il componente o sistema sia nuovamente funzionante.

Passiamo ora ad un'analisi dei casi studio riportati nei paper. In uno studio effettuato da Andreas Aal (2016) - **(XIII)** viene mostrato come, oggi, la mobilità sia in una fase di transizione. Si passa infatti dalla guida manuale gestita dall'uomo alla guida autonoma. Inoltre, nuovi ruoli vengono dati ai produttori di automobili che sono ora costretti ad adattarsi ai fornitori di servizi digitali, dato che le automobili stanno diventando l'ufficio mobile per eccellenza. Oggi, i requisiti funzionali dell'automobile cominciano a superare i requisiti del mercato, accompagnati da enormi lacune nel processo di garanzia dell'affidabilità lungo la catena di fornitura. Gli standard sono obsoleti, i dati di ricerca non sono disponibili e le attività per modificare questo aspetto sono fortemente legate alle dinamiche di mercato e ai requisiti di volume di massa. Ecco perché l'ingegneria e la gestione dell'affidabilità iniziano a ricoprire un ruolo di primo piano nella progettazione del prodotto e nella formazione del modello di business. La trasparenza sulle lacune tecnologiche e sul modo in cui vengono gestite determina le posizioni di mercato.

In uno studio effettuato nel 2005 (Di Arnal, F. et al. (2005) - **(XII)**), viene mostrato che i collegamenti via satellite presentano diversi inconvenienti. In primo luogo, essi sono soggetti a errori di trasmissione a seconda delle condizioni atmosferiche, in particolare nella banda Ka, cosicché il tasso di errore di trasmissione (BER-Bit Error Rate) rimane più elevato rispetto alle reti terrestri. In secondo luogo, per le comunicazioni interattive, possono offrire un costo ragionevole solo a una limitata larghezza di banda del canale di ritorno. La ricezione di dati corrotti può far scattare richieste di ritrasmissione, il che si traduce in possibili congestioni e ritardi. L'architettura di protocollo proposta nell'articolo consiste in una versione modificata di quelle elaborate per l'uso nelle reti terrestri, incorporando specifiche procedure di codifica e ARQ e cross-layering. Il meccanismo MPHP presentato in questo articolo, combinato con l'adattamento dello strato di MPE, può garantire, per un dato canale rumoroso, un tasso di errore migliore. Questo potrebbe essere utile per applicazioni che richiedono solo un'affidabilità parziale, come il trasferimento audio o video.

1.1.1.1 Parametri affidabilistici

La disciplina nota con il nome di affidabilità è stata sviluppata con lo scopo di fornire metodi per valutare se un prodotto o un servizio sarà funzionante per la durata in cui l'utilizzatore lo richiederà. Questi metodi consistono in tecniche per determinare cosa potrebbe non funzionare, come si possa prevenire il guasto e, nel caso in cui il guasto si verifichi, quali siano gli interventi più adatti a ripristinare rapidamente il funzionamento e limitare le conseguenze.

L'affidabilità quindi, è funzione di più parametri che si intrecciano e che fanno parte di varie fasi della vita del sistema, dalla progettazione alla realizzazione, alla gestione.

Per valutare l'affidabilità di una macchina si può:

1. Sfruttare le informazioni che vengono dall'utilizzo (in un lungo periodo di tempo) di molte altre macchine uguali nelle stesse condizioni di funzionamento.
2. Utilizzare le informazioni di funzionamento (in un breve periodo di tempo) di poche macchine. I dati possono fornire una stima del comportamento avente un certo grado di confidenza, ovvero una certa probabilità di risultare vera.
3. Utilizzare la conoscenza, se esiste, dell'affidabilità dei componenti per fare previsioni sull'affidabilità dell'intera macchina.

Si definisce **affidabilità di un componente**, la probabilità che nell'intervallo $T = (t - t_0)$ esso svolga la sua funzione senza subire guasti, date le condizioni ambientali e il processo in cui è chiamato ad operare.

Si tratta quindi di una grandezza definita in un intervallo T , tuttavia spesso si indica come $R(t)$, poiché fissato il tempo t_0 in cui si mette in opera il componente, t determina univocamente anche l'intervallo $T = t - t_0$.

L'espressione generale dell'affidabilità è: $R(T) = \int_T^{\infty} f(x) dx$

e corrisponde alla probabilità che il tempo tra guasti non sia inferiore a T .

C'è poi il **rateo di guasto condizionato $\lambda(t)$** chiamato anche tasso di guasto o hazard function che è il parametro più usato per caratterizzare l'affidabilità. Rappresenta la probabilità che un componente, funzionante all'istante t , si guasti nell'intervallo $[t, t + \Delta t]$ ed è una grandezza puntuale. Il termine condizionato deriva dalla condizione imposta che il componente funzioni all'istante t .

La funzione $\lambda(t)$ ha un significato simile alla $f(t)$; l'unica differenza è che la funzione $f(t)$ si basa sulla totalità della popolazione, la funzione $\lambda(t)$ invece solo sui campioni sopravvissuti fino all'istante t . ($\lambda(t)$ è minore di N).

Nell'ingegneria dell'affidabilità (ramo di ingegneria che tratta lo studio dell'affidabilità) Il più noto è il parametro **(XXIV) MTBF (Mean Time Between Failures** ovvero Tempo medio tra i guasti), e anche il tasso di guasto (può essere interpretato come il “numero di guasti nell'unità di tempo” ovvero come una misura della velocità di verificarsi del guasto.). Questi parametri sono utilizzati per definire il grado di affidabilità di veicoli, macchine e attrezzature, apparati elettronici. Quanto maggiore è l'MTBF, tanto maggiore è l'affidabilità. L'MTBF è di solito indicato in ore (o in anni), ma può anche essere utilizzato con qualsiasi unità di misura come chilometri o numero di operazioni.

Sohn, S et.al (2006) - **(XIV)** spiega come la disponibilità operativa degli aerei da combattimento svolge, ovviamente, un ruolo importante nella difesa nazionale. La scarsa disponibilità operativa degli aerei da combattimento può causare molti problemi e ROKA (Republic of Korea Airforce) ha bisogno di strategie adeguate per migliorare l'attuale pratica di gestione dell'affidabilità, prevedendo accuratamente sia l'MTBF (tempo medio tra un guasto) che l'MTTR (tempo medio di riparazione). In questo articolo viene sviluppato un modello di effetti casuali per prevedere sia MTBF che MTTR dei moduli installati di aerei da combattimento in base alle loro caratteristiche e condizioni operative. Il vantaggio di utilizzare un tale modello di effetti casuali è la capacità di tenere conto non solo delle caratteristiche individuali di ogni modulo e delle condizioni operative, ma anche dell'incertezza causata da errori casuali che non possono essere spiegati da loro. Questo studio dovrebbe contribuire a ROKA per migliorare la disponibilità operativa degli aerei da combattimento e stabilire una gestione logistica efficace. Ma poiché entrambi (MTBF e MTTR) non sono costanti, non si possono applicare modelli tradizionali e sono necessarie ulteriori indagini per trovare soluzioni ottimali per questo problema di gestione dell'affidabilità.

1.2 La manutenzione

Per capire le differenze che ci sono tra affidabilità e manutenzione concentriamoci ora sulla definizione di quest'ultima. Citando l'enciclopedia Treccani:

“Manutenzióne: dal latino manutentio -onis, derivato della locuzione manu tenere: cioè mantenere. Mantenere in buono stato, quindi quell'insieme di operazioni che vanno effettuate per tenere sempre nella dovuta efficienza funzionale, in rispondenza agli scopi per cui sono stati costruiti, eseguendo anche, se necessario, le opportune riparazioni e sostituzioni di pezzi un oggetto o in particolare, nel nostro caso, un impianto industriale o un macchinario. Può essere di tipo: ordinaria, straordinaria.”

L'Ente Di Unificazione Nazionale (UNI) definisce, nello specifico, che la manutenzione di un impianto industriale è la combinazione di tutte le azioni tecniche, amministrative e gestionali, durante il ciclo di vita di un'entità, destinate a mantenere o a riportarla in uno stato in cui possa eseguire la funzione richiesta.

Dall'altra parte troviamo invece l'affidabilità, che è un approccio alla gestione degli asset molto più olistico e a lungo termine rispetto alla manutenzione.

Quest'ultima, generalmente, funziona con un rapporto uno a uno, in quanto qualcosa viene riparato solo quando si è rotto. La cultura dell'affidabilità, invece, comprende tutto ciò con cui i macchinari interagiscono: tecnologia, cultura, design e strategia di manutenzione. Questo servirebbe a garantire il corretto funzionamento dell'entità in un determinato periodo di tempo.

Nell'articolo di Brombacher, A.C. et al (2005) – (XVII) *“Managing product reliability in business processes ‘under pressure’”* viene mostrato come gestire, ad esempio, l'affidabilità dei prodotti nei processi aziendali.

L'affidabilità del prodotto è spesso vista come un attributo del prodotto. Modelli con diversi gradi di sofisticazione analizzano e prevedono l'affidabilità di un prodotto in funzione della struttura interna. La rilevanza pratica di questi modelli, in relazione ai processi (aziendali) in cui i relativi prodotti sono effettivamente utilizzati, non viene

spesso affrontata. In questo articolo viene presentato un modello di classificazione, per descrivere i diversi processi aziendali, basato sul grado di innovazione del prodotto.

Ambienti aziendali diversi richiedono modi diversi per gestire l'affidabilità dei prodotti. Il metodo proposto classifica sia i processi aziendali che i problemi di affidabilità e dice quali sono i problemi di affidabilità più rilevanti che sono dominanti nel qual caso. Il fatto che diversi processi aziendali generino prodotti diversi con esigenze diverse, significa che non è possibile identificare un insieme di attività per risolvere tutti i problemi attuali di prestazioni, qualità e affidabilità. Le questioni che possono essere un problema importante in un settore possono essere solo un fastidio nell'altro settore. I dati sul campo hanno dimostrato che non esistono metodi e strumenti comunemente disponibili per questo scopo; altrimenti l'industria non mostrerebbe le crescenti lacune presentate. Sarà quindi necessario un notevole sforzo di ricerca per raggiungere gli obiettivi richiesti.

1.2.1 Tipi di manutenzione

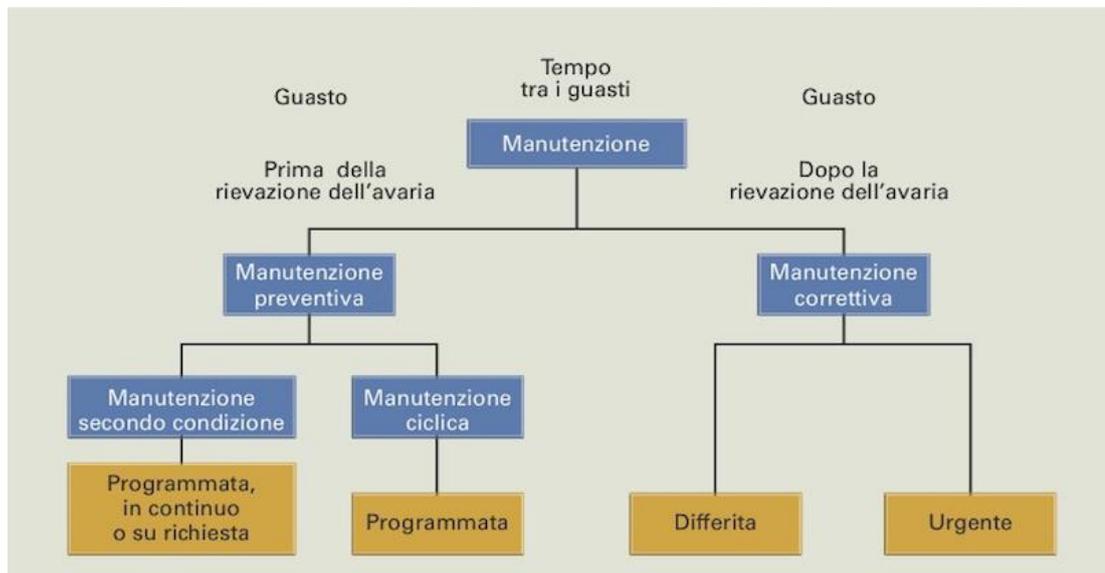


Fig 2. Lo schema generale è fornito dalle normative UNI (UNI 13306-2003: Terminologia)

La manutenzione **correttiva** o a rottura prevede che si intervenga solo nel caso il componente si guasti, quindi questo è un tipo di manutenzione non programmata. Questa va bene per componenti che non sono fondamentali al funzionamento dell'impianto. Per fare un esempio si pensi ad un'automobile. Un componente per il quale è prevista la manutenzione incidentale è la lampadina. Il guasto di una freccia non pregiudica il funzionamento della vettura.

