



Progettazione e prototipazione di un sistema di telemanutenzione intelligente per impianti tecnici: Integrazione della tecnologia blockchain nell' analisi predittiva

Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

Candidato
Massimiliano Iannucci
Matricola 1654934

Relatore
Prof. Lorenzo Fedele

Anno Accademico 2019/2020

Progettazione e prototipazione di un sistema di telemanutenzione intelligente per impianti tecnici: Integrazione della tecnologia blockchain nell' analisi predittiva
Tesi di Laurea Magistrale. Sapienza – Università di Roma

© 2020 Massimiliano Iannucci. Tutti i diritti riservati

Questa tesi è stata composta con L^AT_EX e la classe Sapthesis.

Versione: 11 marzo 2020

Email dell'autore: iannucci.massimilano1@gmail.com

Indice

1 Premessa	1
1.1 La manutenzione predittiva applicata: un nuovo potente strumento	5
2 Stato dell'arte sui sistemi di telemanutenzione	7
2.1 Necessità, vantaggi ed obiettivi della telemanutenzione predittiva oggi	7
2.1.1 Esempi presi dalla letteratura scientifica	8
“A Scalable Predictive Maintenance Model for Detecting Wind Turbine Component Failures Based on SCADA” di: Lorenzo Gigoni, Alessandro Betti, Mauro Tucci, Emanuele Crisostomi. Pubblicato il 22/10/2019	8
“Predictive Maintenance for Sewer Systems using Machine Learning” di: A. Shanti Bruyn. Pubblicato il 20/09/2018	8
“Risk-Oriented Product Assembly System Health Modeling and Predictive Maintenance Strategy” di: Fengdi Liu, Yihai He, Yixiao Zhao, Anqi Zhang and Di Zhou. Pubblicato il 09/05/2019	9
“Complexity-based methodology for Fault Diagnosis: application on a centrifugal machine” di: S. M. Zanoli, G. Astolfi, J. Marczyk. Pubblicato il 22/06/2012	10

“Predictive Maintenance of Power Substation Equipment by Infrared Thermography Using a Machine-Learning Approach” di: Irfan Ul-lah, Fan Yang, Rehanullah Khan, Ling Liu, Haisheng Yang, Bing Gao e Kai Sun. Pubblicato il 1/12/2017	11
“Remote Condition Monitoring of Elevator’s Vibra-tion and Acoustics Parameters for Optimised Maintenance Using IoT Technology” di: Isaac O. Olalere, Mendon Dewa e Bakhe Nleya. Pubblicato nel 2018	12
“Decision fusion system for fault diagnosis of elevator traction machine” di: Gang Niu, Sun-Soon Lee, Bo-Suk Yang e Soo-Jong Lee. Pubblicato il 12/06/2007	13
2.1.2 Sistemi proprietari già sul mercato	15
MAX	15
KONE 24/7	15
Otis ONE	16
Schindler Ahead	16
2.2 Il Machine Learning nella telemanutenzione predittiva	17
2.2.1 Apprendimento supervisionato	17
Classificazione	18
Regressione	19
2.2.2 Apprendimento non supervisionato	20
Clustering	20
Riduzione della dimensionalità dei dati	21
2.2.3 Algoritmi utilizzati negli esempi presi in letteratura	21
Artificial Neural Network (ANN)	21
Random forest	22
Supported Vector Machine (SVM)	23
Extreme Gradient Boost (XGB)	24
Recurrent Neural Network (RNN)	24
Autoencoder	25
2.2.4 Casi di studio selezionati dalla letteratura scientifica	26

“Fault Detection of Elevator System Using Profile extraction and Deep Autoencoder Feature Extraction for Acceleration and Magnetic Signals” di: Krishna Mohan Mishra, Tomi R. Krogerus e Kalevi J. Huhtala. Pubblicato nel 2019	27
“Predictive Maintenance of Machine Tool Systems Using Artificial Intelligence Techniques Applied to Machine Condition Data” di: Wo Jae Lee, Haiyue Wu, Huitaek Yun, Hanjun Kim, Martin B.G. Jun e John W. Sutherland. Pubblicato nel 2019	29
“Predictive Maintenance for Sewer Systems using Machine Learning” di: A. Shanti Bruyn. Pubblicato il 20/09/2018	35
2.3 Hardware & Software utilizzati o proposti per la telemanutenzione predittiva	41
2.3.1 Esempi presi dalla letteratura scientifica	42
“User-centered Design and Evaluation of an Integrated AR-VR System for Tele-Maintenance” di: Michael Kleiber, Thomas Alexander, Carsten Winkelhol e Christopher M. Schlick “Evaluation of a Mobile AR Tele-Maintenance System” di: Michael Kleiber e Thomas Alexander. Pubblicati nel 2012 e 2011	42
“Design of Elevator Monitoring and Alarm System Based on WiMAX” di: Hong Jiang, Yongfang Shi e Lei Qi. Pubblicato nel 2015	43
2.3.2 Sistemi proprietari già sul mercato	45
BlueEye by RedZinc	45
Predictive Maintenance Platform by T-Systems	46
MAX by thyssenkrupp, Schindler Ahead by Schindler, Otis ONE by OTIS, KONE 24/7 by KONE	46
3 Il sistema di telemanutenzione intelligente GrAMS 2009	49
3.1 Struttura generale del GrAMS 2009	49
3.1.1 Catena di misurazione dei dati	50
3.1.2 Analisi dei dati	50

3.1.3	Il GrAMS 2009 per gli impianti ascensori	51
3.1.4	Descrizione della rete neurale	54
Input della rete	54	
Output della rete	55	
Training della rete	56	
3.1.5	Diagramma logico e output definitivi	57
3.2	Vantaggi del sistema GrAMS 2009	58
3.3	Svantaggi del sistema GrAMS 2009	59
3.4	Considerazioni sullo sviluppo del sistema GrAMS 2020 . . .	60
4	Descrizione degli impianti ascensore	63
4.1	Novità introdotte con il D.P.R. 23/2017	64
4.2	Ascensori a frizione	66
4.3	Ascensori MRL	70
4.4	Ascensori oleodinamici	71
5	GrAMS 2020: Hardware	75
5.1	Diagrammi ad albero degli impianti	76
5.2	Failure Mode and Effect Analysis per gli impianti ascensore	79
5.3	Interventi manutentivi secondo normativa	84
5.3.1	Ascensori elettrici	84
5.3.2	Ascensori idraulici	85
5.4	Dati statistici su rotture e incidenti	86
5.4.1	An implementation of risk-based inspection for elevator maintenance. Di: Seung-Tae Park and Bo-Suk Yang. Pubblicato il: 18/09/2010	88
5.4.2	Trading service quality for safety: a cautionary tale from the French ‘Robien law’ on elevator safety. Di: Lisa Chever e Michael Klien. Pubblicato il: 29/11/2017	90
5.5	Fault Tree Analysis per le principali cause di incidente	92
5.6	Scelta dei parametri e dei relativi sensori per la progettazione preliminare del GrAMS 2020	95
5.7	Scelta dell’architettura necessaria per l’installazione dei sensori	98
5.7.1	La G.DAB: cos’è e quali componenti troviamo al suo interno	98
6	GrAMS 2020: Software	101
6.1	Acquisizione dei dati	102

6.1.1	Progettazione delle funzionalità base del software di acquisizione dati	103
6.1.2	La soluzione proposta: Raspbian e LabVIEW	105
6.1.3	Ipotesi sul filtraggio e selezione dei dati	111
6.2	Trasmissione dei dati	113
6.2.1	Soluzioni per lo storage di dati	114
6.2.2	Campagna raccolta dati	115
6.3	Analisi dei dati	117
6.3.1	Pre-processing e mining dei dati	117
6.3.2	Soluzioni e scelte relative all'algoritmo di reti neurali artificiali	119
6.4	Interfaccia del GrAMS 2020	121
7	Prototipazione e sviluppi futuri	125
7.1	Il prototipo G.DAB per la sperimentazione	125
7.2	Analisi dell'affidabilità della G.DAB e piani correttivi durante la commercializzazione	128
7.3	Tecnologie emergenti	130
7.3.1	Sensore di misurazione dello stress dei fili di acciaio basato sulla magnetizzazione statica dei magneti permanenti	130
7.3.2	Assistente virtuale in cabina (AI di bordo)	132
7.3.3	Block chain	132
7.3.4	Controllo del traffico dell'impianto – ottimizzazione del percorso	133
7.4	Nuovi ambiti applicativi	134
7.5	Impatto sociale	134
7.6	Business model per la soluzione commerciale	136
8	La tecnologia blockchain: come può sostenere e migliorare l'analisi predittiva	143
8.1	Cosa si intende per blockchain	143
8.2	Il legame con l'analisi predittiva	146
8.3	Blockchain privata o pubblica?	147
8.3.1	Rete pubblica	147
8.3.2	Rete privata/federata	147
8.4	Vantaggi e svantaggi rispetto alle soluzioni tradizionali	151
8.4.1	Blockchain privata vs database classico	151

8.4.2	Validità nel contesto economico	153
8.4.3	Svantaggi	154
8.5	Applicazione al GrAMS 2020	155
8.5.1	Blockchain as a Service	155
8.5.2	Amazon Managed Blockchain	156
8.5.3	Partecipanti e struttura della rete	158
8.5.4	Costi	160
8.5.5	Conclusioni	161

Capitolo 1

Premessa

Il presente lavoro di tesi ha come obiettivo l'applicazione in ambito civile e industriale di un moderno tipo di manutenzione per gli impianti elevatori, basato sulla **manutenzione predittiva e la telemantenzione**, definita come: "Per Telemantenzione si intende una manutenzione in cui almeno una delle azioni volte a mantenere o riportare il bene in uno stato in cui può eseguire la funzione richiesta è svolta per via telematica". [1]

Dalla norma UNI 13306:2018 si prendono le seguenti definizioni:

- **Manutenzione predittiva:** "Manutenzione su condizione eseguita in seguito a una previsione derivata dall'analisi ripetuta o da caratteristiche note e dalla valutazione dei parametri significativi afferenti il degrado dell'entità"
- **Manutenzione preventiva:** "Manutenzione eseguita, destinata a valutare e/o mitigare il degrado e a ridurre la probabilità di guasto di un'entità"
- **Manutenzione a guasto o correttiva:** "Manutenzione eseguita a seguito della rilevazione di un'avaria e volta a riportare un'entità in uno stato in cui essa possa eseguire una funzione richiesta"

La manutenzione predittiva è una sottoclasse di quella preventiva, insieme ai metodi più tradizionali di manutenzione: ciclica e secondo condizione. L'altra grande divisione per la manutenzione d'impianto avviene tra l'ordinaria e la straordinaria; mentre la prima comprende le tipologie già citate in precedenza, con l'aggiunta della manutenzione migliorativa, definita

come l'insieme delle azioni di miglioramento o piccola modifica che non incrementano il valore patrimoniale del bene [2], la seconda comprende tutte le restanti azioni manutentive quali ad esempio le revisioni, che in genere aumentano il valore dei sistemi e/o ne prolungano la longevità. [3]

Si rimanda alla figura 1.1 per uno schema delle tipologie di manutenzione.

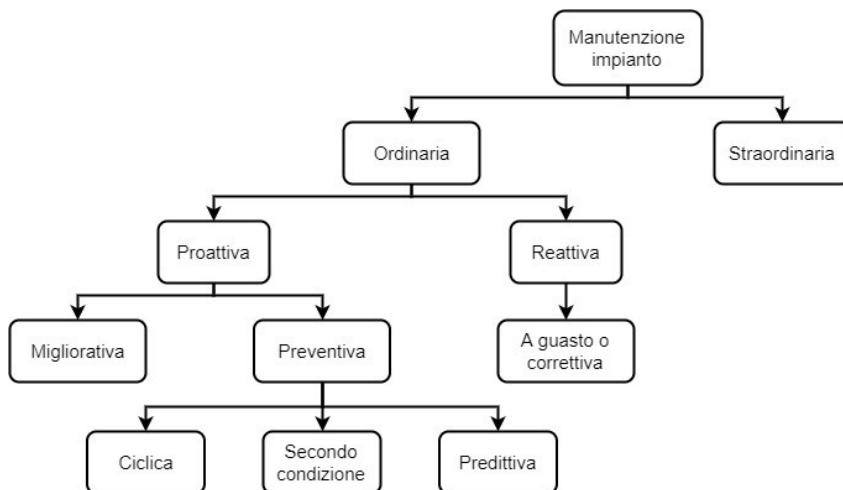


Figura 1.1. Tipologie di manutenzione

Le tipologie di manutenzione prese in considerazione in questo lavoro di tesi si fondano sull'utilizzo di tecnologie relativamente recenti quali il machine learning, il data streaming e il cloud computing. Questi sono campi in rapido sviluppo che vengono applicati nei sistemi per l'industria basati sull'Internet delle Cose (Internet of Things - IoT), rientranti nella più ampia categoria di intendere l'industria nota come Industria 4.0 – I4.0.

Il termine Industria 4.0 è stato introdotto pubblicamente nel 2011 alla Hannover Messe e sviluppato negli anni seguenti fino ad arrivare ad una definizione di 4 principi di progettazione per aiutare le aziende nella loro transizione verso l'implementazione di sistemi appartenenti all'I4.0 [4]:

- **Interconnessione:** intesa come la capacità di macchine, apparecchiature, sensori e persone di essere connesse e di comunicare tra loro attraverso l'IoT
- **Trasparenza d'informazione:** intesa come la disponibilità per gli operatori di vaste quantità d'informazioni necessarie ad elaborare le corrette decisioni da intraprendere nello svolgimento dei propri compiti

- **Assistenza tecnica:** intesa sia come la capacità di supporto dei sistemi alle persone attraverso l'aggregazione e visualizzazione semplificata di informazioni complete, sia come l'abilità dei sistemi cyber-fisici ad aiutare materialmente le persone in quei compiti che sono per loro natura troppo stanchi o non sicuri per gli operatori
- **Decisioni decentralizzate:** intese come la capacità dei sistemi cyber-fisici a prendere decisioni in maniera autonoma per quanto possibile, e a richiedere l'intervento da parte di operatori solamente in casi d'eccezione

Il machine learning, coniato formalmente come termine nel 1959, è quell'ambito di studio scientifico di algoritmi e modelli statistici che vengono implementati nei computer per permettere loro lo svolgimento di alcune azioni senza richiedere input esterni da un operatore. Una definizione formale del machine learning data da Tom Michael Mitchell, e frequentemente citata in letteratura scientifica recita: "A computer program is said to learn from experience E with respect to some class of tasks T and performance measure P if its performance at tasks in T, as measured by P, improves with experience E" [5], che come si può notare è una definizione principalmente operativa, ma comunque utile ed esplicativa per l'utilizzo che se ne andrà a fare in questo documento. Il machine learning viene indicato generalmente come una branca dell'Intelligenza Artificiale – AI, intesa come lo studio di tutte quelle apparecchiature che attraverso la percezione dell'ambiente circostante, intraprendono azioni con lo scopo di massimizzare la probabilità di successo per lo svolgimento dei propri compiti. [6]

I termini data streaming e cloud computing si riferiscono a dei servizi digitali, solitamente forniti da aziende specifiche, che permettono rispettivamente di inviare o ricevere flussi di dati attraverso internet, dando così all'utente la capacità di lettura dei dati in maniera progressiva e graduale (al contrario invece di quanto accadeva con la trasmissione in batch); e di immagazzinare, processare ed elaborare i suddetti dati su piattaforme cloud, o data center, accessibili attraverso la rete, permettendo alle aziende clienti di diminuire al minimo la propria infrastruttura hardware IT e tagliando così i relativi costi.

Il presente lavoro di tesi quindi si propone di applicare gli strumenti sopra descritti per proporre una soluzione in ambito industriale, concentrata

sugli impianti ascensori, per fornire un nuovo metodo di realizzare la manutenzione, basata su tecniche predittive e telematiche, volto a sostituire la manutenzione di tipo classico applicata generalmente per questo genere di impianti. L'implementazione della soluzione proposta prevede benefici a livello di sicurezza, di costi, di gestione e di immagine.

Lo scritto verrà suddiviso nelle parti di:

1. Analisi dello stato dell'arte
2. Analisi del sistema originale GrAMS 2009 da cui deriva questo lavoro
3. Descrizione e analisi degli impianti elevatori con riferimenti alla normativa vigente
4. Progettazione del nuovo sistema GrAMS 2020 dal punto di vista hardware tramite l'analisi dell'impianto e dei modi di guasto, degli interventi obbligatori e consigliati da normativa, delle statistiche mondiali sulle tipologie di incidente e dei relativi diagrammi ad albero
5. Progettazione del sistema GrAMS 2020 dal punto di vista software tramite l'analisi dei programmi proposti da utilizzare nelle diverse fasi della catena di misura ed elaborazione dei dati
6. Proposta di un sistema GrAMS 2020 specifico per gli impianti ascensori idraulici tramite l'analisi dei parametri e dei sensori addizionali da prendere come riferimento
7. Descrizione del prototipo da realizzare con il patrocinio dell'Università, sviluppi futuri del sistema
8. Ringraziamenti e conclusioni

Prima di passare quindi al corpo centrale di questo progetto di tesi, di seguito si riporta un excursus su cosa sia e come funziona effettivamente la manutenzione predittiva, scopo e strumento chiave dell'intero progetto.

1.1 La manutenzione predittiva applicata: un nuovo potente strumento

La manutenzione predittiva nasce nel 1993 ma solo da pochi anni si è concretizzata in una soluzione appetibile, grazie al miglioramento e alla nascita di nuove tecnologie.

Essa si basa sul concetto di riuscire, in qualche modo, a prevedere una criticità dell'impianto, che sia un guasto o in generale un evento che si vorrebbe evitare, sia per i relativi costi che ne conseguono, che per altre conseguenze negative.

Si deve dunque riuscire ad identificare un certo trend comportamentale del fenomeno fisico dell'impianto da manutenere, così che in presenza di scostamenti dal suddetto trend, è possibile identificare il momento antecedente all'anomalia da evitare.

Questo permette di intervenire tempestivamente, ma soprattutto al bisogno, permettendo di sfruttare sempre al massimo, teoricamente, ogni componente dell'impianto, sostituendolo solo quando necessario.

Per fare manutenzione predittiva è necessario comprendere a pieno il fenomeno fisico che porta al guasto, riuscendo a pesare con cura l'influenza che hanno i parametri in gioco, nel designare lo stato di salute dell'impianto. In altri termini, è fondamentale distinguere delle cause prime che prendono parte all'indebolimento di un sistema, correlandole e studiandone l'influenza reciproca. Questo permetterà di capire e quindi predire l'avvenimento di un'anomalia. Ma in che modo è possibile tutto ciò?

Per comprendere il comportamento di un sistema, è necessario disporre di una rappresentazione digitale del fenomeno fisico, dunque bisogna raccogliere una più o meno grande quantità di dati.

Questi devono essere rappresentativi delle grandezze in gioco, dunque entra in gioco una vasta gamma di sensori; dai comuni accelerometri, microfoni, fino a strumenti più particolari come le telecamere termiche. **Dati** raccolti da tali **sensori**, permettono di identificare un certo trend comportamentale dell'impianto.

Questo compito viene svolto dall'**intelligenza artificiale**. Algoritmi automa-

tici, apprendono la correlazione tra eventi di guasto e parametri in input interpolando i suddetti dati, così facendo sarà possibile predire un certo output, che spesso coincide con lo stato di salute dell'impianto o, equivalentemente l'avvento di una situazione di pericolo.

Tutti questi contenuti, sono sorretti dal concetto più in voga in quella che viene detta “la quarta rivoluzione industriale”: l’Internet of Things (IoT).

Per **IoT** s'intende la digitalizzazione degli asset fisici e la loro possibile interconnessione. Virtualizzando gli oggetti che prendono parte in un processo è possibile disporre di un modello del processo stesso. Questo permette di raccogliere una grande varietà di dati digitali, rendendone dunque possibile l’analisi con strumenti informatici potenti come gli algoritmi di intelligenza artificiale.

Il termine è stato introdotto per la prima volta nel 1999 dal ricercatore presso il MIT Kevin Ashton, come titolo di una sua presentazione mentre lavorava presso Procter & Gamble [7], ma non possiede al giorno d’oggi una definizione univoca a livello internazionale, in quanto gli ambiti per la sua applicazione sono vari e differenti tra loro. Si è deciso comunque di riportare una descrizione standard data dall’Institute of Electrical and Electronics Engineers - IEEE in un report del 2014: “A network of items - each embedded with sensors - which are connected to the Internet”. Dal documento riportante la citazione precedente la IEEE descrive inoltre l’IoT come un sistema dove una singola “cosa” è individuata usando un unico identificatore globale e la quale si può controllare da qualsiasi posizione e in qualsiasi momento. [8]

L'avvento e lo sviluppo di queste tecnologie insieme, ha permesso quindi di disporre di una base solida per rivoluzionare il mondo industriale e la manutenzione predittiva è solo un esempio delle possibili applicazioni future.

Capitolo 2

Stato dell'arte sui sistemi di telemanutenzione

In questo capitolo si cercherà di presentare quello che appare essere lo stato dell'arte per la telemanutenzione predittiva o meno, partendo quindi dall'analisi delle pubblicazioni scientifiche raccolte e dei sistemi già sul mercato, e successivamente si vuole esporre un pensiero critico sugli stessi, in visione dell'elaborato che si vuole proporre.

2.1 Necessità, vantaggi ed obiettivi della telemanutenzione predittiva oggi

Analizzando la letteratura scientifica e le soluzioni industriali presenti, si è osservata una tendenza a far evolvere i sistemi di manutenzione, sfruttando i numerosi dati che la moderna sensoristica può raccogliere, al fine di analizzarli per generare un sistema in grado di predire gli interventi di manutenzione. Le soluzioni analizzate successivamente hanno come obiettivi l'aumento della sicurezza, l'economia di gestione, la garanzia di disponibilità del servizio e il miglioramento della gestione dei piani manutentivi, obiettivi intrinseci nella nuova tipologia di manutenzione proposta.

2.1.1 Esempi presi dalla letteratura scientifica

Di seguito si riportano alcuni degli articoli scientifici pubblicati al riguardo, scelti in base alla pertinenza con l'obiettivo di tesi, e all'interno di questi è inoltre brevemente descritta l'utilità degli stessi per questo progetto di tesi.

"A Scalable Predictive Maintenance Model for Detecting Wind Turbine Component Failures Based on SCADA" di: Lorenzo Gigoni, Alessandro Betti, Mauro Tucci, Emanuele Crisostomi. Pubblicato il 22/10/2019

L'obiettivo dell'articolo è quello di eseguire una manutenzione predittiva su turbine eoliche, per abbattere gli elevati costi legati alle attuali tecniche di prevenzione, che si basano sul calcolo della vita residua e non sono particolarmente affidabili.

L'analisi non viene effettuata su tutta la turbina ma si focalizza su tre componenti più delicati quali: cambio, cuscinetto del generatore e cuscinetto principale.

La raccolta dati viene sviluppata su di un parco di 150 turbine eoliche distribuite tra siti in Italia e Romania. I dati utilizzati sono sia quelli storici per la fase di training and testing, che dati live per la validazione finale.

Il risultato è un sistema che riesce ad identificare più del 90% dei guasti con un preavviso di 1-2 mesi permettendo una miglior organizzazione della manutenzione e un costo totale minore. Questo risultato positivo è legato all'ampia campagna di raccolta dati effettuata, concausa di un ampio orizzonte temporale e di un elevato quantitativo di impianti presi in esame.

"Predictive Maintenance for Sewer Systems using Machine Learning" di: A. Shanti Bruyn. Pubblicato il 20/09/2018

Sistema di manutenzione preventiva con obiettivo abbattimento dei costi relativi alla gestione del sistema fognario che gravano sui vari comuni. In particolare si basa sulle criticità delle stazioni di pompaggio.

I dati sono raccolti nel comune di Utrecht, che ha predisposto una campagna di raccolta dati dal 2006, vengono utilizzati però i dati dal primo aprile 2013 al 31 dicembre 2017. Questo database fa riferimento a 40 bacini, per un totale di 525 stazioni di pompaggio e un ammontare totale di dati per 380 milioni di misurazioni.

Parametri sotto controllo sono: Portata, livello delle acque sotterranee, preci-

pitazioni, torbidità, pressione, temperatura e vari livelli di riferimento delle acque. Utilizzati per predire i 75 difetti individuati.

La ricerca pone l'attenzione sui 7 difetti più significativi che causano lo stop della stazione di pompaggio: nessuna pompa disponibile, sicurezza termica, difetto di misurazione della velocità, allarme navetta, allarme servosterzo, apertura tubazioni e pompa ferma, chiusura tubazione e pompa in funzione. Inoltre, dei parametri sotto controllo solo 2 sono quelli presi in considerazione per motivi di errori durante il monitoraggio di tali parametri. Tali ipotesi mettono in luce la grande attenzione che si deve porre all'acquisizione dei dati e all'analisi dei database già disponibili per non incorrere in errori durante la fase di training. La quantità dei dati in possesso e la qualità dei dati assumono la stessa importanza per la riuscita di un buon sistema di manutenzione predittiva.

Il risultato è un sistema in grado di predire difetti nel sistema fognario con un anticipo di tre giorni, e proporre l'eventuale installazione di nuovi sensori per raccogliere dati attualmente non considerati.

“Risk-Oriented Product Assembly System Health Modeling and Predictive Maintenance Strategy” di: Fengdi Liu, Yihai He, Yixiao Zhao, Anqi Zhang and Di Zhou. Pubblicato il 09/05/2019

Questo studio analizza lo stato di salute dei sistemi di assemblaggio e prende decisioni in base al rischio della salute del sistema (2.1). Si basa sull'utilizzo del risk management per valutare tale rischio. Il risk management è l'insieme di attività, metodologie e risorse coordinate per guidare e tenere sotto controllo un'organizzazione con riferimento ai rischi. Dove per rischio si intende l'insieme della possibilità di un evento e delle sue conseguenze sugli obiettivi. [9]

La complessità di gestione dei parametri di un sistema di assemblaggio viene semplificata tramite l'uso del risk management. Obiettivo è ottenerne un valore di soglia che identifica il rischio per il sistema di lavorare in condizioni non ottimali. Il fine ultimo è quello di abbattere i costi totali, utilizzando il suddetto valore di soglia come output di un algoritmo di machine learning.

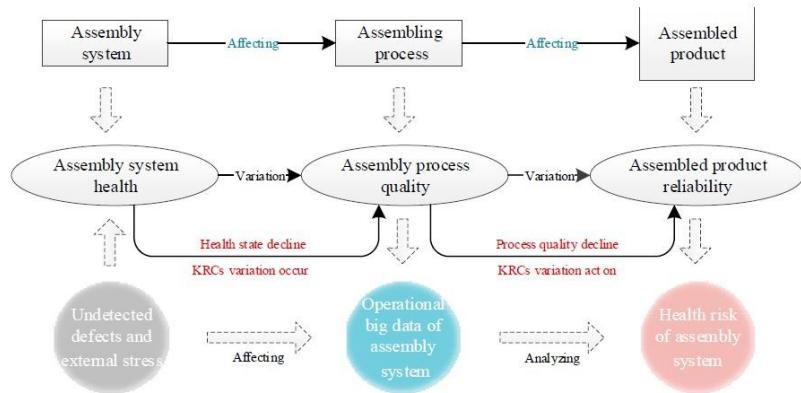


Figura 2.1. Meccanismo di formazione del rischio per la salute del sistema

Si utilizza questo approccio per la semplificazione dell'analisi dei parametri che caratterizzano un sistema, mediante l'uso di un parametro unico che ha il compito di descriverne lo stato di salute. Il machine learning permette di valutare questo parametro in ottica predittiva, permettendo una miglior programmazione della manutenzione e abbassando il tempo di inattività causa guasto dell'impianto.

Il modello proposto può far risparmiare il 37,40% del costo totale rispetto al metodo del rischio tradizionale come soglia di manutenzione, nel caso di un impianto assemblaggio di motori per autoveicoli.

"Complexity-based methodology for Fault Diagnosis: application on a centrifugal machine" di: S. M. Zanolí, G. Astolfi, J. Marczyk. Pubblicato il 22/06/2012

L'articolo sviluppa un sistema in grado di intercettare in anticipo i guasti relativi ad un compressore centrifugo. I compressori centrifughi sono apparati complessi per i quali entrano in gioco un'alta quantità di parametri che caratterizzano il sistema. Utilizzando il criterio della complessità di un sistema, misurata tramite Ontonix, si è creato un sistema di manutenzione predittiva su dei compressori centrifughi.

Particolarità di questa ricerca è proprio quella di valutare un parametro nuovo come la complessità ed utilizzarlo come valore soglia oltre il quale posso incorrere in un fermo dell'impianto. La complessità diventa il parametro da tenere sotto osservazione poiché dipende da tutte le altre variabili che caratterizzano il sistema in esame.

L'analisi di questo parametro viene svolta dal sistema creato dalla Ontonix, che consiste in una scatola nera i cui input sono le misure delle caratteristiche principali del compressore (temperatura, pressione, velocità, umidità, etc.) e l'output rappresenta il valore di complessità.

Un sistema di questo genere permette di valutare il corretto funzionamento dei compressori determinando se il parametro complessità rientri all'interno dei limiti prefissati, semplificando la manutenzione del compressore stesso.

"Predictive Maintenance of Power Substation Equipment by Infrared Thermography Using a Machine-Learning Approach" di: Irfan Ullah, Fan Yang, Rehanullah Khan, Ling Liu, Haisheng Yang, Bing Gao e Kai Sun. Pubblicato il 1/12/2017

L'analisi delle condizioni di salute di un impianto può essere svolta utilizzando metodi non invasivi, in tutti quei casi in cui: la presenza dei sensori può essere un ostacolo al funzionamento dell'apparato, dove non c'è spazio per installare la sensoristica e in tutte quelle zone dove per sicurezza non vi si può accedere. Un caso in cui una soluzione non invasiva trova la sua applicazione è quello dell'analisi immagini di una telecamera termica, per evidenziare l'aumento di temperatura nelle sottostazioni elettriche.

Tramite un algoritmo basato sull'analisi di immagini si vogliono evitare interruzioni del servizio elettrico, per garantire un servizio continuo e la sicurezza per i tecnici che dovranno monitorare l'impianto.

La raccolta dati è una raccolta non invasiva che si limita a controllare le variazioni termiche per individuare i punti critici della stazione. Si è utilizzato un totale di 150 immagini termiche di diverse apparecchiature elettriche, in 10 differenti sottostazioni, in condizioni operative variabili, utilizzando 300 diversi hotspot. Un esempio della tipologia di immagine analizzata è riportato in Figura 2.2.

Si riesce ad ottenere in questo modo un'accuratezza del 83%, la quale può essere migliorata tramite l'utilizzo di algoritmi di deep learning.

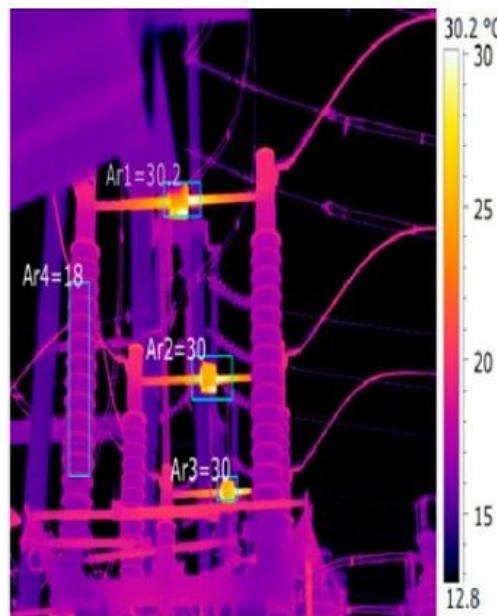


Figura 2.2. Immagine termica di esempio con possibili difetti previsti

"Remote Condition Monitoring of Elevator's Vibration and Acoustics Parameters for Optimised Maintenance Using IoT Technology" di: Isaac O. Olalere, Mendon Dewa e Bakhe Nleya. Pubblicato nel 2018

L'articolo presenta un sistema che monitora da remoto le vibrazioni e i segnali acustici per ottimizzare la manutenzione tramite la tecnologia IoT. Il metodo utilizzato è uno tra i più comuni per rilevare guasti mediante analisi delle vibrazioni, comporta il confronto dei diversi segnali del sistema in esame con lo stesso perfettamente in salute. Tale confronto è supportato dall'analisi dei segnali acustici provenienti dai componenti rotanti del sistema, per avere una migliore comprensione dello stato attuale dell'ascensore.

In input vengono dati i parametri che condizionano la vibrazione triassiale di componenti rotanti e l'acustica proveniente dai componenti stessi. Il dispositivo comprende una rete di sensori e microcontrollori che ne analizzano i segnali. Tale dispositivo è installato sull'intero sistema di azionamento dell'ascensore situato sulla cabina e nel vano corsa.

Il sistema è suddiviso in tre layer che vanno dalla raccolta del segnale all'analisi dei dati sul server. Il primo layer è costituito da tre accelerometri 3axial ADXL 345 e da un sensore per la raccolta del suono Sparkfun LMV

324. Il secondo layer è un microcontrollore costituito da un Arduino Yun microcontroller, il cui compito è quello di raccogliere i dati, elaborarli e mandarli nel server. Il terzo layer è un web application server di nome TEMBO.

Dall'analisi dei dati durante il periodo di sperimentazione è stata ricavata la Tabella 2.1 che correla le cause delle rotture con gli effetti che esse causano su vibrazioni e suoni.

Tabella 2.1. Cause effetti vibrazioni e rumore

Cause	Effect (excitation)
Obstruction on the guide rails, worn out rollers or uneven guide rails	x-axis ($\pm 26\text{mg}$); y-axis ($\pm 46\text{mg}$); z-axis ($\pm 34\text{mg}$) & in sound intensity (76dB to 87dB)
Faulty Door Assembly or Blocked door rail	x-axis ($\pm 11\text{mg}$), y-axis ($\pm 5\text{mg}$) & 77dB
Faulty Electronic Component	x-axis ($\pm 22\text{mg}$)
Broken Chain for landing and Cabin door drives	sound intensity (101dB, 107dB, 95dB)

Il monitoraggio di questi parametri e lo sviluppo di un sistema di predizione sulle vibrazioni e sul suono permette sia vantaggi per la sicurezza che una migliore organizzazione della manutenzione ed un vantaggio economico sul lungo periodo.

"Decision fusion system for fault diagnosis of elevator traction machine" di: **Gang Niu, Sun-Soon Lee, Bo-Suk Yang e Soo-Jong Lee.** Pubblicato il 12/06/2007

Partendo dall'analisi di un motore tramite l'utilizzo di sensori, gli autori dell'articolo vogliono sviluppare un sistema di manutenzione predittiva, tramite la fusione di più algoritmi, che miri: ad una maggiore sicurezza, ad una migliore continuità di servizio e un risparmio economico nel processo di manutenzione.

Si analizzano i guasti più frequenti del motore quali: flessione albero, disallineamento del rotore, rottura del cuscinetto, guasti allo statore o al rotore e i guasti elettrici. Tra questi quello con una maggior percentuale di rotture è il cuscinetto.

I sensori installati sul motore sono: tre accelerometri e una sonda per la CA. Gli accelerometri rilevano le vibrazioni orizzontali verticali e assiali, la sonda il segnale di corrente dello statore.

Nella Figura 2.3 sottostante si può osservare il motore sul quale è stata eseguita la sperimentazione.

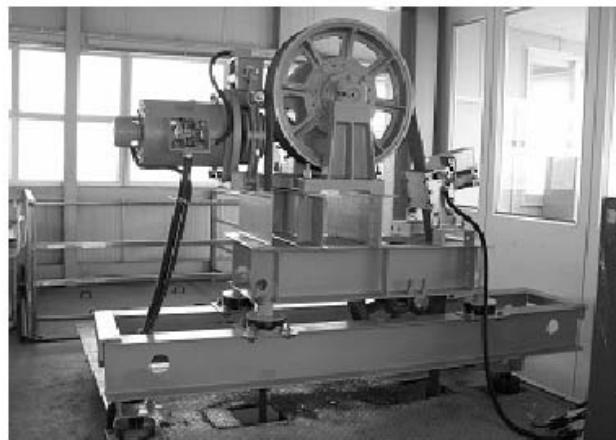


Figura 2.3. Motore elettrico preso come modello

Gli input dell'algoritmo sono riportati in Tabella 2.2 e sono grandezze derivate dai segnali acquisiti.

Tabella 2.2. Grandezze ricavate dai segnali in input

Sig- nals	Position	Values of features of signals		
		Time domain	Frequency do- main	Auto regres- sion
Vibra- tion	Vertical	<ul style="list-style-type: none"> • Mean • RMS • Shape factor • Skewness • Kurtosis • Crest factor • Entropy error • Entropy estimation • Histogram lower • Histogram upper 	<ul style="list-style-type: none"> • Root mean square frequency • Frequency center • Root variance frequency 	<ul style="list-style-type: none"> • AR coefficients ($a_1 \sim a_8$)
	Horizontal			
Cur- rent	Axial			
	Phase A			

Con un totale di 200 casi di guasti, si è proceduto con l'allenamento dell'algoritmo suddiviso in 150 per il training 50 per il testing, ottenendo ottimi risultati sulla capacità predittiva dell'algoritmo che riesce ad intercettare il

98% dei guasti.

2.1.2 Sistemi proprietari già sul mercato

Soluzioni industriali per la telemanutenzione predittiva sono state sviluppate in questi anni principalmente da ThyssenKrupp, KONE, Otis e Schindler, concentrandosi in maggior modo sulla creazione di una piattaforma cloud IoT.

Di seguito verranno esposti i corrispettivi sistemi e i loro benefici (per gli argomenti più tecnici si rimanda al paragrafo successivo), tenendo sempre a mente che sono informazioni tratte dalle pagine web di presentazione delle stesse aziende.

MAX

MAX è la soluzione di thyssenkrupp per massimizzare il tempo di attività degli ascensori. Applicando l'Internet of Things (IoT) alla manutenzione degli ascensori, esperti di thyssenkrupp e Microsoft hanno trascorso due anni sviluppando MAX, un sistema di manutenzione predittiva in tempo reale basato sul cloud. MAX sfrutta la potenza di Microsoft Azure, una piattaforma cloud sviluppata per soluzioni IoT, al fine di creare un servizio che combini: assistenza h24, manutenzione predittiva, supporto ai tecnici, servizi aggiuntivi per i fruitori.

KONE 24/7

KONE ha sviluppato un sistema dove tutto il suo parco ascensori e scale mobili condividono i dati tramite cloud [10]. I dati analizzati sono forniti ai tecnici dell'assistenza, i quali possono identificare i problemi e rifornirsi in anticipo dei componenti corretti da sostituire prima di raggiungere il luogo dell'intervento. Inoltre con l'analisi in tempo reale è possibile prendere decisioni intelligenti e proattive su come risolvere eventuali problemi prima che diventino tali. Oltre a raccogliere e archiviare i dati dalle proprie apparecchiature, KONE utilizza IBM Cloud per creare applicazioni e sviluppare nuove soluzioni.

Questi nuovi servizi fondono una tecnologia all'avanguardia con una com-

prensione delle esigenze dei cittadini per migliorare la fruibilità del servizio nelle case, nei quartieri e nelle città.

Otis ONE

Otis ha presentato la sua piattaforma di servizi IoT "Otis ONE™" al World Elevator Expo, svoltosi a Shanghai nel 2018. Otis ONE è una piattaforma in grado di connettere i diversi ascensori della rete e che permette la personalizzazione dell'esperienza del servizio, attraverso la condivisione trasparente e in tempo reale delle informazioni di stato del sistema.

Otis ONE combina gli oltre 30 anni di esperienza di monitoraggio remoto di Otis con le più recenti tecnologie cloud, di machine learning e IoT per offrire ai clienti, ai passeggeri, e ai team di assistenza Otis, un'esperienza completamente nuova e interconnessa, che offre sia informazioni sulla salute delle apparecchiature in tempo reale, sia indicazioni per la manutenzione predittiva dell'impianto.

Attualmente vengono sfruttati dati di oltre 300.000 unità connesse, e utilizzando Otis ONE Campus View, si può inoltre visualizzare istantaneamente l'intero parco apparecchiature collegato. [11]

Nel prossimo futuro l'azienda prevede anche servizi aggiuntivi all'utilizzatore dell'impianto, come la possibilità di video supporto in cabina nei casi di necessità.

Schindler Ahead

Schindler ha sviluppato un sistema per la mobilità urbana smart che promette un aumento dell'affidabilità e della sicurezza delle proprie apparecchiature. Fornendo una nuova esperienza sia ai passeggeri che ai tecnici.

Per l'interazione dei clienti con l'impianto e la piattaforma, Schindler fornisce la possibilità di installazione di alcune app, le quali possono servire al monitoraggio degli impianti, alla consultazione di documentazione e alla diffusione di notizie. Mentre i servizi per i tecnici, per la sicurezza informatica e fisica dell'impianto, vengono aiutati dalla natura open della piattaforma che permette lo sviluppo di nuove app dedicate.

2.2 Il Machine Learning nella telemanutenzione predittiva

Si riporta brevemente un'introduzione sulla classificazione degli algoritmi per il machine learning. A seguire lo stato dell'arte nell' uso di tali metodologie, riportando esempi trovati in letteratura.

L'elaborazione dei dati avviene attraverso degli algoritmi intelligenti, i quali si differenziano tra loro principalmente nella tipologia di apprendimento, che può essere supervisionato o non supervisionato, le cui definizioni si riportano dal libro di testo **"What You Need to Know about Machine Learning - Gabriel Canepa, 2016 Packt Publishing"**.

2.2.1 Apprendimento supervisionato

Con l'apprendimento supervisionato, la macchina viene addestrata utilizzando una serie di dati etichettati, dove ciascun elemento è composto da determinate coppie input/output. La macchina apprende la relazione tra l'input e il risultato e l'obiettivo è prevedere il comportamento o prendere una decisione sulla base di dati precedentemente forniti.

Ad esempio, possiamo fornire alla macchina i seguenti input per ottenere risultati specifici:

- Un insieme di numeri interi e/o lettere, sui quali addestrare l'algoritmo ai fini di riconoscere un testo scritto
- Immagini di animali con i loro nomi, per poter poi essere in grado di identificare un determinato animale
- Un elenco di film visti da una persona, per consigliare altri titoli inerenti ai gusti personali
- Un certo numero di e-mail ricevute, per distinguere lo spam dai messaggi legittimi
- La cronologia del browser dell'utente, tramite la quale si forniscono siti di suggerimento

Gli algoritmi con apprendimento supervisionato sono applicabili a casi di classificazione e regressione, dunque si vuole spiegarne la differenza:

Classificazione

In ogni esempio sono forniti alla macchina:

- Le variabili descrittive dell'ambiente (x)
- Un'etichetta per indicare il risultato desiderato (y), ossia la classe di appartenenza dell'esempio

È bene sottolineare che del dataset a disposizione, solo una parte viene usato per la fase di allenamento, dato che ne servirà una seconda per determinare le prestazioni dell'algoritmo, che verrà testato e i risultati predetti comparati con i dati reali (fase di test).

Il sistema elabora gli esempi alla ricerca di una regola generale di classificazione detta modello. Una volta costruito il modello, la macchina lo utilizza per classificare le nuove istanze, sulla base delle osservazioni compiute sul training dataset.

Per verificare che l'algoritmo funzioni bene, si può analizzare la matrice di confusione relativi alla fase di test. Per capirne l'utilità è bene introdurre dei parametri, fondamentali per la comprensione di tale argomento.

Questi sono i parametri prestazionali che si utilizzano negli algoritmi di classificazione, di seguito riportati (dove TP/TN= true positive/negative; FP/FN = false positive/negative):

$$\begin{aligned}
 precision &= \frac{TP}{TP + FP} \\
 recall &= \frac{TP}{TP + FN} \\
 F1 &= \frac{2 \times precision \times recall}{precision + recall} \\
 accuracy &= \frac{TP + TN}{TP + FN + TN + FP} \\
 specificity &= \frac{TN}{TN + FP}
 \end{aligned}$$

Si rappresenta dunque la matrice di confusione in Figura 2.4.

		Valori predetti	
		<i>n</i>	<i>p</i>
Valori reali	N	Veri negativi (TN)	Falsi positivi (FP)
	P	Falsi negativi (FN)	Veri positivi (TP)

Figura 2.4. Matrice di confusione

Regressione

Nel machine learning la regressione è una classe di algoritmi che elaborano un dataset, con le seguenti variabili in gioco:

- **Gli attributi (X):** Sono le variabili predittive che descrivono una categoria
- **Il risultato (Y):** È la variabile target che indica alla macchina il risultato corretto se l'istanza appartenesse all'etichetta Z. È il dato che istruisce la macchina a decidere in modo giusto

L'algoritmo deve trovare una relazione tra le variabili X e Y tramite la regressione. I modelli di regressione hanno dunque il compito di approssimare una funzione di mappatura (f) dalle variabili di input (X) a una variabile di output continua (Y).

Ad esempio, si può prevedere che una casa si venga per un range di valori in dollari, compreso tra \$ 100.000 e \$ 200.000. Un problema di regressione richiede la previsione di una quantità reale, continua e ad un algoritmo di regressione possono essere date in input variabili continue o discrete. Un problema con più variabili di input viene spesso chiamato problema di **regressione multivariata**.

Un problema di regressione in cui le variabili di input sono ordinate in base al tempo è chiamato problema di previsione delle **serie temporali**.

Poiché un modello predittivo di regressione deve predire una certa quantità, l'abilità nel farlo correttamente si verifica con l'analisi dell'errore in tali previsioni. Esistono molti modi per stimare l'abilità di un modello predittivo di regressione, ma il più comune è calcolare il **root mean squared error** $\sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}}$, abbreviato dall'acronimo RMSE, il cui beneficio principale è che l'unità di rappresentazione è la stessa del valore predetto.

2.2.2 Apprendimento non supervisionato

Con l'apprendimento non supervisionato, la macchina viene addestrata con dati non etichettati e l'obiettivo è quello di raggruppare elementi in base a caratteristiche o comportamenti simili che li rendono unici. Tali gruppi vengono definiti cluster. Qui non si ottiene un output specifico, infatti l'accuracy dei risultati è data dalle somiglianze nelle feature o dall'affinità del comportamento tra i membri clusterizzati nello stesso gruppo.

Si riporta una variante dei precedenti esempi sull'apprendimento supervisionato. Se si fornisce alla macchina quanto segue:

- Un set di numeri e lettere scritti a mano, l'algoritmo può dividere il set in due parti, lettere e numeri
- Un set di immagini con solo una persona raffigurata, ci si aspetta in output una divisione in base all'etnia, colore di occhi e capelli, etc.
- Un elenco di articoli comprati in uno store online, può essere sfruttato per determinare le preferenze del consumatore e raggrupparle per posizione geografica e/o età

Oltre al clustering, attraverso l'apprendimento non supervisionato è possibile ridurre la dimensionalità del dataset.

A seguire si riportano le descrizioni di tali obiettivi:

Clustering

Il Clustering è una tecnica esplorativa che consente di aggregare all'interno di gruppi (detti cluster) dei dati i quali non abbiamo precedente conoscenza

di appartenenza a gruppi.

Avremo quindi dei grossi dataset dove i dati al loro interno hanno degli elementi simili tra di loro. All'interno di ogni singolo gruppo (o cluster) troveremo quindi quei dati che hanno molte caratteristiche simili tra loro. Il clustering è considerata un'ottima tecnica che permette di scovare relazioni tra i dati.

Riduzione della dimensionalità dei dati

La riduzione della dimensionalità (dimensionality reduction) è una tecnica di mapping dei dati. È una delle operazioni di pre-elaborazione del dataset nell'apprendimento automatico non supervisionato.

È utile nel machine learning per eliminare dal dataset le informazioni ridondanti (correlate), meno o poco rilevanti per il problema da risolvere ed uno dei vantaggi è quello di semplicità di addestramento di un algoritmo con uno spazio dati di dimensione inferiore.

È la soluzione al problema di **curse of dimensionality**, ovvero la dispersione dei pattern in un grande volume di dati.

A causa dell'elevata dimensionalità, i pattern sono dispersi nel dataset come in un oceano di rumore e dati insignificanti. In queste circostanze diventa complesso trovare uno schema. L'algoritmo impiega più tempo (complessità temporale) e più memoria (complessità spaziale).

Un dataset ha una dimensione iniziale R^n e viene ridotto a R^k , dove $k < n$.

2.2.3 Algoritmi utilizzati negli esempi presi in letteratura

Artificial Neural Network (ANN)

Una rete neurale è un sistema distribuito parallelo composto da semplici unità in grado di sintetizzare conoscenza processando l'informazione contenuta nei dati esterni. La rete neurale artificiale (Artificial Neural Network - ANN) è un tipo di intelligenza artificiale (Artificial Intelligence - AI) che simula il comportamento di apprendimento del cervello umano. [12]

Le ANN hanno l'abilità di modellizzare sistemi senza la necessità di dover effettuare assunzioni sul tipo di funzioni da usare. Invece questo accade per la maggior parte approcci statistici tradizionali e, grazie a questa carat-

teristica, tale tecnica di machine learning è stata applicata con successo in numerosi ambiti della scienza e dell'ingegneria. [13]

Tra le numerose possibili classi di ANN, la più ricorrente in letteratura è quella che distingue le reti di tipo feed-forward e quelle di tipo ricorsivo dette anche feedback networks. Al fine della soluzione di problemi di fitting, di approssimazione e ricostruzione si ricorre normalmente all'impiego della prima classe di reti, ovvero quelle di tipo feed-forward. [14]

Tra queste, la struttura di progettazione più diffusa è quella di un grafo i cui nodi (neurons) sono disposti su più livelli (layers) ed interconnessi tra loro in un'unica direzione da uno strato ad un altro. Configurate in questo modo, vengono definite MLP (Multi-layered perceptron network) e presentano uno strato d'ingresso del segnale (input layer), uno o più strati nascosti che processano l'informazione (hidden layers) e un layer di uscita (output layer) che rende fruibile l'informazione processata (risposta al segnale d'ingresso). [15]

Random forest

Una foresta casuale è un classificatore d'insieme ottenuto dall'aggregazione tramite bagging di alberi di decisione [16]. L'algoritmo per la creazione di una foresta casuale fu sviluppato originariamente da Leo Breiman e Adele Cutler. [17]

Il metodo combina l'idea dell'insaccamento (bagging) di Breiman della selezione casuale delle caratteristiche, introdotta indipendentemente da Ho e Amit Geman per costruire una collezione di alberi di decisione.

Il bagging è un metodo ensemble semplice e potente. Un metodo ensemble è una tecnica che combina le previsioni di più algoritmi di apprendimento automatico per fare previsioni più accurate rispetto a qualsiasi singolo modello. Il bagging rappresenta una procedura generale che può essere utilizzata per ridurre la varianza di quegli algoritmi che hanno una varianza elevata, come ad esempio l'algoritmo degli alberi decisionali di classificazione e regressione (decision tree).

Gli alberi decisionali sono sensibili ai dati specifici su cui vengono formati. Se i dati di allenamento vengono modificati (ad es. un albero viene adde-

strato su un sottoinsieme dei dati di addestramento) l'albero decisionale risultante può essere abbastanza diverso e, a loro volta, le previsioni possono essere piuttosto diverse. Il bagging è l'applicazione della procedura Bootstrap a un algoritmo di machine learning ad alta varianza, in genere l'albero decisionale.

Il random forest dunque, combina molti alberi decisionali in un unico modello. Individualmente, le previsioni fatte dagli alberi decisionali potrebbero non essere accurate, ma combinate insieme, le previsioni saranno in media più vicine al risultato.

Il risultato finale restituito dal Random Forest altro non è che la media del risultato numerico restituito dai diversi alberi nel caso di un **problema di regressione**, o la classe restituita dal maggior numero di alberi nel caso la Random Forest sia stata utilizzata per risolvere un **problema di classificazione**. [18]

Supported Vector Machine (SVM)

Una macchina a vettori di supporto costruisce un iperpiano o un insieme di iperpiani in uno spazio a più dimensioni o a infinite dimensioni, il quale può essere usato per classificazione, regressione e altri scopi come il rilevamento delle anomalie.

Intuitivamente una buona separazione si può ottenere dall'iperpiano che ha la distanza maggiore dal punto (del training set) più vicino di ognuna delle classi; in generale maggiore è il margine fra questi punti, minore è l'errore di generalizzazione commesso dal classificatore. Mentre il problema originale può essere definito in uno spazio di finite dimensioni, spesso succede che gli insiemi da distinguere non siano linearmente separabili in quello spazio. Per questo motivo è stato proposto che lo spazio originale di dimensioni finite venisse mappato in uno spazio con un numero di dimensioni maggiore, rendendo presumibilmente più facile trovare una separazione in questo nuovo spazio.

Per mantenere il carico computazionale accettabile, i mapping utilizzati dalle SVM sono fatti in modo tale che i prodotti scalari dei vettori delle copie di punti in input siano calcolati facilmente in termini delle variabili dello

spazio originale, attraverso la loro definizione in termini di una funzione $k(x,y)$ scelta in base al problema da risolvere. Gli iperpiani in uno spazio multidimensionale sono definiti come l'insieme di punti il cui prodotto scalare con un vettore in quello spazio è costante, dove tale insieme di vettori è un insieme ortogonale (e quindi minimale) di vettori che definiscono un iperpiano. I vettori che definiscono gli iperpiani possono essere scelti come combinazioni lineari con parametri α_i delle immagini dei vettori delle feature x_i .

Con tale scelta dell'iperpiano, i punti x nello spazio delle feature che sono mappati nell'iperpiano sono definiti dalla relazione $\sum_i \alpha_i k(x_i, x) = const.$. Si noti che se $k(x,y)$ diventa più piccolo al crescere di y rispetto ad x , ogni termine della somma misura il grado di vicinanza del punto di test x al corrispondente punto di base x_i .

Si noti che l'insieme di punti x mappato in un qualsiasi iperpiano può produrre un risultato piuttosto complicato, permettendo discriminazioni molto più complesse fra insiemi non completamente convessi nello spazio originario. [19]

Extreme Gradient Boost (XGB)

XGB è un'implementazione open source dell'algoritmo degli **alberi di gradient boosting**. Il gradient boosting è a sua volta un algoritmo di apprendimento **supervisionato** che tenta di prevedere con precisione una variabile di destinazione combinando un insieme di stime da un set di modelli più semplici e deboli.

XGBoost si è rivelato un elemento notevole nella competitività che caratterizza il machine learning, poiché è in grado di gestire in modo affidabile una varietà di tipi di dati, relazioni e distribuzioni e un elevato numero di parametri che è possibile modificare e regolare per un'adattabilità migliorata. Questa flessibilità rende XGBoost una scelta affidabile per i problemi di regressione e classificazione (binaria e multiclasse). [20]

Recurrent Neural Network (RNN)

Una rete neurale ricorrente (RNN) è una classe di rete neurale artificiale in cui i valori di uscita di uno strato di un livello superiore vengono utilizzati come ingresso ad uno strato di livello inferiore [21]. Quest'interconnessione

tra strati permette l'utilizzo di uno degli strati come memoria di stato, e consente, fornendo in ingresso una sequenza temporale di valori, di modellarne un comportamento dinamico temporale dipendente dalle informazioni ricevute agli istanti di tempo precedenti. [22]

In Figura 2.5 si mostra una rappresentazione schematica di una rete neurale ricorsiva.

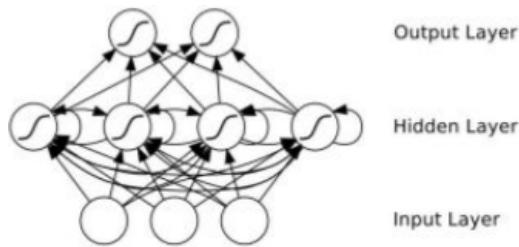


Figura 2.5. Rete neurale ricorsiva

Autoencoder

Gli autoencoder sono reti neurali con lo scopo di generare nuovi dati dappri-
ma comprimendo l'input in uno spazio di variabili latenti e, successivamente,
ricostruendo l'output sulla base delle informazioni acquisite.

Questa tipologia di network è composta da due parti:

1. **Encoder:** la parte della rete che comprime l'input in uno spazio di va-
riabili latenti e che può essere rappresentato dalla funzione di codifica
 $h=f(x)$
2. **Decoder:** la parte che si occupa di ricostruire l'input sulla base delle
informazioni precedentemente raccolte. È rappresentato dalla funzione
di decodifica $r=g(h)$

L'autoencoder nel suo complesso può quindi essere descritto dalla fun-
zione $d(f(x))=r$ dove "r" è quanto più simile all'input originale x.

Quello si spera è che, allenando l'autoencoder a copiare l'input, lo spazio di
variabili latenti h possa assumere delle caratteristiche a noi utili.

Questo può essere ottenuto imponendo dei limiti all'azione di codifica,
costringendo lo spazio h a dimensioni minori di quelle di x. In questo caso
l'autoencoder viene chiamato **undercomplete**.

Allenando lo spazio undercomplete, portiamo l'autoencoder a cogliere le caratteristiche più rilevanti dei dati di allenamento. Se non le si danno sufficienti vincoli, la rete si limita al compito di copiare l'input in output, senza estrapolare alcuna informazione utile sulla distribuzione dei dati.

Ciò può accadere anche quando la dimensione del sottospazio latente ha la stessa grandezza dello spazio di partenza; nel caso di autoencoder **overcomplete**, quando le dimensioni dello spazio di variabili latenti è maggiore degli input.

In questi casi anche con semplici encoder e decoder lineari si possono copiare l'input in output senza imparare nulla del dato.

Idealmente è possibile, quindi, allenare con successo una qualsiasi architettura basata su autoencoder scegliendo opportunamente i parametri e la capacità di ciascun encoder-decoder in base alla complessità del dato da modellare. [23]

In figura Figura 2.6 si mostra schematicamente l'architettura di una rete autoencoder.

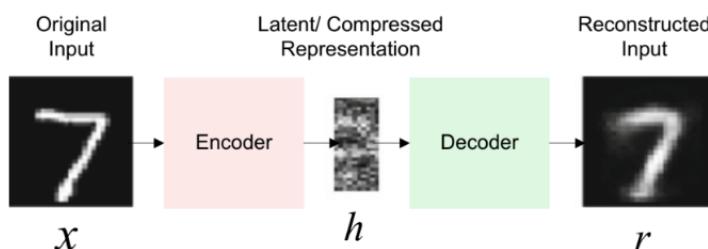


Figura 2.6. Architettura generale di un autoencoder

2.2.4 Casi di studio selezionati dalla letteratura scientifica

A seguito di una ricerca in letteratura, si riportano gli articoli ritenuti più completi nel rappresentare l'utilizzo delle suddette tecnologie ed al tempo più inerenti al tema della manutenzione predittiva.

Si ritiene che tali articoli siano un ottimo riferimento alle applicazioni degli algoritmi di machine learning descritti nel paragrafo precedente, dunque d'ispirazione per lo sviluppo del sistema GrAMS 2020.

“Fault Detection of Elevator System Using Profile extraction and Deep Autoencoder Feature Extraction for Acceleration and Magnetic Signals” di: Krishna Mohan Mishra, Tomi R. Krogerus e Kalevi J. Huhtala. Pubblicato nel 2019

In questo articolo si evidenzia una modalità di estrazione delle feature più importanti a partire da profili di accelerazione, start e stop ottenuti da sensori appositamente collocati su un impianto ascensore. Questo viene fatto tramite una rete neurale autoencoder che prende in input i profili estratti dai segnali magnetici e di accelerazione.

Nel primo stadio, il segnale viene pre-elaborato e normalizzato, seguito da filtraggio tramite un filtro passa-basso per ridurre i picchi di rumore. Questi corrispondono agli eventi di accelerazione e decelerazione (avvio e arresto) dell'ascensore. Successivamente si ottiene il profilo “estratto”, che sarà preso come input dalla rete neurale autoencoder (in Figura 2.7).

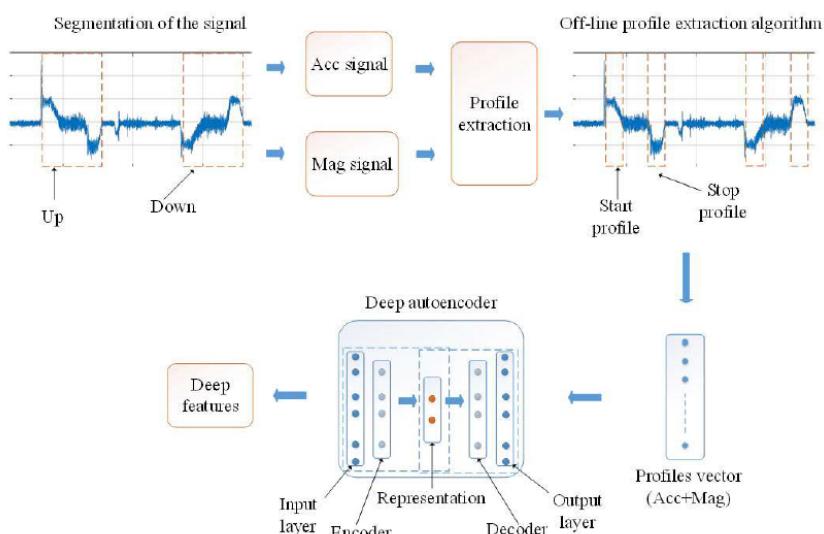


Figura 2.7. Estrazione profilo e features

Questa è composta da 5 strati e viene usata due volte, per il profilo di accelerazione e per la decelerazione, ottenendo le cosiddette “deep feature”. Ad esso vengono dati come input i profili relativi al guasto ed al corretto funzionamento, aspettandoci una separazione delle feature in label “0” e “1”, rispettivamente relativi ad un profilo “sano” e non.

L'encoder trasforma l'input x in un nuovo input x' usando una “hidden representation” $H=f(W_1x'+b)$ attraverso una funzione non lineare Sigmoid

$f(\cdot)$ ove $W_1 \in R^{k \cdot m}$ è la matrice dei pesi e il vettore bias che dovrà essere ottimizzato in codifica con i k nodi nell'“hidden layer”.

Poi con i parametri $W_2 \in R^{k \cdot m}$ e $c \in R^m$ il decoder applica una trasformazione non lineare per rimappare la “hidden representation” H in un vettore ricostruito $x'' = g(W_2 H + c)$ sullo strato di output ove $g(\cdot)$ è nuovamente la funzione non lineare Sigmoid. In questo studio vale la relazione per le matrici dei pesi $W_2 = W_1^T$ per una migliore performance nell'apprendimento.

In sintesi quello che otteniamo è una serie di deep features legate separatamente ai profili sani e non (vedere Figura 2.8 per i profili e Figura 2.9 per la separazione delle deep features).

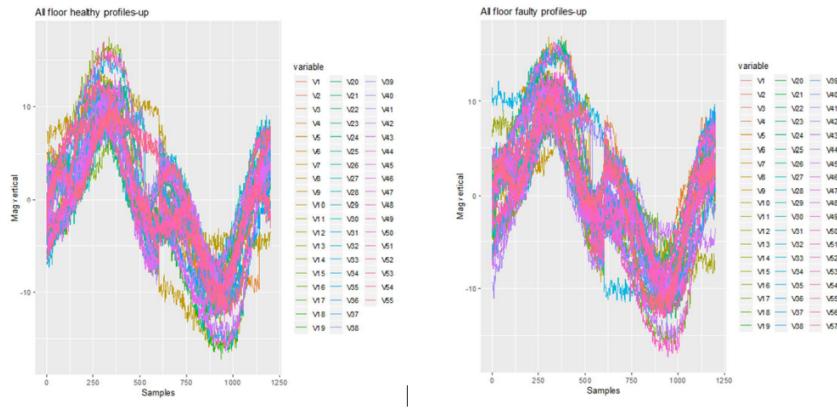


Figura 2.8. Profili di accelerazione e vibrazioni

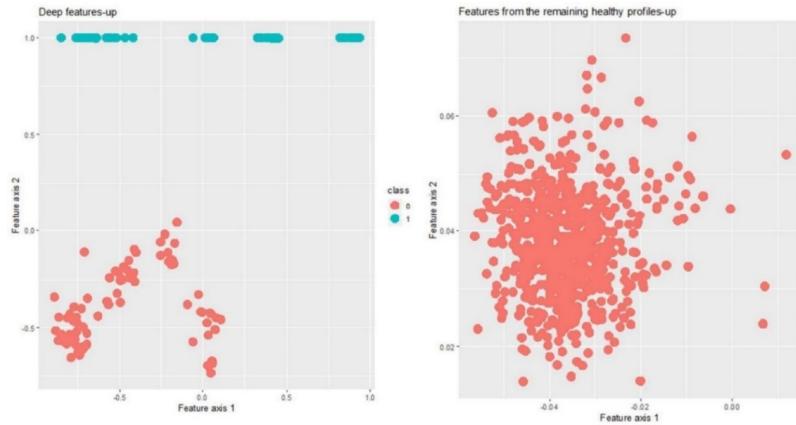


Figura 2.9. Features classificate

Queste poi vengono date in input all'algoritmo **random forest** (supervisionato) per testare l'efficacia del modello in termini dei falsi positivi, cioè della condizione in cui l'algoritmo mette in allerta il sistema, quando nella

realtà dei fatti non vi è pericolo.

Di seguito, in Tabella 2.3 e in Tabella 2.4, sono riportate le due tabelle con i parametri di confronto, relative al movimento di salita e di discesa, rispettivamente.

Tabella 2.3. Valori per valutare il modello in salita

TABLE II
FAULT DETECTION ANALYSIS (FALSE POSITIVES FIELD RELATED TO
ANALYZING REMAINING HEALTHY PROFILES AFTER THE TRAINING AND
TESTING PHASE)

	Deep features	Existing features
Accuracy	0.96	0.55
Sensitivity	0.91	0.33
Specificity	1	0.80
False positives	1	0.48

Tabella 2.4. Valori per valutare il modello in discesa

TABLE III
FAULT DETECTION ANALYSIS

	Deep features	Existing features
Accuracy	0.95	0.78
Sensitivity	0.95	0.60
Specificity	0.96	1
False positives	0.99	0.66

“Predictive Maintenance of Machine Tool Systems Using Artificial Intelligence Techniques Applied to Machine Condition Data” di: Wo Jae Lee, Haiyue Wu, Huitaek Yun, Hanjun Kim, Martin B.G. Jun e John W. Sutherland. Pubblicato nel 2019

L’ obiettivo di questo articolo è quello di trovare un modo per ridurre il downtime delle lavorazioni meccaniche, dovuto a rotture inaspettate degli utensili. In particolare sono stati analizzati due componenti: L’inserto tagliente e il motore del mandrino. I dati dell’utilizzo di tali elementi sono stati elaborati da due algoritmi di intelligenza artificiale, nello specifico: **supported vector machine** e **artificial neural network**, entrambi con apprendimento di tipo supervisionato.

I risultati di tale analisi sono raffigurati nella matrice di confusione degli algoritmi, per mostrare l'accuratezza della predizione e l'errore. In Figura 2.10 si mostra la prospettiva di vita estesa con l'uso della manutenzione predittiva.

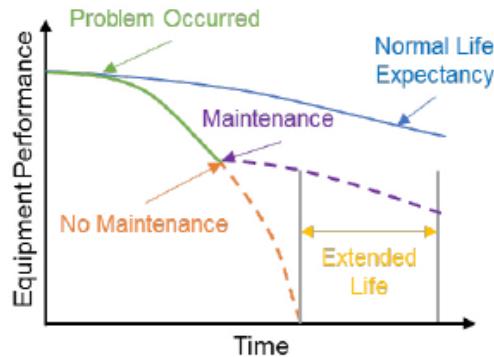


Figura 2.10. Confronto vita utile del componente

In un processo di fresatura, l'utensile ruotando, rimuove materiale da una superficie per ottenere forma e finitura desiderate. Durante la lavorazione il materiale viene deformato plasticamente e l'energia viene spesa nel vincere l'attrito tra l'utensile ed il pezzo.

Questo comporta una graduale usura dell'utensile a causa della produzione di calore e sforzo, dunque la superficie, nel particolare la sua finitura, ne risentirà.

Per assicurare la qualità della lavorazione e dunque della superficie del pezzo, lo stato dell'utensile va monitorato. Un sistema di manutenzione predittiva non può solamente definire il momento in cui bisognerà cambiare l'utensile, bensì deve poterci dirne la vita utile rimanente (RUL – remaining useful life).

Un parametro utile per comprendere lo stato dell'utensile è la lunghezza della parte usurata sulle diverse facce (Figura 2.11).

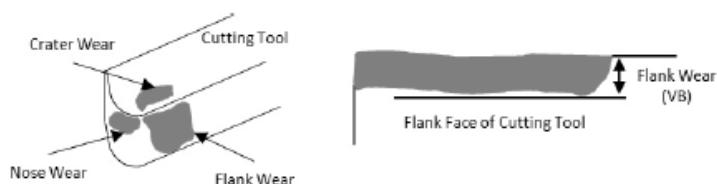


Figura 2.11. Usura dell'inserto

Per quanto riguarda invece il motore del mandrino, è importante capire che essendo un mezzo di trasmissione, vengono continuamente applicate delle forze, le quali gradualmente usurano componenti fondamentali quali: cuscinetti, rotore ed albero.

È intuitivo che cambiare tali parti a seguito di una rottura sia molto dispendioso in termini di costi e tempi, dato che si tratta di operazioni complicate che richiedono la massima attenzione e l'adesione completa a dei protocolli d'intervento.

Tale discorso giustifica ampiamente l'implementazione di un sistema di manutenzione predittiva. Tra i vari possibili problemi, la principale causa di danneggiamento del mandrino è dovuta a difetti dei cuscinetti, dunque l'utilizzo di sensori di misura piezo-elettrici ed accelerometri è dovuto rispettivamente alle forze in gioco e dai cambiamenti geometrici delle sfere che provocano vibrazioni nel "race" interno ed esterno.

Sono state utilizzate delle frequenze calcolate geometricamente (Figura 2.12) per studiare i guasti del cuscinetto, attraverso le artificial neural network, la fuzzy logic e la Bayesian classification.

$f_{IR} = f_s \frac{N_b}{2} (1 + \frac{D_b}{D_p} \cos \alpha)$	Inner race fault
$f_{OR} = f_s \frac{N_b}{2} (1 - \frac{D_b}{D_p} \cos \alpha)$	Outer race fault
$f_{ball} = f_s \frac{D_p}{2D_b} (1 - \frac{D_b^2}{D_p^2} \cos^2 \alpha)$	Rolling element fault
$f_{cage} = f_s \frac{1}{2} (1 - \frac{D_b}{D_p} \cos \alpha)$	Bearing cage fault

Table 1. Parameters used in calculations of the characteristic frequencies.

Parameter	Pitch diameter	Ball diameter	Contact angle	Spindle speed
Description	D_p	D_b	α	f_s

Figura 2.12. Studio di frequenze del cuscinetto

Dataset fresatura Nell'esperimento, un pezzo di ghisa di dimensioni 483 mm x 178 mm x 51 mm è stato spianato con una velocità di taglio di 200 m/min (826 rev/min), due profondità di taglio (0.75 mm e 1.5 mm) e con due feeds (0.25 mm/rev e 0.5 mm/rev) per studiarne la differente entità dell'usura sul fianco ispezionata alla fine di ogni corsa di taglio.

Durante l'operazione sono stati raccolti 6 diversi segnali:

1. DC spindle motor current
2. AC spindle motor current
3. Table vibration
4. Spindle vibration
5. Acoustic emission at the table
6. Acoustic emission at the spindle

Il sampling rate è di 250 Hz per ogni sensore, dunque sono stati collezionati 3500 dati per ogni corsa.

Dataset cuscinetti Sono stati installati 4 cuscinetti su un albero, mantenuto alla velocità costante di 2000 RPM da un motore a corrente alternata. L'albero ed i cuscinetti sono stati messi sotto un carico radiale di 6000 lb da un meccanismo a molla.

È stato montato un accelerometro ad alta sensibilità su ogni cuscinetto con un sampling rate di 20 kHz. L'esperimento è stato del tipo run-to-fail, dove i cuscinetti sono stati testati fino alla rottura, per un totale di 3 test.

Applicazione dell'algoritmo SVM (Supported Vector Machine) per la condizione dell'inserto:

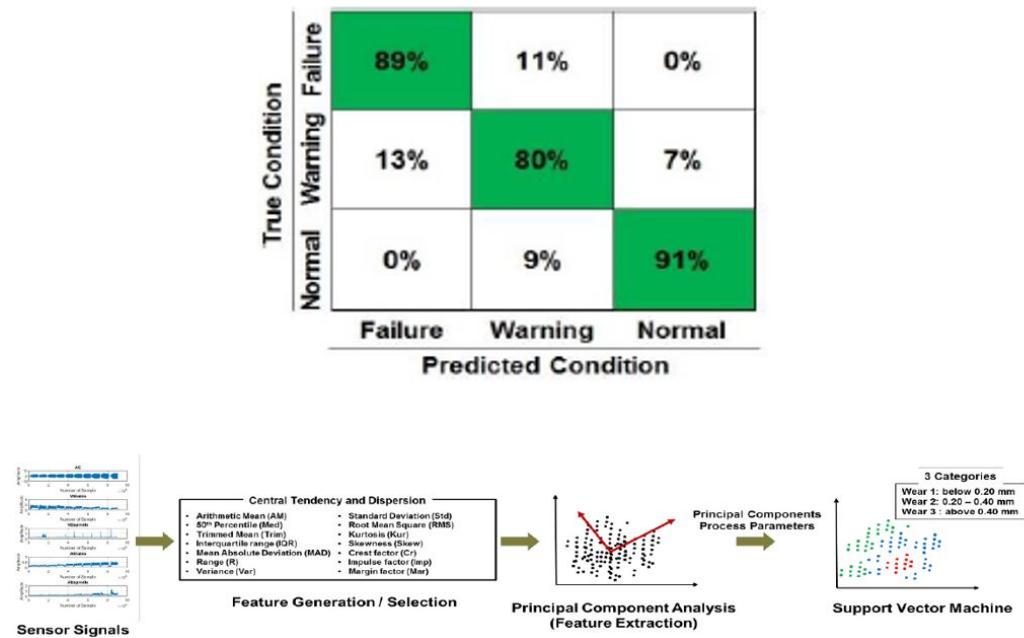


Figura 2.13. Analisi ed elaborazione dati dell’inserto

Come si vede in Figura 2.13, sono state sfruttate 14 features come input per l’algoritmo, mentre si vedono 3 output per decretare lo stato dell’utensile: “failure”, “warning”, “normal”. La matrice di confusione riporta un risultato più che soddisfacente con un’accuratezza dell’87%.