Per **manutenzione preventiva** si intendono tutti quei tipi di manutenzioni che vengono programmati all'interno di un'azienda o entità. Questa ha come obiettivo la sostituzione del componente prima della sua rottura. Si applica quando gli elementi interessati compromettono il funzionamento della macchina o dell'impianto.

Tornando all'esempio dell'automobile, un classico componente che subisce interventi di manutenzione preventiva e che preoccupa ogni automobilista, è la cinghia di trasmissione. Infatti in caso di sua rottura comprometterebbe l'utilizzo di tutto quanto il veicolo

Questo è un tipo di manutenzione detta statistica in quanto si prevede quale sarà la vita media del componente e lo si sostituisce prima che possa guastarsi. Senza garanzie che

la rottura non possa avvenire prima, trattandosi appunto di vita media e di elaborazioni statistiche.

La manutenzione preventiva ha poi delle sottocategorie.

- La **Manutenzione predittiva** è un tipo di manutenzione preventiva che viene effettuata in seguito dell'individuazione di uno o più parametri che vengono misurati ed estrapolati utilizzando appropriati modelli matematici allo scopo di individuare il tempo residuo prima del guasto. Riuscire ad individuare precocemente le anomalie incipienti consentirebbe una migliore gestione dell'impianto e delle manutenzioni, evitando importanti ripercussioni di tipo economico ed ambientale. Per tale motivo, è necessario associare alle tradizionali pratiche manutentive nuove e più innovative strategie basate su azioni predittive. L'analisi dello stato di salute del macchinario consente, infatti, non solo di anticipare il verificarsi di un guasto, ma anche di indirizzare efficacemente le risorse di manutenzione là dove il macchinario lo richiede. Il risultato finale è l'ottimizzazione delle risorse economiche ed il miglioramento dell'indice di efficienza complessiva economica (Overall Economic Efficiency, OEE).
- La **Manutenzione secondo condizione** si basa su una stima più pratica. Infatti prima di sostituire il componente si valuta il suo stato di usura. Vengono scelti alcuni parametri e dei valori limite; se i valori registrati nel componente sono oltre i limiti prefissati si procede alla sostituzione.

Una strategia di manutenzione secondo condizione però non è necessariamente da considerare alternativa ad altre forme di manutenzione preventiva come le programmate o la predittiva. Rappresenta spesso, invece, un valore aggiunto, specialmente laddove applicata ad asset o impianti strategici il cui semplice monitoraggio di alcuni parametri può generare un risparmio considerevole e un'ottimizzazione nell'allocazione delle risorse che possono essere destinate ad azioni di prevenzione su altri asset che richiedono approcci differenti.

- La **Manutenzione ciclica** (in inglese: periodic maintenance) è un'attività di manutenzione realizzata ciclicamente su base temporale, cioè a scadenze regolari. È detta abitualmente Manutenzione "programmata", ma questo

termine è generico: è “programmato” un qualsiasi intervento di manutenzione (anche per porre rimedio ad un guasto sporadico, purché l’intervento sia differibile) del quale si sia decisa la tempistica di effettuazione.

1.2.2 La manutenzione nelle aziende

L’Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (OCSE) nel 1963 definì la manutenzione come "Quella funzione aziendale alla quale sono demandati il controllo costante degli impianti e l'insieme dei lavori di



riparazione e revisione necessari ad assicurare il funzionamento regolare e il buono stato di conservazione degli impianti produttivi, dei servizi e delle attrezzature di stabilimento".

La manutenzione è una funzione di estrema importanza nel conseguimento degli obiettivi di produttività e di redditività aziendale. Per soddisfare questi essa impiega risorse che devono essere gestite nel modo più efficiente ed efficace possibile, attraverso un processo di miglioramento continuo. Le risorse messe in campo sono formate da: Figure professionali, i beni e i servizi necessari allo scopo di mantenere una macchina, un utensile, un ambiente o in generale un impianto produttivo o ausiliario. Tra le tante troviamo:

- a) le risorse umane;
- b) i materiali tecnici;
- c) i mezzi di manutenzione.

La manutenzione è un’attività che comporta un costo oneroso (Fig.3) sui bilanci aziendali (anche se, con una progettazione adeguata, essa si può trasformare in un

risparmio economico nel medio-lungo periodo), quindi per portare a termine operazioni di manutenzione, più o meno complesse e strutturate, va tenuto in



Fig. 3 (Rapporto tra affidabilità e costi tratta da Molinari C. Procedimenti e metodi della manutenzione edilizia, Sistemi Editoriali, Napoli 2002.)

considerazione, il cosiddetto budget di manutenzione (che è una frazione del budget aziendale). Ma un progetto di manutenzione dovrebbe ricercare il costo complessivo totale più basso, non il più basso costo iniziale o il più basso costo di manutenzione singola. In definitiva il programma di manutenzione dovrebbe mettere in relazione l'investimento che potrebbe fare in un programma di manutenzione preventiva con il costo del guasto che potrebbe verificarsi se invece questa non venisse fatta: costo della sostituzione del macchinario, del pezzo che era in lavorazione quando in guasto si è verificato, costo generato dall'interruzione della produzione, eventuali danni a cose o persone arrecati (es: una valvola non correttamente mantenuta potrebbe causare perdite di materiale nell'aria o nel sottosuolo, inquinamento, esplosioni pericolose, ecc..) Per risultare efficiente la manutenzione deve, poi, cooperare con le altre funzioni aziendali in modo da evitare, o per lo meno limitare ulteriori problemi. Per una manutenzione efficace ed efficiente si dovrebbe infatti:

- Far coincidere le attività di manutenzione (che possono portare ad uno stop temporaneo di una parte o della totalità della produzione per controlli-riparazioni) con i tempi in cui la produzione è già ferma per riattrezzaggi o pause al fine di ridurre i down time.
- La manutenzione dell'impianto deve incidere il meno possibile con i piani di lavoro delle unità produttive.
- Affidare la manutenzione a personale qualificato che, periodicamente, venga istruito con corsi di aggiornamento.

- Il manutentore deve verificare che i pezzi inviati per le riparazioni rispettino le specifiche richieste, deve gestire la quantità di scorte in magazzino in base alla frequenza dello specifico guasto e mantenere una rete di fornitori che nel minor tempo possibile possano inviare il materiale necessario.
- Mantenere alto e continuo il livello di informazioni tra manutentori e amministrazione sia a livello di budget che l'azienda è intenzionata a spendere, sia per l'organizzazione dato che la manutenzione è legata a quasi tutte le funzioni aziendali.

La manutenzione può essere considerata come una politica aziendale in continua evoluzione. In passato l'approccio era di tipo empirico, raccogliendo continuamente dati si valutava a posteriori se l'intervento era stato vantaggioso o meno. Ora invece sono state elaborate nuove tecniche più rigorose che permettono di analizzare a priori l'effetto dell'intervento con metodi basati sull'affidabilità. Questo approccio è gestito dall'ingegneria della manutenzione.

Alla fine degli anni '80, tra la convalida qualitativa e quantitativa di alcune tecniche di valutazione dell'affidabilità umana (Human Reliability Assessment), vi era il desiderio di progettare una nuova tecnica specifica per un impianto di ritrattamento nucleare. La tecnica doveva avere i seguenti attributi: doveva essere basata su dati piuttosto che comportare il giudizio di esperti puri; doveva essere flessibile, in modo da consentire sia uno screening relativamente rapido che una valutazione più dettagliata; e doveva avere possibilità di analisi di sensibilità, in modo che i parametri relativi agli Human Factors potessero essere inseriti nell'equazione di valutazione del rischio. Per questo sono state messe a punto due tecniche, il sistema di gestione dell'affidabilità umana (HRMS) e la tecnica JHEDI (Justification of Human Error Data Information), la seconda essenzialmente una versione di screening più rapida della prima. Entrambe le tecniche eseguono l'analisi dei compiti, l'analisi degli errori e la quantificazione basata sul Performance Shaping Factor, ma la tecnica JHEDI comporta una valutazione meno dettagliata rispetto all'HRMS. Inoltre, quest'ultima può essere utilizzata per determinare i meccanismi di riduzione degli errori. Entrambe le tecniche sono completamente informatizzate e le valutazioni sono altamente documentabili e verificabili, il che è stato visto come una caratteristica utile sia dall'azienda che ha

sviluppato le tecniche, sia dalle autorità di regolamentazione che visionano le valutazioni finali del rischio di output.

Kirwan, B. (1997) – (XV)

1.3 Legame affidabilità e manutenzione

Negli impianti industriali il costo totale annuo delle misure di riduzione del rischio comprende: i **costi di investimento** (es. acquisto di nuove apparecchiature di sicurezza), i **costi di manutenzione** degli impianti e delle apparecchiature di sicurezza e i **costi operativi**: es. aggiunta di personale o addestramento dello stesso.

Questi costi vengono valutati in funzione dell'affidabilità richiesta al sistema, in quanto questa può essere ottenuta con due diverse strategie:

La prima è quella di richiedere al fornitore un prodotto con affidabilità molto elevata, che comporta costi alti di progettazione e di produzione e, quindi, un costo d'acquisto elevato ma con minori costi di manutenzione.

La seconda invece si attua richiedendo un prodotto con affidabilità minore, con conseguenti costi inferiori, ma tenendo conto di un adeguato programma di manutenzione, con un conseguente aumento dei costi di manutenzione.

Avendo detto cos'è l'affidabilità è evidente che, nel caso in cui sia prevista manutenzione, questa debba essere eseguita in intervalli di tempo non coincidenti con i tempi di missione: la manutenzione, infatti, rende il sistema non disponibile per il tempo necessario alla sua riparazione. **La disponibilità** è una caratteristica che tiene conto sia degli aspetti manutentivi sia della affidabilità.

I problemi affidabilistici possono essere dunque trattati come casi peculiari di quelli di disponibilità nei quali il passaggio allo stato guasto non consente di tornare allo stato di funzionamento (perché non sono riparabili).La norma CEI 56-50 definisce manutenibilità (“maintainability”) “l’attitudine di un dispositivo, in assegnate condizioni di utilizzo, ad essere mantenuto o riportato in uno stato nel quale può svolgere la funzione richiesta, quando la manutenzione è eseguita nelle condizioni date, con procedure e mezzi prescritti.”

La **manutenibilità** è la probabilità che al tempo t dal guasto il componente o sistema sia nuovamente funzionante. Se t_r è il tempo di manutenzione complessivo, variabile casuale con distribuzione $m(t_r)$ allora la manutenibilità è data da:

$$M(t) = P[t_r \leq t] = \int_0^{\infty} m(t_r) dt_r$$

Il Mean Time To Repair (MTTR) secondo le norme UNI corrisponde al Mean Down Time (MDT) e vale:

$$MTTR = \int_0^{\infty} M(t_r) t_r dt_r$$

In un esempio fornitoci da Wang, K. S. et al. (1998) - **(XVI)** mostra come la durata prevista di un sistema a carico condiviso può essere prolungata se è consentita la regolazione dei carichi. In questo documento, questo obiettivo viene raggiunto mantenendo l'affidabilità del sistema sempre nella situazione massima durante il suo servizio. Un esempio di progetto di un sistema di supporto a due colonne viene utilizzato per dimostrare questa idea; i risultati mostrano che la vita attesa del caso di regolazione ottimale del carico è circa quattro volte superiore a quella del caso di carico medio. L'esempio numerico valuta anche le variazioni delle probabilità di sopravvivenza di una unità e mostra che le colonne si guastano quasi contemporaneamente per diverse situazioni di carico, ma è ancora a un livello molto basso quando si effettua la regolazione del carico ottimale. Ciò indica che la situazione di carico ottimale rientra nello spirito del principio di progettazione, anche nel momento di funzionamento oltre la vita attesa del sistema.