Applicazione dell’ANN (Artificial Neural Network) per la condizione dei cuscinetti:

Lo stato dei cuscinetti è stato classificato in 3 categorie, in accordo alla vita utile rimasta (RUL):

1. (100 – 66.7)%
2. (66.7 – 33.4)%
3. (33.4 – 0)%

Per monitorare lo stato dei cuscinetti, sono stati utilizzati due tipi di reti neurali:

1. Recurrent Neural Network (Figura 2.14)
2. Convolutional Neural Network (Figura 2.15)

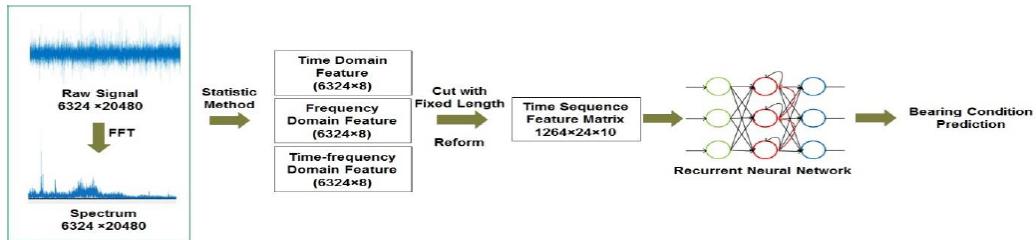


Figura 2.14. Recurrent Neural Network - RNN

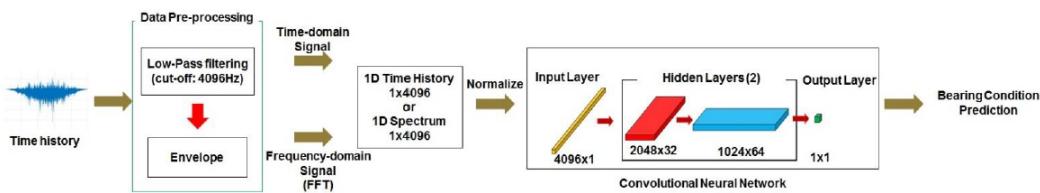


Figura 2.15. Convolutional Neural Network - CNN

La prima riesce a catturare la dinamicità dei dati, in base alla loro sequenza. Quello che fa in pratica è dare più peso agli eventi appena passati, analizzando gli input non come a sé ma come successione.

La RNN dunque può usare una sua memoria interna per processare una sequenza temporale di input. Questa tipologia di rete è sicuramente vantaggiata nell'ottica della manutenzione predittiva poiché nel monitoraggio di un sistema, i dati sono sempre sequenziali nel tempo.

La seconda è stata disegnata inizialmente per il riconoscimento delle immagini. Dato che l'algoritmo è ottimizzato su dati normalizzati di un file immagine, può essere utilizzato per classificare un segnale monodimensionale di vibrazione.

I segnali normalizzati nel dominio del tempo e della frequenza possono essere utilizzati come input nelle CNN.

In Figura 2.16 e in Figura 2.17 si mostrano rispettivamente le matrici di confusione delle reti neurali ricorsive e convoluzionali.

		Predicted Condition		
		Failure	Warning	Normal
True Condition	Normal	97%	3%	0%
	Warning	3%	89%	8%
	Failure	1%	6%	93%

Figura 2.16. Matrice di confusione RNN

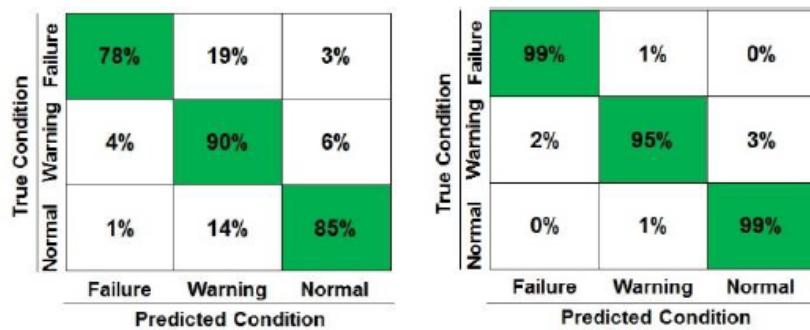


Figura 2.17. Matrici di confusione CNN

Riassumendo un sistema di manutenzione predittiva tale, può sicuramente ridurre il downtime ed aumentare la vita utile di un componente. Questo comporta una riduzione significativa dei costi ottimizzando la manutenzione ed un aumento della sicurezza in reparto.

“Predictive Maintenance for Sewer Systems using Machine Learning” di: A. Shanti Bruyn. Pubblicato il 20/09/2018

Come è già stata descritta precedentemente, la tesi ha lo scopo di fornire una predizione dei difetti nel sistema fognario di Utrecht, evidenziando quale algoritmo di machine learning sia più appropriato.

Sono stati testati 4 modelli: **Random Forest (RF)**, **XG-Boosting (XGB)**, **Supported Vector Machines (SVM)** e **Long-Short Term Memory (LSTM)**.

I dati a disposizione non erano sufficientemente ampi, dunque per evitare problemi di sbilanciamento, si è scelto di fare un oversampling e di usare il cross validation, rispettivamente dunque sono stati creati nuovi dati fintizi sulla base di quelli reali e nella fase di splitting in testing/training

dataset, si è ripetuto tale processo n volte per poter allenare gli algoritmi più volte su samples di dati diversi, simulando di essere in possesso di un dataframe ben più ampio (tale situazione è mostrata in Figura 2.18).

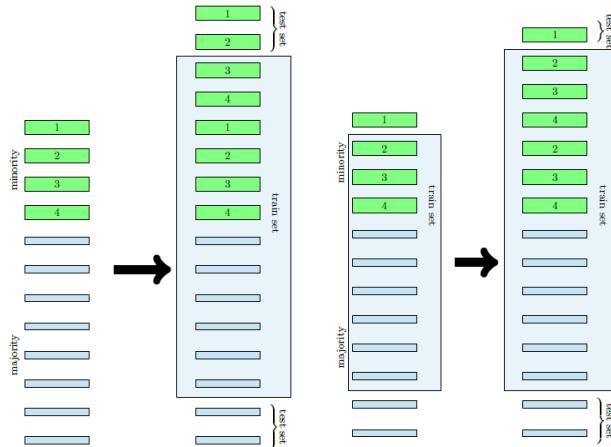


Figura 2.18. Processo di cross validation

Random Forest - RF In Tabella 2.5 sono riportate le variabili utilizzate con un relativo range.

La scelta di tali features è stata fatta sulla base di garantire un ampio raggio di apprendimento con la possibilità di variare il numero di stimatori da 5 a 500 alberi.

Tabella 2.5. Variabili per RF con i relativi range consigliati

name	grid search
n_estimators	{ 5,50,500 }
criterion	{ 'gini', 'entropy' }
max_features	{ 'auto'; 0.25; 0.50; 0.75 }
max_depth	{ 'None' }
min_samples_split	{ 2; 0.1 }
min_samples_leaf	{ 1; 0.1 }
min_weight_fraction_leaf	{ 0 }
max_leaf_nodes	{ None }
min_impurity_decrease	{ 0; 0.25; 0.5 }
bootstrap	{ True; False }
oob_score	{ True; False }
n_jobs	{1, -1}
random_state	{ 0 }
verbose	{False}
warm_start	{ True; False }
class_weight	{'balanced'}

Non sono stati imposti limiti per la massima profondità degli alberi; non sono stati imposti dei pesi specifici minimi sui campioni di input per quanto riguarda il parametro di “minimum weight fraction leaf”; il bagging è anche chiamato aggregazione bootstrap, che ha testato ogni possibilità (true and false). Ogni albero in una foresta di decisione di regressione genera una distribuzione gaussiana a titolo di predizione.

L’aggregazione è quella di trovare un gaussiano i cui primi due momenti corrispondono ai momenti del mix di gaussiane data dalla combinazione di tutte le gaussiane restituite dei singoli alberi.

XG-Boosting - XGB In Tabella 2.6 sono riportate le variabili con i relativi range consigliati.

Tabella 2.6. Variabili per XGB con i relativi range consigliati

name	grid search
loss	{‘deviance’, ‘exponential’}
learning_rate	{ 0.01; 0.1; 1 }
n_estimators	{ 10; 100 }
max_depth	{ 3; 10 }
criterion	{ ‘friedman_mse’; ‘mae’ }
min_samples_split	{ 2; 0.01 }
min_samples_leaf	{ 1; 0.01 }
min_weight_fraction_leaf	{0}
subsample	{ 0.50; 0.75; 1.0 }
max_features	{ None; ‘sqrt’ }
max_leaf_nodes	{None}
min_impurity_decrease	{ 0.0 ; 0.5 }
init	{None}
verbose	{0}
warm_start	{ True; False }
random_state	{None}
presort	{‘auto’}

Supported Vector Machines - SVM In Figura 2.19 sono mostrati degli esempi.

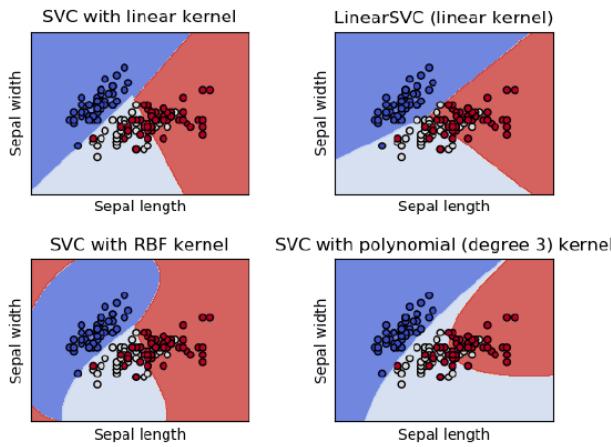


Figura 2.19. Esempi SVM

In Tabella 2.7 sono riportate le variabili con i relativi range consigliati.

Tabella 2.7. Variabili con i relativi range consigliati

name	grid search
C	{0.01; 1.0; 5.0; 10.0; 15.0}
cache_size	{200MB}
class_weight	{‘balanced’}
coef0	{0; 1.0; 10.0}
decision_function_shape	{‘ovo’}
degree	{1; 3; 5}
gamma	{‘auto’; 1.0 ; 0.1; 0.001 }
kernel	{‘rbf’, ‘sigmoid’, ‘poly’, ‘linear’ }
max_iter	{-1}
probability	{False}
random_state	{None}
shrinking	{True}
tol	{0.0001; 0.001; 0.01}
verbose	{False}

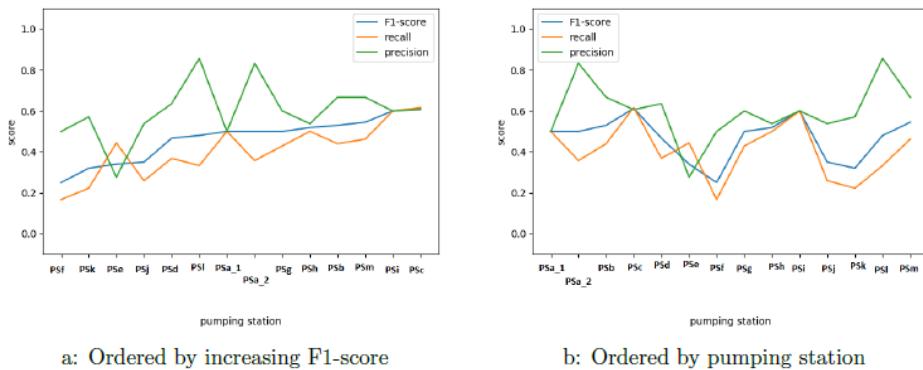
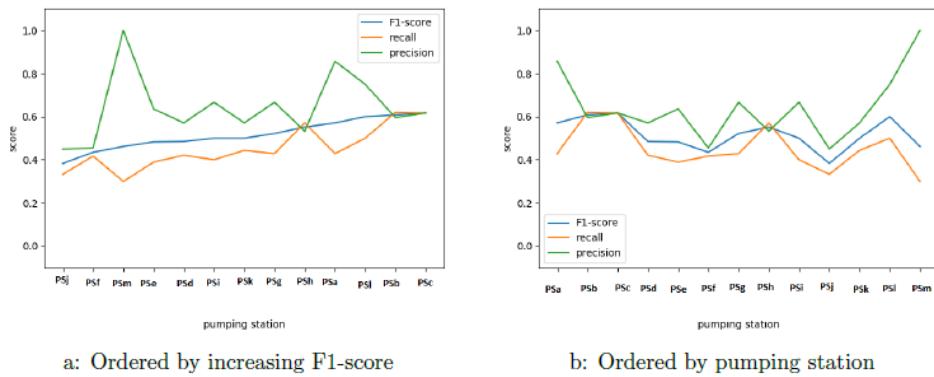
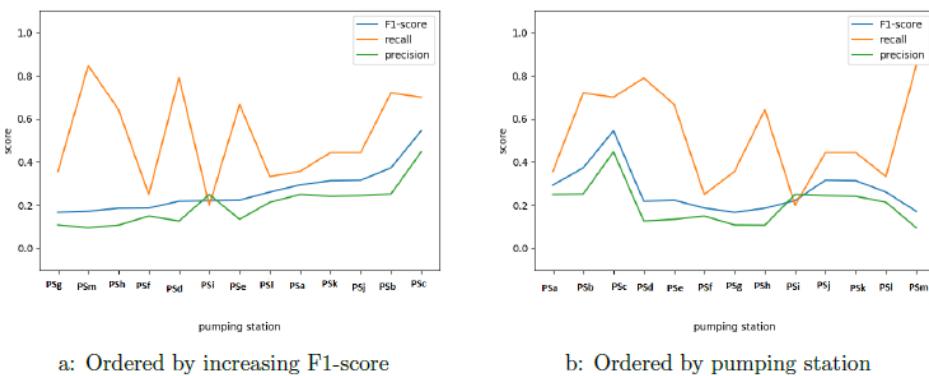
Long-Short Term Memory - LSTM Questo algoritmo è un modello temporale, nello specifico è una rete neurale ricorsiva più facile da allenare.

RISULTATI FINALI – CONFRONTO TRA GLI ALGORITMI Per ogni stazione di pompaggio nel sistema fognario ed ogni algoritmo, è riportato in Tabella 2.8 il migliore F1-score con i relativi parametri di precisione e recall.

Tabella 2.8. Confronto algoritmi

pumping station	algorithm	best model scores		
		precision	recall	F1-score
PSa	RF	0.500	0.500	0.500
PSa	RF	0.833	0.357	0.500
PSa	XGB	0.857	0.429	0.571
PSa	SVM	0.250	0.357	0.294
PSb	RF	0.667	0.440	0.530
PSb	XGB	0.596	0.620	0.608
PSb	SVM	0.252	0.720	0.373
PSc	RF	0.607	0.617	0.612
PSc	XGB	0.617	0.617	0.617
PSc	SVM	0.447	0.700	0.545
PSd	RF	0.636	0.368	0.467
PSd	XGB	0.571	0.421	0.485
PSd	SVM	0.127	0.789	0.219
PSe	RF	0.276	0.444	0.340
PSe	XGB	0.636	0.389	0.483
PSe	SVM	0.135	0.667	0.224
PSf	RF	0.500	0.167	0.250
PSf	XGB	0.455	0.417	0.435
PSf	SVM	0.150	0.250	0.187
PSg	RF	0.600	0.429	0.500
PSg	XGB	0.667	0.429	0.522
PSg	SVM	0.109	0.357	0.167
PSh	RF	0.538	0.500	0.519
PSh	XGB	0.533	0.571	0.552
PSh	SVM	0.108	0.643	0.186
PSi	RF	0.600	0.600	0.600
PSi	XGB	0.667	0.400	0.500
PSi	SVM	0.250	0.200	0.222
PSj	RF	0.538	0.259	0.350
PSj	XGB	0.450	0.333	0.383
PSj	SVM	0.245	0.444	0.316
PSk	RF	0.571	0.222	0.320
PSk	XGB	0.571	0.444	0.500
PSk	SVM	0.242	0.444	0.314
PSl	RF	0.857	0.333	0.480
PSl	XGB	0.750	0.500	0.600
PSl	SVM	0.214	0.333	0.261
PSm	RF	0.667	0.462	0.545
PSm	XGB	1.000	0.300	0.462
PSm	SVM	0.096	0.846	0.172

Nelle seguenti Figura 2.20, Figura 2.21 e Figura 2.22 invece si vuole mostrare l'andamento dei parametri di precisione, recall e F1 dei migliori modelli relativi ai tre algoritmi (RF, XGB, SVM).

**Figura 2.20.** Parametri prestazionali RF**Figura 2.21.** Parametri prestazionali XGB**Figura 2.22.** Parametri prestazionali SVM

Ivi, per completezza, si riportano le espressioni dei parametri prestazionali degli algoritmi. Qui di seguito, in Figura 2.23 si è scelto di mostrare l'andamento del F1-score al variare delle stazioni di pompaggio, per ogni algoritmo.

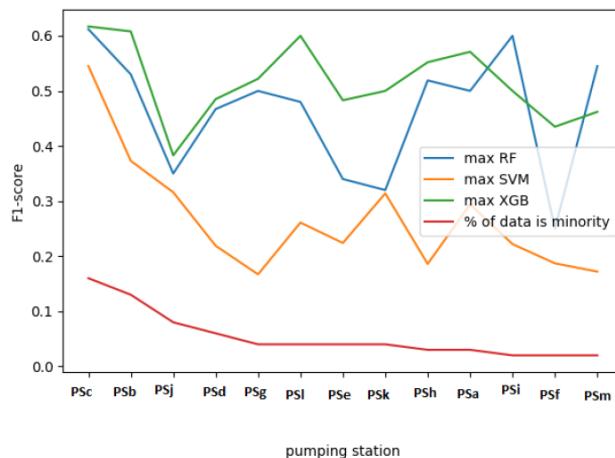


Figura 2.23. Confronto F1

2.3 Hardware & Software utilizzati o proposti per la telemanutenzione predittiva

Con il passaggio dall'era analogica a quella digitale, si è assistito ad una progressiva diminuzione del costo di trasmissione dati via internet (un piano tariffario mobile odierno con 140 min. di chiamata, 70 SMS e 1.5 GB di dati costa circa 30\$ in Europa).

Questo ha portato un corrispettivo aumento delle utenze dotate di una connessione a banda larga fissa o mobile, come si può notare nella Figura 2.24. [24]

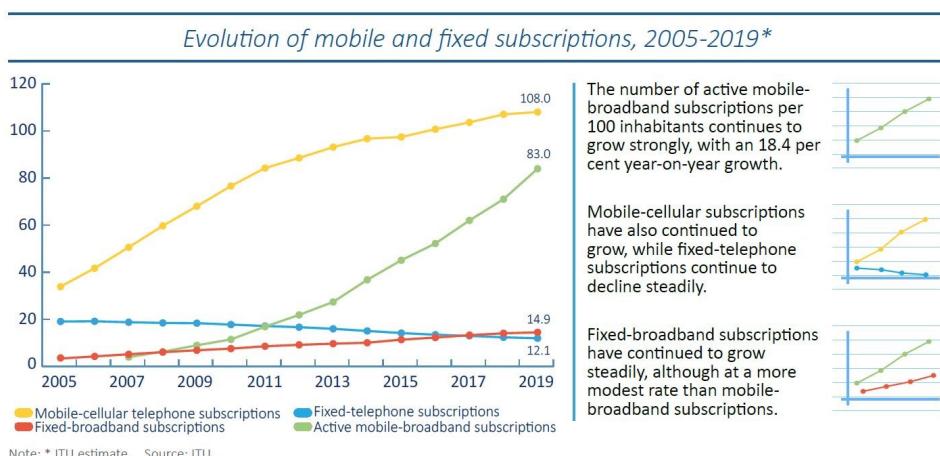


Figura 2.24. Evoluzione delle utenze fisse e mobili tra il 2005 e il 2019

Le moderne reti cellulari permettono infatti una connessione a banda

larga con una copertura pressoché costante quasi in qualsiasi situazione [25], questo, insieme all'elevata velocità di trasmissione dei dati (lo standard LTE Advanced facente parte della categoria 4G dichiara 1000 Mbps in download e 500 Mbps in upload come velocità di picco, mentre si prevede che una rete 5G possa funzionare con una velocità di download in condizioni normali intorno ai 2 Gbps), ha portato lo sviluppo di nuove metodologie, tecniche e soluzioni nell'ambito dell'industria 4.0.

Di seguito si riportano alcuni esempi di soluzioni per la tele-manutenzione predittiva e non, sia proposti in ambito accademico, sia venduti da aziende a livello commerciale. In particolare si pone l'accento sulle architetture, sugli hardware e sui software utilizzati.

2.3.1 Esempi presi dalla letteratura scientifica

"User-centered Design and Evaluation of an Integrated AR-VR System for Tele-Maintenance" di: Michael Kleiber, Thomas Alexander, Carsten Winkelhol e Christopher M. Schlick **"Evaluation of a Mobile AR Tele-Maintenance System"** di: Michael Kleiber e Thomas Alexander. Pubblicati nel 2012 e 2011

Il sistema in questione fornisce uno spazio di lavoro sincronizzato tra un meccanico automobilistico ed un esperto in remoto.

Questo avviene grazie all'uso da parte del meccanico di un device a realtà aumentata, connesso ad un sistema di realtà virtuale utilizzato dall'esperto in remoto. L'esperto interagisce così con una ricostruzione della parte interessata dalla manutenzione, con tutti i suoi componenti, supposto che siano già presenti nel sistema i modelli 3D degli stessi e che essi siano riconoscibili dalla videocamera del meccanico.

In tal modo si evita la trasmissione di filmati, permettendo l'applicazione del sistema anche senza una larga disponibilità di banda.

L'hardware proposto nella fase di sperimentazione era formato da un tablet per l'operatore, da un sistema VR per l'esperto e da un apparato di trasmissione dati con una velocità di 14.4 kbps e un link audio con un ritardo di 2 s. L'apparato VR si compone di due monitor LCD stereoscopici da 120 Hz accoppiati ad un paio di shutter glasses che permettono all'esperto una visione 3D chiara ed immersiva dei componenti, un PC con una scheda

grafica con quad buffering che garantisce 30 fps per lente, un mouse 2D per la navigazione dei menù, una tastiera ed un mouse Logitech 3D per l'interazione col modello.

"Design of Elevator Monitoring and Alarm System Based on WiMAX" di: Hong Jiang, Yongfang Shi e Lei Qi. Pubblicato nel 2015

Il paper propone un sistema di monitoraggio e allarme per gli impianti ascensori basato sulla trasmissione di dati tramite tecnologia WiMAX.

Il progetto è stato sviluppato in Cina, dove il recente sviluppo tecnologico si è scontrato con un'infrastruttura civile e industriale arretrata. Gli autori inoltre sottolineano quanto la modernizzazione di questi impianti sia necessaria, dato l'alto numero di incidenti che avvengono nello stato.

L'architettura del sistema per un impianto si compone di un terminal di monitoraggio, un gateway WiMAX, un server locale, un server centrale, un PC di controllo e alcuni device portatili.

Di particolare interesse è la struttura del terminal di monitoraggio installato in loco nell'impianto ascensore, riportata in Figura 2.25.

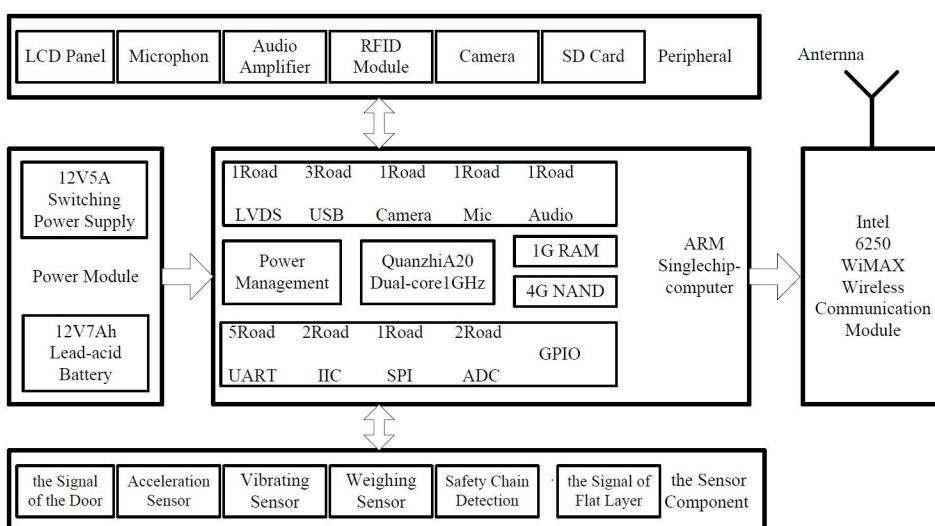


Figura 2.25. Architettura del terminal di monitoraggio

I requisiti del computer centrale e del modulo alimentatore sono mostrati nell'immagine sovrastante e quindi non si riporta un'ulteriore spiegazione. La sensoristica installata è indipendente dall'ascensore e si presenta quindi come un pacchetto di sensori non connesso al sistema di controllo centrale

dell'impianto.

Il comparto multimediale presente nella cabina dell'ascensore consiste in uno schermo LCD da 14", un altoparlante collegato ad un amplificatore, un microfono, una videocamera, e un'interfaccia RFID per la registrazione da parte degli operatori dell'inizio e fine dell'intervento durante la manutenzione. Questo consente al gestore dell'ascensore di interfacciarsi con le persone presenti all'interno in caso di emergenza.

Il modulo di trasmissione dati è composto da un processore Intel Centrino Advanced-N accoppiato ad una scheda wireless WiMAX6250 conforme allo standard IEEE 802.16e Wave2, che opera nella banda dei 2-6 GHz con una velocità di picco di 75 Mbps e un raggio di copertura di circa 50 Km. I requisiti di trasmissione vengono inoltre specificati come necessitanti una banda di trasmissione che rientri nel 3.5G, una velocità in upload di 6 Mbps, una in download di 20 Mbps e uno slot Mini PCIe.

Per quanto riguarda il lato software si distingue tra il terminal di monitoraggio che adotta Linux come OS e utilizza un programma basato sul software QT, e tra il PC di controllo che adotta Windows 8 e utilizza un software sviluppato da Delphy basato sul programma di sviluppo grafico di Windows.

Il SW del terminal di monitoraggio si occupa dell'acquisizione, elaborazione e trasmissione dei dati, della valutazione decisionale attraverso la comparazione dei parametri di funzionamento con i valori standard e della riproduzione dei contenuti multimediali.

Se il terminal rileva un errore o una situazione anomala, invia un segnale al PC di controllo allegando i dati che l'hanno generato, inoltre abilita il controllo del funzionamento in remoto. Il SW del PC di controllo si occupa della comunicazione col terminal di monitoraggio, dell'elaborazione dei dati e dell'interfaccia uomo-macchina.

2.3.2 Sistemi proprietari già sul mercato

BlueEye by RedZinc

L'azienda irlandese RedZinc, appartenente al consorzio di ricerca EuQoS insieme ad altre aziende leader nel campo dello sviluppo dei network di telecomunicazione, propone un sistema di tele-manutenzione chiamato BlueEye, con funzioni similari alla soluzione fornita nel primo articolo del paragrafo precedente.

Il sistema infatti si compone di una piccola videocamera montata sugli occhiali protettivi del manutentore, e di una cintura con un modulo a tecnologia Wi-Fi o 4G alimentato da una batteria a lunga durata. [26]

I benefici di BlueEye coincidono con quelli del sistema proposto nel paragrafo citato in precedenza, l'azienda sul sito elenca ad esempio alcuni tra gli operatori che potrebbero usufruire del servizio: paramedici, manutentori di impianti, tecnici meccanici, tecnici civili ed energetici che operano in situazioni con un basso livello di sicurezza, ingegneri operanti nelle piattaforme petrolifere offshore, etc.

Nella Figura 2.26 si riportano le specifiche tecniche del sistema BlueEye, per porre in evidenza le tecnologie di connettività adottate, in comune con altri esempi di sistemi riportati in questo capitolo.

Camera	LTE & Wireless
<ul style="list-style-type: none"> • Safety Glasses Mounted • 1/2.7-inch sensor size • 1080p/720p HD Colour CMOS Image • Diagonal 110 +/5 degree wide angle • H.264 Codec • Internal Microphone • Up to 1080p @ 30 fps (depending on uplink bandwidth) 	<ul style="list-style-type: none"> • 3GPP Release Baseline 9 • LTE FDD Category 4 • LTE Bands 1, 3, 5, 7, 8, 20 (Euro) • American LTE Bands on Request • 802.11abgn WiFi • Dual SIM • GPS option
Processor	Battery
<ul style="list-style-type: none"> • Low Power Intel® Edison • Dual core • Wearable Processor 	<ul style="list-style-type: none"> • Replaceable Lithium Ion • 49Watt Hour
Measurement	Video & Audio Connectivity
<ul style="list-style-type: none"> • Dashboard with pre-call measurements, in-call measurements and optional GPS location information 	<ul style="list-style-type: none"> • Live Streaming to Hot Desk or Hub • Encrypted Video and Audio • Simplex Video • Duplex Audio
Indicators	
	<ul style="list-style-type: none"> • Power, Active, • Camera, Connect • Wireless, Notify

Figura 2.26. Specifiche tecniche di BlueEye

Predictive Maintenance Platform by T-Systems

La T-Systems appartenente al gruppo Deutsche Telekom propone alle aziende di qualsiasi dimensione diverse soluzioni per la manutenzione predittiva, dall'utilizzo della sola piattaforma cloud, fino ad un pacchetto standard end-to-end a 360°.

Essendo un'azienda leader nel settore, è in grado di fornire ai clienti interessati un servizio plug-and-play composto sia della parte hardware che software, sia della connettività necessaria alla trasmissione dei dati. [27]

Le informazioni riguardo le specifiche di tali soluzioni non sono disponibili al pubblico, la T-Systems fornisce però nella pagina web un esempio di hardware necessario per l'installazione di un sistema di manutenzione predittiva in un impianto ascensore; questo si compone di un dispositivo quad band per la connessione IoT, di diversi accelerometri a 3 assi, di interruttori magnetici, di moduli Bluetooth a basso consumo necessari all'interconnessione di fino a 200 sensori, di sistemi di alimentazione via cavo o ad induzione, di sensori di temperatura e umidità e di sensori GPS.

Tutti i dati ricavati dal sistema vengono poi gestiti con software proprietari e trasmessi attraverso il network mobile di Deutsche Telekom, attualmente in evoluzione per soddisfare il moderno standard 5G.

MAX by thyssenkrupp, Schindler Ahead by Schindler, Otis ONE by OTIS, KONE 24/7 by KONE

Come accennato nel par. 2.1.1, alcune aziende produttrici di impianti elevatori stanno cominciando a proporre delle soluzioni per la manutenzione predittiva dei propri impianti. Queste aziende e i loro corrispettivi prodotti sono:

- thyssenkrupp – **MAX**
- Schindler – **Schindler Ahead**
- OTIS – **Otis ONE**
- KONE – **KONE 24/7**

MAX è stata sviluppata nell'arco di due anni in collaborazione con Microsoft e si basa sulla piattaforma cloud Microsoft Azure [28], **Schindler Ahead** sulla piattaforma Predix sviluppata da GE Digital filiale di General Electric [29], **Otis ONE** è essa stessa la piattaforma cloud [11] e **KONE 24/7** si basa sulla piattaforma Watson IoT sviluppata da IBM [10].

Tutte le informazioni tecniche sono tenute private, ma a titolo di esempio vengono comunque forniti alcuni dati che vengono raccolti, tra questi si elencano: la temperatura del motore, i cicli di apertura delle porte, la velocità e l'accelerazione della cabina, la tensione dei nastri o delle funi, il livello di carico in cabina, i codici di errore e i cicli di movimentazione.

I vari sistemi proposti basati su IA non solo sintetizzano i dati in entrata, ma li analizzano per dare loro un significato, rapportandoli ad eventuali problematiche.

Ad esempio una lettura della temperatura motore leggermente al di sopra del valore standard potrebbe essere indice di un problema al motore, ma la piattaforma è in grado di sapere se sia una giornata calda o meno, mettendo in relazione i due fatti.

Un altro esempio si presenta quando un ascensore ferma qualche millimetro sopra la soglia del piano oppure quando è soggetto ad una leggera vibrazione dopo l'avvio, questi infatti sono tutti indicatori di potenziali problemi che la piattaforma IoT analizza, e di conseguenza decide se programmare interventi di manutenzione o se registrare questi dati insoliti come riferimento futuro.

Da riportare inoltre è il funzionamento del **Ahead CUBE** di **Schindler**, si tratta infatti di un gateway a se stante in grado di raccogliere i dati dei sensori, pre-analizzarli e inviarli alla piattaforma cloud. Inoltre l'apparecchio permette l'installazione di eventuali app al fine di trasmettere contenuti multimediali e assistenza vocale in cabina, con l'obiettivo di migliorare l'esperienza dei clienti.

La connettività proposta da tutte le aziende è mobile, con adesione fino allo standard 4G.

Capitolo 3

Il sistema di telemanutenzione intelligente GrAMS 2009

Il presente lavoro di tesi, dopo aver effettuato un'analisi dello stato dell'arte attualmente proposto, si accinge a studiare un precedente lavoro svolto nel 2009, dal quale lo studio odierno procede. Il sistema che fu realizzato prese il nome di "Granted Availability Management System (GrAMS)", e fu sviluppato da Massimo Concetti, Roberto Cuccioletta, Lorenzo Fedele e Giampiero Mercuri.

Il GrAMS è un sistema di telemanutenzione intelligente, provvisto della capacità di predire le situazioni anomale e di aiutare la pianificazione della manutenzione da parte dei tecnici, è stato realizzato concentrandosi sullo studio di 3 tipi di impianti: ascensori, termici ed elettrici.

Si procede quindi alla descrizione più dettagliata di tale sistema, poiché rappresenta la base di partenza di questo nuovo elaborato.

3.1 Struttura generale del GrAMS 2009

Lo scopo del sistema è il controllo da remoto dei parametri critici indentificati da un'analisi FMECA svolta appositamente, per garantire un massimo livello di servizio (SLA), ovvero minimizzando l'indisponibilità dell'impianto. In Figura 3.1 si riporta l'architettura generale del sistema.

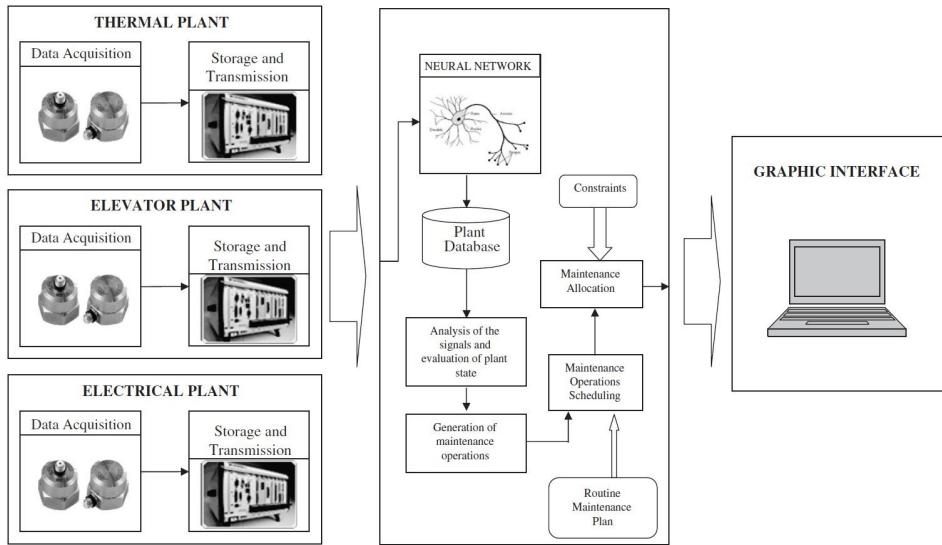


Figura 3.1. Architettura del sistema GrAMS

3.1.1 Catena di misurazione dei dati

Il diagramma precedentemente riportato in Figura 3.1 mostra inizialmente la rappresentazione schematica dei tre impianti monitorati, successivamente la catena di elaborazione dei dati, e infine l'interfaccia semplificata per l'integrazione uomo-macchina.

Ogni impianto è caratterizzato da alcuni sensori che acquisiscono i dati richiesti per il monitoraggio del sistema, la famiglia di sensori specifica all'impianto poi è poi connessa ad una Field Point Network, la quale trasmette i segnali attraverso una rete LAN ad un computer supervisore.

All'interno del computer supervisore una rete neurale elabora ed analizza i dati raccolti.

3.1.2 Analisi dei dati

Tramite la rete neurale vengono analizzati i dati provenienti dai vari impianti, e per la progettazione di tale rete sono stati seguiti i seguenti passaggi:

- Definizione input e output di ciascun tipo di impianto
- Raccolta dei dati e assegnazione di valori target
- Definizione dell'architettura della rete neurale

- Training della rete neurale
- Analisi della fase di training e inizio fase di test

Le fasi elencate verranno analizzate più nel dettaglio nei paragrafi successivi, per il momento ci si concentrerà sulle operazioni generali che la rete esegue.

Una volta che i dati arrivano al computer supervisore tramite Internet, questo li fornisce come input alla rete neurale, la quale è così in grado di avviare la sua analisi. Come prima cosa, tutti i dati vengono salvati all'interno del database centrale dedicato agli impianti sotto controllo (più il sistema è in grado di raccogliere un'elevata quantità di dati, più è l'analisi è accurata), come secondo passaggio, la rete inizia il suo processo principale: l'analisi di ciascun segnale acquisito e la valutazione dello stato degli impianti.

Per compiere la sua valutazione, la rete ha la possibilità di confrontare i dati appena recepiti con i dati storici, in questo modo, la rete è in grado di comprendere lo stato degli impianti, e se esiste un incipit di guasto (ossia se alcune parti dell'impianto si stiano deteriorando).

Una volta che la rete ha effettuato il confronto, essa è in grado di prevedere autonomamente se sono necessarie determinate azioni di manutenzione, e in tal caso può assegnare ad una risorsa umana, ad esempio un tecnico, il compito di svolgere tali interventi.

Questo avviene tenendo conto del piano di manutenzione ordinaria, pianificando così ciascuna operazione nel momento necessario, rispettando i vincoli presenti, e richiedendo un intervento straordinario in quei casi in cui la tempestività d'intervento è d'obbligo.

3.1.3 Il GrAMS 2009 per gli impianti ascensori

Di seguito si descriverà nel dettaglio l'applicazione di GrAMS 2009 per gli impianti ascensori e dei parametri che il sistema richiede all'impianto.

Antecedentemente alla progettazione del sistema GrAMS 2009, gli autori hanno studiato ed elencato le componenti critiche dell'impianto riportandole in un diagramma ad albero, per poterlo poi utilizzare come base di partenza per la stesura dell'analisi FMECA, focalizzata nell'identificazione delle cause più comuni di guasto.

Di seguito si riporta sia il diagramma ad albero dell'impianto in Figura 3.2, che i risultati dell'analisi FMECA in Figura 3.1.

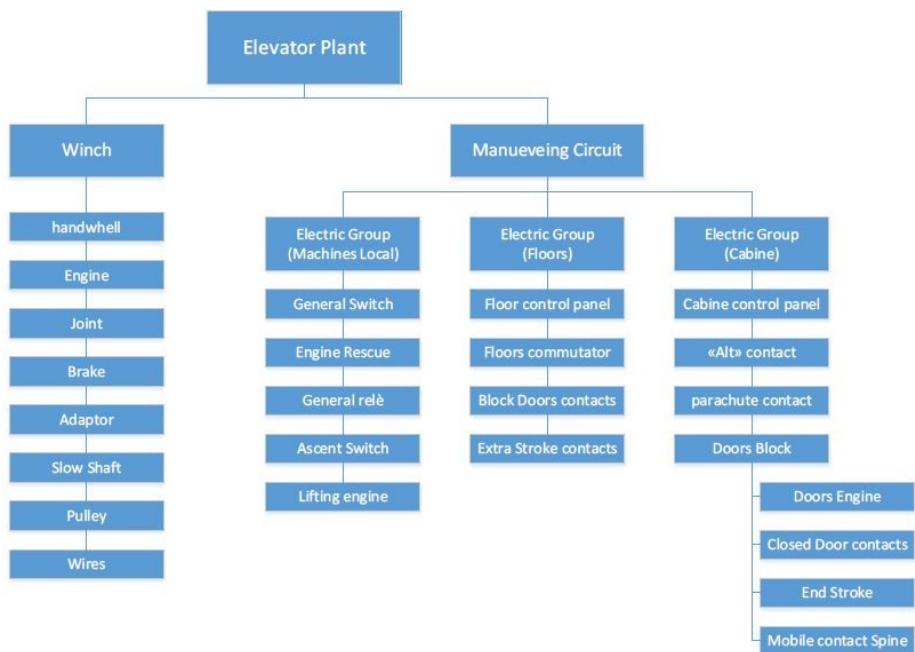


Figura 3.2. Diagramma ad albero dell'impianto ascensore

number	Element	Function	Failure	Cause of failure	Local Effect of failure	Failure frequency
1	Engine	It allows the movement of the cabin	Out of use	Breakthrough	out of order	Remote
2	Joint	It creates a connection between the engine and the endless screw	Out of use	mechanical breakthrough	out of order	Remote
3	Jaw brake	It blocks the movement of the adaptor (and as consequence of the cabin)	malfuction	usury	the cabin is not anymore braked with efficiency	Occasional
4	Adaptor	it transmits the power of the engine to the pulley	Out of use	instantaneous overloads	the cabin can't be brake bt using the pulley	Occasional
5	Wires	They connect the cabin to the pulley of the Winch	Excessive consumption	Balance of counterweights usury of contact or construction part	Split of the wires on the pulley	Occasional
6	General switch	Switches on and off the operating circuit	Block of the device	wrong contacts block	out of order	Remote
7	safe engine	It connects the engine from the electrical line if it reaches temperature too high	Out of use	Contracts blocked Open/Closed or interruption of the wire bobin	engine without temperature protection	Remote
8	General relay	It closes the operating circuit after the correct positioning of the contacts	Contracts blocked Open/Closed or interruption of the wire bobin	Electro-erosion or contact fusion	out of order	Occasional
9	Teleinverters for climbing and descent	It commands the up or down of the cabin	Contracts blocked Open/Closed or interruption of the wire bobin	Electro-erosion or contact fusion	out of order	Occasional
10	Maneuver transformer	It lowers the network voltage	Out of use	Primary or secondary winding interruption	out of order	Remote
11	Engine uplift	It gives the rotation power to the	Out of use	usury of mechanical parts, Overheating, Current peak	out of order	Remote
12	Floor control panel	It allows the cabin call from the floors	Contact blocked Open/Closed	usury of the contacts, sabotage	Button locked open: it is not possible to call the cabin from that floor; Locked locked button: Out of order	Frequent
13	Floor commutator	Has the circuit for uphill or downhill of the cabin	It does not close the contacts	usury of the contacts, breakthrough, Leverage	If the commutator is broken on the first or last floor the entire system is out of order, otherwise is out of order just one floor	Likely
14	Block contacts of the cabin doors	They close the operating circuit when the cabin doors are closed	They does not close the contact when the door are blocked	usury of contacts, Mechanical failure of the closing door system	out of order	Frequent
15	Extra-stroke contacts	they open the circuit when the cabin goes over the last or the first floor	Contact blocked Open/Closed	usury of the contacts, breakthrough, Leverage	If the extra-stroke contacts are blocked open the operation circuits is open and as consequence the systems is out of order. If the extra-stroke contacts are blocked closed there is no anymore the protection.	Remote
16	Cabine control panel	It allowed to passenger to send the cabin to every floor	Contact blocked Open/Closed	usury of the contacts, sabotage	Button locked open: It is not possible to call the cabin from that floor; Locked locked button: Out of order	Frequent
17	ALT contact	It allowed to passenger to open the circuit anytime	Contact blocked Open/Closed	usury of the contacts, sabotage	If the button is blocked open the system is out of order. If the button is blocked closed the ALT contact is out of order	Likely
18	Parachute contact	It open the operation circuit if the parachute intervenes	Contact blocked Open/Closed	usury of contacts, contacts blocked	If it is blocked open the system is out of order. If it is blocked closed the operation circuit can't intervene in case of needed	Remote
19	Door engine	It drives the device which open the doors	Out of use	usury of mechanical parts, Overheating, Current peak	out of order	Remote
20	Door cabine contacts	Consensus contacts placed on the cabin doors	They does not close the contact when the door are blocked	usury of the contacts, mechanical failure of the closing door system	out of order	Frequent
21	Doors end-strokes	It disconnects the door engines when the door are completely open	Contact blocked Open/Closed	usury of the contacts, breakthrough, Leverage	If it is blocked open the doors can't be opened. If it is blocked closed, the door engine remain under charging when the doors are opened with risk of burning	Occasional
22	Mobile contact spine or photocell	It avoids that passengers remains blocked between the closing door	Out of use	usury of contacts, broken of mechanical device (mobile contact spine)	out of order	Occasional

Tabella 3.1. Risultati dell'analisi FMECA

3.1.4 Descrizione della rete neurale

La rete neurale analizzata è di tipo Feed-Forward, sviluppata in tre layer: 1 di input, 1 di output e 1 hidden layer, i neuroni presenti nei rispettivi layer sono in numero:

- 5 neuroni nel layer di input (uno per ogni sensore)
- 2 neuroni nel layer di output (uno per ogni KPI dell'impianto)
- 15 neuroni nel hidden layer

La funzione transfer utilizzata sia tra input-hidden che tra hidden-output è di tipo sigmoidea, i pesi assegnati ai neuroni del livello hidden rappresentano invece la forza di legame tra i singoli neuroni dei diversi livelli. I pesi vengono assegnati e raffinati in modo automatico durante il processo di apprendimento della rete. Si riporta infine la rappresentazione grafica della rete neurale in Figura 3.3.

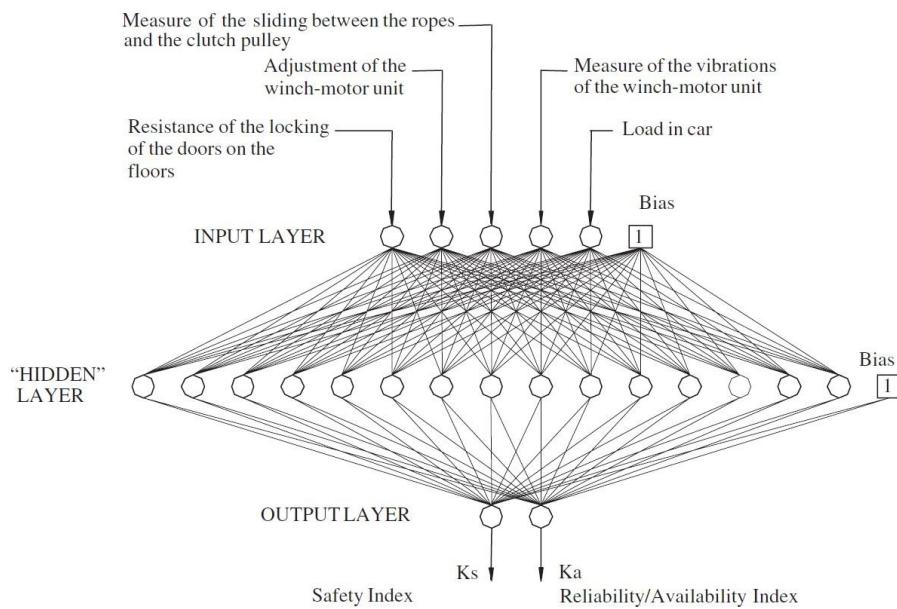


Figura 3.3. Architettura della rete neurale GrAMS 2009

Input della rete

Gli input per ogni neurone sono generati dai sensori, riportati in Tabella 3.2.

	Parameter	Resistance of the landing door locking devices
1	Sensor	Probe for measuring the insulation installed on the electric contacts of the landing door locking devices
	Parameter	Adjustment of the winch-motor unit brake
2	Sensor	Probe on the car threshold and reference on the threshold of the landings to calculate the difference in level
	Parameter	Sliding between the ropes and the clutch pulley
3	Sensor	Revolution counter on the winch axle to detect the distance traveled on the pulley correlated to the distance traveled by the ropes (dependent on the plant rise) to calculate the difference
4	Parameter	Magnitude of the winch vibrations
	Sensor	Accelerometer installed on the winch
	Parameter	Load (car + persons/materials on board)
5	Sensor	Load cell installed under the car floor to measure the real load in the lift car

Tabella 3.2. Sensori e parametri di input

Output della rete

La rete neurale fornisce in output due KPI (Key Performance Index), che sono:

- Ks: indice di sicurezza impianto
- Ka: indice di disponibilità impianto

Ogni indice può assumere un valore compreso tra 0 e 1, come mostrato nelle Tabelle 3.3 e 3.4.

Ks	Safety	Actions
0	Plant is safe	None
0.25	Plant is safe but to be kept under control	Check the parameters during the scheduled routine maintenance visits
0.5	Plant is safe but to be kept under strict control	Schedule specific controls during routine maintenance visits
0.75	Plant requires attention	Schedule specific action to check the safety conditions and, if necessary, restore them
1	Risk unacceptable	Shut down the plant and emergency action required

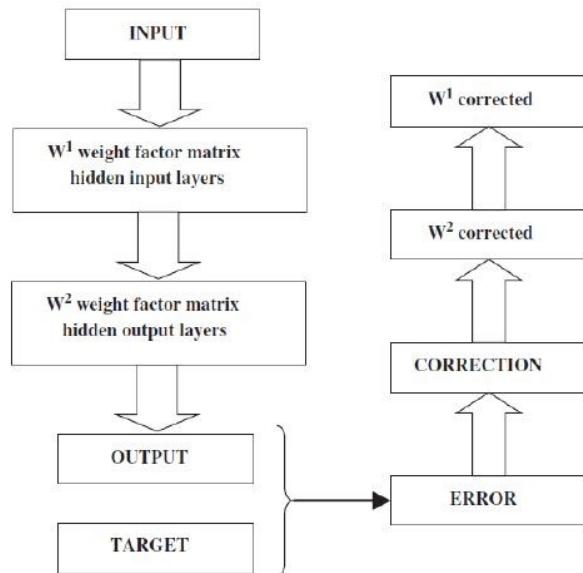
Tabella 3.3. Indice Ks

Ka	Reliability/availability	Actions
0	Plant is reliable and available	None
0.25	Plant is reliable and available but to be kept under control	Check the parameters during the scheduled routine maintenance visits
0.5	Plant is reliable and available but to be kept under strict control	Schedule specific controls during routine maintenance visits
0.75	Incipient failure	Schedule specific action to check the safety conditions in order to restore the reliability and availability level
1	Failure	Failure condition imminent; emergency action required on the plant to avoid shutting down the plant and reducing the plant availability time

Tabella 3.4. Indice Ka

Training della rete

L'algoritmo utilizzato per questa applicazione è il Levenberg-Mardquardt. Il training di questa rete neurale si basa su di una continua correzione dei pesi delle sinapsi. In Figura 3.4 è possibile vedere un diagramma del processo di training, mentre in Figura 3.5 possiamo vedere l'andamento della somma dell'errore quadratrico.

**Figura 3.4.** Diagramma del training

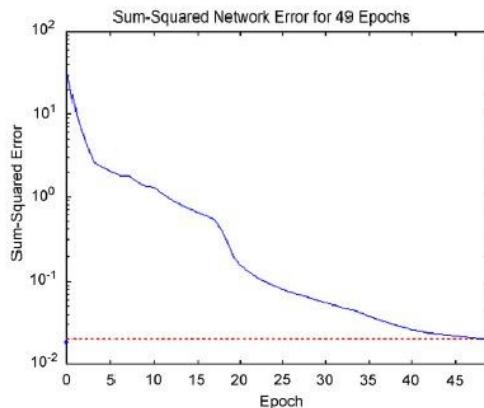


Figura 3.5. Andamento dell’errore

3.1.5 Diagramma logico e output definitivi

In Figura 3.6 è illustrato il diagramma logico del GrAms.

La rete neurale monitora lo stato dell’impianto valutando il valore dei 2 KPI. Se uno dei due valori sta crescendo il sistema è in grado di generare un’azione per far ricalcare il valore del parametro. Il sistema è anche in grado di pianificare l’intervento su più ascensori per ridurre al minimo le tempistiche di intervento.

Il sistema, ad esempio, è in grado di:

- Prevedere il numero di interventi che ogni tecnico giornalmente deve eseguire
- Conoscere la posizione geografica degli impianti
- Elencare i vincoli di natura contrattuale
- Programmare azioni straordinarie nel piano di manutenzione ordinaria
- Valutare le priorità per le situazioni di emergenza

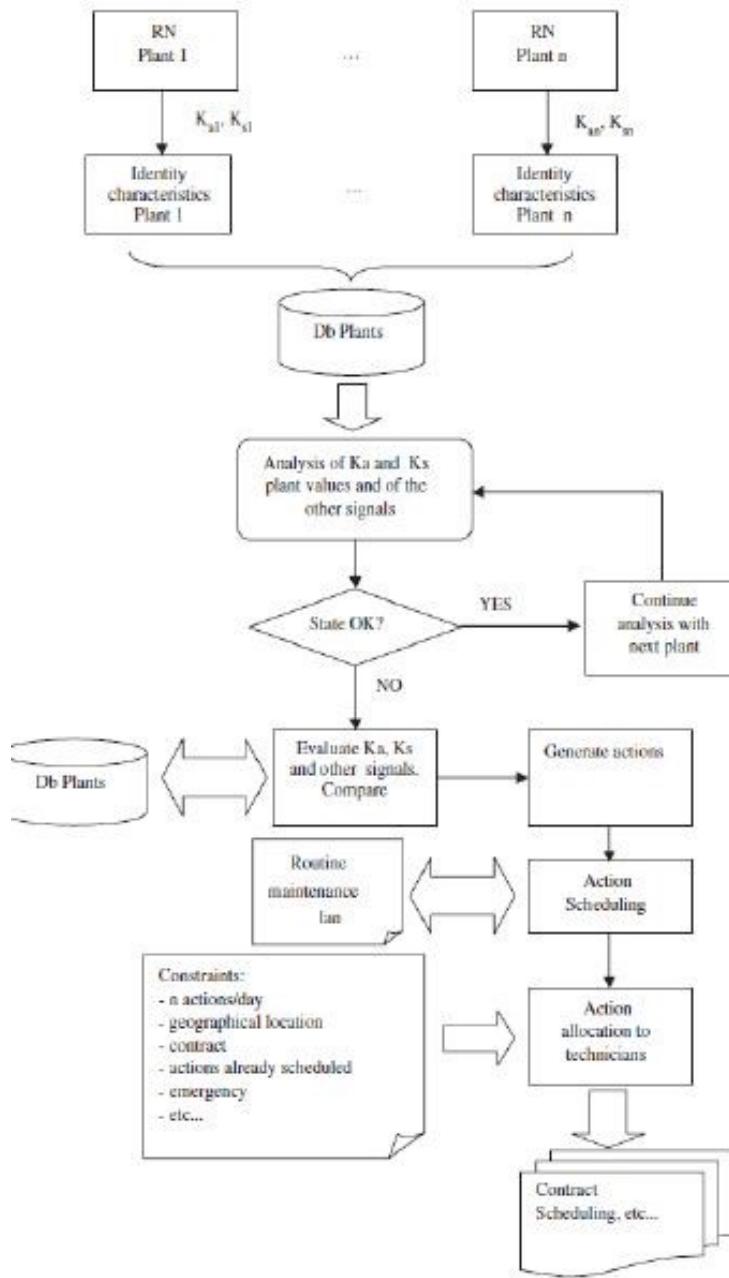


Figura 3.6. Diagramma logico del GrAMS

3.2 Vantaggi del sistema GrAMS 2009

Tale sistema di tele manutenzione intelligente è stato sviluppato per fare manutenzione predittiva, dunque per evitare di operare quando non ve ne sia bisogno (situazione plausibile nella manutenzione preventiva) e di inter-

venire solo dopo il verificarsi del guasto (manutenzione reattiva). È evidente come questo approccio consegua enormi benefici, dunque ivi si elencano i vantaggi (sia dal punto di vista tecnico, che commerciale-economico):

- **Riduzione degli interventi manutentivi:** come sudetto, con questo sistema si interviene solamente quando nell' impianto sta per verificarsi un guasto. Oltre ai vantaggi economici, segue anche il prossimo beneficio
- **Allungamento della vita utile di un componente:** il sistema infatti permette il pieno utilizzo di ogni componente e materiale dell'impianto, con un notevole risparmio dei costi di sostituzione
- **Solidità dei criteri di progettazione del sistema:** i parametri scelti come criticità da dare in input all'algoritmo di reti neurali sono il frutto di un'analisi FMECA dettagliata, sinonimo di garanzia nell'ambito della manutenzione
- **Bassa potenza di calcolo richiesta per l'elaborazione dati:** ciò è dovuto alla semplicità strutturale della rete neurale
- **Basso flusso dello streaming dati:** diretta conseguenza di quanto detto al punto precedente
- **Elevata potenzialità commerciale:** attualmente non sono disponibili sistemi di tele-manutenzione tali. Le grandi compagnie del settore come Schindler, Otis e Kone, stanno sviluppando qualcosa di simile, ma solo come servizio da implementare sui propri impianti, non in vendita ad altre compagnie
- **Semplicità di utilizzo:** l'interfaccia grafica per il monitoraggio e la gestione delle operazioni di manutenzione è alla portata di tutti
- **Estendibilità di utilizzo:** tale sistema può essere applicato anche ad altre tipologie di impianto, come ad esempio scale e tappeti mobili

3.3 Svantaggi del sistema GrAMS 2009

I principali svantaggi del sistema GrAMS 2009 derivano dal fatto che il suo sviluppo è stato effettuato tra il 2007 e il 2009 e dato che si occupa di tecnolo-

gie con un'alta velocità di sviluppo e rinnovamento, risulta inevitabilmente datato e alcune sue parti necessitano quindi di alcuni aggiornamenti per renderlo attuale e competitivo. I principali aspetti che possono essere definiti come svantaggi in un'eventuale applicazione al giorno d'oggi del sistema GrAMS 2009 sono:

- **Nuove normative vigenti:** la normativa di riferimento per gli impianti ascensori considerata nel testo è la UNI EN 81-1:1999. Attualmente la normativa è stata ritirata e sostituita con le norme UNI EN 81-20/50:2014. Inoltre il D.P.R. 162/99 è stato modificato con il D.P.R. 23/2017 per recepire la nuova direttiva ascensori 2014/33/UE e sono inoltre da tenere in considerazione le normative tecniche UNI 10411-1/6 per quanto riguarda la modifica/modernizzazione degli impianti e la UNI EN 81-80 per l'innalzamento del livello di sicurezza
- **Nuove tipologie di sensori:** la tecnologia di alcuni sensori proposti è cambiata o migliorata, il nuovo parco di sensoristica disponibile in commercio potrebbe portare a variazioni nella tipologia di apparecchi considerati
- **Specificità dell'impianto:** i parametri da misurare presi in considerazione sono concentrati sullo studio di un impianto ascensore a trazione con motore tradizionale, altri parametri specifici di diverse tipologie di impianto non sono stati considerati
- **Sviluppo di reti neurali:** dal 2009 sono stati sviluppati nuovi metodi per la realizzazione e l'addestramento delle reti neurali, bisogna verificare se il modello proposto risulta essere ancora il più efficiente ed efficace

3.4 Considerazioni sullo sviluppo del sistema GrAMS 2020

Analizzando quanto mostrato in precedenza sullo stato dell'arte dei sistemi di manutenzione predittiva, si è scelto di aggiornare e migliorare il sistema GrAMS 2009.

A partire da un'analisi FMECA sugli impianti da monitorare e a seguire con le tecniche di manutenzione da normativa, verrà scelto un kit di sensori

appropriati, per poter intraprendere una campagna di raccolta dati. Tali sensori sono ripresi dal GrAMS 2009 e ampliati alla luce di quanto appreso dagli esempi presi in letteratura nel capitolo precedente, in particolare si è rilevata utile la rilevazione dei parametri di rumore dei componenti meccanici, oltre che delle vibrazioni. Altresì è bene utilizzare i dati di funzionamento (salita/discesa al piano i-esimo a partire dal piano j-esimo, corse compiute al giorno, fermate più frequenti, ecc.), per fornire informazioni aggiuntive all'algoritmo, come la differenziazione tra la corsa in salita da quella in discesa, alle quali rispettivamente corrispondono diversi profili di accelerazione e rumore.

Disponendo successivamente di una quantità sufficiente di dati, si proseguirà con l'implementazione di una rete neurale artificiale ricorrente (RNN). Si è scelto questo tipo di algoritmo poiché assegna un peso maggiore agli input più recenti, essendo il caso dell'ascensore un esempio dove l'importanza della successione temporale delle cause che portano al guasto è molto rilevante, è sembrato l'algoritmo più consono da utilizzare.

I servizi di cloud e data streaming verranno acquistati presso società terze, esperte nel settore. Sono molte le start up e le aziende in grado di fornire servizi di questo tipo, soluzione complessivamente più sicura ed economica rispetto ad una progettazione interna e ad hoc.

Una fase di apprendimento e di test del software, per verificarne il corretto funzionamento, precederà l'effettiva messa in funzione del GrAMS 2020.

Capitolo 4

Descrizione degli impianti ascensore

Fin dall'antichità è possibile trovare soluzioni per il trasporto verticale di cose o persone, basti pensare ad esempio agli spettacolari montacarichi a comparsa presenti nell'Anfiteatro Flavio (il Colosseo), i quali facevano apparire animali e combattenti da terre lontane, che come per magia si elevavano dalla sabbia dell'arena.

Ciò nonostante, per incontrare per la prima volta nella storia un elevatore "moderno", bisogna attendere il 1854, quando l'inventore Elisha Graves Otis, fondatore della **Otis Elevator Company**, dimostrò la sicurezza del sistema paracadute per elevatori a trazione, da lui ideato nel 1852, posizionandosi su di un modello del suo ascensore con motore a vapore, costruito nel Crystal Palace di New York, durante l'*Exhibition of the Industry of All Nations* (un'esposizione internazionale svoltasi sulla scia del successo della Grande Esposizione Universale di Londra del 1851), e facendo trinciare la fune di sostegno della piattaforma, cadendo così per pochi centimetri prima dell'arresto sotto gli occhi increduli degli spettatori. [30]

L'evento sopra riportato mostra quali siano i criteri per la definizione moderna di elevatore, il sistema in questione infatti è un apparecchio, oggi elettromeccanico, con un elevato grado di complessità, ma che a differenza di altri mezzi di trasporto come l'automobile, il treno o l'aereo, è condotto dallo stesso passeggero, senza richiederne però un'apposita licenza o patente, fatto invece obbligatorio negli altri casi.

Questo comporta la progettazione dell'impianto con l'obiettivo della sicu-

rezza in primis, il mantenimento della quale, non potendo essere garantito dal conducente-passeggero, ignorante del suo funzionamento e della sua architettura, deve essere assegnato ad una ditta di manutenzione esperta, che attraverso le tradizionali ispezioni, ne assicura il funzionamento e il livello di sicurezza.

Purtroppo però succede che il proprietario dell'impianto, volendo risparmiare sui costi di intervento per riparazioni minori dell'impianto, assegna tali lavori a ditte o specialisti che non sono però esperti di impianti elevatori, creando così una situazione di pericolo sia per l'operatore che per i passeggeri [31]; per ovviare a tali problematiche sono state pubblicate nel tempo numerose normative tecniche, entrate poi in vigore dai diversi decreti legge, al fine di diminuire le casistiche di incidenti.

Sul territorio italiano la normativa di riferimento per quanto riguarda la costruzione, installazione, messa in esercizio, manutenzione e controllo degli ascensori è costituita dal **decreto del Presidente della Repubblica 30 aprile 1999, n. 162**, il quale serviva a recepire la prima direttiva ascensori 95/16/CE; questa direttiva è stata successivamente abrogata e sostituita con la nuova **2014/33/UE**, recepita con il **D.P.R. 23/2017**, il quale ha apportato le modifiche necessarie al D.P.R. 162/99, che è ad oggi rubricato "Regolamento recante norme per l'attuazione della direttiva 2014/33/UE, relativa agli ascensori ed ai componenti di sicurezza degli ascensori, nonché per l'esercizio degli ascensori".

4.1 Novità introdotte con il D.P.R. 23/2017

Il decreto, per introdurre le modifiche della direttiva 2014/33/UE, è applicato sia agli impianti elevatori ed ascensori installati negli edifici adibiti al trasporto di persone e cose, solamente se la cabina è facilmente accessibile da una persona adulta, sia ai componenti di sicurezza installati all'interno degli stessi, ed elencati nell'allegato III del D.P.R. [32]

Vengono quindi esclusi dall'applicazione del decreto tutti quegli impianti con velocità inferiore a 0,15 m/s, quelli adibiti a lavori speciali (Es. miniere, ambito militare), le funicolari, scale mobili, treni a cremagliera e i

marciapiedi mobili. Un'altra categoria di impianti che non è soggetta al decreto è costituita dagli ascensori installati prima del 1 luglio 1999, quindi antecedenti al D.P.R. 162/99, che dovevano essere previsti già in una prima stesura del vecchio decreto, ma che furono poi esclusi a causa di polemiche sull'interpretazione del decreto stesso. [33]

Le principali novità si riassumono in:

- **Aggiornamento delle norme sulla messa a disposizione sul mercato e sulla messa in servizio** degli ascensori ed i requisiti essenziali di salute e sicurezza
- **Aggiunta di nuovi articoli con obblighi per installatori**, fabbricanti, rappresentanti, importatori, distributori, operatori economici (Es. conservazione della documentazione tecnica di conformità, garanzia di conformità per i componenti e ritiro degli stessi nei casi negativi, etc.)
- **Aggiornamento delle disposizioni per la conformità** degli ascensori e i relativi dispositivi di sicurezza (secondo le norme EN 81-20 e EN 81-50)
- **Modifica delle procedure per valutare la conformità** degli ascensori e dei componenti alle norme UE, da parte di operatori privati
- **Stipulazione delle regole per l'apposizione della marcatura CE**
- **Aggiornamento delle disposizioni riguardanti le procedure** sul territorio nazionale per gli impianti che presentano rischi, sia che siano conformi o meno
- **Stipulazione per le manovre di emergenza** che possono essere svolte anche da personale competente autorizzato dal proprietario, anche se non manutentore ufficiale

Per quanto riguarda le regole sui controlli e sulla manutenzione, non sono stati effettuati cambiamenti, vengono quindi mantenuti i controlli semestrali per la sicurezza.

4.2 Ascensori a frizione

Gli ascensori elettrici sono elevatori mossi elettricamente, la cui cabina è sospesa per mezzo di funi o catene [34]. Sono composti principalmente da una cabina e da un contrappeso il cui movimento avviene mediante un motoriduttore costituito da un motore elettrico e da un riduttore composto da vite senza fine e corona dentata come evidente in Figura 4.1.

La trazione viene eseguita mediante una puleggia, di opportuno diametro, denominata “puleggia di frizione” sulla quale le funi di sospensione vengono adagiate in delle gole di forma conica con facce inclinate di 32° , permettendo un’adeguata tenuta contro lo scorrimento delle funi.

La presenza del contrappeso consente di non dover sollevare il peso della cabina completamente. Esso, generalmente, eguala quello della cabina maggiorato del 40%-50% del carico utile. In tal modo la potenza assorbita dal motore risulta la stessa, sia che la cabina salga a pieno carico sia che scenda a vuoto.

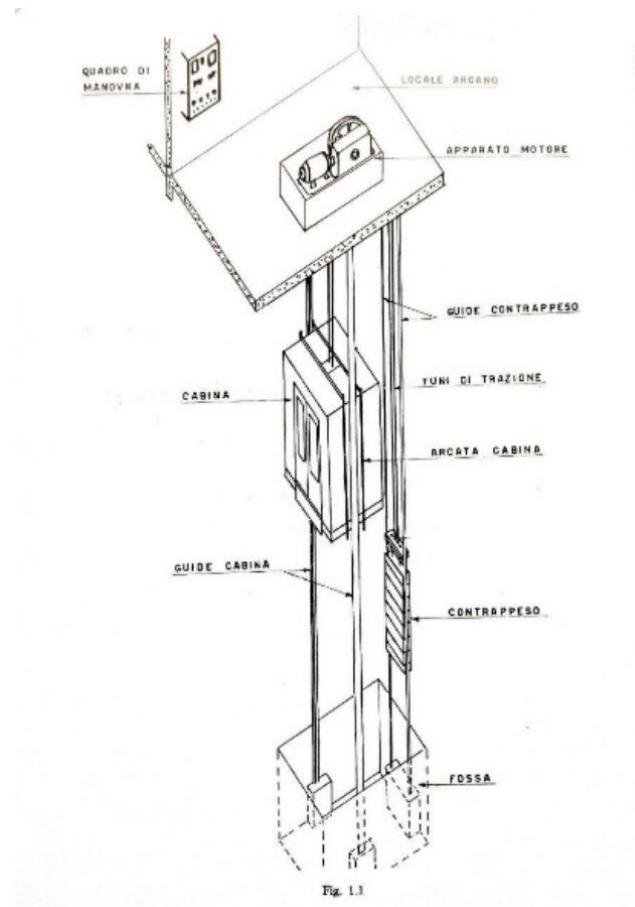


Figura 4.1. Schematizzazione impianto ascensore elettrico

La velocità dell'impianto è data esclusivamente dal rapporto di riduzione dell'argano e dal diametro della puleggia di frizione in quanto si utilizzano, di norma, motori asincroni trifase con velocità fissa a 1500 giri/min. ed una potenza a partire dai 3,5 kW a seconda della portata dell'impianto.

Alcuni argani di riduzione vengono equipaggiati con motori a due velocità che garantiscono un avvio e una decelerazione graduale; essi possono essere di due tipi:

1. Azionamenti ACVV
2. Azionamenti VVVF

Gli azionamenti ACVV sono delle apparecchiature elettroniche che su comando variano la tensione di alimentazione del motore regolandone la velocità. Essi necessitano di un apposito sensore applicato sul motore chiamato Encoder, il quale permette di tenere sotto controllo la velocità di rotazione. Per impianti particolarmente veloci, oltre 1 m/s, esiste la possibilità di pilotare il motore dell'argano con delle apparecchiature elettroniche (VVVF) per la regolazione della velocità in maniera graduale e che garantiscono un avvio ed un arresto della cabina confortevoli.

Gli azionamenti VVVF permettono, di variare sia la tensione che la frequenza di alimentazione del motore, limitando inoltre le correnti di spunto e riducendo quindi il surriscaldamento degli avvolgimenti. Un ulteriore vantaggio è quello di avere un accurato controllo della coppia motore ai bassi giri di rotazione e controllo sulla velocità di rotazione.

Le guide della cabina e del contrappeso sono fissate, con robuste staffe corte, alla struttura del vano e generalmente ancorate al fondo dello stesso. Questo tipo di impianti presenta un apposito locale macchine situato di norma in cima all'impianto, tuttavia negli ascensori non di recente installazione, il locale macchina è posto in basso al fianco del vano corsa.

Sono quindi necessarie delle pulegge di rinvio, poste sulla sommità del vano corsa per il corretto funzionamento. Di norma sono presenti nel locale macchine: il quadro di manovra, l'argano, il motore, le pulegge e il freno. Il vano centrale verticale dove si muove l'ascensore prende il nome di vano corsa, la parte in basso si chiama **fossa** mentre quella in alto **testata** e vengono progettate per ottenere lo spazio di **extracorsa**.

La cabina ha il compito di contenere sia le persone che gli oggetti da trasportare, essa è costituita in maniera diversa a seconda dell'uso a cui viene adibita. Dal punto di vista tecnico la cabina presenta problemi inerenti alla sua solidità, rigidità, silenziosità, illuminazione e areazione. La sua superficie interna viene dimensionata tenendo conto della portata, il carico utile in kg che l'ascensore può sollevare in sicurezza, per cui l'elevatore viene progettato e della posizione del contrappeso, come si mostra in Tabella 4.1.

Tipo di impianto	Persone (portata in kg)	Larghezza⁵ Vano (m)	Profondità Vano (m)	Larghezza Cabina (m)	Profondità Cabina (m)	Luce Porta (m)	Piattaforma (m)
Contrappeso posteriore	4 (360)	1,45	1,80	0,80	1,20	0,75	1,40 x 1,40
Contrappeso laterale	4 (360)	1,45	1,65	0,80	1,20	0,75	1,40 x 1,40
Contrappeso posteriore	5 (375)	1,70	1,80	0,80	1,20	0,75	1,40 x 1,40
Contrappeso laterale	5 (375)	1,40	1,80	0,80	1,20	0,75	1,40 x 1,40

Tabella 4.1. Dimensioni cabina

Ogni ascensore deve avere obbligatoriamente dei dispositivi di sicurezza, per gli ascensori elettrici si riportano nella Tabella 4.2 i mezzi di protezione, la situazione di pericolo e i modi di interventi di tali mezzi.