In ulteriori studi da parte di Dashti, R. et al. (2013) - **(XVIII)**, viene anche mostrato come l'Asset Management (AM), che rappresenta la manutenzione, sia costituito dalle attività del sistema distributivo che portano alla realizzazione degli obiettivi di amministrazione del sistema sulla base dei benefici per gli stakeholder e alla loro corrispondente soddisfazione. Il modello proposto è stato applicato in una società di distribuzione reale, che fornisce a 1 milione di clienti l'energia elettrica necessaria.

Questo documento ha presentato un nuovo metodo di valutazione AM basati sulla valutazione dei costi delle interruzioni e nuovi indici di affidabilità ottenuti dall'analisi AM come criteri di valutazione. Gli indici proposti possono valutare l'efficacia di ciascun processo di distribuzione nel migliorare l'affidabilità del sistema. Come è stato

dimostrato in questo articolo, il criterio più appropriato ai fini della valutazione AM è quello di analizzare sia gli sprechi di attività che i costi di interruzione. La procedura AM dovrebbe essere adattata in modo tale che i potenziali pericoli, che possono costringere i costi imposti, siano modificati in modo economicamente ottimizzato.

Nel documento di Hanafizadeh, P. et al. (2009) - **(XIX)**, viene proposto un metodo numerico per il problema dell'asset allocation basato sull'analisi di affidabilità AFOSM (Advanced First-Order Second Moment). Il metodo proposto separa lo spazio dei problemi decisionali dallo spazio dei rendimenti incerti. Con questa separazione, un problema di asset allocation incerto può essere convertito in due problemi di ottimizzazione ricorsivi. Il rendimento stimato con il metodo AFOSM si confronta bene con il rendimento effettivo stimato dalla simulazione di Monte Carlo. Sono state trovate soluzioni ottimali sia in casi correlati che indipendenti e il risultato del rendimento per ciascuna soluzione è stato confermato dalla simulazione Monte Carlo. Purtroppo, i collegamenti via satellite presentano diversi inconvenienti. In primo luogo, essi sono soggetti a errori di trasmissione a seconda delle condizioni atmosferiche, in particolare nella banda Ka, cosicché il tasso di errore di trasmissione (BER-Bit Error Rate) rimane più elevato rispetto alle reti terrestri. In secondo luogo, per le comunicazioni interattive, possono offrire un costo ragionevole solo a una limitata larghezza di banda del canale di ritorno. La ricezione di dati corrotti può far scattare richieste di ritrasmissione, il che si traduce in possibili congestioni e ritardi. L'architettura di protocollo proposta nell'articolo consiste in una versione modificata di quelle elaborate per l'uso nelle reti terrestri, incorporando specifiche procedure di codifica e ARQ e cross-layering. Il meccanismo MPHP presentato in questo articolo, combinato con l'adattamento dello strato di MPE, può garantire, per un dato canale rumoroso, un tasso di errore migliore. Questo potrebbe essere utile per applicazioni che richiedono solo un'affidabilità parziale, come il trasferimento audio o video.

Capitolo II

Soft Computing

2.1 Cos'è il soft computing?

Il soft computing è un modello di calcolo evoluto per risolvere i problemi non lineari che comportano soluzioni incerte, imprecise e approssimative di un problema. Questo tipo di problemi sono considerati come problemi della vita reale in cui è richiesta un'intelligenza di tipo umano per risolverli. Il termine soft computing è coniato dal dottor **Lotfi Zadeh**, secondo il quale il soft computing è un approccio che imita la mente umana alla ragione e impara in un ambiente di incertezza e di impressione.

Il soft computing viene generalmente contrapposto all'hard computing. Quest'ultimo rappresenta la metodologia convenzionale, che si basa sui principi di precisione, certezza e inflessibilità. Al contrario, il soft computing è un approccio moderno basato sull'idea dell'approssimazione, dell'incertezza e della flessibilità.

Prima di comprendere il soft computing e l'hard computing dovremmo capire che cos'è il calcolo? Il calcolo in termini di tecnologia informatica è il processo di realizzazione di un particolare compito con l'aiuto di un computer o di un dispositivo di calcolo. Ci sono diverse caratteristiche dell'informatica come dovrebbe fornire una soluzione precisa, azioni di controllo accurate e chiare, facilitare la soluzione dei problemi che possono essere risolti matematicamente.

Il metodo di calcolo tradizionale, l'hard computing è adatto a problemi matematici, anche se potrebbe essere usato per risolvere problemi del mondo reale, ma il principale demerito associato è che consuma una grande quantità di tempo di calcolo e di costi. Questo è il motivo per cui il soft computing è l'alternativa migliore per risolvere i problemi del mondo reale.

Per contrapposizione alla computazione tradizionale, hard, basata su criteri come la precisione, il determinismo e il contenimento della complessità. Il soft computing si distingue dalle tecniche convenzionali (hard computing) per il fatto di tollerare

l'imprecisione, l'incertezza e le verità parziali. Il suo principio guida è quello di sfruttare questa tolleranza per ottenere trattabilità, robustezza e contenimento delle risorse computazionali necessarie per risolvere i problemi affrontati.

Il soft computing non è semplicemente una fusione delle tecniche che lo compongono, ma una disciplina nella quale ciascuna metodologia completa le altre intervenendo sull'aspetto del problema che meglio le si adatta. Così gli algoritmi evolutivi possono essere impiegati per progettare e ottimizzare sistemi fuzzy, come insiemi di regole fuzzy o alberi di decisione fuzzy, ma anche per migliorare le caratteristiche di apprendimento delle reti neurali, arrivando anche a determinarne la topologia ottimale.

D'altro canto, la logica fuzzy può essere utilizzata per controllare il processo evolutivo agendo in modo dinamico sui parametri dell'algoritmo, in modo da accelerare la convergenza all'ottimo globale e sfuggire dagli ottimi locali ma anche per "fuzzificare" alcuni elementi dell'algoritmo, come la fitness (*Fitness indica la differenza di adattamento all'ambiente degli individui*) degli individui o la loro codifica, mentre le reti neurali possono essere affiancate a un algoritmo evolutivo per ottenere una stima approssimata della fitness degli individui per problemi in cui il calcolo della fitness richieda simulazioni molto pesanti dal punto di vista computazionale, riducendo in tal modo il tempo macchina e migliorandole prestazioni. Le reti neurali possono essere affiancate a un algoritmo evolutivo per ottenere una stima approssimata della fitness degli individui per problemi in cui il calcolo della fitness richieda simulazioni molto pesanti dal punto di vista computazionale, riducendo in tal modo il tempo macchina e migliorandole prestazioni. Le combinazioni degli algoritmi evolutivi con altre tecniche di soft computing costituiscono un campo di ricerca affascinante e una

Nel testo di Ibrahim, D. (2016) - **(I)** "*An Overview of Soft Computing*" Zadeh (pioniere della logica fuzzy) ha sottolineato che il soft computing non è un unico metodo, ma è invece una combinazione di diversi metodi, come la logica fuzzy, le reti neurali e gli algoritmi genetici. Tutti questi metodi non sono competitivi, ma sono complementari tra loro e possono essere usati insieme per risolvere un dato problema. Si può dire che la soft computing mira a risolvere problemi complessi sfruttando l'imprecisione e l'incertezza nei processi decisionali. Dogan ritiene che la teoria e le tecniche di soft computing e le sue applicazioni cresceranno rapidamente insieme

all'uso degli “internet of things devices” nei futuri mercati domestici, industriali e commerciali.

Le tecniche principali che compongono la soft computing sono mostrati nella Fig. 4

- Logica Fuzzy
- Reti Neurali
- Algoritmi Genetici

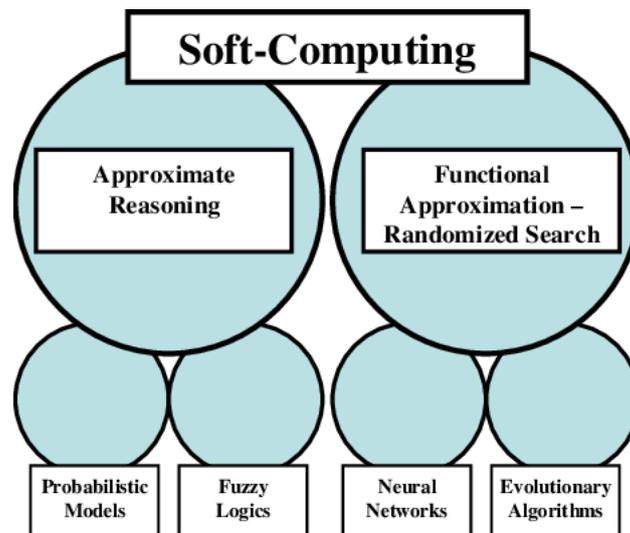


Fig. 4 (Sgambi, L. (2008, June). *Artificial intelligence: historical development and applications in civil engineering field. In Proceedings of The Third International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management (IABMAS08).*)

Uno studio sulle fattibilità di queste diverse tecniche è stato fatto da *El-Sherbiny*, et al. (2017) - (II). Qui ci viene spiegato come uno dei problemi più impegnativi presenti nei robot industriali sia la risoluzione della cinematica inversa. Questo problema riguarda la ricerca dei valori degli angoli correlati alla posizione cartesiana desiderata. Con lo sviluppo di metodi basati sul Soft computing, è diventato più facile risolvere il problema della cinematica inversa a velocità più elevate con soluzioni sufficienti piuttosto che con metodi tradizionali come quello numerico, geometrico e algebrico.

Questo articolo presenta uno studio comparativo tra diversi metodi basati sul soft-computing (Artificial Neural Network, Adaptive Neuro Fuzzy Inference System & Genetic Algorithms) applicati al problema della cinematica inversa.

Nell'articolo vengono messi a confronto i metodi tradizionali/algebrici, con le loro limitazioni e quelli più moderni. Vengono poi presentati tre diversi metodi di soft computing per risolvere il problema IK. La rete neurale artificiale, il sistema di inferenza fuzzy neuro adattivo e i metodi di algoritmo genetico sono stati applicati per questo problema. I risultati della simulazione mostrano che possiamo scegliere il metodo più adatto a seconda del campo di utilizzo reale del braccio del robot. Questa scelta può far risparmiare tempo di calcolo a seconda del livello di precisione richiesto.

Un'applicazione più pratica è emersa come approccio alternativo alle tecniche convenzionali per impianti fotovoltaici (FV) collegati alla rete. Le tecniche di SC sono state sviluppate per gestire le condizioni ambientali avverse, come l'improvviso cambiamento di temperatura e l'irradiazione, che non sono affrontate dai metodi convenzionali. L'obiettivo principale di questo articolo è quello di riassumere l'applicazione di varie tecniche SC che si applicano a diversi stadi di un impianto fotovoltaico come la riconfigurazione dei pannelli, la tecnica MPPT (Maximum Power Point Tracking) nel convertitore, l'eliminazione delle armoniche negli inverter e i rilevamenti di isolamento. In ogni fase, sono stati brevemente discussi vari metodi di soft computing utilizzati dai ricercatori per risolvere i problemi. Anche se non è facile valutare lo standard di ogni metodo, è stata presentata una discussione completa sulla convergenza, la complessità degli algoritmi, l'implementazione in tempo reale, la dipendenza del sistema, la regolazione periodica e le oscillazioni intorno al punto di picco. Dalla discussione, si prevede che in futuro le tecniche di SC potranno essere utilizzate come strumento efficace per risolvere complessi problemi non lineari e ridurre le oscillazioni. Tali capacità sarebbero molto apprezzate se si considera l'importanza di un impianto fotovoltaico collegato alla rete. Si ritiene che questo documento fornirà una preziosa fonte di informazioni per i ricercatori nel settore dei sistemi fotovoltaici connessi alla rete. Balamurugan M et al. (2017) - **(IX)**

2.2 Logica Fuzzy

La logica fuzzy si occupa dei problemi del sistema decisionale e di controllo che non possono essere convertiti in formule matematiche. Questo fondamentale mappa gli input agli output in un modo logico non lineare, nel modo in cui lo fanno gli esseri umani.

L'aggettivo "fuzzy" significa *indistinto, non nettamente definito, sfumato* questo termine si adatta bene al nuovo tipo di insiemi definiti da Zadeh, che si presentano come insiemi dalle frontiere sfumate e non brusche, cioè diverse da quelle degli insiemi ordinari. Infatti a differenza dei metodi tradizionali, nei quali vengono usati insiemi con valori determinati (0 e 1), quelli utilizzati dalla logica fuzzy possono assumere qualunque valore tra zero ed uno.

A differenza del sistema logico formale, la mente umana non lavora in modo binario (vero o falso) ma è più sfumata. Anche in natura le informazioni non sono grandezze discrete (zero o uno) bensì continue (analogiche). A questo si ispira la logica fuzzy, in cui un'affermazione può essere anche parzialmente vera (es. vera al 65%) o parzialmente falsa (vera al 35%).

I principali vantaggi derivanti dall'utilizzo della logica Fuzzy (FL) sono:

- È flessibile e riesce a utilizzare dati imprecisi
- È concettualmente facile da comprendere
- Riesce a riprodurre funzioni di arbitraria complessità
- Permette di utilizzare l'esperienza di operatori umani
- può essere combinata con altre tecniche quali reti neurali e algoritmi genetici
- È basata su un linguaggio naturale

Una delle qualità più interessanti e di recente esplorate della logica fuzzy è legata alla possibilità di convertire elementi di esperienza umana in algoritmi numerici, in questo modo ne derivano procedure automatiche o semiautomatiche dotate di esperienza artificiale. Questo rappresenta un primo passo verso l'intelligenza artificiale, da cui però le tecniche fuzzy si discostano sia per i metodi che per gli obiettivi.

La formalizzazione di conoscenze empiriche particolarmente preziose costituisce il

punto fondamentale dei Sistemi Esperti. Un **sistema esperto** è costituito da un insieme di programmi in grado di risolvere in autonomia problemi (anche complessi) appartenenti a uno specifico campo senza che il programmatore abbia esplicitamente considerato e previsto tutte le possibili varianti dei problemi stessi.

I sistemi basati sulla logica fuzzy (FKBS, Fuzzy Knowledge Based System) sono molto simili a dei sistemi esperti, rispecchiandone la disposizione strutturale e la sequenza logica di azione. Spesso, sistemi esperti e FKBS hanno in comune anche le caratteristiche di adattabilità e la capacità di spiegazione, anche se in molte semplici applicazioni, soprattutto negli azionamenti elettrici.

Va detto, comunque, che negli ultimi anni la logica fuzzy ha acquistato una crescente diffusione anche nel settore “consumer”, principalmente in alcuni prodotti Giapponesi quali, ad esempio, videocamere e condizionatori. La principale motivazione di questa diffusione risiede nella semplicità circuitale con cui si ottengono buone prestazioni rispetto a soluzioni tradizionali.

2.2.1 Applicazioni pratiche

In effetti, le applicazioni della logica fuzzy, un tempo ritenute un'oscura curiosità matematica, si trovano in molte opere ingegneristiche e scientifiche. La logica fuzzy è stata utilizzata in numerose applicazioni come il riconoscimento facciale, condizionatori d'aria, lavatrici, aspirapolvere, sistemi antiscivolo di frenata, sistemi di trasmissione, controllo di sistemi delle metropolitane, negli elicotteri senza pilota, sistemi basati sulla conoscenza per l'ottimizzazione multi-obiettivo, sistemi di previsione meteorologica, modelli per la determinazione del prezzo di nuovi prodotti o la valutazione del rischio di progetto, diagnosi medica e piani di trattamento e trading azionario. La logica fuzzy è stata utilizzata con successo in numerosi campi come l'ingegneria dei sistemi di controllo, l'elaborazione delle immagini, l'ingegneria energetica, l'automazione industriale, la robotica, l'elettronica di consumo e l'ottimizzazione. Questo ramo della matematica ha infuso nuova vita in campi scientifici che sono rimasti a lungo inattivi.

Migliaia di ricercatori lavorano con logica fuzzy e producono brevetti e documenti di ricerca. Secondo il rapporto di Zadeh sull'impatto della logica fuzzy al 4 marzo 2013, ci sono: 26 riviste di ricerca sulla teoria o sulle applicazioni della logica fuzzy, 89.365 pubblicazioni sulla teoria o sulle applicazioni della logica fuzzy nel database INSPEC, 22.657 pubblicazioni sulla teoria o sulle applicazioni della logica fuzzy nel database MathSciNet, 16.898 domande di brevetto e brevetti rilasciati relativi alla logica fuzzy negli USA e 7149 domande di brevetto e brevetti rilasciati relativi alla logica fuzzy in Giappone. Il numero di contributi alla ricerca cresce di giorno in giorno e cresce ad un ritmo crescente. Zadeh ha avviato la Berkeley Initiative in Soft Computing (BISC), un famoso laboratorio di ricerca della University of California, Berkeley, per far progredire la teoria e le applicazioni della logica fuzzy e del soft computing. L'obiettivo è quello di esplorare i progressi della logica fuzzy in un gran numero di applicazioni reali e prodotti commerciali in una varietà di campi. Sebbene la logica fuzzy abbia applicazioni in una serie di aree diverse, non è ancora noto alle persone che non hanno familiarità con i sistemi intelligenti come possa essere applicata in diversi prodotti attualmente disponibili sul mercato.

Un altro esempio sull'applicazione della logica Fuzzy viene espresso in (IV.) *“Application of Soft-computing Technologies to the Traffic Control System Design Problem”*. Questo articolo fornisce algoritmi efficaci per i sistemi di controllo del traffico attraverso algoritmi basati sulla logica Fuzzy. Questi modelli sono poi stati applicati ad una simulazione sulla rete stradale della città di Tashkent (Uzbekistan).

I risultati hanno dimostrato che il sistema di controllo del traffico, basato sul metodo proposto, permette di controllare gli incroci in modo più efficace rispetto al sistema di controllo del traffico con semafori a ciclo fisso. Questo tipo di controllore del traffico può anche funzionare con successo quando esposto ad eventi esterni incontrollati. L'implementazione di questa soluzione in incroci con carichi pesanti permette di ridurre la lunghezza delle code ai semafori fino a 2,6 volte e il tempo di ritardo fino al 27%.

Un'altra applicazione banale è quella che ci indica la priorità con cui le strade necessitano di manutenzione, trattato in (III) di Singh, A. P. et al. (2018). L'aspetto più importante da valutare, dopo la realizzazione di una strada, è quello che riguarda la condizione della superficie stradale. Questo studio sviluppa un approccio per la

valutazione delle sue condizioni e la loro priorità, che può essere affrontata con una serie di indicatori di prestazione per valutarne i diversi aspetti. Per generare una strategia di manutenzione e ripristino vengono presentati due approcci di analisi matematica fuzzy. Viene messo in evidenza come gli enti locali di manutenzione non dispongano né di processi logici decisionali né di strumenti adeguati. Pertanto, è stabilito che l'uso di queste tecniche possa essere usato per dare le priorità adeguate, considerando la limitatezza dei fondi per la manutenzione.

Nell'articolo di Pal, D et al. Del 2012 **(XXIII)** gli autori esaminano la riduzione dell'efficienza del lavoro umano dovuta al crescente inquinamento acustico del traffico stradale. Utilizzando la logica fuzzy, essi monitorano e modellano i disturbi del traffico stradale veicolare e l'effetto sulle prestazioni lavorative personali.

In modo simile nel paper di Singh, D et al. (2016) – **(X)** viene studiato l'effetto che, i numerosi nuovi veicoli circolanti in strada, produceva sulle persone. Gli elevati livelli di rumore si dimostrano influenti sulla salute e sul benessere di una parte considerevole della società, in particolar modo su coloro che vivono nelle immediate vicinanze di autostrade e strade urbane. Studi (Ramirez e Dominguez, 2013, Guarnaccia et al., 2014, Ingle et al., 2005) hanno dimostrato che in molti casi i livelli di rumore sono superiori ai limiti prescritti dagli enti regolatori per una particolare regione. Alcuni dei modelli esistenti di previsione del rumore del traffico veicolare considerano le condizioni del traffico e il database generato in termini di variabili quali il volume di traffico, la percentuale di veicoli pesanti (autocarri monovolume con 10 ruote e autobus), la velocità media dei veicoli e la composizione del traffico per il rispettivo paese o regione per cui sono stati sviluppati. I modelli possono prevedere i livelli di rumore con elevata precisione (in generale, entro ± 2 dB(A)), ma non possono essere utilizzati come tali, in una regione in cui le condizioni del traffico stradale sono significativamente diverse. Inoltre, la raccolta di un'enorme quantità di dati per la formulazione delle equazioni per diversi tipi di veicoli rimane una grande sfida.

Alcuni ricercatori hanno anche provato ad utilizzare tecniche di soft computing per sviluppare tali modelli, con risultati abbastanza buoni.

Questo approccio ha il potenziale di assistere i manager ambientali nel processo decisionale e nella formulazione delle politiche, affrontando al contempo vari problemi ambientali. Il modello può essere utile anche in casi specifici, ad esempio per valutare il livello di rumore, quando una certa categoria di veicoli non può entrare in un'area comunitaria o in una zona di silenzio. I diversi metodi presentati nello studio

possono essere utilizzati anche per prevedere lo scenario futuro utilizzando i dati attuali relativi a un problema ambientale di interesse.

2.3 Reti Neurali



Le reti neurali comprendono un'architettura che si ispira alla mente umana. Le informazioni sono rappresentate sotto forma di nodi (neuroni) e archi (sinapsi). Gli archi hanno un verso e un valore numerico modificabile. Le reti

neurali offrono uno strumento di percezione e di acquisizione della conoscenza particolarmente adeguata alla complessità della realtà. Sostanzialmente un Artificial Neural Network è un algoritmo della disciplina del Machine Learning che permette ad un computer di mimare il funzionamento del cervello umano in modo da imparare dall'esperienza e poter prevedere un risultato a partire da determinate situazioni reali. Questo permette di far assolvere ad una macchina, in completa autonomia, ruoli che prima erano destinati esclusivamente all'essere umano; come guidare un veicolo, rispondere ad un telefono, o diagnosticare una malattia.

Le reti neurali artificiali eseguono la classificazione, il data mining e il processo di predizione e gestiscono facilmente i dati di ingresso disturbati classificandoli nei gruppi o mappandoli in un'uscita prevista. Ad esempio, viene utilizzato nel riconoscimento di immagini e caratteri, nella previsione aziendale dove i modelli vengono appresi dai set di dati e viene creato un modello per riconoscere questi modelli.

Mentre la **Logica Fuzzy** viene vista in maniera simile ad un **sistema esperto**, le reti neurali se ne differenziano; ad esempio il sistema esperto è in grado di spiegare in che

modo è arrivato ad una soluzione (ripercorrendo dove e come ha applicato le regole If-Then sulla base di conoscenza). Invece per le reti neurali è quasi impossibile risalire al processo logico che ha portato alla soluzione in quanto il funzionamento di queste è molto più complesso. Un sistema esperto può fare alcuni ragionamenti (Es. Luca è un umano; gli umani sono mortali; Luca non è immortale), cosa che la rete neurale non fa. Quest'ultima però è perfettamente in grado di riconoscere un volto umano in una immagine complessa, cosa che il sistema esperto non sa fare.

2.3.1 Artificial neural network & deep learning

Il Deep Learning, tradotto letteralmente con apprendimento profondo, è una sottocategoria del Machine Learning (che viene tradotto come apprendimento automatico) e indica quella branca dell'Intelligenza Artificiale che fa riferimento agli algoritmi ispirati alla struttura e alla funzione del cervello (*le reti neurali*). Da un punto di vista scientifico, potremmo dire che il Deep Learning è l'apprendimento da parte delle "macchine" attraverso dati appresi grazie all'utilizzo di algoritmi (prevalentemente di calcolo statistico).