Situazione pericolosa	Mezzi di protezione	Modi di intervento
Caduta libera ed eccessiva velocità in discesa della cabina	Paracadute	Limitatore di velocità
Caduta libera del contrappeso o della massa di bilanciamento	Paracadute	Limitatore di velocità oppure per velocità nominali non maggiori di 1m/s - intervento per rottura dei mezzi di sospensione - azionamento da fune di sicurezza
Velocità eccessiva in direzione salita (solo ascensori a frizione)	Dispositivi di protezione contro l'eccesso di velocità della cabina (progettati secondo il paragrafo 5.6.6 della UNI EN 81-20)	Deve essere un dispositivo che rispetti il paragrafo 5.6.6.10 della UNI EN 81-20
Movimenti non comandati della cabina con porte aperte	Dispositivi di protezione contro i movimenti non comandati della cabina con porte aperte (progettati secondo il paragrafo 5.6.7 della UNI EN 81-20)	Deve essere un dispositivo che rispetti il paragrafo 5.6.7 della UNI EN 81-20

Tabella 4.2. Dispositivi di sicurezza

Questa tipologia di ascensori è particolarmente indicata per tutti gli edifici dove il traffico e la velocità richieste sono elevate, quali uffici pubblici, alberghi, ospedali, centri direzionali. Solitamente sono equipaggiati con un inverter che permette la regolazione di tutti i parametri di marcia.

Tra i vantaggi: corsa e velocità elevate, soluzione fattibile per ogni tipologia di edificio.

Aspetti da considerare: laddove sia necessario gestire flussi elevati di passeggeri, l'ascensore elettrico rappresenterebbe un'ottima soluzione, ma a costo elevato. [31]

4.3 Ascensori MRL

L'introduzione negli anni novanta dei piccoli motori sincroni a magneti permanenti (PMSM) e dei sistemi di controllo a tensione variabile (VVVF), ha permesso l'inserimento sul mercato dei nuovi impianti a fune privi di riduttore (gearless), che, dato il minore ingombro, vengono installati direttamente nel vano ascensore. Nascono così gli ascensori Machine-Room-Less, ossia privi del locale macchina, se ne riporta uno schema in Figura 4.2.

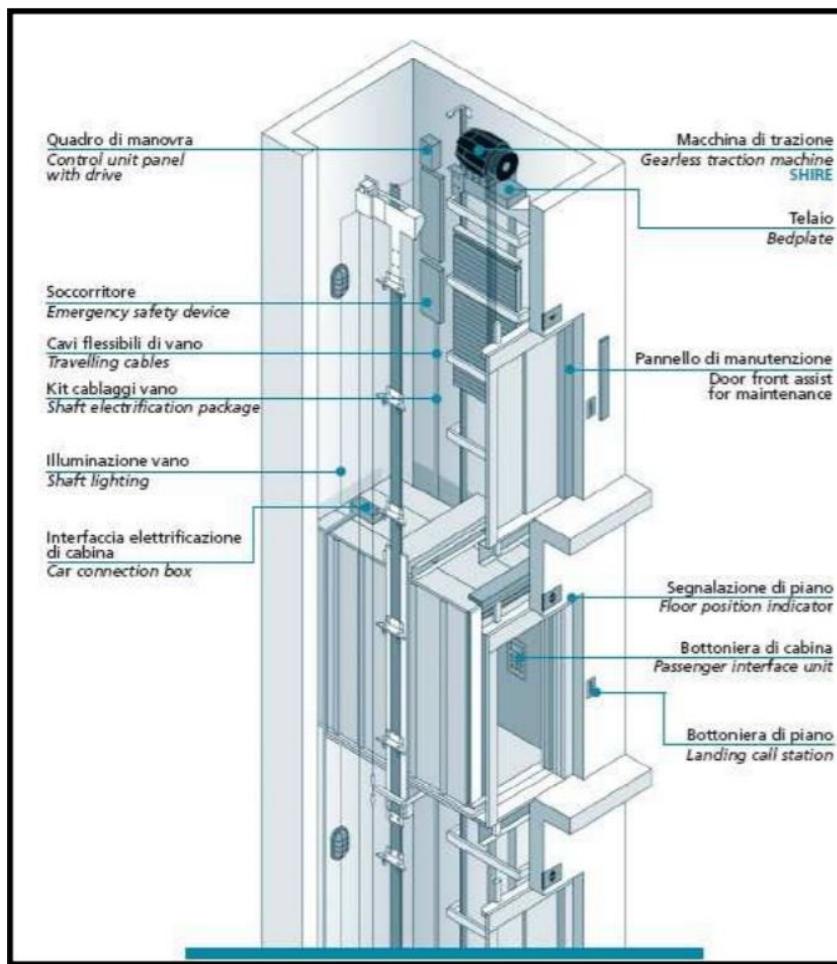


Figura 4.2. Schema semplificato di ascensore MRL

Grazie a questa soluzione non occorre più la predisposizione del locale macchina, permettendo la facile installazione e un risparmio di superfici interne degli edifici. Il quadro di manovra è posto di solito fuori dal vano a fianco della porta ascensore del piano più alto.

I vantaggi di tale impianto si riassumono in:

- L'utilizzo di un ascensore con questo motore fa risparmiare una quantità di energia, stimata del 70-80%, rispetto agli ascensori idraulici
- Offre precisioni di fermata e livellamento alte e stabili nel tempo
- Confort elevati anche viaggiando con velocità maggiori di 2 m/s
- Minori dissipazioni di energia dovute all'assenza del riduttore
- Rendimento energetico del motore maggiore, dissipazione minore
- L'ascensore MRL elimina i costi e le preoccupazioni ambientali associati ad un cilindro idraulico sepolto riempito con olio idraulico

4.4 Ascensori oleodinamici

L'ascensore oleodinamico, anche detto "idraulico", ha un principio di funzionamento molto semplice: la cabina è collegata a un sistema cilindro-pistone in cui viene immesso o scaricato dell'olio in pressione con una portata regolabile da una valvola. In salita una pompa idraulica spinge l'olio nel cilindro provocando l'estensione dello stelo e di conseguenza, la salita della cabina.

Mentre la discesa avviene per gravità, con controllo del flusso di olio tramite una valvola. Le valvole hanno anche il compito di garantire il comfort di marcia, accelerando e decelerando in modo progressivo. Nel circuito oleodinamico sono presenti anche una saracinesca, una valvola a comando manuale che permette lo spostamento della cabina verso il basso, una pompa a mano che permette lo spostamento verso l'alto e una valvola di blocco. Questa si chiude automaticamente quando la caduta di pressione nella valvola stessa, determinata da un aumento di flusso in una direzione prestabilita, supera un valore prefissato.

La valvola di blocco deve essere capace di arrestare la cabina in discesa e di mantenerla ferma. Deve altresì intervenire al più tardi quando la velocità raggiunge un valore uguale alla velocità nominale di discesa, aumentata di 0,30 m/s.

La valvola di blocco deve essere tale da assicurare una decelerazione media

compresa $0,2g_n$ e $1g_n$. Una decelerazione maggiore di $2,5g_n$ non deve permanere per più di 0,04 s.

Nel caso di una perdita importante nel sistema idraulico una **valvola limitatrice di flusso** deve impedire che la velocità della cabina in discesa con carico uguale alla portata nominale superi la velocità nominale in discesa, v_d , di più di 0,30 m/s. [35]

In Figura 4.3 si riporta una rappresentazione schematica dell'impianto, mentre in Figura 4.4 uno schema sintetico del circuito idraulico.

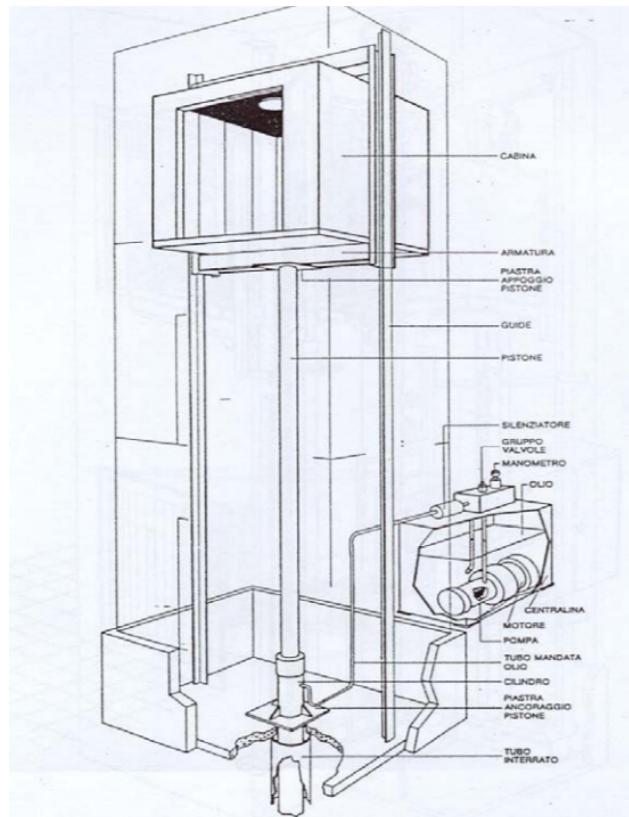
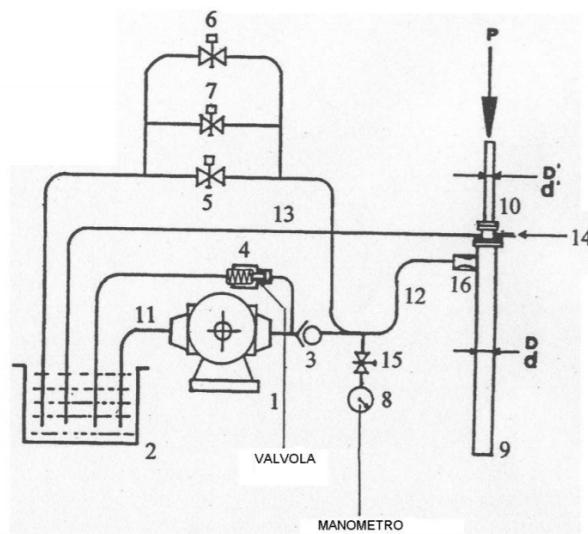


Figura 4.3. Schema ascensore idraulico



Schema didattico del circuito idraulico
 1 - Gruppo motore - pompa; 2 - Serbatoio; 3 - Valvola direzionale; 4 - Valvola limitatrice della pressione; 5 - Valvola discesa; 6 - Valvola livellamento; 7 - Valvola di discesa ad azione manuale; 8 - Manometro; 9 - Cilindro; 10 - Stielo o pistone o stantuffo tuffante; 11 - Aspirazione; 12 - Tubo di alimentazione e deflusso dell'olio; 13 - Recupero; 14 - Sfiato; 15 - Rubinetto portamanometro; 16 - Valvola limitatrice della velocità in discesa.

Figura 4.4. Schema didattico del circuito idraulico

Gli ascensori oleodinamici si differenziano a seconda del tipo di relazione tra i componenti cilindro/pistone - cabina:

- **Azionamento diretto** (Figura 4.5-dx): È la configurazione più semplice, il cilindro è solidale alla cabina, dunque tanto si allunga, tanto sale la cabina
- **Azionamento indiretto** (Figura 4.5-sx): È la configurazione più utilizzata per costruire impianti oleodinamici che coprono le corse e le velocità più comuni (da 3 a 6 piano con velocità 0.6 m/s), consiste in un cilindro/pistone sistemato lateralmente nel vano con una puleggia montata all'estremità dello stelo

La cabina scorre su guide disposte sullo stesso lato del vano lateralmente al cilindro, ed è sostenuta da funi che si avvolgono sulla puleggia e vengono poi attaccate ad un punto fisso nella fossa.

Questa soluzione viene generalmente detta in taglia rovescia, e l'azionamento è chiamato indiretto laterale.

A parità di cilindro/pistone, si ottiene una corsa ed una velocità della cabina doppie rispetto alla soluzione diretta, anche se a prezzo di una maggiore pressione del sistema e a un incremento del carico di punta agente sullo stelo. In questo modo non è necessario realizzare fori nella fossa per alloggiare il

cilindro, e tutti gli ingombri della parte meccanica vengono raggruppati in un solo lato del vano consentendo quindi una grande flessibilità nella scelta della configurazione della cabina e degli accessi. Questa soluzione presenta un coefficiente di taglia di 2:1, che significa che la cabina si sposta del doppio rispetto alla sommità dello stelo del pistone.

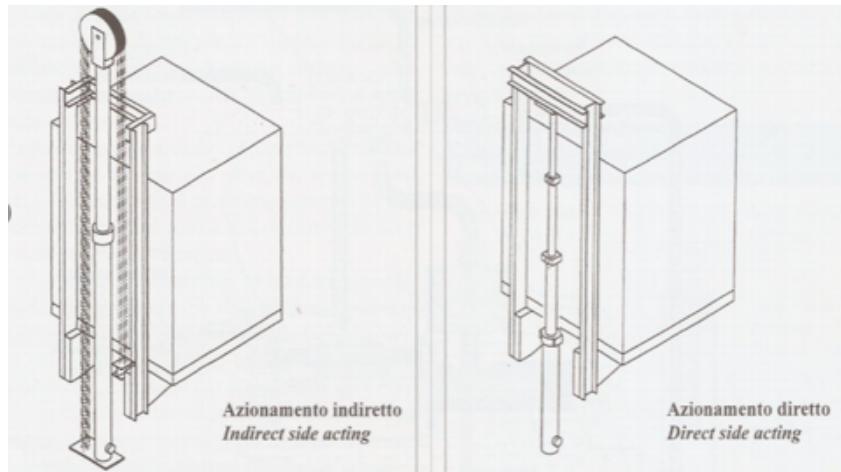


Figura 4.5. Configurazione ascensori idraulici

Gli ascensori idraulici vengono utilizzati per impianti che non necessitano di elevata velocità, sono ideali per edifici con meno di 5 piani fuori terra, il locale macchina può essere posizionato senza vincoli rispetto al vano corsa. [36]

Tra i vantaggi: costi contenuti sia per installazione che per manutenzione, portate elevate, ingombro ridotto.

Capitolo 5

GrAMS 2020: Hardware

. In questo capitolo ci si appresta a presentare una progettazione di massima per l'aggiornamento del sistema GrAMS 2009, chiamato GrAMS 2020, mostrando quindi i passi logici fondamentali alle scelte che verranno effettuate, gli strumenti che sono serviti allo sviluppo di tale soluzione, e il procedimento seguito, fondato su una scaletta a blocchi scomponibile, di modo che ogni parte del percorso per lo sviluppo finale possa essere modificata all'evenienza, riuscendo così ad avere un'architettura di soluzione modulare, scomponibile e facilmente adattabile o aggiornabile secondo necessità.

Gli strumenti fondamentali sono stati:

- La creazione di un diagramma ad albero dell'impianto ascensore, nel quale sono presenti i componenti principali necessari allo sviluppo del sistema GrAMS 2020
- La stesura di una FMEA d'impianto, ottenuta anche grazie alla consultazione di una tesi precedente sull'argomento [37] e della relazione di ricerca finanziata dall'ISPESL che ha portato alla progettazione del precedente GrAMS 2009 [38]
- Lo studio degli interventi obbligatori da effettuare sull'impianto secondo quanto stabilito dalla legge, la loro frequenza e la tipologia
- La ricerca sul numero e tipo di incidenti avvenuti in questo genere di impianti su scala mondiale
- La stesura di diagrammi ad albero per le principali tipologie di guasto

Successivamente a questi 5 paragrafi, si passerà alla proposta della soluzione sviluppata, evidenziando principalmente quali siano i parametri che sono

stati individuati come caratterizzanti e da registrare, la sensoristica necessaria alla rilevazione degli stessi, il posizionamento per l'installazione di quest'ultimi.

5.1 Diagrammi ad albero degli impianti

. In vista della progettazione preliminare del sistema, sono stati redatti due diagrammi ad albero per i diversi impianti ascensori, elettrico a funi ed oleodinamico; l'impianto è stato suddiviso nei principali ambienti fisici presenti, e all'interno di essi sono stati collocati i componenti essenziali al funzionamento, o quelli maggiormente usati negli impianti di quel tipo, mantenendo però un livello di dettaglio abbastanza ampio in modo da lasciare la trattazione generale ed applicabile a qualsiasi impianto specifico reale al quale verrà installato il GrAMS 2020.

Un trattamento differente viene riservato alla parte dei circuiti elettrici dell'impianto, questi infatti si compongono di componenti che sono distribuiti all'interno dei tre locali principali, ai fini di questa trattazione però non si è ritenuto necessario studiare la struttura specifica dei vari circuiti, questo perché è stata presa la decisione di studiare l'impianto concentrandosi sull'aspetto meccanico. Questa decisione deriva dalla consapevolezza che in un impianto ascensore, i "segnali d'allarme" che l'impianto fornisce quando il suo funzionamento non è ottimale, sono in gran parte sottoforma di segnali meccanici (vibrazioni, rumori, oscillazioni, etc.), ciò nonostante, come verrà poi esposto in seguito, la potenza elettrica richiesta dai componenti dell'ascensore viene comunque studiata, in quanto si ritiene sia un parametro fondamentale per l'osservazione delle non efficienze. Vengono inoltre elencati e studiati anche i contatti elettrici principali necessari alla sicurezza delle persone.

Nelle due pagine seguenti vengono riportati i corrispettivi diagrammi ad albero, che risulteranno utili anche in vista del paragrafo successivo, in cui verrà redatta una FMEA dei vari componenti.

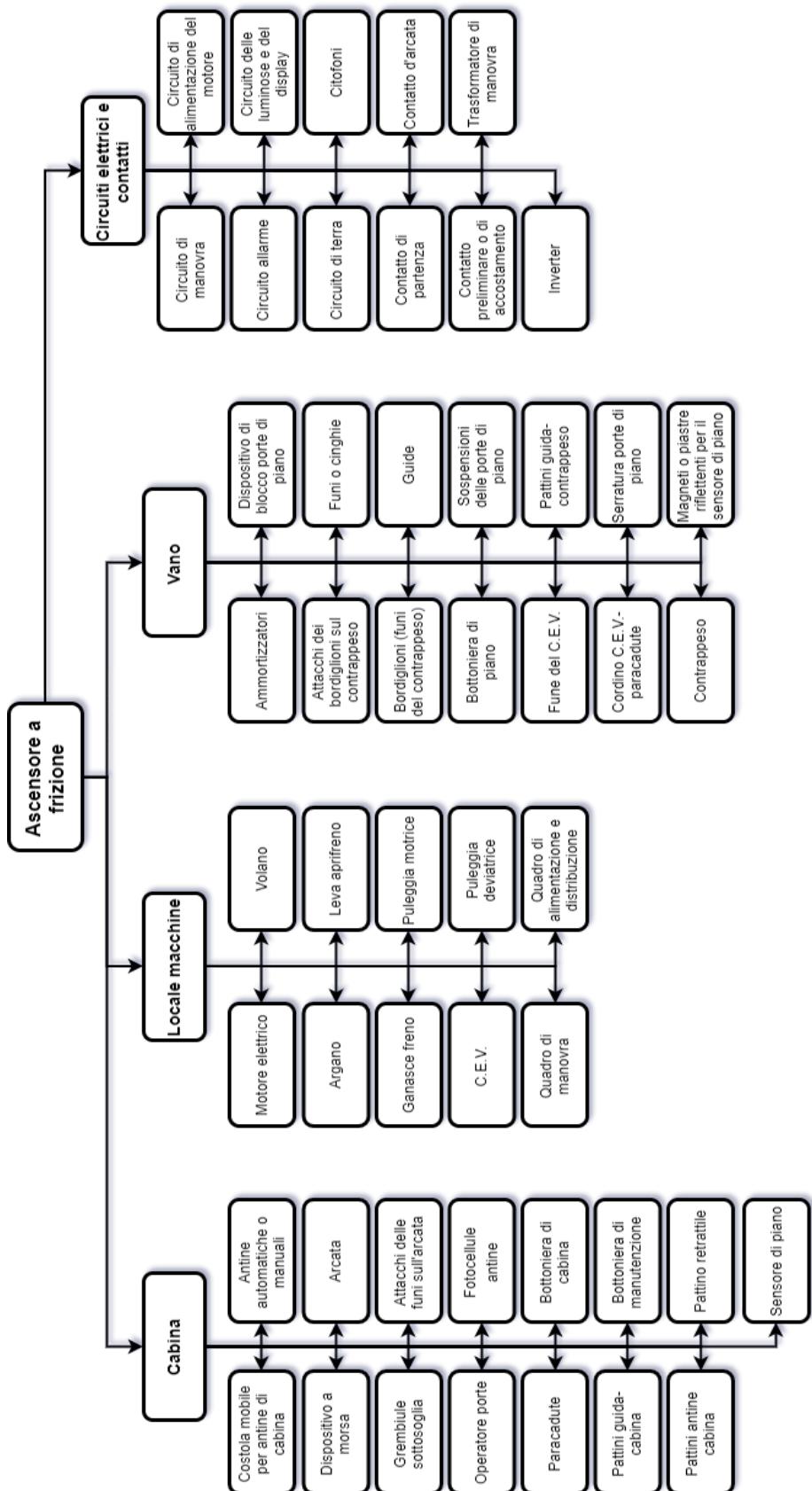


Figura 5.1. Diagramma ad albero, ascensore elettrico

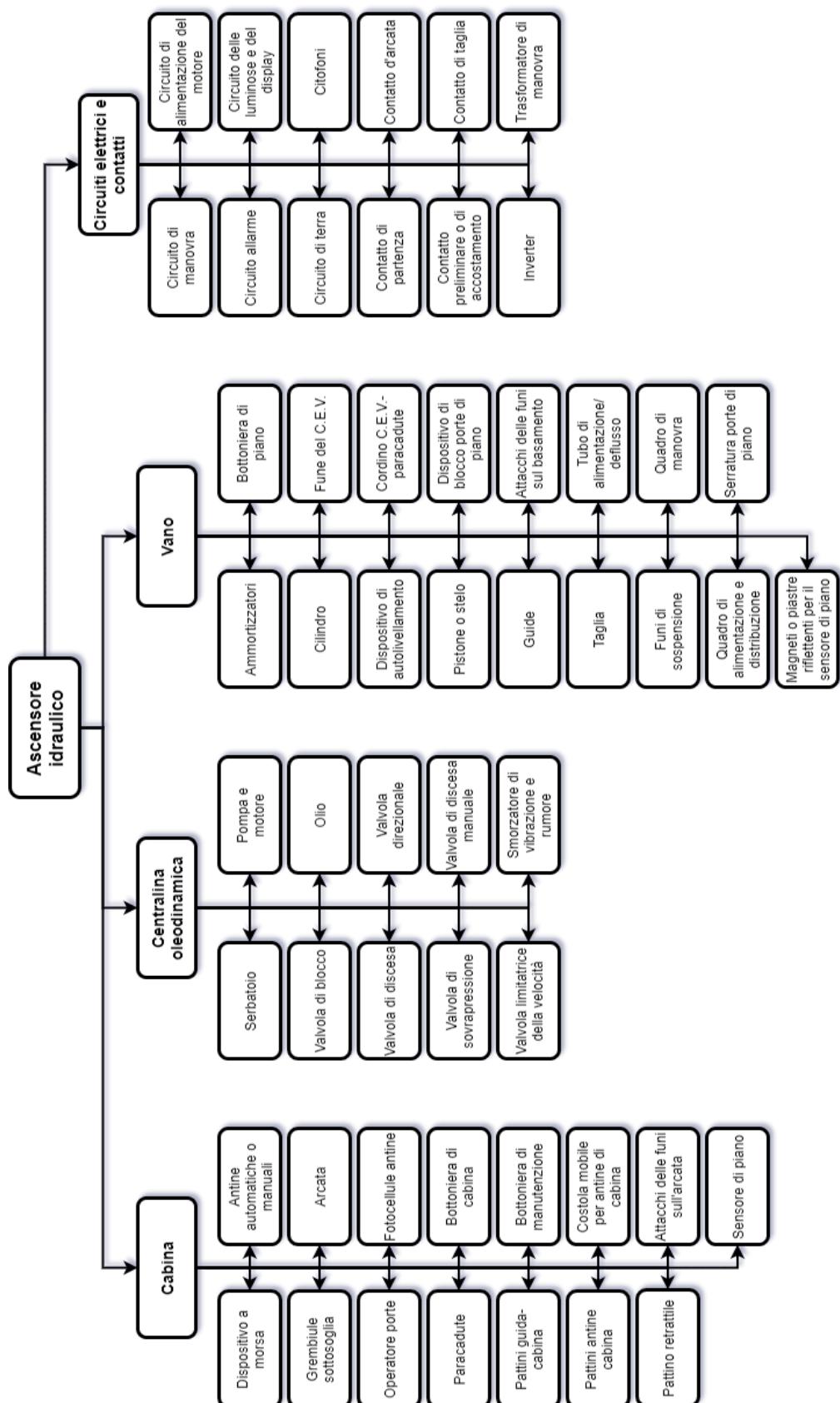


Figura 5.2. Diagramma ad albero, ascensore oleodinamico

5.2 Failure Mode and Effect Analysis per gli impianti ascensore

In questo paragrafo verranno riportate le tabelle riassuntive dell'analisi FMEA svolta, divise secondo i componenti situati nei vari locali: vano corsa, cabina, locale macchine e centralina oleodinamica; si presenta inoltre la tabella riassuntiva dei circuiti e dei contatti elettrici.

I componenti che si troveranno in tali tabelle non sono differenziati a seconda dell'impianto, ma si troveranno insieme nella stessa tabella se la posizione della loro installazione è la medesima. Si tiene poi ad evidenziare una differenza sostanziale tra i componenti mostrati nei vari dei diagrammi al paragrafo precedente e quelli presenti qui di seguito: si è deciso infatti di escludere dalla FMEA i componenti di sicurezza.

Questi, essendo dispositivi obbligatori per legge, sono di conseguenza strettamente normati e controllati, e certificati dallo stesso produttore; inoltre, in quanto tali componenti non entrato in funzione durante il normale svolgimento delle attività, non sono indicatori dello stato di funzionamento dell'impianto, scopo invece principale per lo sviluppo di questo progetto.

Componente	Funzione	Modi di guasto	Cause di guasto	Effetti	Modi di rilevazione
Bottiglia di piano	Consente la chiamata della cabina	- Contatti bloccati chiusi/aperti - Fuori uso - Rottura - Contatti bloccati chiusi/aperti	- Usura dei contatti - Sabotaggio - Usura parti - Sabotaggio	Se un pulsante rimane bloccato aperto quel piano è fuori servizio, mentre se rimane chiuso, causa il fermo impianto Provoca il fermo impianto	Corrente Corrente
Dispositivo di blocco porte di piano	Dispositivo compreso nella serratura delle porte di piano che blocca la porta mediante l'introduzione di uno scrocco nella controserutta. È dotato di un contatto di sicurezza, che consente la movimentazione della cabina solo in caso di bloccaggio avvenuto della porta.	- Contatti bloccati chiusi/aperti	- Usura parti - Corrosione	Può provocare la caduta del contrappeso con i relativi rischi alle persone, causa il fermo impianto	- Rumore - Vibrazioni
Barbelli <small>contrappeso</small>	Guida del contrappeso costituito in origine da un tondino in ferro e successivamente da una fine metallica sprovvista. Trattasi di funi formate da uno o più strati di fili, sotraposti ed avvolti ad elicca, generalmente intorno ad un filo centrale	- Rottura - Rotura	- Rottura/sfacciacimento funi - Strappo delle cinghie	Distruttivo del bordo/glioli con conseguenti gravi rischi ai passeggeri, causa il fermo impianto Può provocare la caduta della cabina con i relativi rischi alle persone, causa il fermo impianto	- Rumore - Vibrazioni
Attacchi del bordo/glioli sul contrappeso	Sistema di collegamento fra i bordi/glioli e il contrappeso	- Rotura	- Usura parti - Corrosione - Usura parti - Corrosione	Movimentazione della cabina non adeguata, può provocare rischi anche gravi ai passeggeri e il fermo impianto	- Rumore - Vibrazioni
Funi o cinghie	Servono alla movimentazione della cabina. Le funi sono costituite da fili d'acciaio elementari detti foni, avvolti fra loro con all'interno un'anima tessile lubrificata. Le cinghie sono di materiale plastico, solitamente rinforzate all'interno da funi in acciaio	- Rotura - Rotura	- Rotura/stillacciamento funi - Strappo delle cinghie - Distacco dalla parte - Deformazione	Può provocare la caduta della cabina con i relativi rischi alle persone, causa il fermo impianto	- Rumore - Vibrazioni
Guide	Profili di sezione sormontante a T, utilizzati per lo scorrimento della cabina, del contrappeso, della massa di bilanciamento o del pistone all'interno del vano corsa	- Rotura	- Usura parti - Corrosione	Movimentazione del contrappeso non adeguata, può provocare rischi anche gravi ai passeggeri e il fermo impianto	- Rumore - Vibrazioni
Pattini guida-contrappeso	Organici atti a facilitare lo scorrimento del contrappeso sulla guida. Sono costituiti da un porta-pattini con regolazione della posizione e dal materiale di attacco soggetto ad usura	- Rotura	- Usura parti - Corrosione	Movimentazione del contrappeso non adeguata, provoca rischi gravi ai passeggeri e il fermo impianto	- Rumore - Vibrazioni
Contrappeso	Serve per ridurre al minimo l'energia necessaria per sollevare ed abbassare la cabina	- Rotura	- Usura parti - Corrosione	L'apertura e chiusura della porta è compromessa, può provocare rischi ai passeggeri e la chiusura del piano	- Rumore - Vibrazioni
Sospensioni porte di piano	Le porte di piano scorrevoli, hanno in alto una guida rigida metallica dove sono appese mediante piccole ruote. Questo meccanismo comprende anche le serrature delle porte apribili con la chiave dell'emergenza	- Rotura	- Usura parti	Movimentazione della cabina non adeguata, perdita d'olio nel vano, può provocare rischi anche gravi ai passeggeri e il fermo impianto	- Rumore - Vibrazioni
Cilindro	Apparecchiatura idraulica che, per mezzo del fluido in esso immesso a pressione per mezzo di una tubazione e di una pompa, movimenta il pistone scorrevole al suo interno	- Rotura - Rotura	- Usura - Connessioni alle tubazioni rovinate	Movimentazione della cabina non adeguata, perdita d'olio nel vano, può provocare rischi anche gravi ai passeggeri e il fermo impianto	- Rumore - Vibrazioni
Pistone o stelo	Organo meccanico verticale a sezione cilindrica, scorrevole all'interno di un cilindro che riceve la spinta di un fluido e che si solleva direttamente la cabina o la lega	- Rotura - Rotura	- Usura - Connessione alla cabina o alla tazza rovinata	Movimentazione della cabina non adeguata, perdita d'olio nel vano, può provocare rischi anche gravi ai passeggeri e il fermo impianto	- Rumore - Vibrazioni
Taglia	Puleggia posta sopra il pistone per gli ascensori idraulici o qualsiasi posta sulla cabina ed il contrappeso per un ascensore che lavora in taglia	- Deformazione - Fuori uso	- Usura parti - Corrosione	Movimentazione della cabina o del contrappeso non adeguata, può provocare rischi anche gravi ai passeggeri e il fermo impianto	- Rumore - Vibrazioni
Attacchi delle funi sul basamento	Sono solitamente elementi metallici, chiamati radance, attorno ai quali si avvolge la fune che forma un'ascella alla quale è applicato il carico. Il capo libero può essere serrato con un manico cilindrico in lega leggera pressata o mediante morsetti a cavalletto	- Rotura - Rotura - Fuori uso	- Usura parti - Corrosione	Distruttivo delle funi dal basamento, con i conseguenti gravi rischi ai passeggeri, causa il fermo impianto	- Rumore - Vibrazioni
Tubo di alimentazione/deflusso	Immette e fa defluire l'olio in pressione nel cilindro permettendo l'ascesa o discesa della cabina	- Rotura - Fuori uso	- Usura parti	Può causare una discesa incontrollata della cabina se unito al guscio della valvola la limitatrice della velocità, oppure non immette l'olio con la pressione necessaria, causando problemi alla movimentazione e il possibile fermo impianto	- Rumore - Vibrazioni
Serratura porte di piano	Non permette l'apertura delle porte di piano se non è presente la cabina. Permette la movimentazione della cabina dal piano attraverso un contatto elettrico che garantisce lo stato di chiusura delle porte.	- Fuori uso - Contatti bloccati chiusi/aperti	- Usura parti - Sabotaggio	Può causare la non apertura della porta, o l'apertura senza la cabina al piano, provocare rischi alle persone e il possibile fermo impianto	- Corrente - Corrente
Dispositivo di attivazione/deflusso	Nei casi di perdite d'olio nelle valvole e nelle guarnizioni dei pistone, e per il raffreddamento dell'olio all'interno del cilindro, questo dispositivo entra automaticamente in funzione per riportare la cabina al giusto livello di piano	- Fuori uso	- Usura parti	Il dispositivo cabina-piano non è compensato, provocando rischi alle persone e il possibile fermo impianto	- Rumore - Vibrazioni
Magneti o piastre riflettenti per il sensore di piano	Componenti solitamente installati sulle guide che permettono il riconoscimento della posizione della cabina durante il movimento, vengono rilevati dai sensori di piano installati sulla cabina	- Rotura - Fuori uso	- Distaccamento - Corrosione - Specchia	Il sistema centrale dell'impianto non è più in grado di riconoscere con precisione la posizione della cabina, può provocare fermate non al piano	Corrente N/A

Tabella 5.1. FMEA dei componenti del vano corsa

Componente	Funzione	Modi di guasto	Cause di guasto	Effetti	Modi di rilevazione
Arcata	Struttura di sostegno della cabina di diversa forma	- Rottura - Fuori uso	- Usata parti - Corrosione	La cabina non è più sostenuta in maniera corretta, provocando gravi rischi ai passeggeri causati il fermo impianto	- Rumore - Vibrazioni - Corrente N/A
Bottoneira di cabina	Dispositivo Posto sulla parete di cabina per l'invio e l'allarme	Contatti bloccati chiusi/aperti	- Fusione contatti	Se un pulsante rimane bloccato aperto non posso inviare la cabina al piano, mentre se rimane chiuso causa il fermo impianto	- Rumore - Vibrazioni - Corrente N/A
Costola mobile per attine di cabina	Dispositivo Posto sulla porta di cabina che in caso di urto contro un ostacolo ne impedisce la chiusura	- Rottura - Fuori uso	- Usata parti - Sabbiaggio	In caso di urto le porte continuano a chiudere non interrompendo la propria corsa, causando rischi alle persone, provoca il fermo impianto	- Rumore - Vibrazioni - Corrente N/A
Antine automatiche o manuali	Ante metalliche che costituiscono la porta della cabina	- Rottura - Fuori uso	- Usata parti - Urti - Sabbiaggio	Apertura non corrona, può causare rischi alle persone e il conseguente fermo impianto	N/A
Dispositivo a morsa	Dispositivo meccanico che, una volta azionato, arresta la cabina che si muove in discesa e la mantiene ferma. Per impedirne l'abbassamento lento	- Rottura - Fuori uso	- Usata parti - Corrosione	La cabina non rimane bloccata quando ferma al piano o in altre situazioni, può causare rischi alle persone e il conseguente fermo impianto	- Rumore - Vibrazioni N/A
Grenibile sottosoglia	Paramento verticale in lamiera di larghezza pari alle porte di piano e di altezza 75 cm (più lo smusso) posto al di sotto della delle soglie di cabina (in caso di più accessi) ad evitare la caduta di persone nel vano di corsa in caso di fermata accidentale fuori piano	Rottura	- Usata parti - Sabbiaggio	Rischio di caduta nel vano per le persone in caso di fermata superiore accidentale della cabina con le porte di piano aperte	N/A
Operatore porte	Apparecchiatura posta sul tetto della cabina, composta di motorduttore e manocerchismi atti a movimentare le porte di cabina, ed eventualmente le porte di piano	Fuori uso	- Usata parti - Surriscaldamento - Pico di corrente	Impossibilità di apertura delle porte di cabina e di piano, o apertura non corrona, può causare rischi ai passeggeri e il fermo impianto	- Corrente - Vibrazione - Rumore N/A
Attacchi delle funi sull'arcata	Sistemi di collegamento fra le funi e la cabina	Rottura	- Usata parti - Corrosione	Distaccamento delle funi con conseguenti gravi rischi ai passeggeri, causa il fermo impianto	- Rumore - Vibrazioni - Vibrazione - Rumore N/A
Pattini guide-cabina	Organi atti a facilitare lo scorrimento della cabina sulle guide	Rottura	- Usata parti	Movimentazione della cabina erronca o impossibile, può causare gravi rischi alle persone e il fermo impianto	- Vibrazione - Rumore N/A
Fotocellula antine	Dispositivo fotosensibile atti a rilevare un oggetto interposto fra le porte dell'ascensore e a impedire la chiusura	Fuori uso	- Fusione contatti - Sabbiaggio - Ostruzione	Chiusura delle porte con un passeggero tra esse, provoca rischi alle persone e il possibile fermo impianto	N/A
Bottoneira di manutenzione	Dispositivo Posto sul tetto di cabina (ed a volte anche sul quadro di manovra) che ne consente il movimento mediante un commutatore che escluderà la manovra esterna ed abilita quella di manutenzione, per mezzo di pulsanti di salita e discesa e pulsante di STOP	Fuori uso	- Usata parti - Sabbiaggio - Pico di corrente	Non permette la movimentazione in fase di manutenzione della cabina, può causare rischi anche gravi al manutentore	N/A
Pattini antine cabina	Dispositivi posti al disotto delle ante delle porte di cabina e di piano atti a facilitarne lo scorrimento all'interno di apposite guide.	Rottura	- Usata parti - Sabbiaggio	Non corretta apertura delle ante, può provocare rischi alle persone e il fermo impianto	Vibrazione - Rumore - Vibrazioni - Corrente Corrente
Pattino retrattile	Sagoma azionata da un elettromagnete o da un motormio che all'arrivo della cabina ad un piano sblocca la porta di piano consentendone l'apertura	- Rottura - Fuori uso	- Pico di corrente - Usata parti	Non permette l'apertura delle porte di piano, causando il fermo impianto e rischi ai passeggeri	- Rumore - Vibrazioni - Corrente Corrente
Sensore di piano	Sensore composto da uno o più dispositivi installati solitamente sul tetto della cabina rilevano la presenza dei componenti associati sulle guida. Permettendo il ricontrollamento della posizione della cabina e stabilendo il momento di fermata della stessa (normalmente è composto da un sensore ad effetto Hall e magneti, o da uno fotoelettrico e piastre riflettenti)	Fuori uso	- Fusione contatti - Sabbiaggio - Usata parti	Il sistema centrale dell'impianto non è più in grado di riconoscere con precisione la posizione della cabina, può provocare fermate non al piano	N/A