Il Deep Learning, infatti, fa parte di una più ampia famiglia di metodi di Machine Learning basati sull'assimilazione di rappresentazioni di dati.

Le architetture di Deep Learning, con le quali riportiamo l'attenzione anche al concetto di rete neurale artificiale, sono per esempio state applicate nella computer vision, nel riconoscimento automatico della lingua parlata, nell'elaborazione del linguaggio naturale, nel riconoscimento audio e nella bioinformatica (l'utilizzo di strumenti informatici per descrivere dal punto di vista numerico e statistico determinati fenomeni biologici come le sequenze di geni, la composizione e la struttura delle proteine, i processi biochimici nelle cellule, ecc.).

L'apprendimento profondo (deep learning), basa il suo funzionamento sulla classificazione e "selezione" dei dati più rilevanti per giungere ad una conclusione, esattamente come fa il nostro cervello che per formulare una risposta ad un quesito, dedurre un'ipotesi logica, arrivare alla risoluzione di un problema, mette in moto i propri neuroni biologici e le connessioni neurali (Neuroni biologici interconnessi

formano le nostre reti neurali cerebrali, quelle che permettono a ciascun individuo di ragionare, fare calcoli in parallelo, riconoscere suoni, immagini, volti, imparare e agire).

Il Deep Learning si comporta allo stesso modo e sfrutta le reti neurali artificiali, programmi matematico-informatici che si basano sul funzionamento delle reti neurali biologiche, ossia modelli costituiti da interconnessioni di informazioni.

Una rete neurale di fatto si presenta come un sistema adattivo in grado di modificare la sua struttura (i nodi e le interconnessioni) basandosi sia su dati esterni sia su informazioni interne che si connettono e passano attraverso la rete neurale durante la fase di apprendimento e ragionamento.

2.3.1.1 Applicazioni del Deep Learning

Il Deep Learning, grazie alle sue capacità di apprendimento, sta trovando larga diffusione nel mondo. Le principali applicazioni che sono state sviluppate recentemente sono:

- *Macchine Automatiche di traduzione:* Questa è un'attività in cui parole e frasi in una lingua vengono tradotte automaticamente in un'altra lingua. Sebbene le traduzioni automatiche ci siano già da un po' di tempo, algoritmi di Deep Learning migliorano l'apprendimento delle relazioni tra più parole e la loro mappatura in una nuova lingua. Un esempio è quello di Google Neural Machine Translation che si pone l'obiettivo di colmare il divario con le traduzioni degli esseri umani del 55-85%.
- *Classificazione di oggetti:* sono stati sviluppati algoritmi in grado di classificare gli oggetti di una fotografia come uno di un insieme di oggetti precedentemente noti.
- *Colorazione automatica di immagini in bianco e nero:* Gli algoritmi di Deep Learning possono capire il contesto delle immagini in bianco e nero e iniziare a inserire il colore dove necessario. Sfruttando l'architettura della rete neurale, il software può attraversare un elevato numero di immagini su un database per trovare il tono giusto per adattarsi a qualsiasi immagine. Questo approccio

potrebbe essere utilizzato per colorare fotogrammi fissi di film in bianco e nero, filmati di sorveglianza o qualsiasi numero di immagini.

- *Generazione automatica della scrittura a mano*: in questo caso, dopo avere fornito un insieme di esempi di scrittura a mano la rete neurale genera nuova grafia per una determinata parola o frase. Da questi esempi si apprende la relazione tra il movimento della penna e le lettere permettendo di generare nuove grafie ad hoc.

Queste sono solo alcune delle tantissime applicazioni che sfruttano le reti neurali alla loro base, ma già da qui possiamo capire l'immenso potenziale che queste tecniche possono offrire per la risoluzione di problemi di vita quotidiana.

2.4 Algoritmi Genetici

Gli algoritmi genetici (AG o genetic algorithm) sono stati sviluppati basandosi sulle teorie evuzionistiche di Darwin, presentate nel suo libro *On the Origin of Species by Means of Natural Selection* del 1859, e sono stati trattati per la prima volta da John Holland nel 1975.

Questi algoritmi si basano, infatti, sul principio darwiniano che gli elementi più adatti all'ambiente hanno maggiore possibilità di sopravvivere e di trasmettere le loro caratteristiche ai successori; in pratica, vi è una popolazione di individui che evolvono di generazione in generazione attraverso meccanismi simili alla riproduzione sessuale e alla mutazione dei geni. In questo modo, la ricerca privilegerà le zone dello spazio di ricerca dove è più probabile trovare soluzioni migliori, non trascurando altre zone a più bassa probabilità di successo nel quale verranno impiegate comunque un numero minore di risorse.

Questo tipo di algoritmi trae spunto dai concetti inseriti nella genetica classica e delle popolazioni, adottando le stesse terminologie a contesti differenti.

In natura, infatti, gli individui si riproducono mescolando in questo modo i propri patrimoni genetici. I nuovi individui generati avranno pertanto un patrimonio genetico

derivato in parte dal padre e in parte dalla madre. La selezione naturale fa sì che riescano a sopravvivere e quindi a riprodursi solo gli individui più forti, “più adatti”, cioè quelli con la fitness più elevata (più vicini all’ottimo); la fitness media della popolazione tenderà quindi ad aumentare con le generazioni, portando così la specie ad evolversi nel tempo.

Gli algoritmi genetici funzionano quindi imitando il comportamento della natura.

Lavorano con una popolazione di individui (Fig. 5), ognuno dei quali rappresenta una possibile soluzione del problema. A ogni individuo è associato un punteggio di adattamento detto *fitness score* (FS) assegnato in base a quanto sia buona la soluzione al problema. In natura il FS è equivalente a stabilire quanto un individuo riesce a competere per le risorse. Gli individui migliori hanno la possibilità di riprodursi incrociandosi con altri individui della popolazione. Questo produce nuovi individui discendenti che condividono alcune caratteristiche di ciascun genitore. Invece gli individui meno adattati (quelli con FS più basso) hanno meno

probabilità di riprodursi e quindi si estinguono. Una nuova popolazione di probabili soluzioni è così prodotta dalla selezione degli individui migliori. Questa nuova generazione contiene una proporzione più alta delle caratteristiche possedute dagli individui buoni della precedente generazione. Così facendo, dopo molte generazioni, le caratteristiche ottimali vengono diffuse a tutta la popolazione, essendo mischiate e scambiate con altre buone caratteristiche. Favorendo l’accoppiamento tra gli individui più adatti, vengono esplorate le aree più promettenti dello spazio di ricerca. Se l’algoritmo fosse progettato bene questo dovrebbe portare la popolazione convergere

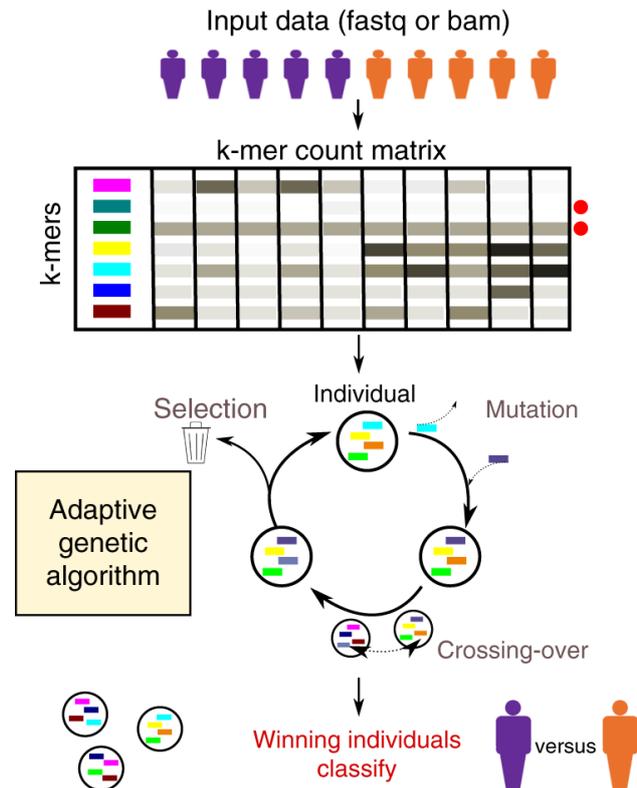


Fig. 5 (Thomas, A., Barriere, S., Broseus, L., Brooke, J., Lorenzi, C., Villemin, J. P., ... & Ritchie, W. (2019). GECKO is a genetic algorithm to classify and explore high throughput sequencing data. *Communications biology*, 2(1), 1-8.)

a una soluzione ottima del problema. Gli AG non sono gli unici algoritmi che si basano su analogie con la natura, come presentato nel paragrafo 2.3 per le reti neurali. Le loro applicazioni spesso sono le stesse. Una particolarità degli algoritmi genetici risiede nel fatto che possono essere usati per disegnare reti neurali. La potenza degli Algoritmi Genetici viene dal fatto che hanno una tecnica robusta e possono essere usati con successo in molti campi, e in problemi che altri metodi difficilmente riescono a risolvere. Gli AG non danno la garanzia di trovare una soluzione ottima per un problema, ma solitamente trovano una soluzione sufficientemente buona ma soprattutto in tempi sufficientemente rapidi.

Gli algoritmi genetici offrono, inoltre, un'elevata capacità di ottimizzazione e adattabilità all'ambiente e vengono impiegati per risolvere i problemi relativi all'ottimizzazione e alla progettazione, dove è possibile riconoscere una soluzione ottimale ma non viene fornita una risposta corretta predefinita. Le applicazioni reali dell'algoritmo genetico che utilizza tecniche di ricerca euristiche sono la robotica, la progettazione automobilistica, il routing ottimizzato delle telecomunicazioni, l'invenzione biomimetica e così via.

2.4.1 Applicazioni pratiche

Così come per le reti neurali, anche gli algoritmi genetici vengono utilizzati nel Machine Learning. Ci sono molte applicazioni dei "genetic algorithms" per sistemi di apprendimento. Il GA prova ad evolvere (cioè a imparare) un set di *se ... allora* per operare in alcune particolari situazioni. Questo è stato applicato ai giochi e per risolvere labirinti e anche per modelli economici e politici. Un uso maggiore delle tecniche dei machine learning è stato fatto nel campo del controllo. In un grande sistema complesso, come può essere quello di una centrale chimica, ci sono molti parametri di controllo da essere aggiustati affinché il sistema continui a produrre in maniera ottimale. Generalmente, si usa l'approccio del sistema classificatore, in modo da elaborare le regole per controllare il sistema. Il fitness di un insieme di regole può

essere valutato giudicando le performance del sistema reale, oppure di un modello costruito su un computer.

Gli algoritmi genetici infatti si sono dimostrati un grande alleato grazie alla loro capacità di risolvere problemi complessi di ottimizzazione nei diversi campi industriali, incluso il processo di ingegneria chimica. In questo lavoro, l'obiettivo principale è quello di sviluppare e implementare un codice AG in un reattore industriale di produzione di Alcool Ciclico per l'ottimizzazione dei parametri operativi. L'intenzione è di dimostrare che questa tecnica è adatta per la massimizzazione della produzione di Alcool Ciclico, ottenendo buoni risultati con miglioramenti operativi (riduzione del catalizzatore, riduzione della temperatura del processo). I risultati mostrano che le migliori prestazioni del processo sono state ottenute con l'applicazione dell'algoritmo genetico. La procedura sviluppata funziona molto bene in tutte le condizioni considerate che coprono l'intervallo operativo più abituale per il processo considerato. (Victorino et al. (2006) – **XXV**)

Capitolo III

Tecniche di soft computing applicate all'affidabilità dei sistemi complessi

3.1 Casi studio

Come illustrato, il soft computing viene utilizzato maggiormente quando ci troviamo a dover risolvere i problemi non lineari che comportano soluzioni incerte, imprecise e approssimative di un problema. Questi problemi sono considerati come problemi della vita reale in cui è richiesta un'intelligenza di tipo umano per risolverli.

Provare ad applicare questa serie di tecniche al fine di venire in contro a problemi di affidabilità dei sistemi è l'obiettivo di questo capitolo.

Andremo ora ad analizzare ed in fine a fornire un quadro generale sulle tecniche di soft computi più utilizzate fino ad oggi.