Tabella 5.2. FMEA dei componenti della cabina

Componente	Funzione	Modi di guasto	Cause di guasto	Effetti	Modi di rilevazione
Motore elettrico	Collegato al riduttore, costituisce il gruppo motore-argano fondamentale per il funzionamento dell'impianto	Fuori uso	-Usata Parti -Surriscaldamento -Picco di corrente Usata parti	Se il motore si blocca, provoca il fermo dell'intero impianto	-Corrente -Vibrazioni
Vòlano	Disco metallico, fissato all'albero motore, utilizzato per regolarizzare la velocità dell'ascensore ed indispensabile per effettuare la manovra a mano	- Rotura - Fuori uso		Con la rotura o il comportamento anomalo del volante, il motore elettrico viene sovraccaricato in caso di emergenza è impossibile la manovra a mano creando una situazione di pericolo per i passeggeri in cabina	- Rumore - Vibrazioni
Puleggia deviatrice	Ruota semicellata atta a deviare le funi per indirizzarle perpendicolari alla cabina	- Rotura - Fuori uso	Usata parti	Estrema situazione di pericolo per la cabina che non è sorretta nella maniera corretta, o viene movimentata in maniera non consueta, porta al fermo impianto	- Rumore - Vibrazioni
Ganasse del freno	Poste abitualmente in corrispondenza del giunto fra argano e motore e contribuiscono alla tenuta della cabina e al mantenimento della posizione di fermo	Fuori uso	-Usata Parti - Picco di corrente	La cabina non viene fermata nei tempi previsti, o non rimane nello stato di fermo al piano. Potrebbe causare danni anche gravi ai passeggeri e il fermo impianto	- Rumore - Vibrazioni
Agano	Mecanismo costituito generalmente da una vite fina in acciaio, collegata con l'asse motore ed una corona dentata, cinghietta sull'asse su cui è fissata la puleggia motrice. Ha la funzione di ridurre la velocità di rotazione dell'asse della puleggia motrice e quindi di ottenere una stabilità di velocità della cabina	- Rotura - Fuori uso	-Usata Parti -Surriscaldamento	La cabina non è più movimentata dal motore, o viene movimentata in maniera non consueta, questo comporta rischi alla sicurezza dei passeggeri ed il fermo impianto	- Rumore - Vibrazioni
Puleggia motrice	Ruota semicellata atta a trasmettere la forza di aderenza delle funi all'alloggiata nelle sue scanalature	- Rotura - Fuori uso	-Usata parti -Surriscaldamento	Estrema situazione di pericolo per la cabina che non è sorretta nella maniera corretta, o viene movimentata in maniera non consueta, porta al fermo impianto.	- Rumore - Vibrazioni - Corrente

Tabella 5.3. FMEA dei componenti del motore a frizione

Componente	Funzione	Modi di guasto	Cause di guasto	Effetti	Modi di rilevazione
Pompa e motore	Apparecchiatura che mette in pressione l'olio contenuto nel serbatoio della centralina consentendo il movimento verticale del pistoncino negli impianti idraulici	- Rotura - Fuori uso	-Usata parti - Surriscaldamento - Picco di corrente	Se la Pompa si blocca, provoca il fermo dell'intero impianto	- Rumore - Vibrazioni
Serbatoio	Contiene l'olio e il gruppo motore	- Rotura	-Usata parti	Si provoca una perdita d'olio dal serbatoio inquinando l'ambiente, si provoca danni al gruppo motore interno, può causare il fermo impianto	- Corrente - Livello olio - Vibrazioni
Olio	Permette la movimentazione della cabina tramite la circolazione in pressione all'interno del circuito idraulico	Fuori uso	-Sporchezza -Surriscaldamento -Decalimento	La cabina viene movimentata in maniera non consueta, i componenti meccanici possono danneggiarsi, può causare rischi ai passeggeri ed il fermo impianto	- Proprietà olio
Valvola direzionale	Permette il passaggio del fluido in una sola direzione	Fuori uso	- Rotura -Usata Parti	Se rotta, può provocare il reflusso nella corona a olio durante la discesa, danneggiando il motore e provocando rischi ai passeggeri e il fermo impianto	- Rumore - Vibrazioni
Valvola di discesa	Regolata elettricamente in un circuito idraulico per comandare la discesa della cabina	Fuori uso	- Rotura -Usata Parti	Se rotta, può causare una discesa involontaria della cabina, provocando rischi ai passeggeri e il fermo impianto	- Corrente - Vibrazioni
Valvola di discesa manuale	Consente di far scendere la cabina fino ad un piano più basso e/o il pian terreno, per far uscire i passeggeri che sono rimasti bloccati per un guasto, purché non sia intervenuto il paracidio e non si sia verificata la rotura delle tubazioni.	Fuori uso	- Rotura -Usata Parti	Se rotta, può impedire la discesa della cabina e l'uscita dei passeggeri durante una situazione d'emergenza	- Posizione
Valvola di sovrappressione	Consente di far scendere la cabina fino ad un piano più basso e/o il pian terreno, per far uscire i passeggeri che sono rimasti bloccati per un guasto, purché non sia intervenuto il paracidio e non si sia verificata la rotura delle tubazioni.	Fuori uso	- Rotura -Usata Parti	Se rotta, può causare una discesa a velocità incontrollata della cabina, provocando rischi ai passeggeri e il fermo impianto	- Rumore - Vibrazioni
Smorzatore di vibrazioni e rumore	Impedisce che la pressione superi un valore prefissato mediante scarico del fluido	Fuori uso	- Rotura -Usata Parti	Se rotta, può causare una perdita di pressione, o una sovrappressione, nell'olio da immettere nel cilindro, danneggiando la pompa e provocando rischi ai passeggeri e il fermo impianto	- Posizione
	Regola il flusso del fluido eliminando le pulsazioni derivanti dalla pompa che causano vibrazioni e rumore non desiderati	- Rotura - Fuori uso	- Rotura -Usata Parti	Il fluido a propulsione in trascina una valvola causando perdita di pressione periodica che possono芳eggiare i componenti a valle, se la rotura è completa si ha riversamento del fluido nel serbatoio con conseguente fermo impianto	- Rumore - Vibrazioni

Tabella 5.4. FMEA dei componenti della centralina oleodinamica

Componente	Funzione	Modi di guasto	Cause di guasto	Effetti	Modi di rilevazione
Circuito di manovra	Una volta premuto un pulsante sia in cabina che ai vari piani, se le porte sono chiuse e tutti i contatti di sicurezza inseriti, consente alla corrente elettrica di arrivare a mezzo del circuito di alimentazione, al freno ed al motore che movimenta la cabina	- Contatti bloccati chiusi/aperiti - Contatti aperti	- Pico di corrente - Invecchiamento isolante - Fusione contatti - Cortocircuito	La non chiusura del circuito provoca il fermo impianto	Corrente
Circuito di alimentazione del motore	Aziona il motore solo se tutti i contatti del circuito di manovra sono chiusi	- Contatti bloccati chiusi/aperiti - Contacircuito	- Pico di corrente - Invecchiamento isolante - Fusione contatti	La non chiusura del circuito provoca il fermo impianto	Corrente
Circuito allarme	Permette l'attivazione di un segnale di allarme, deve essere dotato di una batteria personale	- Contatti bloccati chiusi/aperiti - Batteria esaurita	- Pico di corrente - Invecchiamento isolante - Fusione contatti	Comunicazione tra passeggero in cabina ed esterno interrotta, può essere causa di rischi alle persone	Corrente
Circuito delle luminose e del display	Accende le luminose dei piani ed eventuali display	- Contatti bloccati chiusi/aperiti - Contacircuito	- Pico di corrente - Invecchiamento isolante - Fusione contatti	Assenza di luci in cabina o display non funzionante, può essere causa di rischi alle persone	Corrente
Circuito di terra	Il collegamento a terra di tutte le strutture metalliche di un ascensore costituisce una protezione contro le tensioni di contatto delle persone	- Contatti bloccati chiusi/aperiti - Contacircuito	- Pico di corrente - Invecchiamento isolante - Fusione contatti	Può essere causa di gravi rischi alle persone e nel caso peggiore si può rischiare la folgorazione, oltre a causare ustura ai circuiti e alle parti metalliche dell'impianto, causa il fermo impianto	Corrente
Citofoni	Permette la comunicazione con l'esterno dalla cabina	Fuori servizio	- Rotura microfono - Fusione contatti	Impossibilità dell'utente di comunicare vocalmente con l'esterno della cabina, può essere causa di rischi alle persone	- Rumore - Corrente
Contatto di partenza (catenaccio)	Controlla la chiusura delle porte automatiche di cabina, consentendo il movimento di quest'ultima	Contatti bloccati chiusi/aperiti	Usura dei contatti	Se il contatto rimane chiuso possibile patenza a porte aperte, mentre se rimane aperto causa il fermo impianto e può essere causa di gravi rischi alle persone	Corrente
Contatto preliminare o di accartamento	Fa parte delle serrature ed agisce sul circuito di manovra consentendo, alla chiusura delle porte di piano, le operazioni prefinali alla movimentazione della cabina	Contatti bloccati chiusi/aperiti	- Usura dei contatti - Guasto meccanico delle porte	Se il contatto rimane aperto causa il movimentazione della cabina a porte aperte, provocando gravi rischi alle persone	Corrente
Contatto di taglia	Contatto posto al capofisso delle funi di un impianto in taglia che in caso di allentamento di una o più funi interrompe il circuito di manovra	Contatti bloccati chiusi/aperiti	Usura dei contatti	Se il contatto rimane chiuso non fornisce protezione dall'allentamento delle funi, provocando gravi rischi alle persone, se invece rimane aperto causa il fermo impianto	Corrente
Inverter	Consente la regolazione della velocità di esercizio e di livellazione al fine del migliore comfort di marcia e di precisione delle fermate al piano	- Fuori uso - Contacircuito	- Pico di corrente - Invecchiamento isolante - Fusione contatti	Provoca rischi alle persone, non permettendo una giusta movimentazione della cabina	Corrente
Trasformatore di manovra	Dispositivo che trasforma la tensione di rete in tensioni adatte all'alimentazione dei circuiti dell'ascensore	- Fuori uso - Contacircuito	- Pico di corrente - Invecchiamento isolante - Fusione contatti	Sovraccarica i circuiti che alimenta, provocando guasti e possibili rischi alle persone	Corrente

Tabella 5.5. FMEA dei componenti dei circuiti e contatti elettrici

5.3 Interventi manutentivi secondo normativa

Di seguito, si riportano gli elementi dell'impianto sottoposti a controlli manutentivi, secondo normativa UNI EN 13015 evidenziandone, dove presente, l'obbligo semestrale secondo D.P.R. 162 del 30/04/1999:

5.3.1 Ascensori elettrici

Componente	Obbligo semestrale	Descrizione attività
Limitatore di velocità e tenditore	Si	Controllare l'usura ed il movimento delle parti mobili; controllarne il funzionamento; controllarne il contatto elettrico
Paracadute	Si	Controllare il libero movimento e l'usura delle parti mobili; Controllare la lubrificazione; Controllare il fissaggio; Controllare il funzionamento; Controllare il contatto elettrico.
Contatti di sicurezza	Si	Verificare lo stato per il corretto funzionamento
Funi/catene di sospensione e relativi attacchi	Si	Controllare l'usura, l'allungamento e la tensione; Controllare la lubrificazione solo dove prevista
Messa a terra	Si	Verifica strumentale dell'efficienza
Porte di piano	Si	Controllare il funzionamento dei dispositivi di blocco delle porte di piano. Controllare che le porte scorrono liberamente. Controllare il guidaggio della porta. Controllare i giuochi della porta. Controllare l'integrità della funicella, catena o cinghia quando usata. Controllare il dispositivo di sbloccaggio di emergenza della porta. Controllare la lubrificazione.
Porte di cabina	Si	Controllare il contatto di chiusura o bloccaggio. Controllare che la porta scorra liberamente. Controllare il guidaggio della porta. Controllare i giuochi della porta. Controllare l'integrità della funicella o catena quando usata. Controllare il dispositivo per la protezione del passeggero. Controllare la lubrificazione
Ammortizzatori	Si	Controllare il livello dell'olio; Controllare la lubrificazione; Controllare il contatto elettrico (se installato); Controllare il fissaggio
Fossa vano corsa	No	Controllare l'eccesso di olio o grasso sotto le guide; Controllare che la zona della fossa sia pulita, asciutta e priva di detriti
Motore elettrico/Generatore	No	Controllare l'usura dei cuscinetti o bronzine; Controllare la lubrificazione; Controllare lo stato del commutatore
Riduttore	No	Controllare l'usura degli ingranaggi; Controllare la lubrificazione
Puleggia di trazione	No	Controllare le condizioni e l'usura delle gole
Freno	No	Controllare il sistema di frenatura; Controllare le parti frenanti per usura; Controllare la precisione della fermata
Quadro di manovra	No	Controllare che l'armadio sia pulito, asciutto e libero da polvere
Puleggia di deviazione	No	Controllare l'usura delle gole; Controllare l'anormale rumorosità e/o le vibrazioni dei cuscinetti; Controllare le protezioni; Controllare la lubrificazione
Guide della cabina e del contrappeso	No	Controllare la presenza di una pellicola d'olio, dove richiesta, su tutte le superfici delle guide; Controllare il fissaggio
Pattini di guida della cabina e del Contrappeso	No	Controllare l'usura dei pattini e dei rulli; Controllare il fissaggio; Controllare la lubrificazione dove necessaria
Cavi elettrici	No	Controllare l'isolamento
Cabina dell'ascensore	No	Controllare l'illuminazione di emergenza, i pulsanti di cabina, gli interruttori a chiave; Controllare i fissaggi dei pannelli e del cielino

Tabella 5.6. Controlli manutentivi per impianti ascensori a frizione

5.3.2 Ascensori idraulici

Componente	Obbligo semestrale	Descrizione attività
Paracadute	Si	Controllare il libero movimento e l'usura delle parti mobili; Controllare la lubrificazione; Controllare il fissaggio; Controllare il funzionamento; Controllare il contatto elettrico.
Funi/catene di sospensione e relativi attacchi	Si	Controllare l'usura, l'allungamento e la tensione; Controllare la lubrificazione solo dove prevista
Messa a terra	Si	Verifica strumentale dell'efficienza
Contatti di sicurezza	Si	Verificare lo stato per il corretto funzionamento
Valvola discesa	Si	Verificare lo stato per il corretto funzionamento
Valvola di blocco	Si	Verificare lo stato per il corretto funzionamento
Porte di piano	Si	Controllare il funzionamento dei dispositivi di blocco delle porte di piano. Controllare che le porte scorrono liberamente. Controllare il guidaggio della porta. Controllare i giuochi della porta. Controllare l'integrità della funicella, catena o cinghia quando usata. Controllare il dispositivo di sbloccaggio di emergenza della porta. Controllare la lubrificazione.
Porta di cabina	Si	Controllare il contatto di chiusura o sbloccaggio. Controllare che la porta scorrà liberamente. Controllare il guidaggio della porta. Controllare i giuochi della porta. Controllare l'integrità della funicella o catena quando usata. Controllare il dispositivo per la protezione del passeggero. Controllare la lubrificazione
Ammortizzatori	Si	Controllare il livello dell'olio; Controllare la lubrificazione; Controllare il contatto elettrico (se installato); Controllare il fissaggio
Fossa vano di corsa	No	Controllare l'eccesso di olio o grasso sotto le guide. Controllare che la zona della fossa sia pulita asciutta e priva di detriti
Serbatoio della centralina	No	Controllare il livello del fluido idraulico. Controllare le perdite del serbatoio e delle valvole
Pistone	No	Controllare le perdite d'olio
Pistone telescopico	No	Controllare la sincronizzazione
Quadro di manovra	No	Controllare che l'armadio sia pulito, asciutto e libero da polvere
Guide della cabina, del pistone	No	Controllare la presenza di una pellicola d'olio, dove richiesta, su tutte le superfici delle guide. Controllare il fissaggio
Pattini di guida della cabina, del pistone	No	Controllare l'usura dei pattini e dei rulli. Controllare il fissaggio. Controllare la lubrificazione dove necessaria
Cavi elettrici	No	Controllare l'isolamento
Cabina dell'ascensore	No	Controllare l'illuminazione di emergenza, i pulsanti di cabina, gli interruttori a chiave. Controllare i fissaggi dei pannelli e del cielino
Livellamento al piano	No	Controllare la precisione della fermata
Interruttori di finecorsa	No	Controllare il funzionamento
Limitatore del tempo di alimentazione del motore	No	Controllare il funzionamento
Comandi e segnalazioni ai piani	No	Controllare il funzionamento
Illuminazione del vano di corsa	No	Controllare il funzionamento
Dispositivo anti-deriva	No	Controllare il funzionamento
Valvola di sovrappressione	No	Controllare il funzionamento
Valvola di discesa manuale	No	Controllare il funzionamento
Pompa a mano	No	Controllare il funzionamento
Tubazione e raccordi	No	Controllare danneggiamenti e perdite

Tabella 5.7. Controlli manutentivi per impianti ascensori idraulici

5.4 Dati statistici su rotture e incidenti

Per una più robusta analisi su quali componenti andare a monitorare tramite l'installazione di sensoristica, si analizzano in questo paragrafo: quei dati statistici riguardanti gli infortuni a lavoratori e utilizzatori, la componentistica che viene più coinvolta in caso di guasto e la numerosità dei guasti.

Una selezione sui dati è stata effettuata sulla base della robustezza di quest'ultimi e sulle fonti dalle quali provengono.

Dovendo inserire il nostro prodotto per la manutenzione su di uno scenario che è quello italiano si introducono alcuni dati di massima sulla quantità di ascensori presenti sul territorio e su quelli che sono i numeri economici che girano intorno alle aziende che si occupano di installazione, manutenzione e realizzazione di impianti ascensori.

In Italia il parco ascensori è composto da circa 960'000 unità, rendendo l'Italia il secondo paese al mondo, dopo la Cina, per numero di impianti. Il fatturato lordo per le aziende italiane del settore che si occupano di manutenzione installazione e realizzazione, nel 2016, è stato di 2,3 miliardi di euro. Di tale fatturato una fetta importante viene coperta da tutte quelle che sono le attività di manutenzione di impianti esistenti, essendo quello italiano un mercato dove le nuove istallazioni sono limitate rispetto ai mercati emergenti di Cina e sud est asiatico. La situazione degli impianti ascensori installato in Italia è la seguente: il 60% degli impianti sono in servizio da più di venti anni, mentre il restante 40% da oltre trenta. La presenza di un così elevato numero di sistemi datati rende l'ammodernamento e la manutenzione essenziali per il corretto funzionamento degli impianti per evitare incidenti e bassi livelli di servizio.[39]

Analizziamo quelli che sono gli incidenti che avvengono più frequentemente, prendiamo in esame i dati presi da C.A. Broker e resi disponibili dal CNIM. In Figura 5.3 vengono riportati il numero di infortuni verso persone dipendenti e terze. Questi dati rappresentano un campione del 10% delle aziende che operano sulla manutenzione degli impianti e coprono un lasso temporale di 5 anni, dal 2010 al 2015.

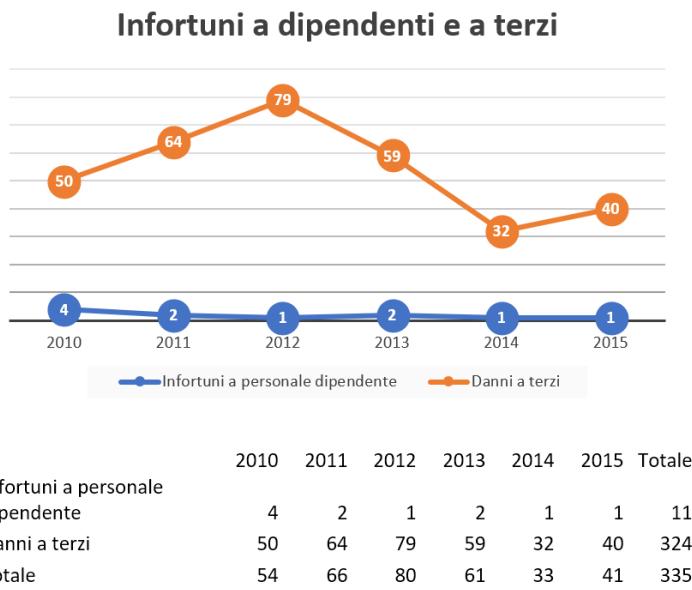


Figura 5.3. Numero di infortuni al personale e danni verso terzi

Su un totale di 335 infortuni 8 sono stati quelli gravi o mortali, i quali formano una percentuale del 2,4% di eventi critici non trascurabile.

In Figura 5.4 vengono riportati le tipologie di incidenti avvenuti.



	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Totale
Dislivello	18	24	25	13	13	9	102
Chiusura porte	10	9	14	11	0	7	51
Esecuzione lavori	10	20	23	16	13	17	99
Discesa rapida cabina	3	5	3	2	1	1	15
Totale danni a terzi	41	58	65	42	27	34	267

Figura 5.4. Tipologia di incidenti causati

- il 31,5% degli incidenti è causato dall'inciampo sul gradino dato dal

dislivello tra la cabina e il piano

- il 15,7% dall'urto con le porte automatiche
- il 30,5% sono incidenti durante l'esecuzione di lavori
- il 4,6% sono i casi dovuti al movimento incontrollato della cabina in velocità

Per un'analisi statistica più accurata sui vari componenti che causano gli incidenti si è deciso di analizzare l'articolo scientifico riportato di seguito, che anche se non attinente al mercato italiano risulta essere coerente con le statiche precedentemente citate.

5.4.1 An implementation of risk-based inspection for elevator maintenance. Di: Seung-Tae Park and Bo-Suk Yang. Pubblicato il: 18/09/2010

L'articolo prende in esame il mercato coreano e si basa su dati raccolti tra il 1998 e il 2006, dato il largo intervallo di dati va considerata anche la numerosità degli elevatori installati che di anno in anno è cresciuto. In Tabella 5.8 vengono riportati i dati relativi al numero di ascensori e di incidenti.

Year	Total number of installation	Number of accident	The incidence of accident (%)	Accident number per 10,000 persons
1998	159,230	28	0.0176	1.76
1999	174,261	12	0.0069	0.69
2000	190,187	22	0.0116	1.16
2001	208,497	28	0.0134	1.34
2002	231,562	16	0.0069	0.69
2003	259,850	40	0.0154	1.54
2004	289,808	25	0.0086	0.86
2005	314,495	42	0.0134	1.34
2006	336,311	90	0.0268	2.68
2007	359,098	97	0.0270	2.70

Tabella 5.8. Numero ascensori e di incidenti in Korea dal 1998 al 2007

Dall'articolo si può vedere come le tipologie di incidente più importanti siano le medesime di quelle rappresentative dello scenario italiano:

- dislivello piano – cabina
- danno da chiusura accidentale
- discesa veloce
- incidenti durante le fasi di manutenzione
- uso non idoneo

In Tabella 5.9 vengono riportate quali sono le componenti dell'elevatore più coinvolte negli incidenti.

Fault components	Number of cases	Rate (%)
Button and position indicator	2,448	23.3
Hall door	1,900	18.1
Car door	1,801	17.1
Controller	958	9.1
Car	820	7.8
Hoist way	484	4.6
Governor	386	3.7
Counterweight	179	1.7
Traction machine	77	0.7
Others	1,453	13.8
Sum	10,506	100.0

Tabella 5.9. Componenti interessati da guasto

Il 58% dei componenti che sono coinvolti negli incidenti sono dati da:

- porte cabina e piano
- bottoniera e indicatore luminoso piano
- controllore

La rottura o il malfunzionamento di questi componenti risulta coerente con le tipologie di incidenti più comuni analizzate precedentemente. Il seguente articolo prende in esame dei dati provenienti dalla Francia che analizzano la qualità di servizio di un gruppo di ascensori a Parigi, dopo l'introduzione della legge Robien.

5.4.2 Trading service quality for safety: a cautionary tale from the French 'Robien law' on elevator safety. Di: Lisa Chever e Michael Klien. Pubblicato il: 29/11/2017

La ricerca parte dall'esame di un campione di 3500 ascensori in Francia, soffermandosi su quelli che sono stati gli effetti della legge Robien, che nel 2003 entra in vigore per ridurre gli incidenti mortali, sulla qualità del servizio. Per analizzare la qualità del servizio la ricerca prende in esame il

tempo medio annuale di guasto e il numero di guasti medi annuali. La legge introduce dispositivi di sicurezza e standard per gli ascensori costruiti in data antecedente al 2001. Questi dati sono stati presi dalla public housing agency in Paris. Analizzando sia il numero medio dei guasti annuali in Figura 5.5 sia la durata media dei guasti annuali in Figura 5.6, si nota come l'introduzione della legge abbia aumentato sia il numero di fermi che la durata del fermo. Tale data è il 2008 anno in cui tutti i dispositivi hanno ricevuto gli aggiornamenti di sicurezza.

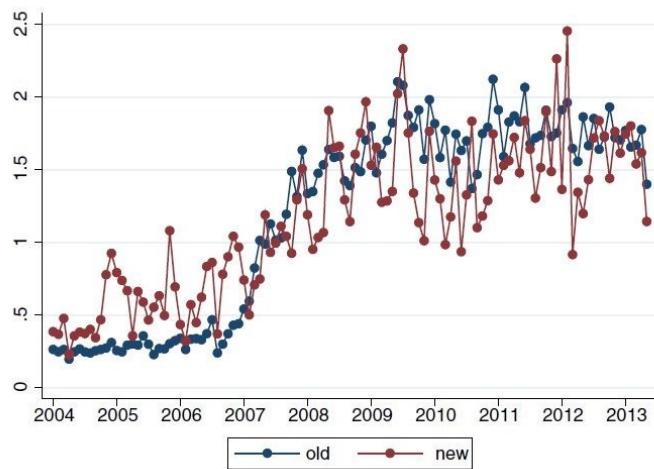


Figura 5.5. Numero medio di fermi

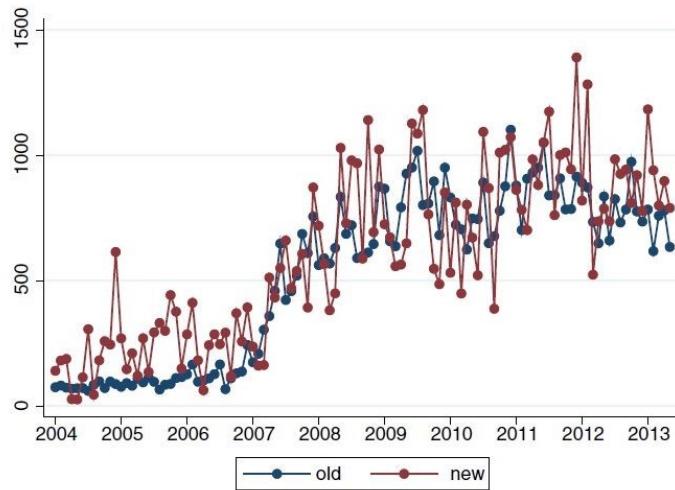


Figura 5.6. Tempo di guasto medio

Altra osservazione è legata alla data di installazione dell’ascensore, antecedente al 2001 indicata con la dicitura “old” o post 2001 indicata con la dicitura “new”. La legge interessava solo gli ascensori considerati vecchi, ma dai grafici è possibile vedere come anche i nuovi ascensori hanno seguito il trend di incremento. Questo incremento viene giustificato con l’idea che la legge abbia spostato le risorse del lavoro dalla manutenzione preventiva alla riparazione, trascurando i nuovi ascensori.

Altra informazione è il numero di ore annuo in cui questi impianti sono fuori uso. Risulta essere una media di 500 ore annue di fuori servizio ovvero il 6% delle ore totali.

Questi dati avvalorano l’idea che una buona manutenzione è non solo essenziale per quelli che sono i dispositivi con installazione più datata ma anche tutti quelli che sono considerati dispositivi di ultima installazione. Se quindi si vuole garantire un alto livello di servizio è necessario una manutenzione che miri non alla sostituzione solo in caso di guasto, ma alla prevenzione del guasto stesso.

5.5 Fault Tree Analysis per le principali cause di incidente

Come riportato nel paragrafo precedente, la maggior parte degli incidenti ai passeggeri avviene durante l’entrata o l’uscita dalla cabina, a causa di un malfunzionamento di quei componenti che entrano in funzione proprio

durante le fasi in cabina al piano. Per questo motivo si è deciso di provare a riportare degli alberi dei guasti per i suddetti tipi di incidenti principali, identificati come il mancato livellamento della cabina al piano, specificando se trattasi di un impianto elettrico o idraulico, la chiusura erronea delle porte di piano o di cabina e il movimento rapido incontrollato della cabina in salita o discesa. Quest'ultimo tipo è stato preso in considerazione poiché anche se è meno frequente rispetto agli altri, porta a conseguenze generalmente più disastrose, come ad esempio la morte della persona o una grave lesione.

Per quanto riguarda gli incidenti avvenuti durante lo svolgimento dei lavori, si è scelto di non considerarli durante questa analisi poiché rappresentano un insieme eccessivamente eterogeneo e quindi difficilmente analizzabile, inoltre, se sono causati da un malfunzionamento dei componenti dell'ascensore, sono stati precedentemente analizzati in altre sezioni di questo trattato, se invece sono causati da un comportamento sbagliato, dall'incuria o dalla trasgressione delle norme corrette da parte dell'operatore manutentore, allora risultano del tutto al di fuori dell'obiettivo e del campo d'azione di questo progetto.

Seguono i diagrammi FTA per i guasti citati sopra, redatti considerando i modi di guasto degli elementi d'impianto riportati nella FMEA.

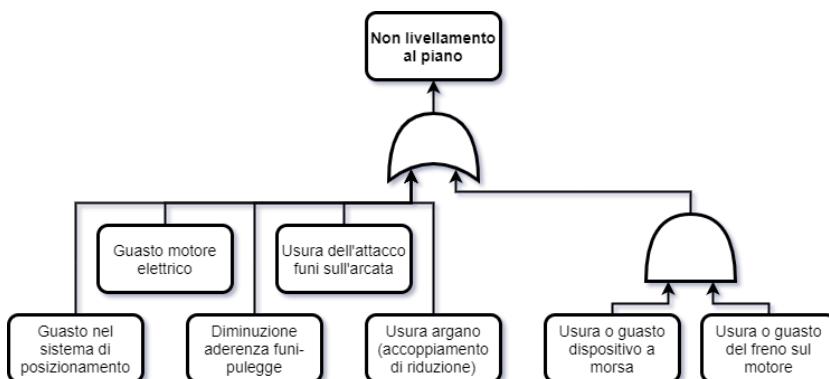


Figura 5.7. FTA di mancato livellamento per gli ascensori elettrici

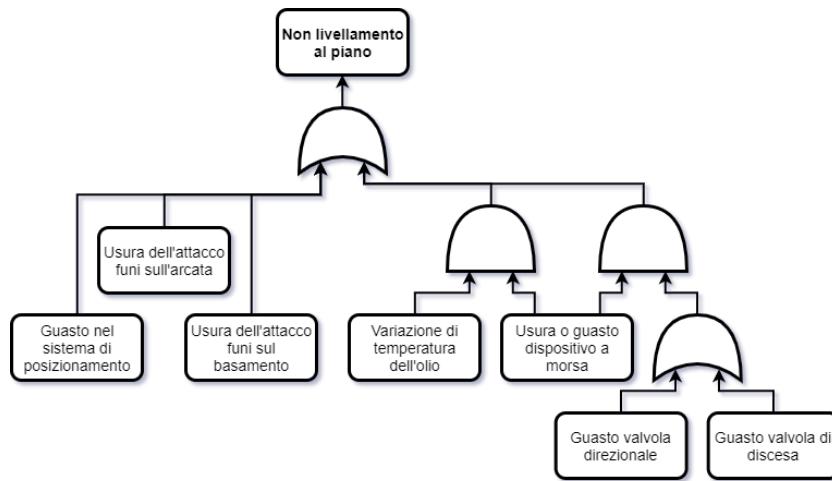


Figura 5.8. FTA di mancato livellamento per gli ascensori idraulici

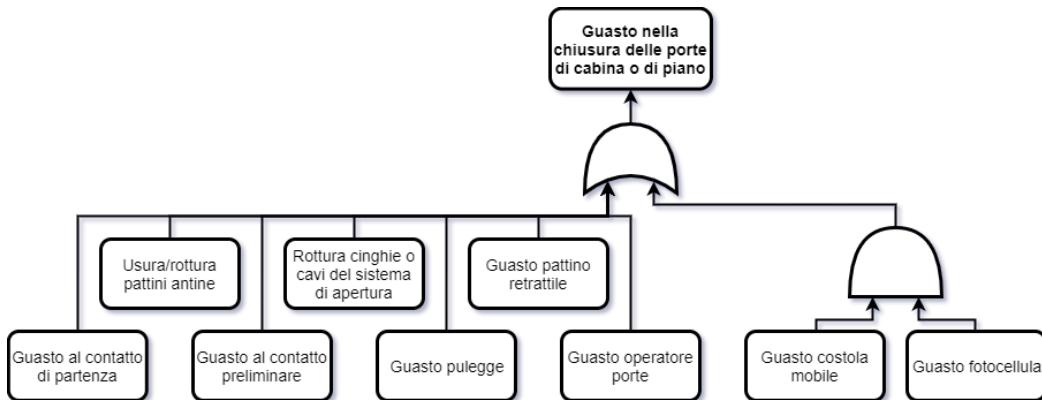


Figura 5.9. FTA di erronea chiusura delle porte di piano o cabina

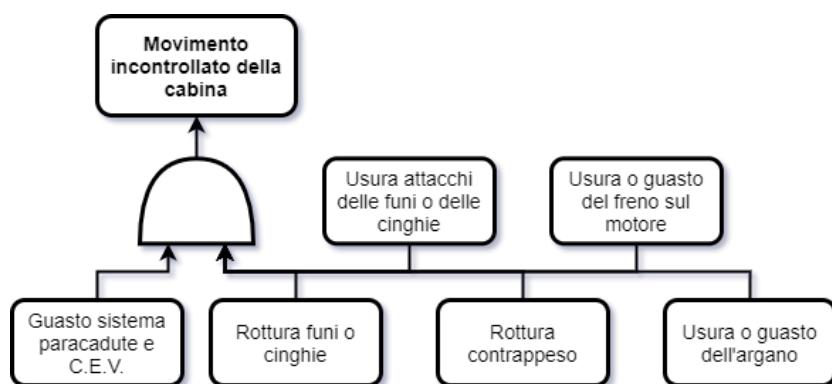


Figura 5.10. FTA di movimentazione incontrollata della cabina per gli ascensori elettrici

Come si evince da Figura 5.10, la caduta della cabina verso l'alto o il bas-

so è direttamente correlata al malfunzionamento del sistema di sicurezza paracadute-C.E.V., quindi, essendo tale sistema un dispositivo di sicurezza marcato CE con garanzia di funzionamento del produttore, esula per scelta dallo studio dei suoi modi di guasto. Non è stato redatto il diagramma FTA per la movimentazione incontrollata della cabina nel caso degli ascensori idraulici in quanto anch'essi si basano sul malfunzionamento del paracadute.

5.6 Scelta dei parametri e dei relativi sensori per la progettazione preliminare del GrAMS 2020

In seguito alle analisi effettuate nei paragrafi precedenti, ci si appresta qui di seguito a svolgere una prima progettazione di massima del sistema, per quanto riguarda la parte hardware, che andrà poi ulteriormente sviluppata una volta entrati nella fase di prototipazione volta alla sperimentazione su di un impianto ascensore reale.

In seguito alla rilevazione dei principali modi di guasto, svolta tramite FTA, i quali causano i tre tipi di incidente più frequenti per questo tipo di impianto, vengono elencati qui di seguito i parametri che si è scelto di rilevare al fine della predizione dei guasti; questa progettazione è stata inoltre effettuata confrontando man mano le scelte dei parametri con gli interventi obbligatori di manutenzione ricavati dallo studio della legislazione vigente e dalle attuali norme tecniche presenti a livello europeo. Nella Tabella 5.10 si riportano i parametri e le corrispettive ipotesi di guasti coperti dalla misurazione degli stessi, inoltre sono stati esclusi i parametri di misurazione relativi ai circuiti elettrici d'impianto, poiché attualmente la previsione dello stato di invecchiamento di tali circuiti non è realizzabile e, di conseguenza, non può essere presa in considerazione per la creazione di una piattaforma predittiva dei guasti.

Parametro	Tipologia di guasti coperti
Vibrazioni motore	Guasti elettromeccanici al gruppo motore-argano e lo slittamento tra funi o cinghie e pulegge e movimentazione incontrollata della cabina
Rumore motore	
Vibrazioni cabina	Guasti meccanici alla cabina, all'arcata, alle guide, ai pattini guide-cabina, all'attacco delle funi o cinghie o al gruppo cilindro-stelo, alle pulegge di taglia e movimentazione incontrollata della cabina
Rumore cabina	
Vibrazioni operatore porte	Guasti elettromeccanici all'operatore porte, al sistema di apertura antine cabina, all'accoppiamento antine cabina-porte di piano e al sistema di apertura porte di piano
Rumore operatore porte	
Vibrazioni guide	Guasti meccanici alle guide, ai pattini guide-cabina e movimentazione incontrollata della cabina
Vibrazioni centralina oleodinamica	Guasti elettromeccanici della pompa e delle valvole interne
Rumore centralina oleodinamica	
Corrente fornita al motore	Guasti elettromeccanici al gruppo motore-argano
Corrente fornita alla centralina oleodinamica	Guasti elettromeccanici del sistema di alimentazione idraulico
Corrente nel contatto preliminare e/o in quello di partenza	Guasti nel sistema di apertura antine di cabine e/o porte di piano
Corrente nel circuito fotocellule	Guasti nel sistema di apertura antine di cabine e/o porte di piano
Differenza tra posizione rilevata dall'impianto e posizione reale della cabina	Guasti meccanici delle funi o cinghie, slittamento tra le stesse e le pulegge, mancato livellamento al piano, movimentazione incontrollata della cabina
Peso in cabina	Guasti generali all'impianto. Necessario come dato integrativo per l'analisi comparata degli altri guasti

Tabella 5.10. Parametri di misurazione e previsti guasti coperti

In seguito alla scelta dei parametri sopra riportati, si propongono alcune tipologie di sensori necessarie alla rilevazione e misurazione dei suddetti, specificandone il posizionamento nell'impianto, e, se ritenuto necessario, le specifiche tecniche ritenute necessarie per la progettazione del prototipo da utilizzare in fase di sperimentazione, queste derivano da uno studio effettuato su applicazioni similari, e andranno poi aggiornate in base alle misurazioni effettuate nel primo periodo di applicazione reale, in quanto la verifica empirica della ridondanza o insufficienza di alcune specifiche può essere effettuata solamente durante la sperimentazione. Le informazioni

sopra descritte sono riportate nella sottostante Tabella 5.11.

Sensore	Specifiche richieste	Locazione d'installazione
Accelerometro	Triassiale; Giroscopio integrato; Bassa impedenza; Range di misura: fino a +/- 16g; Resistenza a stress meccanici istantanei 10000g's per 0.2ms; Esempio su mercato conforme alle specifiche: InvenSense MPU-6050	-Tetto della cabina (arcata) -Basamento motore elettrico -Pareti della centralina oleodinamica
Microfono	Omnidirezionale; Gamma dinamica di 105dB; Rapporto segnale/rumore=69dB; Distorsione <1% fino a 128 dB SPL; Latenza di 6µs a 1kHz; Esempio su mercato conforme alle specifiche: IM69D130 XENSIV	-Tetto della cabina (arcata) -Prossimità motore elettrico -Prossimità della centralina oleodinamica
Sensore a effetto Hall		-Cavo dell'operatore porte -Cavo alimentazione quadro generale -Cavo di alimentazione motore elettrico -Cavo di alimentazione della centralina oleodinamica
Encoder incrementale		-Puleggia motrice -Puleggia deviatrice -Taglia
Encoder assoluto o metro laser	Temperatura d'ambiente: -20 °C ... + 60 °C; Massima altezza di trasporto: 130 m; Massima velocità di trasporto: 8 m/s; Tensione d'esercizio: 24 VDC +15 %/-10 %; Grado di Protezione: IP 54; Esempio su mercato conforme alle specifiche: Schmersal USP 100	-Nel vano corsa montato sul tetto della cabina
Cella di carico		-Pavimento della cabina -Attacco delle funi sull'arcata

Tabella 5.11. Sensori e posizionamento d'installazione

. Attraverso l'installazione di tali sensori in un impianto generico, prescindendo dalla necessaria personalizzazione del sistema GrAMS 2020 sull'impianto specifico, si ipotizza una previsione di 88% dei vari guasti possibili per ciascun componente elencato nella FMEA. Tale previsione si basa principalmente sui risultati ottenuti dall'analisi FMEA, con le relative ipotesi effettuate in precedenza.

5.7 Scelta dell'architettura necessaria per l'installazione dei sensori

In seguito alla proposta di sensori effettuata nel paragrafo precedente, verranno individuati qui di seguito i componenti necessari al loro funzionamento e coordinamento, trattasi degli acquisitori, chiamati per comodità d'uso G.DAB (GrAMS Data Acquisition Box), dentro i quali si troveranno le schede elettroniche con processore integrato, parte dei vari sensori, il modo di alimentazione del tutto e il modo di archiviazione e/o trasmissione dati. Inizialmente si prevede l'utilizzo di due G.DAB nell'impianto, posizionati rispettivamente sulla cabina e in prossimità del gruppo motore, senza l'esclusione della possibilità di aumentarne il numero se necessario.

5.7.1 La G.DAB: cos'è e quali componenti troviamo al suo interno

I sensori scelti precedentemente possono essere utilizzati solamente se questi si interfacciano con una scheda centrale (presente all'interno del G.DAB) sulla quale vengono installati, questa infatti deve gestire sia la modalità di acquisizione dati di ogni singolo sensore (frequenza di campionamento, filtraggio, range, etc.), sia la memorizzazione dei dati stessi e il trasferimento di questi attraverso la rete internet per permettere l'elaborazione in cloud computing, sia per la semplice archiviazione su di una memoria SSD che verrà poi divisa dall'unità centrale e portata fisicamente ad un elaboratore esterno dove verrà successivamente effettuata l'analisi periodica (quest'ultimo modo potrà essere utilizzato in fase di raccolta dati e nella successiva sperimentazione preliminare, in quanto l'elaborazione dati in tempo reale non è richiesta o necessaria).

Per avere quindi un accesso semplice ai software di interazione con i sensori, un basso consumo energetico del sistema, una modularità che permetta l'intercambiabilità dei componenti (molto utile in fase di sperimentazione, ma anche in fase di produzione poiché permette una customizzazione im-

mediata in quanto l'architettura non è di tipo integrato) e la possibilità di effettuare il plug-in istantaneo di device esterni (Es. monitor), si è scelto di basare il sistema GrAMS 2020, da adottare nelle fasi antecedenti alla produzione commerciale, sul SBC (Single Board Computer) Raspberry Pi 3 Model B+, essendo questo un microprocessore piuttosto che un microcontroller (Es. Arduino), fornisce molta più libertà nella programmazione dei sensori e nell'elaborazione dei dati raccolti, unita ad una non trascurabile facilità d'utilizzo. Se per la fase di sperimentazione si è scelto di basare la G.DAB sull'utilizzo di un SBC, in questo caso il Raspberry Pi, non si esclude la possibilità dell'adozione di un microcontroller durante la produzione commerciale, soluzione forse più idonea per la produzione di massa e per l'efficienza; in conclusione nella Tabella 5.12 si riportano le specifiche tecniche dell'elaboratore che ne hanno determinato la scelta.

Processore	Quad-core Cortex-A53 (ARM v8) 64-bit SoC @ 1.4GHz
Memoria	1 GB LPDDR2
Connettività	- 2.4 GHz and 5.0 GHz IEEE 802.11b/g/n/ac wireless LAN - Bluetooth 4.2 - Gigabit Ethernet - 4x porte USB 2.0
GPIO	Connettore standard a 40-pin
Video/Audio	- porta HDMI - porta MIPI DSI per display - porta MIPI CSI per videocamera
SD card	Slot per micro SD
Input power	- Power over Ethernet con modulo a parte - 5V/2.5A da porta micro USB o GPIO
Sistema operativo	Linux/Widows 10

Tabella 5.12. Specifiche Raspberry Pi 3 B+

Come si può constatare dalla tabella sovrastante, per alimentare il sistema in questione è presente una semplice porta micro USB che bisogna collegare alla corrente dell'impianto ascensore. In previsione dell'impossibilità di attacco del sistema alla linea di corrente (per motivi legali, di permessi, etc.),

oppure dell'evenienza in cui la corrente venisse a mancare a causa di un guasto, si è scelto di proporre l'inclusione sia di un modulo PoE HAT per l'alimentazione tramite rete Ethernet, sia di uno a batteria: attualmente in commercio si trovano diverse schede che permettono il collegamento sia dell'adattatore per la corrente, che di una power bank e possono cambiare automaticamente il tipo di alimentazione nel caso la corrente della linea viene a mancare.

Capitolo 6

GrAMS 2020: Software

Nel seguente capitolo si vuole definire, descrivere ed impostare una prima progettazione di quello che sarà il cuore pulsante del sistema GrAMS 2020, verranno infatti mostrate le scelte effettuate per la programmazione del software in grado di predire i guasti dell'impianto ascensore.

Più precisamente, la piattaforma software che si è scelto di utilizzare per questa prima progettazione è composta in realtà da diversi programmi connessi tra loro: questa scelta è stata presa in quanto rappresenta la soluzione migliore per l'uso immediato, ossia l'utilizzo di questa piattaforma per la raccolta dati e la sperimentazione, con conseguente training della rete; mentre per quanto riguarda la messa in commercio, si prevede la creazione di un software completo ex novo adatto precisamente all'utilizzo che se ne dovrà fare.

Quest'ultima soluzione infatti rappresenta un sistema più efficiente, inoltre essendo un software proprietario, si evitano le richieste di licenze commerciali alle software house dei programmi utilizzati fino ad ora.

La decisione di creare la piattaforma per la fase di sperimentazione attraverso l'utilizzo di programmi non proprietari è derivata da due fattori principali:

i programmi in questione sono già stati utilizzati in ambito universitario, inoltre, essendo sviluppati da aziende leader nel settore, sono affidabili, modulari e di semplice utilizzo, prerogative chiave per le fasi iniziali di un qualsiasi progetto;

in secondo luogo, le caratteristiche appena descritte permettono di concen-

trare il lavoro sulle effettive funzionalità della piattaforma, la quale, essendo così eterogenea, è intrinsecamente flessibile ed adattabile in corso d'opera, aspetti fondamentali per questo tipo di applicazione in quanto rendono possibile la modifica ed il perfezionamento delle features durante la fase successiva di sperimentazione sull'impianto reale.

Parlando ora della struttura del capitolo, questo si vedrà suddiviso in quattro blocchi principali:

- progettazione del software di acquisizione dati da installare sul SBC, prima ipotesi dei parametri di acquisizione e output verso la rete neurale
- prime ipotesi per i sistemi di trasmissione dati dal SBC al server centrale per l'elaborazione su rete neurale, differenziando tra le fasi di sperimentazione, di prototipazione e di rilascio commerciale, e in ultimo uno studio sulla durata del periodo minimo di acquisizione dati per il training della rete
- progettazione della rete neurale con Python, prima ipotesi di programma sul quale attivarla e di output forniti al cliente finale;
- prima ipotesi di front end della piattaforma tramite rendering grafici per la comprensione, fruizione ed elaborazione immediata degli output della rete

6.1 Acquisizione dei dati

Alla fine del capitolo precedente si è arrivati a mostrare in linea teorica quello che dovrebbe essere, almeno dal punto di vista dell'hardware presente all'interno di una singola G.DAB, il sistema GrAMS 2020.

È importante sottolineare come la componentistica descritta in precedenza, seppur basata su di una ricerca teorica concentrata sul funzionamento e sui modi di guasto dei vari componenti dell'impianto, sia la "prima versione" del sistema in questione, infatti si prevede come alcuni dei componenti saranno sottoposti ad una revisione durante il periodo di sperimentazione, come già affermato in precedenza, in quanto l'effettiva capacità del sistema possa essere testata solamente sul campo, dopo la quale sarà inevitabilmente

necessaria un'analisi critica della componentistica adottata e la conseguente riprogettazione di quelle parti che risultino sovra o sottodimensionate, mantenendo comunque l'impostazione data in precedenza, senza quindi escludere i parametri considerati necessari.

Un'impostazione similare, ma al contempo differente, si adotta per la progettazione del lato software associato al GrAMS 2020, il quale verrà quindi definito e progettato in linea di massima soprattutto in vista del suo utilizzo per la fase di sperimentazione, ma che prevede al contempo una sua modifica durante le prove sperimentali. Delle possibilità di modifica previste se ne parlerà più in dettaglio a fine paragrafo, mentre qui di seguito ci si appresta a definire le funzionalità basilari necessarie del programma di acquisizione dati, il quale dovrà essere installato direttamente sulla scheda elettronica presente all'interno di ogni modulo G.DAB.

6.1.1 Progettazione delle funzionalità base del software di acquisizione dati

Ogni G.DAB rappresenta il fulcro locale del sistema proposto, come infatti è già stato descritto in precedenza, questa “scatola” è il nodo che coordina e gestisce i sensori montati sull'impianto nelle diverse locazioni, e che si occupa inoltre della corretta memorizzazione e spedizione dei dati registrati verso il server centrale per l'elaborazione da parte della rete neurale.

Per il suo funzionamento, la G.DAB si basa sulla scheda presente al suo interno che assume il ruolo di “cervello” del sistema locale, e a sua volta la scheda necessita di essere programmata per specificare quali sono le azioni da compiere. Di seguito si riportano le funzioni che si ritiene sia necessario implementare nella scheda per consentirne il corretto funzionamento, mentre nel paragrafo successivo si riportano le scelte effettuate per la fase di sperimentazione:

- 1. Alimentazione e programmazione dei sensori:** i sensori previsti devono essere alimentati e programmati, a seconda se questi siano analogici o digitali, utilizzando le caratteristiche tecniche del sensore specifico per permettere la taratura e la conversione del segnale (Es. definire a quale valore di accelerazione corrisponde un determinato voltaggio) e definire la frequenza di campionamento;

2. **Gestione dei dati “raw”:** una volta ottenuto il profilo di rilevazione del sensore con la corretta unità di misura, può essere necessaria una suddivisione del singolo profilo per ottenere output diversificati se durante la fase di sperimentazione risulterà effettivamente possibile suddividere il segnale in questione, per esempio filtrando secondo i parametri di ampiezza, di frequenza o di tempo di rilevazione, o attraverso il confronto incrociato con dati di altra natura provenienti da sensori differenti
3. **Memorizzazione dei dati:** successivamente alla creazione di tutti i profili dei segnali rilevati o elaborati, la scheda deve impostare la quantità di dati da memorizzare per poi trasferirli a pacchetto verso la rete neurale, della quale costituiranno parte degli input, la scelta dell’intervallo di memorizzazione dei valori verrà effettuata in sperimentazione, e potrà essere sia un numero costante, sia variabile basato sull’evenienza (Es. superamento di valori soglia, condizioni di viaggio specifiche, etc.)
4. **Trasferimento dei dati:** il pacchetto dati memorizzato dovrà essere spedito verso il server centrale, questa operazione, come già introdotto in precedenza, può avvenire sia attraverso l’ausilio di un operatore che a intervalli cadenzati preleva una periferica d’archiviazione dalle singole G.DAB (soluzione sconsigliata in fase di commercializzazione ma che è possibile adottare per la sperimentazione controllata), sia attraverso l’invio in cloud. In questo caso (da utilizzare durante la commercializzazione), la scheda si dovrà occupare dell’interfaccia con un gestore di rete internet che fornisce la connessione e dovrà quindi essere dotata delle necessarie porte LAN o schede Wi-Fi per il collegamento ad un router, che a sua volta potrà o essere collegato alla rete telefonica nazionale, o funzionante con una scheda SIM.

Per quanto riguarda il punto 4 se ne rimanda la trattazione al paragrafo successivo.

Di seguito verranno presentate le scelte effettuate per il sistema operativo e per il software di acquisizione dati: le motivazioni e le descrizioni degli aspetti fondamentali che hanno portato alla selezione di Raspbian e di LabVIEW a dispetto delle altre opzioni possibili attualmente presenti in commercio.

6.1.2 La soluzione proposta: Raspbian e LabVIEW

Nella fase di sperimentazione, alla quale si rivolge questa prima progettazione del GrAMS 2020, è di particolare importanza l'aspetto della modularità e della semplicità d'uso e di aggiornamento della G.DAB, ciò si riflette sia nelle scelte dell'architettura hardware che sono state precedentemente esposte, sia nell'adozione di particolari software che si andranno qui a descrivere.

Raspbian è un sistema operativo sviluppato dalla Raspberry Pi Foundation, parallelamente ai mini computer Raspberry Pi e per i quali è ottimizzato; successivamente al suo debutto sul mercato nel 2013, è ora considerato uno dei migliori OS per RPi (Raspberry Pi) [40] e il punto di partenza per l'introduzione in questo mondo, in quanto:

- è altamente ottimizzato per questa famiglia di SBC, permettendo di sfruttare al meglio la CPU al netto di un mantenimento della facilità d'uso e d'interfacciamento con periferiche esterne
- è possibile riprogettare la versione ufficiale fornita dalla Raspberry Pi Foundation in base all'evenienza in quanto si basa su un software free e open-source derivato da Debian GNU/Linux;
- è disponibile sia in versione completa di desktop (che prende il nome di PIXEL – Pi Improved X-window Environment Lightweight), particolarmente apprezzato per la sua chiarezza e pulizia, sia in versione minimale sprovvista di PIXEL (Raspbian Stretch Lite);
- è a tutti gli effetti un OS completo così come Windows di Microsoft, permettendo quindi anche a utenti non esperti il suo immediato utilizzo, così come la procedura d'installazione che risulta facilitata e veloce grazie al software guida NOOBS (New Out Of the Box Software) fornito sempre dalla stessa compagnia.

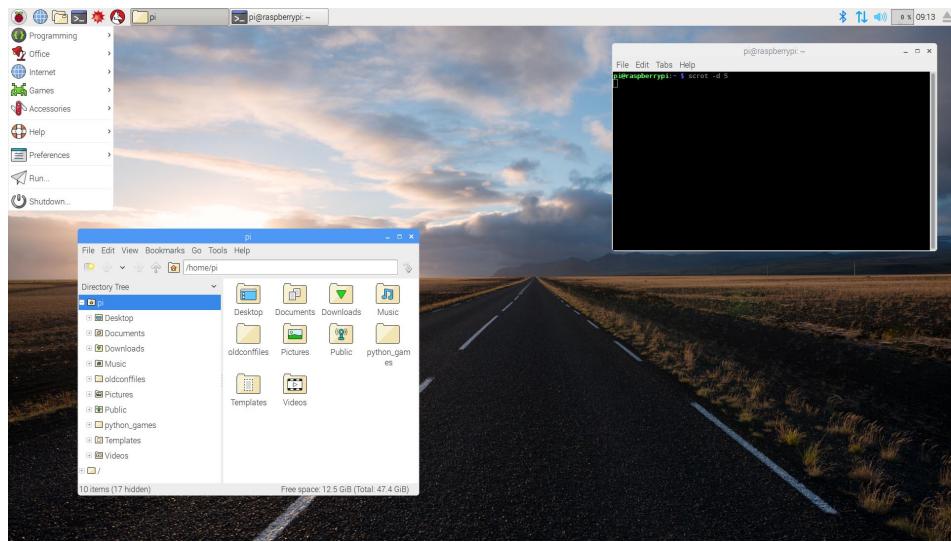


Figura 6.1. Schermata esempio del desktop di PIXEL

Raspbian si presta senza troppe difficoltà all'adozione di quei software di uso comune installati su PC desktop con OS come Windows, ed inoltre essendo il Raspberry Pi un computer nato e dedicato appositamente alla ricerca scientifica e al suo utilizzo in ambienti scolastici, è presente a livello globale un elevato numero di gruppi sviluppatori di software per la ricerca; in questo ambito ricade anche la scelta di LabVIEW quale il software da adottare per la raccolta dati, in quanto anch'esso è un programma utilizzato ampiamente in ambito accademico, e con il quale sono inoltre stati effettuati numerose esperienze di soluzioni sperimentali tramite anche l'uso di un computer RPi, esperienze che risultano facilmente consultabili online.

In ultimo si vuole sottolineare come l'adozione di un SBC non può prescindere dall'utilizzo di un laptop o di un PC desktop, data l'impossibilità di programmare il codice LabVIEW, i cui script vengono chiamati VI, direttamente sul Raspberry Pi, non dotato infatti della potenza di calcolo richiesta per poter avviare l'ambiente di sviluppo di LabVIEW, ma comunque capace di far girare il VI grazie all'installazione della versione ridotta del programma, oppure tramite l'ausilio di "LabVIEW for Raspberry Pi", un compilatore apposito che permette il trasferimento di un VI sul RPi, sviluppato da TSXperts in collaborazione con National Instruments (casa produttrice di LabVIEW).

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) è una piattaforma di sviluppo software basato sul linguaggio di program-

mazione visuale “G - Graphic” della National Instruments, si differenzia quindi da un linguaggio di programmazione classico, quale ad esempio MATLAB, il quale è anch’esso ampiamente diffuso in ambito accademico, in quanto l’utente non utilizza stringhe di codice alfanumerico per la compilazione dello script, ma bensì crea degli schemi a blocchi formati da nodi centrali, entro i quali sono incorporate diverse funzioni, numerose icone che elaborano una singola funzione specifica e linee di collegamento (wires) che uniscono e trasportano le informazioni tra i diversi nodi, questo particolare tipo di programmazione prende il nome di dataflow in quanto, per sua progettazione stessa, ricorda i diagrammi di flusso dei processi produttivi.

Questo tipo di approccio alla programmazione risulta particolarmente utile per la progettazione di sistemi di controllo, di acquisizione dati e di automazione industriale, ambiti nei quali LabVIEW viene utilizzato, data la sua struttura logico visiva che trova anche un raffronto nel mondo materiale con la comparazione dei nodi agli strumenti, e dei wires con i cavi elettrici.

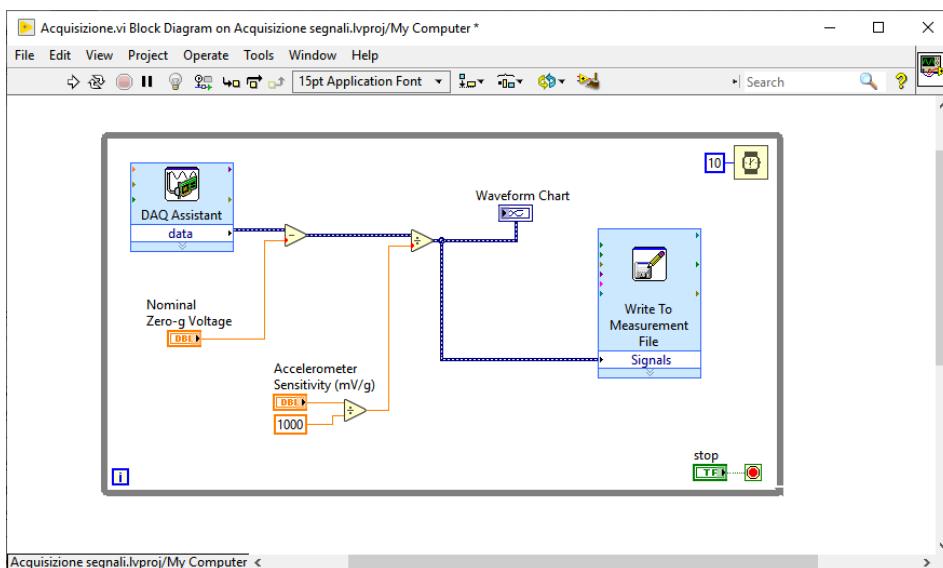


Figura 6.2. VI acquisizione dati accelerometro monoassiale

Nella Figura 6.2 sopra riportata si mostra a titolo di esempio un VI concernente l’acquisizione del profilo di vibrazione di un accelerometro mono-assiale, l’esempio viene riportato e risulta particolarmente utile per mostrare due degli strumenti più utili ai nostri fini: il DAQ Assistant Express VI e il Write To Measurement File Express VI; ma prima di discutere di come queste due funzioni verranno utilizzate nel GrAMS 2020, si vuole descrivere

brevemente il funzionamento standard di un VI, nel caso specifico quella riportata nella figura precedente.

Il segnale acquisito tramite le funzioni integrate nel DAQ Assistant, in questo caso un potenziale elettrico proveniente un accelerometro analogico, viene poi corretto sottraendo il valore di potenziale di zero e successivamente convertito in accelerazione misurata in g secondo la sensibilità del sensore (entrambe sono fornite come informazioni tecniche del sensore), a questo punto si grafica l'andamento dell'onda e se ne salvano i valori in un file di testo attraverso il VI Write To Measurement File.

Come si può notare il processo di acquisizione e salvataggio dei dati è alquanto semplice, immediato e modificabile, ma che non può prescindere dal sensore specifico che viene scelto, il DAQ Assistant però risulta estremamente d'aiuto permettendo la configurazione del sensore, il quale deve essere già stato collegato al SBC, in pochi semplici passaggi, come è possibile osservare nelle figure sottostanti.

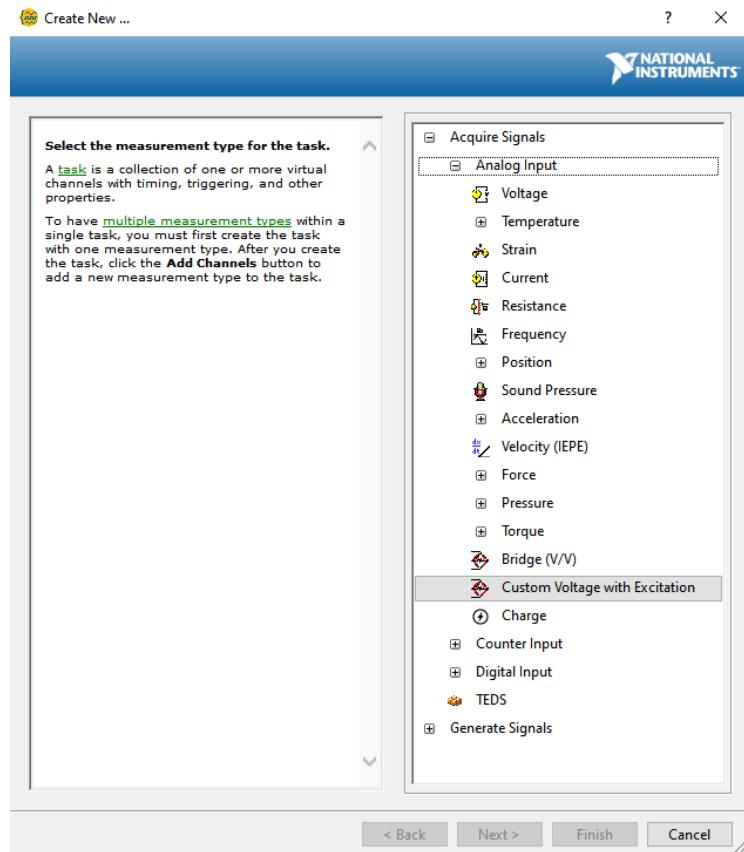


Figura 6.3. Schermata di configurazione DAQ Assistant .1

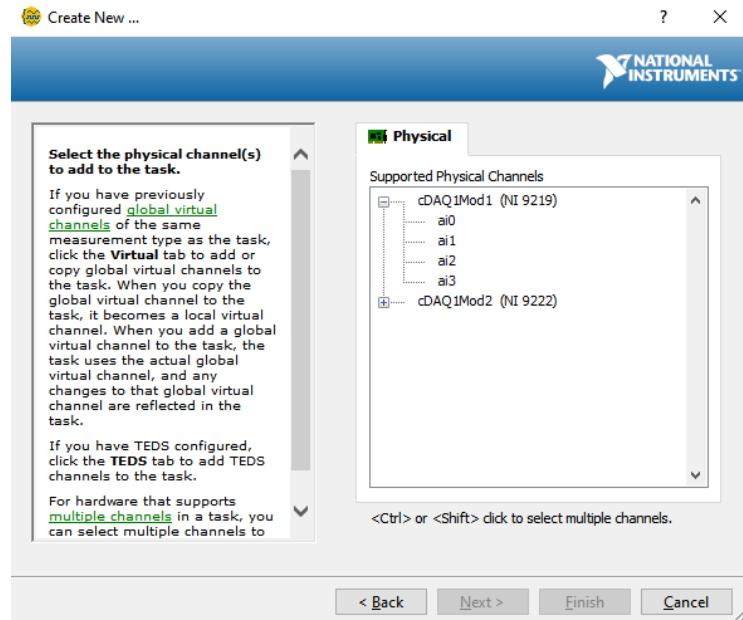


Figura 6.4. Schermata di configurazione DAQ Assistant .2

In Figura 6.3 si osserva la finestra a comparsa che si apre quando un DAQ Assistant viene inizializzato sul VI ed elenca tutti i possibili tipi di segnale in entrata che si vuole misurare.

Si osserva come dall'iniziale ripartizione in segnali analogici, digitali o contatori, il programma permette un'ulteriore specificazione secondo la natura del segnale stesso, la quale dipende dalla tipologia di sensore (nel caso riportato trattasi di un accelerometro analogico che fornisce in uscita una differenza di potenziale, la quale andrà poi manipolata come spiegato precedentemente). successivamente bisogna selezionare la periferica esempio è riportato in Figura 6.4 dove sono presenti due periferiche con la prima che fornisce 4 segnali di output.

In Figura 6.5 si riporta invece la finestra di configurazione del segnale, dove vengono inseriti i dati rilevanti come la banda, la frequenza di campionamento, l'ampiezza, etc.

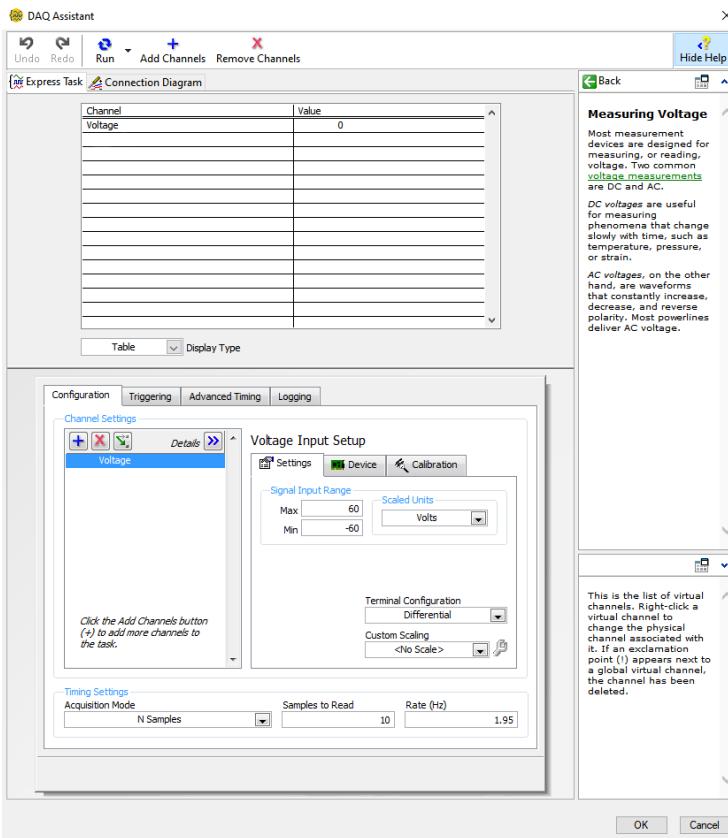


Figura 6.5. Schermata di configurazione DAQ Assistant .3

Un discorso analogo può essere effettuato per il VI di Write To Measurement File, funzione che si occupa di registrare i dati, in questo caso i valori del segnale proveniente dall'accelerometro, su di un file esterno.

La tipologia del file può essere scelta tra diverse opzioni, come si riporta in Figura 6.6, e per il progetto in questione si sceglie il formato di file testuale, o di file Excel, in quanto facilmente consultabili ed utilizzabili anche da altre applicazioni.

L'utente deve specificare il percorso di salvataggio del file, il tipo di separatore di dati (TAB o virgola) nel caso si vogliano registrare anche i valori sull'asse delle ascisse e infine il comportamento da assumere nel caso il VI di acquisizione dati venga fatto ripartire dopo uno stop (sovrascrivere o aggiungere i dati sul file esistente, creazione di un nuovo file, etc.).

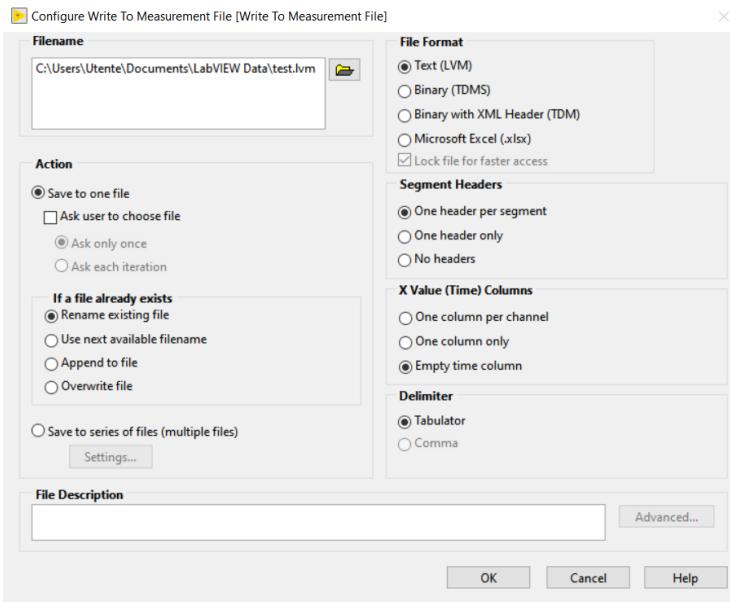


Figura 6.6. Schermata di configurazione di Write To Measurement File

Queste sono le funzioni principali che si andranno ad utilizzare in fase di sperimentazione, fase nella quale si dovranno anche andare ad effettuare le dovute correzioni del codice in base agli errori rilevati o alle impostazioni date all'esperimento, ma che come è stato possibile osservare, non risultano particolarmente complicate.

6.1.3 Ipotesi sul filtraggio e selezione dei dati

Tra le funzionalità base di LabVIEW si annoverano le funzioni di filtraggio del dato acquisito, programmi fondamentali per qualsiasi processo di analisi dei segnali, in quanto, nella stragrande maggioranza dei casi di acquisizione di dati reali, sono presenti rumori di fondo o segnali periodici che non fanno parte del segnale che si vuole effettivamente acquisire, e che quindi necessitano di essere esclusi dal profilo da esaminare.

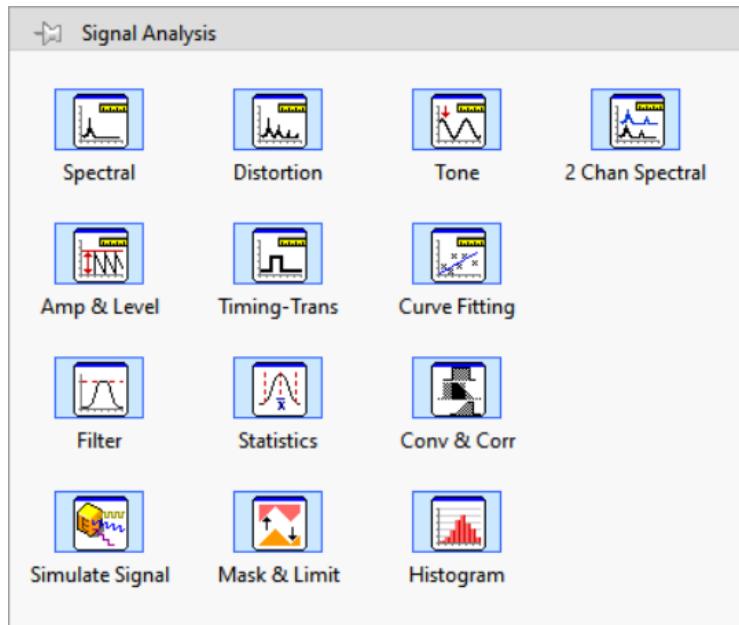


Figura 6.7. VI di LabVIEW per l’analisi dei segnali

In Figura 6.7 si riportano i principali VI di analisi dei dati forniti dal programma.