Come primo, andremo ad analizzare alcuni articoli che basano le proprie scoperte e applicazioni aziendali nella logica Fuzzy.

Di Flintsch, G. W. Et al. (2004) – (XXVI) mostra che l'aumento della domanda, la riduzione delle risorse finanziarie e umane e il deterioramento delle infrastrutture ha reso il compito di mantenere i sistemi infrastrutturali più impegnativo che mai. L'analisi dei costi del ciclo di vita – Life-cycle cost analysis (LCCA) è uno strumento importante per la gestione dell'infrastruttura di trasporto, che viene ampiamente utilizzato per supportare le decisioni a livello di progetto e viene sempre più applicato per migliorare l'analisi a livello di rete. Tuttavia, gli strumenti LCCA tradizionali non possono utilizzare in modo pratico ed efficace le conoscenze degli esperti e gestire le incertezze ambigue.

L'obiettivo principale di questa dissertazione è stato quello di sviluppare modelli LCCA avanzati utilizzando tecniche di soft computing (principalmente la logica fuzzy). I modelli proposti da Flintsch utilizzano le informazioni disponibili “del

mondo reale” per prevedere i costi del ciclo di vita e della manutenzione insieme a strategie di riqualificazione e gestione delle infrastrutture di supporto. Una revisione critica delle tecniche di soft computing disponibili e delle loro applicazioni nelle infrastrutture ha suggerito che queste tecniche forniscono alternative interessanti per supportare molte delle funzioni della gestione. Generalmente l’ LCCA utilizza informazioni incerte, ambigue e incomplete, ottenute sia da banche dati esistenti che da pareri di esperti. Di conseguenza, sono state selezionate tecniche di logica fuzzy per migliorare l’analisi dei costi del ciclo di vita e degli investimenti nelle infrastrutture di trasporto; questo perché forniscono un approccio formale per il trattamento efficace di questo tipo di informazioni.

L’articolo propone un modello di supporto alle decisioni basato sulla logica fuzzy in cui le regole di inferenza possono essere personalizzate in base alle politiche di gestione dell’agenzia e al parere degli esperti. La fattibilità e la praticabilità del modello proposto è illustrata dalla sua implementazione in un algoritmo di analisi dei costi del ciclo di vita per confrontare e selezionare politiche di manutenzione, riabilitazione e ricostruzione dei pavimenti (maintenance, rehabilitation and reconstruction -> MR&R).

Per migliorare il tradizionale modello probabilistico LCCA, al modello basato sulla fuzzy-logic è poi incorporato un modello di analisi del rischio.

Viene proposto un approccio a logica sfumata per determinare la tempistica dei trattamenti MR&R per pavimentazione. L’approccio proposto utilizza curve di performance e modelli fuzzy-logic atte a determinare la tempistica più efficace delle attività di MR&R per pavimentazione. L’applicazione dell’approccio in un caso studio dimostra che il modello di analisi di rischio basato sulla logica fuzzy per LCCA, può effettivamente produrre risultati che sono almeno comparabili a quelli dei metodi di riferimento, pur considerando efficacemente alcune delle ambigue incertezze inerenti al processo.

Infine, la ricerca stabilisce un metodo sistematico per calibrare il modello di decisione di riabilitazione basato sulla logica fuzzy-logic utilizzando casi reali estratti dal database Long Term Pavement Performance (LTPP). Reinterpretando il modello sotto forma di sistema neuro-fuzzy, l’algoritmo di calibrazione sfrutta le capacità di apprendimento delle reti neurali artificiali per la messa a punto delle funzioni e delle regole di appartenenza fuzzy. La praticità del metodo è dimostrata dalla messa a punto

con successo del modello di selezione del trattamento per distinguere tra i casi di riqualificazione (light overlay) e i casi di “do-nothing”.

Secondo Salmeron J. L. et al. (2012) – **(XX)** le attuali attrezzature industriali sono diventate sempre più complesse ed enormi. In questo caso, le tecniche convenzionali di affidabilità non possono supportare correttamente la valutazione funzionale. Questo articolo integra un’innovativa metodologia di soft computing, la Fuzzy Grey Cognitive Map (FGCM), in una tradizionale analisi di affidabilità per una migliore conoscenza. Le FGCM sono utilizzate per valutare, modellare e aiutare il processo decisionale esaminando le relazioni causali tra i concetti di dominio rilevanti. La procedura proposta è illustrata con un’analisi di affidabilità su dei trasformatori. Vengono identificate e valutate venti cause di guasto nella parte attiva del trasformatore. I risultati hanno rivelato il potenziale della combinazione di FGCM e analisi dei guasti per sistemi complessi. Il modello FGCM presenta diversi vantaggi, Anzitutto è definito specificamente per ambienti multi-meanings. In secondo luogo, permette di definire le relazioni tra i concetti. Attraverso questa caratteristica, vengono definiti modelli più affidabili per ambienti interdipendenti. In terzo luogo, la tecnica FGCM è in grado di quantificare l’influenza delle relazioni tra concetti. Attraverso questo attributo, si può raggiungere un migliore supporto in ambienti a più significati.

Lo scopo della ricerca di Daniel. O. Aikhuele effettuata nel (2018) - **(XI)** è, invece, quello di esplorare un metodo alternativo di soft computing, utilizzando i principali aspetti della logica fuzzy per far fronte all’incertezza insita nei sistemi complessi, in modo da fornire una metodologia interessante e valida per supportare i decisori del sistema elettrico al fine di fornire ai propri clienti energia elettrica con un elevato grado di affidabilità.

In questo articolo viene proposto un modello flessibile basato su un operatore triangolare intuizionistico di classificazione e aggregazione (Triangular intuitionistic flexibility ranking and aggregating o TIFRA) per la rilevazione dei guasti e la gestione dell’affidabilità in un sistema di turbine eoliche. Il principale vantaggio del metodo proposto è che fornisce informazioni avanzate sui guasti e il livello di compromissione del sistema; il metodo fornisce una visione più completa della gestione dell’affidabilità e delle cause di guasto nel sistema Wind Turbine (WT) utilizzando il parametro di flessibilità del modello.

Il vantaggio principale di questo nuovo modello è che tiene conto delle preoccupazioni di flessibilità del gruppo di esperti associati alla gestione e alla previsione

dell'affidabilità. Inoltre aiuta a ridurre la complessità rappresentando in modo olistico tutte le criticità e l'incertezza utilizzando il Triangular intuitionistic fuzzy number (TIFN) che è una piattaforma più generalizzata per esprimere informazioni imprecise e incoerenti e, infine, offre l'opportunità di effettuare un'analisi di sensibilità utilizzando la funzione flexibility score (parametro flessibilità), affrontando così il problema di ranking normalmente associato al TIFN(s).

Con lo studio effettuato da Kiani, E. et al. nel (2017) – **(V)** scopriamo come l'agricoltura moderna richiede tecniche intelligenti e fattibili per sostituire l'intelligenza umana con l'intelligenza della macchina. Mentre un essere umano identifica le foglie infette con il suo occhio, la macchina dovrebbe anche essere in grado di identificare la malattia attraverso delle lenti. L'obiettivo di questo articolo è quello di verificare praticamente l'applicabilità di un nuovo metodo di "computer-vision" per l'identificazione delle foglie malate nelle piantine di fragola (attraverso tecniche fuzzy logic). L'applicazione della soft computing in questo ambito serve a garantire risultati soddisfacenti senza l'utilizzo di reti neurali complesse o lunghi periodi di formazioni lunghi.

In questo documento, gli sforzi sono stati fatti per proporre un metodo da utilizzare su computer a chip singolo. Pertanto, il metodo proposto non solo è privo di reti neurali, ma causa anche un carico computazionale minimo. L'accuratezza complessiva di rilevamento delle malattie sulle piante ha raggiunto il 97% e il tempo di elaborazione per l'individuazione delle malattie è stato di 1,2 secondi. Un robot utile per svolgere questo compito è già in fase di progettazione, considerando che la sua unica caratteristica è quella di possedere una camera con risoluzione maggiore di quella dell'occhio umano.

Di seguito verranno ora tratti alcuni casi in cui vengono utilizzati metodi basati sugli algoritmi genetici. Di Lin, Y.K. et al. (2015) – **(XXI)** viene discusso il metodo con cui massimizzare l'affidabilità del sistema per la rete di computer, trovando l'assegnazione ottimale di due classi soggette a un budget, in cui l'assegnazione di due classi consiste nell'assegnare esattamente una linea di trasmissione (o impianto) a ciascun bordo (o nodo). Inoltre, questa assegnazione e quella degli impianti alla rete informatica comporta un costo di applicazione che dipende dalla sua lunghezza. Per risolvere il problema affrontato viene proposto un metodo basato su algoritmi genetici, in cui l'affidabilità del sistema viene valutata in termini di percorsi minimi e di

decomposizione dello spazio statale (state-space decomposition). Diversi risultati sperimentali dimostrano che l'algoritmo proposto può essere eseguito in un tempo ragionevole e ha una migliore efficienza computazionale rispetto ai più diffusi algoritmi di soft computing.

In questo paper, viene trattata principalmente la massimizzazione dell'affidabilità del sistema per reti di computer con un'unica fonte e un unico terminale. Tuttavia, molti ambienti informatici sono costituiti da fonti e terminali multipli. Ulteriori ricerche possono sviluppare un approccio per valutare l'affidabilità del sistema multi-fonte e multi-terminale.

Per Gen M. et al. (2006) – **(XXII)** l'affidabilità è una misura delle prestazioni dei sistemi. Poiché i sistemi sono diventati sempre più complessi, le conseguenze del loro comportamento inaffidabile sono diventate gravi in termini di costi, sforzi, vite umane, ecc. e l'interesse a valutare l'affidabilità del sistema e la necessità di migliorare l'affidabilità dei prodotti e dei sistemi sono diventati molto importanti. In questo studio, vengono introdotti diversi problemi di progettazione dell'affidabilità. Questi problemi sono solitamente formulati come problemi di programmazione non lineare con alcuni vincoli. In genere non sono facili da risolvere senza una trasformazione. Di conseguenza, molti metodi, che in primo luogo trasformano questi problemi in problemi di programmazione lineare intera (0-1) e li risolvono con metodi tradizionali, vengono utilizzati. Questa è la motivazione che spinge all'utilizzo dell'algoritmo genetico (AG). Una delle caratteristiche degli AG, come accennato precedentemente, è quella di essere in grado di risolvere i problemi di programmazione non lineare di interi senza alcuna trasformazione.

Da questo studio, è poi possibile vedere che gli approcci basati su GA sono strumenti potenti per risolvere efficacemente i problemi di progettazione dell'affidabilità e possono essere facilmente utilizzati per risolvere vari problemi di progettazione, senza alcuna trasformazione.

In questo articolo di C.A. Silva et al. (2005) – **(VII)** si discutono le metodologie che possono essere utilizzate per ottimizzare un processo logistico di una supply chain. In primo luogo, viene presentato un modello del sistema basato su un esempio del mondo reale. Successivamente viene proposta una nuova funzione oggettiva chiamata Global Expected Lateness, per descrivere molteplici criteri di ottimizzazione. Infine, vengono proposte tre diverse metodologie di ottimizzazione: una classica regola di dispatching e due tecniche di soft computing, Genetic Algorithms (GA) e Ant Colony Optimization

(ACO). Queste metodologie sono poi confrontate con la politica di dispatching del mondo reale. I risultati mostrano che la tecnica classica è surclassata da quelle metaeuristiche GA e ACO. Inoltre è dimostrato che GA e ACO forniscono soluzioni di pianificazione simili quindi il loro uso è intercambiabile.

Lo scopo del documento elaborato da Mark Ko et al. (2010) – **(VIII)** è quello di riassumere i risultati di ricerca esistenti riguardanti l'applicazione di tecniche di soft computing alla gestione della catena di approvvigionamento.

Gli autori notano come sia gli algoritmi genetici che l'approccio con logica fuzzy siano tecniche popolari per risolvere i problemi di gestione della catena di approvvigionamento, in particolare nella gestione della produzione e nei problemi di realizzazione. Gli strumenti di soft computing sembrano promettenti e utili per analizzare questi dati e per supportare il processo decisionale del manager in un ambiente complesso. Dal 2002 si è registrata una significativa tendenza all'aumento dell'applicazione di queste tecniche per risolvere i diversi problemi di gestione della supply chain. Le ragioni possono non solo essere dovute al fatto che dal 2002 sono state coinvolte più ricerche nel settore tradizionale della catena di approvvigionamento, ma anche che sono stati sviluppati molti più studi in nuovi settori come la gestione delle relazioni con i fornitori e lo sviluppo/distribuzione dei prodotti. Inoltre, l'emergere di strumenti facili da usare (ad esempio Matlab) consente una più facile applicazione delle tecniche di soft-computing, anche da parte di utenti non specializzati.

In alcuni scritti vengono utilizzate tutte le tecniche in modo da dare al lettore un resoconto più preciso. Gli autori ci permettono di analizzare da vicino le differenze che avremo con l'applicazione delle varie tecniche, scoprendone pregi e difetti.

Con la crescita della complessità delle reti internet, si è arrivati a un punto in cui il loro controllo e gestione diventa un problema non banale. La convergenza della rete è il problema principale in questa tipologia di collegamenti. Il sistema proposto nell'articolo utilizza il fickle minimum route advertisement interval timer (FMRAI) per l'aggiornamento rapido della tabella di routing, che porta alla riduzione del tempo di convergenza di una rete. Rispetto al timer MRAI statico di 30 s il timer FMRAI porta a risultati migliori. Le FMRAI hanno un rapporto di caduta dei pacchetti, ritardo e jitter più basso rispetto alla tradizionale tecnica MRAI migliora anche il throughput,

il rapporto di consegna dei pacchetti, il tempo di convergenza e il numero di aggiornamenti. (Devikar, R. N. et al. (2017) – **(VI)**)

Più recentemente sono stati pubblicati ulteriori paper. Un esempio è quello di Abbas M. et al. (2020) – **(XXVII)** in cui si dice che la manutenzione svolge un ruolo importante nella gestione dell'integrità dei beni marini, come ad esempio le strutture delle navi, le piattaforme offshore per le energie rinnovabili e gli impianti sottomarini per il petrolio e il gas. La vita utile degli asset marini è fortemente influenzata dal coinvolgimento di numerosi processi di degrado dei materiali (come la crepe da fatica, la corrosione e la vaiolatura = rappresenta il fenomeno della comparsa sulla superficie di un materiale di piccoli danneggiamenti dalla morfologia caratteristica), nonché dalle sollecitazioni ambientali che variano a seconda delle località geografiche e dei fattori climatici. La composizione dei componenti dell'acqua di mare (ad es. ossigeno disciolto, salinità, contenuto di temperatura, ecc.) è uno dei principali fattori che influenzano il degrado dei beni marini. Il miglioramento dell'efficienza e dell'efficacia delle strategie di gestione della manutenzione può avere un impatto significativo sulla disponibilità operativa e sull'affidabilità degli asset marini. Negli ultimi decenni sono stati condotti molti studi di ricerca per prevedere il comportamento di degrado delle strutture marine che operano in diverse condizioni ambientali. L'utilizzo dei dati sul degrado strutturale - in particolare sulla corrosione marina - può essere molto utile per sviluppare una strategia di manutenzione affidabile, priva di rischi ed economica. Questo documento presenta una panoramica dello stato dell'arte e delle tendenze future delle strategie di gestione della manutenzione degli asset applicati alle strutture in acciaio corrose in ambienti marini estremi. I modelli di previsione della corrosione e le migliori pratiche industriali sulla manutenzione delle strutture in acciaio marino sono ampiamente rivisti ed analizzati. Inoltre, vengono discusse alcune applicazioni di tecnologie avanzate come il sistema computerizzato di gestione della manutenzione (CMMS), l'intelligenza artificiale (AI) e la rete bayesiana. Questo paper rivela che ci sono variazioni significative nel comportamento alla corrosione delle strutture in acciaio marino e nelle loro pratiche di manutenzione industriale da una condizione climatica all'altra. Questo è stato trovato in gran parte attribuito alla variazione nella composizione/caratteristiche dell'acqua di mare e alle loro complesse relazioni reciproche. È stato osservato che il degrado delle navi e di altre strutture marine è un fenomeno altamente complicato, principalmente a causa delle loro intrinseche

condizioni operative estreme, dell'ambiente corrosivo e delle operazioni prolungate lontano dalle strutture di manutenzione. Il progresso tecnologico delle attrezzature marine ha i suoi rischi e le esigenze di manutenzione sono state amplificate in seguito. Nel corso degli anni, nell'industria navale sono state adottate diverse pratiche di manutenzione e metodi di ispezione per ottenere una maggiore affidabilità, sicurezza ed efficienza di manutenzione. È stato osservato che l'uso di tecniche di gestione prognostica e sanitaria (PHM), modelli di previsione del degrado, analisi integrate basate sul rischio e sull'affidabilità e tecniche decisionali hanno migliorato il modello generale di manutenzione delle risorse marine. Tuttavia, con questa esigenza di manodopera altamente qualificata, anche il fabbisogno di budget per l'acquisizione di tecnologie avanzate di monitoraggio sanitario è aumentato di conseguenza.

Le decisioni manutentive negli impianti petrolchimici sono un fattore principale per garantire l'affidabilità e la sicurezza degli stessi, al fine di prendere le decisioni manutentive migliori per l'impianto è stato utilizzato un metodo basato sulle reti neurali. Il modello di manutenzione è stabilito considerando l'economia e l'affidabilità, e si deduce il tasso di guasto e i modelli di costi di manutenzione degli impianti. La struttura architettonica della rete neurale fuzzy curvelet è progettata su cinque strati e la procedura ottimale dell'algoritmo è progettata sulla base di un algoritmo di sciame di particelle migliorato (particle swarm algorithm). L'analisi di simulazione della previsione dei costi di manutenzione e del tasso di guasto per 1 milione di tonnellate/anno dell'unità di idrodesolforazione della benzina viene effettuata sulla base di tre diversi metodi di decisione, il nuovo metodo ha la migliore precisione confrontando i risultati della simulazione con i dati reali, e si prevede il costo di manutenzione e il tasso di guasto dell'unità dal 2017 al 2022. Inoltre, i migliori piani di manutenzione sono confermati attraverso la previsione delle basi di simulazione sul metodo proposto. Il modello decisionale proposto per la manutenzione offre una guida scientifica come base per l'azione da parte dei responsabili della revisione di un impianto petrolchimico.

La manutenzione di un impianto petrolchimico è, quindi, fondamentale per garantirne la sicurezza e l'affidabilità, per migliorare l'effetto di previsione delle decisioni di manutenzione dell'impianto petrolchimico, la teoria fuzzy e la rete neurale artificiale sono combinate per stabilire la rete neurale fuzzy curvelet.

Viene costruito il modello di previsione dei costi di manutenzione dell'impianto petrolchimico e viene progettata la struttura di base della rete neurale fuzzy curvelet. Il piano di manutenzione ottimale non solo soddisfa il requisito di affidabilità, ma consente anche di risparmiare sui costi. La rete neurale fuzzy curvelet può offrire una base teorica efficace per prendere una decisione di manutenzione ottimale. Questo metodo decisionale si applica non solo agli impianti petrolchimici, ma anche alle apparecchiature energetiche su larga scala, alle apparecchiature metallurgiche, alle apparecchiature farmaceutiche, ai dispositivi biotecnologici e ad altri strumenti industriali di processo. L'affidabilità e la sicurezza di queste apparecchiature su larga scala possono essere garantite attraverso misure ottimali di manutenzione confermate dal metodo di decisione proposto. (Zhao, B. et al. (2018) – (XVIII)).

In un elaborato di Lo, H. W. Et al. (2020) viene fatto presente che la sicurezza delle infrastrutture critiche (IC) è uno dei problemi più significativi che le nazioni di tutto il mondo devono affrontare. L'infrastruttura critica comprende sia le strutture fisiche che i beni virtuali su cui si basa la forza di una nazione. Ogni nazione si basa sulla propria IC per mantenere le normali funzioni della società. Qualsiasi danno o guasto dell'infrastruttura critica può seriamente compromettere la sicurezza, la salute pubblica e l'economia di una nazione. L'infrastruttura può essere definita come una rete di sistemi e processi artificiali indipendenti, per lo più di proprietà privata, che funzionano in modo collaborativo e sinergico per produrre e distribuire un flusso continuo di beni e servizi essenziali. Il raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità energetica, sviluppo economico o sviluppo sociale è difficile se la rete di infrastrutture è a rischio. Taiwan ne è l'esempio perfetto in quanto minacciata da molte calamità naturali (ad esempio, tifoni e terremoti) ogni anno a causa della sua posizione geografica.

Ci sono due questioni vitali da considerare quando si proteggono le infrastrutture critiche: le loro interdipendenze e le loro priorità. Qui viene proposto un nuovo modello decisionale ibrido multi-criteri per ambienti incerti, derivato dalle opinioni di più esperti, in grado di costruire una relazione tra reti e di analizzare l'influenza e l'importanza delle infrastrutture critiche. Il modello proposto supera i problemi causati dalla diversità delle opinioni degli esperti derivanti da conflitti intrinseci dovuti alla loro diversa provenienza. Questo delinea le interdipendenze e le priorità tra le infrastrutture critiche in un sistema complesso. Il modello sviluppato in questo studio

può supportare i decisori e le agenzie di regolamentazione nel decidere i piani di protezione appropriati. L'efficacia del modello proposto è dimostrata dalla conduzione di un caso studio che coinvolge Taiwan. I risultati indicano che il modello proposto può aiutare efficacemente i manager a valutare le relazioni influenti tra le infrastrutture critiche e a identificare quelle più critiche.

Il metodo proposto evita il lungo processo di raccolta dei dati e non richiede strumenti di calcolo costosi. L'incertezza delle informazioni viene considerata utilizzando la teoria della logica fuzzy e il metodo approssimativo viene applicato per l'integrazione di più pareri di esperti nel processo decisionale di gruppo. Viene effettuato un caso di studio per verificare che il modello proposto sia efficace ed efficiente e che possa essere facilmente esteso a sistemi più complessi. L'esempio empirico rivela che "informazione e telecomunicazioni", "energia" e "approvvigionamento idrico" hanno un'elevata influenza tra i settori, e che le agenzie governative sono il tipo più importante di IC. L'utilizzo della logica fuzzy ha due obiettivi, vale a dire l'interdipendenza e la prioritizzazione delle IC; i risultati sono stati confrontati con quelli di altri modelli simili di MCDM. I risultati ottenuti con il metodo proposto sono promettenti. Va notato che il nuovo metodo di soft computing proposto può essere applicato in altri campi e può aiutare le industrie, le agenzie governative e i dipartimenti di ricerca a risolvere problemi decisionali multicriterio in ambienti incerti. Inoltre, il modello proposto può anche essere adattato a paesi con caratteristiche diverse.

Sebbene questo studio contribuisca in modo significativo a far progredire il metodo DANP (tecnica basata sull'approccio analitico del processo di rete), il metodo proposto ha alcuni limiti nell'uso nel mondo reale. Il concetto del metodo dei numeri approssimativi è complesso e il processo di calcolo è lungo. In più il funzionamento del rough-fuzzy DANP è difficile per le persone che non hanno familiarità con la metodologia DANP originale.

Di seguito è riportata la tabella 1, in cui viene fatta una classificazione dei paper analizzati in questo capitolo sulla base delle tecniche di soft computing scelte dagli autori per risolvere i problemi da loro affrontati.

Tabella 1

Nella prima colonna della tabella vengono riportati gli autori dei paper, mentre nelle restanti colonne vengono selezionate le tecniche che ogni autore utilizza nel proprio lavoro.

Tecniche Paper	Logica fuzzy	Reti neurali	Algoritmi genetici
AhmedEl-Sherbiny et al. (2017)	✓	✓	✓
Singh, A. P. et al. (2018)	✓		
N.R. Yusupbekov et al. (2016)	✓		
Ehsan Kiani et al. (2017)	✓		
R.N. Devikar et al. (2018)	✓	✓	✓
C.A. Silva et al. (2005)			✓
Mark Ko et al. (2010)	✓		✓

Balamurugan M. et al. (2017)	✓	✓	✓
Daljeet Singh et al. (2016)		✓	
Daniel. O. Aikhuele (2018)	✓		
Salmeron J.L. et al. (2012)	✓		
Lin Y.K. et al. (2015)			✓
Gen M. et al. (2006)			✓
Pal D. et al. (2012)	✓		
Victorino, I.R.D.S. et al. (2006)			✓
Flintsch, G.W. et al. (2004)	✓	✓	
Abbas, M. et al. (2020)		✓	✓

Zhao, B. et al. (2018)	✓	✓	
Lo, H. W. Et al. (2020)	✓		

Come possiamo vedere dai paper analizzati, le tecniche più utilizzate sono quelle basate sulla logica Fuzzy e gli Algoritmi Genetici. Le reti neurali vengono messe in secondo piano dagli algoritmi genetici, in quanto questi possono essere impiegati per progettare e ottimizzare sistemi fuzzy, ma anche per migliorare le caratteristiche di apprendimento delle reti neurali, arrivando anche a determinarne la topologia ottimale. In una selezione più ampia di studi però si nota che la tecnica maggiormente usata è quella che riguarda le reti neurali. Queste infatti, negli ultimi anni, stanno riscontrando un notevole successo grazie all'introduzione delle intelligenze artificiali. Un' AI si basa molto sulle reti neurali e grazie a queste riesce a elaborare i dati che riceve in ingresso come un reale cervello umano.

Ora invece, analizzeremo i vari articoli puntando a osservare quali sono gli obiettivi che hanno spinto gli autori ad effettuare questi studi. È bene notare che gli obiettivi possono essere i più disparati possibili, ma analizzandoli nel dettaglio possiamo notare che essi possono essere racchiusi in quattro grandi macro categorie che li distinguono; e sono:

- 1. Miglioramento affidabilità**
- 2. Gestione**
- 3. Prevenzione**
- 4. Ottimizzazione sistemi**

Ora, come in precedenza, riaccoglierò i paper in un'unica tabella in cui andremo ad analizzare gli obiettivi di ogni singolo paper.

Tabella 2

Come in precedenza, nella prima colonna viene riportato il nome degli autori ma, in questo caso, nelle successive colonne saranno selezionati gli obiettivi che gli autori vogliono raggiungere con il loro lavoro.

Obiettivi Paper	1	2	3	4
AhmedEl-Sherbiny et al. (2017)			✓	
Singh, A. P. et al. (2018)		✓	✓	
N.R. Yusupbekov et al. (2016)				✓
Ehsan Kiani et al. (2017)		✓	✓	
R.N. Devikar et al. (2018)				✓
C.A. Silva et al. (2005)				✓
Mark Ko et al. (2010)		✓		✓

Balamurugan M. et al. (2017)		✓		
Daljeet Singh et al. (2016)			✓	
Daniel. O. Aikhuele (2018)	✓	✓	✓	
Salmeron J.L. et al. (2012)	✓		✓	✓
Lin Y.K. et al. (2015)	✓			
Gen M. et al. (2006)	✓			✓
Pal D. et al. (2012)			✓	
Victorino, I.R.D.S. et al. (2006)		✓		✓
Flintsch, G.W. et al. (2004)		✓	✓	
Abbas, M. et al. (2020)	✓	✓	✓	

Zhao, B. et al. (2018)	✓	✓		✓
Lo, H. W. Et al. (2020)	✓	✓	✓	

Capiamo subito che l'obiettivo principale per la maggior parte degli studi è quello della prevenzione. Questo è dato dal fatto che le tecniche di soft computig hanno la flessibilità per analizzare dati complessi, non limitandosi alla linearità dei metodi tradizionali, per darci in uscita un risultato ottimo molto più realistico e preciso rispetto al passato. Utilizzando questi dati è infatti possibile migliorare la qualità dei servizi offerti mantenendo soprattutto un elevato livello di sicurezza.

Conclusioni

Questa tesi ha cercato di evidenziare in che modo le tecniche di soft computing possano essere applicate all'analisi di affidabilità dei sistemi complessi. A tal fine, è stata condotta un'analisi della letteratura su quelli che sono gli elementi chiave del nostro titolo.

In un primo momento c'è stata l'analisi sul significato di parole come: “*affidabilità*”, “*manutenzione*” e “*sistema complesso*”. Attraverso queste analisi è stato possibile notare che nel mondo reale l'influenza delle operazioni di manutenzione influisce in modo significativo sul budget di un'azienda. Come ci si poteva aspettare si è visto che esiste un legame tra affidabilità e manutenzione e che queste per coesistere al meglio dovrebbero essere perfettamente pianificate in modo tale da ridurre tutti quei casi che possano causare errori all'interno delle aziende.

Si può vedere che però anche il livello di affidabilità di un bene o di un impianto influisce sulla spesa che l'azienda deve sostenere. Infatti un macchinario è tanto più costoso quanto più alto è il suo grado di affidabilità. Questo però non significa che bisogna investire in asset meno affidabili, in quanto a un risparmio sull'acquisto corrisponde un aumento delle spese di manutenzione.

Nel secondo capitolo viene esposto cosa si intende per soft computing e quali sono le tecniche che la compongono. In particolare queste sono: “*logica fuzzy*”, “*reti neurali*” e “*algoritmi genetici*”. Per ognuna è stato effettuato uno studio su cosa rappresentano e quali sono le loro applicazioni.

Negli articoli letti queste tecniche servono principalmente a risolvere problemi non lineari al fine di offrire una soluzione ottima rispetto a quella ottenibile con i metodi tradizionali. Un uso più recente invece ne è stato fatto nel campo dell'intelligenza artificiale (AI) in quanto questi metodi permettono una flessibilità maggiore nella programmazione, attraverso un linguaggio praticamente identico a quello parlato.

In fine, nel terzo capitolo, è stata presentata una raccolta degli articoli in cui le varie tecniche di soft computing sono state applicate a problemi del mondo reale al fine di migliorare l'affidabilità, ottimizzare degli impianti e la loro gestione.

Tuttavia è bene notare che i campi di utilizzo delle tecniche di SC non si limitano al solo mondo industriale e al campo da me studiato, ma vengono applicate anche a supporto della vita domestica. La flessibilità di queste tecniche infatti permette di utilizzare perfino nei software/strumenti di uso quotidiano (ad esempio possiamo trovarle applicate a software per la traduzione di test, negli apparecchi di climatizzazione e anche nelle attuali auto a guida autonoma).

Bibliografia

- I. Ibrahim, D. (2016). An overview of soft computing. *Procedia Computer Science, 102*, 34-38.
- II. El-Sherbiny, A., Elhosseini, M. A., & Haikal, A. Y. (2017). A comparative study of soft computing methods to solve inverse kinematics problem. *Ain Shams Engineering Journal*.
- III. Singh, A. P., Sharma, A., Mishra, R., Wagle, M., & Sarkar, A. K. (2018). Pavement condition assessment using soft computing techniques. *International Journal of Pavement Research and Technology, 11(6)*, 564-581.
- IV. Yusupbekov, N. R., Marakhimov, A. R., Igamberdiev, H. Z., & Umarov, S. X. (2016). Application of soft-computing technologies to the traffic control system design problems. *Procedia Computer Science, 102*, 540-546.
- V. Kiani, E., & Mamedov, T. (2017). Identification of plant disease infection using soft-computing: Application to modern botany. *Procedia computer science, 120*, 893-900.
- VI. Devikar, R. N., Patil, D. V., & Prakash, V. C. (2018). A soft-computing approach to reduce the network convergence time. *Alexandria engineering journal, 57(4)*, 3653-3660.
- VII. Silva, C. A., Sousa, J. M. C., Runkler, T., & Palm, R. (2005). Soft computing optimization methods applied to logistic processes. *International Journal of Approximate Reasoning, 40(3)*, 280-301.

- VIII. Ko, M., Tiwari, A., & Mehnen, J. (2010). A review of soft computing applications in supply chain management. *Applied Soft Computing*, *10*(3), 661-674.
- IX. Balamurugan, M., Sahoo, S. K., & Sukchai, S. (2017). Application of soft computing methods for grid connected PV system: a technological and status review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *75*, 1493-1508.
- X. Singh, D., Nigam, S. P., Agrawal, V. P., & Kumar, M. (2016). Vehicular traffic noise prediction using soft computing approach. *Journal of environmental management*, *183*, 59-66.
- XI. Aikhuele, D. O. (2018). Intuitionistic fuzzy model for reliability management in wind turbine system. *Applied Computing and Informatics*.
- XII. Arnal, F., Dairaine, L., Lacan, J., & Maral, G. (2005). Cross-layer reliability management for multicast over satellite. *Computer Networks*, *48*(1), 29-43.
- XIII. Aal, A. (2016). Reliability management—The central enabler for advanced Technologies in Automotive. *Microelectronics Reliability*, *64*, 13-18.
- XIV. Sohn, S. Y., Yoon, K. B., & Chang, I. S. (2006). Random effects model for the reliability management of modules of a fighter aircraft. *Reliability Engineering & System Safety*, *91*(4), 433-437.
- XV. Kirwan, B. (1997). The development of a nuclear chemical plant human reliability management approach: HRMS and JHEDI. *Reliability Engineering & System Safety*, *56*(2), 107-133.

- XVI. Wang, K. S., Huang, J. J., & Po, H. J. (1998). Loading adjustment policy of a two-unit shared-load system based on reliability management. *Reliability Engineering & System Safety*, 60(3), 205-212.
- XVII. Brombacher, A. C., Sander, P. C., Sonnemans, P. J., & Rouvroye, J. L. (2005). Managing product reliability in business processes 'under pressure'. *Reliability Engineering & System Safety*, 88(2), 137-146.
- XVIII. Dashti, R., & Yousefi, S. (2013). Reliability based asset assessment in electrical distribution systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 112, 129-136.
- XIX. Hanafizadeh, P., & Ponnambalam, K. (2009). Asset allocation using reliability method. *Mathematical and Computer Modelling*, 50(1-2), 21-31.
- XX. Salmeron, J. L., & Gutierrez, E. (2012). Fuzzy grey cognitive maps in reliability engineering. *Applied Soft Computing*, 12(12), 3818-3824.
- XXI. Lin, Y. K., & Yeh, C. T. (2015). System reliability maximization for a computer network by finding the optimal two-class allocation subject to budget. *Applied Soft Computing*, 36, 578-588.
- XXII. Gen, M., & Yun, Y. (2006). Soft computing approach for reliability optimization: State-of-the-art survey. *Reliability Engineering & System Safety*, 91(9), 1008-1026.
- XXIII. Pal, D., & Bhattacharya, D. (2012). Effect of road traffic noise pollution on human work efficiency in government offices, private organizations, and commercial business centres in agartala city using fuzzy expert system: a case study

- XXIV. Kumar, U. D., Knezevic, J., & Crocker, J. (1999). Maintenance free operating period—an alternative measure to MTBF and failure rate for specifying reliability?. *Reliability Engineering & System Safety*, 64(1), 127-131.**
- XXV. Victorino, I. R. D. S., & Maciel Filho, R. (2006). Application of Genetic Algorithms to the Optimization of an Industrial Reactor. *IFAC Proceedings Volumes*, 39(2), 857-862.**
- XXVI. Flintsch, G. W., & Chen, C. (2004). Soft computing applications in infrastructure management. *Journal of Infrastructure Systems*, 10(4), 157-166.**
- XXVII. Abbas, M., & Shafiee, M. (2020). An overview of maintenance management strategies for corroded steel structures in extreme marine environments. *Marine Structures*, 71, 102718.**
- XXVIII. Zhao, B., Chen, S., Wang, Y. X., & Li, J. H. (2018). Maintenance decision methodology of petrochemical plant based on fuzzy curvelet neural network. *Applied Soft Computing*, 69, 203-212.**
- XXIX. Lo, H. W., Liou, J. J., Huang, C. N., Chuang, Y. C., & Tzeng, G. H. (2020). A new soft computing approach for analyzing the influential relationships of critical infrastructures. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 28, 100336.**