Questi sono VI simili a quelli scelti per l’acquisizione e la memorizzazione del segnale, all’interno infatti racchiudono diverse funzioni base che sono però anche presenti come VI singole dalla funzione più semplificata.

Per il tipo di impianto al quale il GrAMS 2020 si rivolge, si ipotizza la possibilità di filtrare i segnali in ingresso secondo due principali caratteristiche: ampiezza e frequenza; i segnali provenienti dalla G.DAB devono poter essere “localizzati” all’interno dell’impianto reale, specificando, successivamente alla fase di sperimentazione, si punta ad ottenere un sistema che può definire quali profili di segnali derivino da quale famiglia di componenti, prima ancora dell’analisi dei dati da parte della rete neurale.

La rete neurale si occuperà del confronto incrociato tra i diversi input forniti (ad esempio riconoscendo quale tipo di vibrazione avviene quando l’ascensore è presente al piano, in quanto si forniscono anche i dati di funzionamento e di posizione della cabina oltre ai profili di vibrazione), e perciò con la categorizzazione più definita del tipo di segnale in ingresso, si prevede un’efficacia ed efficienza maggiore della rete stessa per la previsione dello stato dell’impianto.

Questa categorizzazione è resa possibile appunto dal filtraggio dei dati: in base alla natura dei componenti stessi presenti in un impianto ascensore e dalla scelta delle posizioni di installazione delle G.DAB, si prevede l'esistenza di profili di vibrazioni diversi che vengono rilevati dallo stesso sensore; nella fase di sperimentazione quindi sarà oggetto di particolare attenzione lo studio dei profili dei diversi segnali al fine di impostare i valori corretti per il filtraggio (in prima istanza si prevede un filtraggio a parametri costanti), anche per questo motivo si consiglia l'utilizzo del software LabVIEW NXG durante la sperimentazione, in quanto a differenza del suo programma "fratello" è provvisto di funzionalità più immediate e semplici, accorciando drasticamente i tempi di analisi, necessita tuttavia di essere utilizzato su di un desktop computer con un hardware più performante.

Passando ora a discutere delle effettive funzioni necessarie per compiere questo tipo di analisi, i VI che sono stati selezionati in questa prima fase per il filtraggio e la selezione dei segnali misurati sono principalmente tre:

- Tone Measurements Express VI: permette l'individuazione del picco maggiore, fornendo ampiezza, frequenza e fase del picco
- Filter Express VI: permette il filtraggio in frequenza del segnale, impostando la natura del filtro (passa basso, passa alto, passa banda o elimina banda)
- Align and Resample Express VI: permette il ricampionamento del segnale, necessario per poter effettuare l'analisi nella rete neurale se due o più segnali rilevati dai sensori vengono campionati con frequenze diverse

6.2 Trasmissione dei dati

Scelta l'architettura hardware e software per la catena di misura, si riportano in questo paragrafo le possibili alternative per lo storage dei dati e si ipotizzano varie soluzioni per accorciare, quanto più possibile, le tempistiche necessarie alla raccolta di un sufficiente numero degli stessi.

Tali scelte potranno essere adottate o solo durante la fase di sperimentazione, per poi essere aggiornate nella fase di effettivo funzionamento del sistema, o essere definitive e ben adattarsi ad entrambi le fasi.

6.2.1 Soluzioni per lo storage di dati

Lo storage dei dati può essere eseguito sia su periferiche fisiche che in cloud. Per quanto riguarda l'utilizzo di periferiche fisiche, il supporto hardware scelto per la raccolta dati, ovvero il Raspberry, possiede una scheda SD essenziale per il funzionamento del dispositivo.

Questa potrebbe essere utilizzata come dispositivo per lo storage se adeguatamente dimensionata; inoltre si può utilizzare una delle periferiche usb presenti sul supporto hardware per l'installazione di un hard disk esterno, che permetterebbe di evitare tutti i problemi legati alla velocità di scrittura e lettura che una scheda sd comporta.

Tale soluzione è ottima in fase di sperimentazione, quindi nella fase di train and test della rete neurale, infatti prelevando manualmente dati dalla periferica ogni intervallo di tempo prefissato, si eviterebbe l'aggiunta di un sistema per l'invio di tali dati.

Tale scelta è giustificata dagli elevati costi di un abbonamento cloud, uniti all'utilizzo di un sistema di data sharing, che comporterebbe l'installazione di un router wi-fi e di una scheda dati mobile. Questi costi sono inutili da sostenere durante la fase di sperimentazione del dispositivo.

La progettazione del sistema per l'invio di dati in cloud risulta comunque indispensabile per il corretto funzionamento del Grams 2020, verranno quindi di seguito illustrate alcune delle soluzioni possibili trovate sul mercato.

Tramite l'installazione di un software di nome SAMBA sul Raspberry è possibile estrarre i file salvati sulla nostra scheda di memoria o hard disk direttamente da un computer con Windows 10.

Tale soluzione può essere adottata, in fase di sperimentazione, qualora l'accesso alla memoria sia complicato o impossibilitato per motivi di sicurezza. Utilizzando SAMBA si evitano i costi legati ad un cloud, di contro l'impossibilità di accedere istantaneamente al database aggiornato in maniera live ne impossibilità l'utilizzo nella fase di esercizio del prototipo.

Tramite l'utilizzo di una piattaforma online Thingspeak è possibile, utilizzando un semplice codice python, archiviare online e in modo crittografato, tutti i dati acquisiti dai sensori collegati al nostro dispositivo.

La piattaforma infatti genera una chiave API che può essere utilizzata per

l'invio sicuro dei dati sul server.

L'idea di utilizzare Thingspeak nasce dalla possibilità di poter utilizzare una versione gratuita, che in fase di sperimentazione, può risultare ottima per non dover incorrere in inutili costi aggiuntivi relativi ad abbonamenti su piattaforme terze e qualora l'accesso alla memoria sia complicato o impossibilitato per motivi di sicurezza

. Inoltre la piattaforma permette la visualizzazione grafica dei dati e la possibilità di manipolare tali dati in live.

La piattaforma di Microsoft Azure permette la possibilità di inviare dati su di un cloud e con tali dati eseguire direttamente sulla piattaforma gli script di pre-processing e il running della rete neurale.

Un' ulteriore possibilità è quella di condividere tramite una chiave api i risultati in tempo reale caricandoli direttamente su di una web application.

La soluzione proposta è ottimale per semplicità di utilizzo, velocità di computazione e possibilità di ulteriori sviluppi. Di contro la chance di usufruire di tale servizio solo con l'acquisto di una licenza la relega al possibile utilizzo solo nella fase commerciale della soluzione proposta.

La piattaforma può comunque essere utilizzata nella fase di running della rete e di pre-processing dei dati in quanto tali operazioni sono gratuite.

6.2.2 Campagna raccolta dati

Nello sviluppare un progetto di manutenzione predittiva, la campagna di raccolta dati è una delle fasi centrali del progetto, infatti una rete neurale ha bisogno di un quantitativo di dati in ingresso per l'allenamento e per il test di predizione.

Il funzionamento della rete dipende dunque dalla bontà di questi dati raccolti.

In questo capitolo si cerca una soluzione ottimale, sia per la qualità dei dati sia per ridurre il più possibile i tempi di raccolta, per provare la validità del progetto nel minor tempo possibile.

Il fattore che determina una **buona raccolta dati** è la presenza all'interno del

database di un **quantitativo esaustivo di eventi di fermo** impianto, non è in sé per sé la quantità di dati a determinare la bontà di quest'ultimi, quanto la presenza di una alta magnitudo di fermi e un ampio spettro dei possibili fermi.

Di seguito vengono elencate alcune possibilità per la riduzione dei tempi relegando ad uno sviluppo futuro la possibile stima temporale precisa di tale campagna.

Condurre una campagna di raccolta dati durante il funzionamento continuo dell'impianto, permette di andare a stressare tutti i componenti del sistema. Tale stress porta ad un fermo del tutto coerente con uno dovuto al normale funzionamento dell'ascensore.

Questo tipo di approccio infatti, permette una sensibile riduzione dei tempi necessari per il verificarsi dei fermi tramite la possibilità di variare arbitrariamente il peso all'interno della cabina e il continuo esercizio dell'ascensore.

La possibilità di eseguire questo tipo di campagna è legata alla disponibilità di un impianto ascensore esclusivamente ad uso per tale test.

Un esempio potrebbe essere una torre di prova presente in alcune aziende del settore o appunto la possibilità di utilizzare un ascensore dato in gestione per il test impedendone l'uso a terzi.

Tale soluzione sarebbe congeniale con il tipo di lavoro ma di difficile attuazione.

L'installazione dei nostri sensori su di un ascensore adibito ad un uso comune pone il problema sulle frequenze di fermo impianto che sono legate alla normale vita di tale sistema.

Per ridurle al minimo si è pensato di simulare tali fermi partendo da dati relativi ad eventi reali.

Andando a raccogliere i fermi più frequenti, partendo anche dai singoli eventi, se ne vogliono simulare altri utilizzando come trend i dati dei singoli acquisiti.

Si va dunque a lavorare sulla magnitudo, prendendoli uno ad uno ed estrapolando da questi gli andamenti dei dati.

Sulla base degli andamenti estrapolati, aggiungendo un fattore di causalità, si simulano altri eventi coerenti. Aumentando la magnitudo dei singoli

eventi si crea un database adeguato per l'allenamento della rete neurale che poi verrà testata durante il regolare funzionamento.

Tale approccio permette di ridurre le tempistiche.

La sua correttezza è legata alla bontà dei dati reali, base di partenza per la creazione del dataset; di contro naturalmente ne risentirà l'affidabilità, essendo il suddetto dataset, in parte, frutto di una simulazione.

Una volta ottenuto un database con un buon quantitativo di fermi impianto è possibile, tramite una tipologia particolare di training e validation della rete, ridurre parzialmente il numero di dati necessari evitando **underfitting**, tale procedimento prende il nome di **cross-validation**. Descriviamo brevemente tale processo:

il dataset viene suddiviso in k parti di uguale lunghezza, di questi k sottoinsiemi viene ciclicamente utilizzato uno per la parte di training, mentre i k-1 sottoinsiemi rimanenti vengono utilizzati per la fase di validation; il tutto viene ripetuto utilizzando tutti e k i sottoinsiemi.

Questo procedimento permette di ridurre la quantità di dati necessari e di allenare la rete evitando un elevato bias, l' errore nel sottostimare le variazioni dei dati da parte della cost function.

Di norma il dataset viene diviso con k che varia da 5 a 10, la scelta è guidata esclusivamente dai risultati che la rete genera. Il procedimento può essere facilmente implementato con delle righe di codice python o utilizzando un software come Microsoft Azure può essere implementato tramite un comando specifico.

6.3 Analisi dei dati

Di seguito si riportano le soluzioni prese in considerazione per la piattaforma di supporto e il relativo linguaggio di programmazione per l'algoritmo basato sulle reti neurali artificiali. La pulizia dei dati verrà eseguita tramite Python in ambiente Spyder utilizzando la libreria Pandas.

6.3.1 Pre-processing e mining dei dati

I dati grezzi che arrivano dall'acquisizione diretta dei sensori, sono:

- vibrazioni relative a due accelerometri – 6 segnali (3 assi per sensore)

- profili di rumore relativi a due microfoni – 2 segnali
- correnti relative alle porte di piano, al motore ed al quadro generale – 3 segnali
- velocità angolare puleggia dall'encoder relativo – 1 segnale
- posizione cabina nel vano dall'encoder assoluto – 1 segnale

C'è inoltre la possibilità di essere a disposizione dei dati di funzionamento dell'impianto, necessari per contrassegnarne lo stato nella rete neurale. Questo è di fondamentale importanza, in quanto le eventuali variazioni simultanee dei parametri elettromeccanici suddetti, devono necessariamente essere contestualizzate, nei casi di ascensore fermo, o in movimento, differenziando opportunamente il contesto di salita da quello di discesa, caratterizzati da profili di vibrazione differenti.

Altri dati comprendono informazioni quali:

- segnale di salita e/o discesa
- segnale di movimento ascensore
- segnale di apertura/chiusura porte
- segnali di guasto

Nel caso in cui non se ne disponesse, si ricorrerebbe alla estrapolazione degli stessi tramite mining dei precedenti dati grezzi.

In particolare, è possibile creare una colonna nel dataset per contrassegnare lo stato di salita o discesa della cabina, a seconda delle pendenze del profilo di vibrazione relativo all'asse z.

Con approcci similari sarebbe possibile ricavare anche gli altri dati di funzionamento, ad esempio per la movimentazione delle porte ci si potrebbe servire dei segnali di corrente provenienti dall'operatore, i quali se presenti, contrassegnerebbero il movimento delle stesse.

Per il movimento della cabina invece, basterebbe analizzare nuovamente i profili di vibrazione dell'asse z, che in caso di fermo dovrebbero essere nulli, in concomitanza con un'analisi del rumore, attraverso il quale si può contrassegnare l'apertura e chiusura delle porte, in corrispondenza delle

quali si suppone che la cabina sia ferma al piano.

Per quanto riguarda i segnali di guasto, si ritiene che necessariamente debbano provenire dall'esterno e che dunque non si possano ricavare dal cosiddetto pre-processing o mining dei dati.

6.3.2 Soluzioni e scelte relative all'algoritmo di reti neurali artificiali

Le possibili soluzioni per l'algoritmo sono:

- Microsoft Azure – blocchi pre-programmati
- rete neurale sviluppata ex novo in Python usando la libreria Keras, in ambiente Spyder (Anaconda)

Microsoft Azure è la piattaforma cloud pubblica di Microsoft, che offre servizi di cloud computing.

Tramite Azure vengono erogati servizi appartenenti a diverse categorie quali:

risorse di elaborazione, archiviazione e memorizzazione dati, trasmissione dati e interconnessione di reti, analisi, intelligence, apprendimento automatico, sicurezza e gestione delle identità, monitoraggio e gestione, nonché servizi per lo sviluppo di applicazioni. Ciascun servizio prevede un pagamento in base al consumo e la metodologia con cui ne viene determinato il costo è specifica per il servizio stesso.

In Figura 6.8 si riporta la configurazione a blocchi dell'algoritmo di apprendimento.

L'algoritmo può essere richiamato in una web application attraverso la chiave API, fornita da Microsoft. In tal modo se ne garantisce il funzionamento real time.

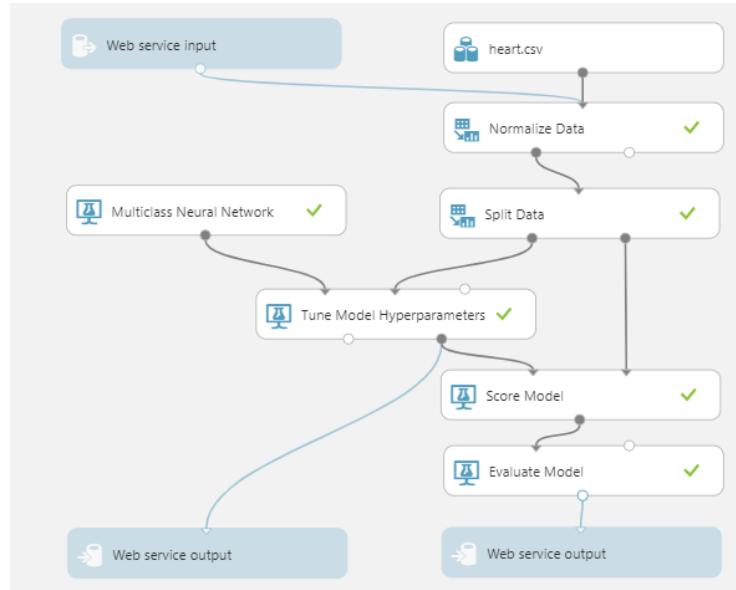


Figura 6.8. ANN in Microsoft Azure

Inoltre è possibile trasferire la suddetta rete neurale direttamente su un foglio Excel, così da poterla applicare su differenti e successive raccolte dati. In fase di sperimentazione questa può essere una buona soluzione, in quanto la priorità sarebbe quella di allenare e testare differenti settaggi della rete, una volta raccolta una sufficiente mole di dati, senza però la necessità di operare real time (prima fase).

Si analizza di seguito l’alternativa in Python su Spyder. Si vede come la personalizzabilità della rete, rispetto alla precedente soluzione, sia un fatto non trascurabile; infatti in base alle caratteristiche dei dati, è indispensabile poter ricorrere a regolarizzazioni dell’algoritmo per evitare fenomeni di overfitting.

In particolare, in Figura 6.9, si fa riferimento alle righe 29,31,33, ove il comando “dropout” svolge proprio la suddetta funzione, permettendoci di ottenere l’andamento corretto della loss function (grafico in blu e giallo), sintomo di un corretto funzionamento dell’algoritmo. Per questa rete sono stati utilizzati dei dati di un ventilatore da forno industriale, per cui si suppone che il suo corretto comportamento sia trasferibile al caso di nostro interesse, in quanto si tratta comunque di grandezze di tipo elettro-mecanico in input, quali vibrazioni, correnti, temperature, ecc.



Figura 6.9. ANN in Spyder

Dunque, si preferisce intraprendere questo tipo di percorso, per i motivi elencati precedentemente e soprattutto per il maggiore margine di intervento su eventuali e necessarie modifiche, una volta terminata la campagna di raccolta dati.

6.4 Interfaccia del GrAMS 2020

Per sviluppare un prodotto di successo, oltre che disporre di funzionalità all'avanguardia, bisogna supportare il tutto da una struttura grafica appetibile ed intuitiva per il consumatore. Per questo, in tale paragrafo si propone un rendering dell'interfaccia del software GrAMS 2020.

Esso, oltre a contenere le previsioni sullo stato del sistema, permette:

- una attenta programmazione delle attività di manutenzione
- controllo sui consumi degli impianti
- archiviazione dei dati rilevati
- memorizzazione di tutti gli interventi eseguiti sugli impianti controllati

Per permettere l'accesso al software da qualunque dispositivo e in qualunque momento si è pensato allo sviluppo di una web application, dunque un'applicazione su server in rete.

La possibilità di aggiornare e modificare da remoto tale applicazione, senza dover rilasciare aggiornamenti da installare, di distinguere i servizi fruibili per i vari tipi di clienti, del non dover scaricare una mole di dati più o meno

ingente, consultabile a richiesta e la facilità di utilizzo dell'applicazione in qualunque luogo, rende questo tipo di soluzione la scelta ideale per il sistema.

Si è scelto di sviluppare un possibile rendering durante questa fase preliminare, per poi lasciare la programmazione dell'applicazione effettiva in fase di commercializzazione del prodotto.

Vengono di seguito riportate tutte le schermate di cui il sistema dovrebbe disporre, per essere non solo uno strumento per la manutenzione predittiva, ma per fornire altresì un portale trasparente per permettere ai clienti finali di monitorare a distanza lo stato del proprio patrimonio di impianti.

In Figura 6.10 viene riportata la pagina di log-in dell'applicazione; la scelta di inserire un sistema di accesso a credenziali garantisce maggiore sicurezza; differenziazione dei vari servizi in base al cliente e la possibilità di accedere al servizio tramite qualunque dispositivo.

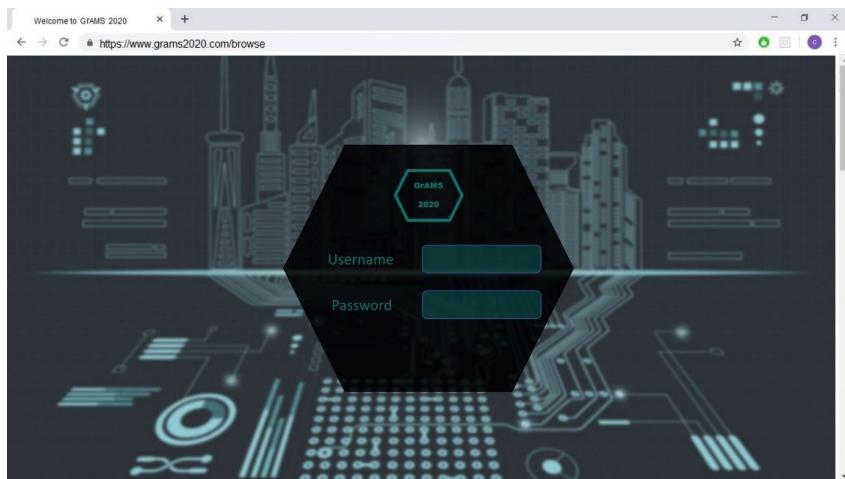


Figura 6.10. Schermata di log-in per la web application

In Figura 6.11 viene riportata la schermata principale del sistema che permette di monitorare le performance dell'ascensore. Lo stato dell'impianto monitorato viene notificato tramite uno schema di messaggi a schermo di seguito elencati:

- Corretto funzionamento
- Allarme di primo livello che indica un'anomalia rilevata

- Allarme di secondo livello dove si richiede priorità di intervento per evitare il guasto

Inoltre è possibile visualizzare i consumi energetici e nella barra laterale si può scegliere l'impianto specifico di cui si vuole conoscere lo stato.

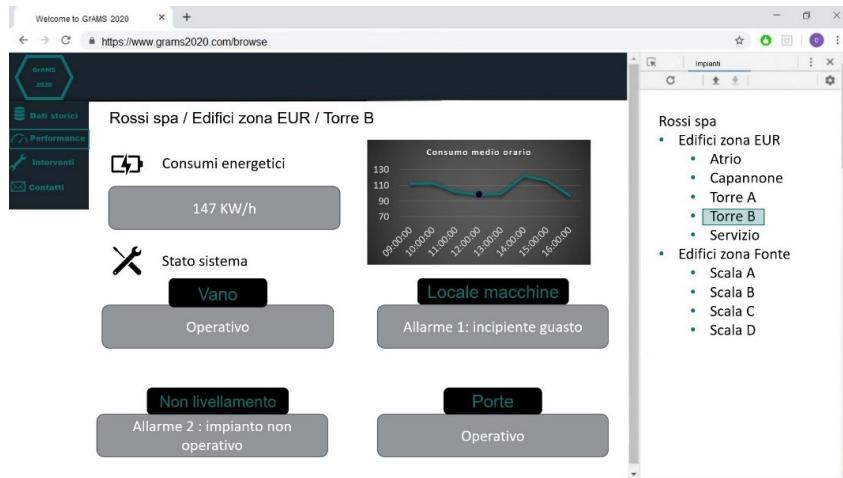


Figura 6.11. Schermata principale del software con la situazione dell'impianto

Per migliorare l'esperienza del manutentore, la finestra specifica degli interventi, riportata in Figura 6.12, permette di monitorare le ispezioni passate e di programmare i futuri interventi previsti sui vari impianti, selezionabili tramite il menu laterale.

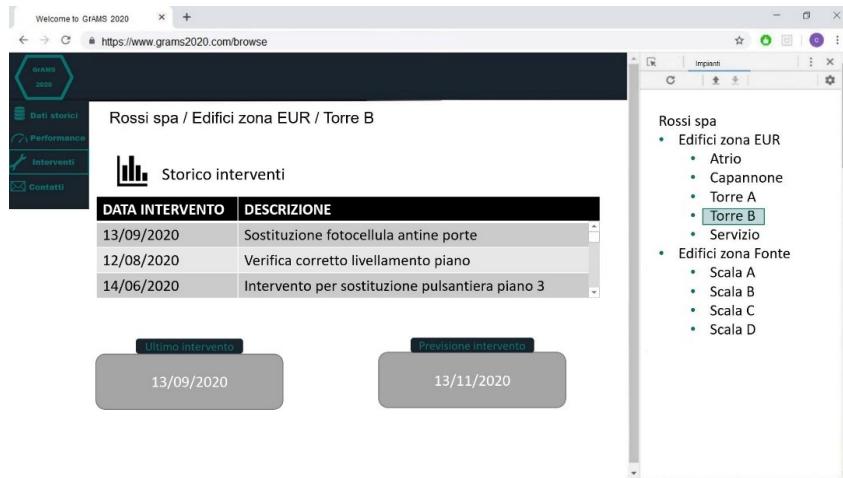


Figura 6.12. Schermata di gestione degli interventi manutentivi

Nella sezione dati storici riportata in Figura 6.13, si possono consultare tutti i dati raccolti dal sistema.

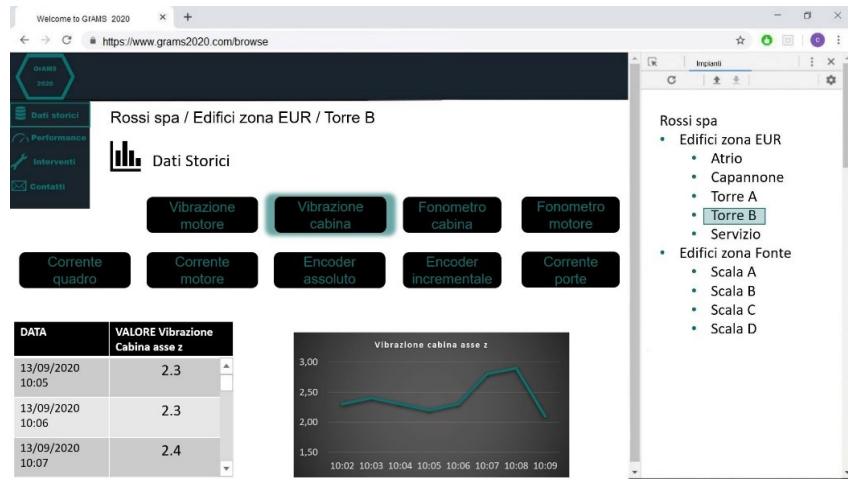


Figura 6.13. Schermata dell’andamento storico dei parametri d’impianto

Consultare tali dati ed analizzandone l’andamento permette di poter validare la previsione in output dalla rete neurale, come ulteriore conferma della presenza di anomalie nel sistema, che nel caso di cause meccaniche, si dovrebbe riscontrare un aumento dei consumi, a parità di prestazioni. Il rendering di questa web application è stato pensato e realizzato come linea guida per il futuro sviluppo di quest’ultima, focalizzando l’attenzione sugli aspetti che si ritengono decisivi per la commercializzazione del prodotto.

Capitolo 7

Prototipazione e sviluppi futuri

Nel seguente capitolo verrà dapprima presentato il prototipo di G.DAB realizzato attraverso la collaborazione dell'Università "La Sapienza" di Roma, dopo di che verrà trattata la problematica relativa all'affidabilità nel tempo di suddetto device in seguito all'introduzione sul mercato e alla commercializzazione.

Infine verranno sviluppate diverse proposte o idee sui possibili sviluppi futuri del sistema GrAMS 2020, in particolare, sugli ambiti applicativi oltre gli impianti ascensori, sul miglioramento continuo e sulla modernizzazione dell'hardware in base alle tecnologie emergenti e sull'impatto sociale che tale sistema può provocare una volta stabilitosi come fondamenta di un nuovo modo di vivere e di pensare l'ascensore.

In ultimo viene presentato un modello di business per la creazione dell'azienda che dovrà occuparsi della commercializzazione del GrAMS 2020, ipotizzata in questa istanza come una start-up universitaria.

7.1 Il prototipo G.DAB per la sperimentazione

Presi in considerazione la progettazione della G.DAB proposta al Capitolo 5, per poter costruire materialmente il prototipo sono sorte diverse questioni legate principalmente al finanziamento di tale progetto e alla scelta dei componenti da acquistare nella prima versione della prima G.DAB per la sperimentazione.

Tramite il professore relatore di questa tesi, sono stati intrapresi dei contatti

con l’azienda “**DMG S.p.A.**” allo scopo di realizzare tale device e di sperimentarlo, una volta costruito, su di un impianto ascensore a disposizione dell’azienda stessa.

In seguito al raggiungimento di un accordo di collaborazione tra l’azienda e l’Università per quanto concerne la messa in esercizio della G.DAB sull’impianto, è stato ritenuto più opportuno realizzare il prototipo internamente all’Università tramite l’utilizzo di fondi per la ricerca assegnati al professore; in questo modo il device è di proprietà dell’Università e potrà essere utilizzato anche successivamente per lo studio in nuove relazioni di ricerca o in progetti di tesi sperimentali, non andando quindi a presentare problemi o questioni legate ai diritti di costruzione e quindi alle modifiche che tale device potrebbe dover necessitare in futuro.

Di seguito verranno elencati i componenti, necessari alla costruzione di due G.DAB, dei quali è stato richiesto l’acquisto tramite il portale “**acquistinretepa**” per la Pubblica Amministrazione, come fornitore unico è stata scelta la “**Together Srl**”.

- x2 Accelerometro e giroscopio GY-52 MPU-6050/6000
- x2 Microfono USB
- x2 Temperatura e umidità DHT11
- x2 Raspberry Pi 4 B
- x2 Alimentatore 5V/3A
- x2 Breadboard PBU202 da 830 pins
- x1 65 cavi jumper maschio-maschio
- x1 40 cavi jumper maschio-femmina

Per i sensori acquistati e per il Raspberry, dato che è stata acquistata l’ultima versione, si riporta la Tabella 7.1 recante le corrispettive specifiche tecniche, mentre per quanto riguarda gli altri componenti non si ritiene necessario dettagliarli ulteriormente.

Tabella 7.1. Specifiche dei sensori acquistati

Tra i sensori scelti per l'acquisto si evidenzia come sia presente un sensore per la rilevazione della temperatura e dell'umidità relativa ambientale, questo, nonostante non sia stato introdotto nella progettazione di massima al Capitolo 5, è stato scelto successivamente in base a delle considerazioni effettuate sia sulla specificità dell'impianto sul quale andrà svolta la sperimentazione, sia sulla natura volta alla ricerca accademica del device stesso.

Analizzando più nel dettaglio le motivazioni e iniziando con quelle incentrate sulla tipologia di impianto di sperimentazione, questo è un ascensore MRL a funi panoramico che si eleva per 2 piani sopra il terreno ed 1 piano interrato.

La cabina di pianta circolare, con le pareti totalmente in vetro, è installata all'interno di un vano contenitivo circolare anch'esso completamente in vetro; quest'architettura provoca una rilevabile variazione termica all'interno del vano e della cabina a seconda della stagione e delle condizioni meteorologiche.

Data la particolarità di questa situazione, è stato ritenuto opportuno l'installazione di sudetto sensore al fine di monitorare la variazione del microclima all'interno dell'impianto per comprendere se questa abbia una correlazione con gli andamenti degli altri parametri di misurazione derivanti dalla FMEA e dalle altre analisi effettuate.

Il controllo della temperatura e dell'umidità di un ambiente sono tra i fattori chiave per la valutazione dello stato di comfort di un persona all'interno di un luogo chiuso, per questo motivo l'installazione di un sensore dedicato introduce la valutazione di analisi dedicate non solo alla sicurezza dell'impianto, ma anche alla qualità del servizio erogato e al miglioramento dei parametri "soft" di valutazione di un determinato sistema, i quali sono particolarmente importanti in quegli impianti utilizzati direttamente dai clienti che sono invece ignari e noncuranti (nella maggior parte dei casi) dei parametri di carattere puramente tecnico.

Per quanto riguarda invece le considerazioni derivanti dalla costruzione e dall'utilizzo di questo primo prototipo di G.DAB in ambito principalmente accademico, l'introduzione di questo sensore è stata ritenuta utile in quanto precorritrice dello sviluppo di altri tipi di analisi possibili da effettuare su questo tipo di impianto e in vista dell'adattamento del sistema GrAMS 2020

ad una famiglia più ampia di impianti tecnici.

In Figura 7.1 si riporta il preventivo fornito dall’azienda **Together Srl** per i componenti sopra riportati. Com’è possibile notare l’hardware del prototipo non risulta particolarmente costoso (150 € per scatola) a verifica dell’obiettivo di economicità che si vuole dare al GrAMS 2020.

Naturalmente però a questo costo andranno poi sommati in fase di commercializzazione i costi derivanti dalla gestione della rete dei quali se ne parlerà più dettagliatamente nel paragrafo finale.

Figura 7.1. Preventivo di costo del prototipo di G.DAB

Dell’ampliamento ad altre tipologie di impianti tecnici e dell’impatto sociale che porterebbe un miglioramento della qualità di viaggio se ne parlerà in dettaglio più avanti.

Inoltre la validità dell’analisi svolta fino ad ora non è messa in discussione dall’introduzione di questi due nuovi parametri di misurazione, in quanto l’esistenza o meno di una correlazione è per ora solamente ipotizzata, e le considerazioni sugli sviluppi futuri del GrAMS 2020 (ambiti applicativi e benessere sociale) sono aspetti puramente aggiuntivi all’analisi sulla sicurezza e sull’aumento dell’efficienza d’impianto svolta in questo progetto.

7.2 Analisi dell’affidabilità della G.DAB e piani correttivi durante la commercializzazione

In presenza di anomalie nei dati, il sistema GrAMS contrassegna lo stato di errore dell’impianto, dunque ne programma un intervento manutentivo.

Questo verrà effettuato da un tecnico della ditta di manutenzione alla quale è affidato l’ascensore, il quale avrà la premura di controllare che le componenti elettro-meccaniche dell’impianto siano regolarmente funzionanti o risultino usurate e/o danneggiate. Nel caso in cui risultassero essere a norma, però, il caso passerebbe sotto la responsabilità del produttore della G.DAB. Essendo l’errore di tipo elettronico, si ritiene conveniente provvedere alla sostituzio-

ne della G.DAB. Successivamente verranno sostituiti i sensori danneggiati per una spesa minima (<10 €/sensore), ottenendo in cambio un **prodotto rigenerato** e nuovamente funzionante.

I sistemi rigenerati potranno poi essere venduti ad un prezzo minore e/o usati come sostitutivi nei casi di guasto come descritto pocanzi.

Secondo le specifiche dei sensori utilizzati, si ipotizza che la G.DAB possa funzionare correttamente, mantenendo le dovute sensibilità dei relativi sensori, per almeno 5 anni.

Tuttavia si ritiene possibile che tale durata possa essere drasticamente ridotta a causa sia di eventi eccezionali come sbalzi di corrente o incidenti di natura meccanica che porterebbero al danneggiamento materiale del sistema, rispettivamente sotto forma di cortocircuiti e danni strutturali, sia delle condizioni dell'impianto sul quale la G.DAB va ad operare che potrebbero causare fenomeni di corrosione o invecchiamento precoce della componentistica.

Si prendono in considerazione anche altre tipologie di errore, nello specifico apparenti starature degli accelerometri. Apparenti perché, tali sensori hanno sensibilità variabile al variare della temperatura nell'ambiente in cui operano. Nello specifico, come riportato in Tabella 7.1, nel range di temperatura -40 : +85 °C, si ha una variazione della sensibilità pari a $\pm 0.02\%/\text{°C}$.

Questo significa che tali andamenti, sarebbero da monitorare correlandoli alla temperatura del luogo d'esercizio, controllata tramite l'apposito sensore proposto nel precedente paragrafo. Con il passare delle stagioni, differenze di 25 °C porterebbero infatti a profili di vibrazione diversi, a causa di una variazione della sensibilità con picchi dello $\pm 0.5\%$ circa.

Tali supposizioni e previsioni, possono essere d'aiuto per capire cosa ci si debba aspettare, nella fase di sperimentazione. Infatti solo grazie ad essa, sarà possibile stabilire con una maggior accuratezza, la vita utile del sistema, potendo conseguentemente redigere un vero e proprio piano manutentivo, da proporre ed allegare come servizio alla vendita del prodotto.

7.3 Tecnologie emergenti

In questo paragrafo si riportano alcune delle possibili future estensioni e migliorie per la G.DAB, alla luce delle tecnologie più recenti ed in via di sviluppo.

Le proposte fatte di seguito riguardano sia componenti hardware che software. Si ritiene che siano validi possibili aggiornamenti della G.DAB, dunque appartengono ad un periodo post-commercializzazione. Per tale motivo, oltre perché ciascuna delle soluzioni richiede uno studio assai approfondito per un'effettiva validazione, conformità ed utilità, si riportano solo dei cenni.

Con ciò è importante sottolineare che se ne terrà conto effettivamente, ma a tempo debito.

7.3.1 Sensore di misurazione dello stress dei fili di acciaio basato sulla magnetizzazione statica dei magneti permanenti

Di seguito si propone uno strumento sperimentale, capace di misurare lo sforzo delle funi di acciaio. [41]

Il sensore è composto da un' unita a magnetizzazione statica fatta con un magnete permanente e da sonde hall. Il campo di misura dello strumento è costituito dal campo magnetico spazialmente variabile nel filo di acciaio, indotto eccitando il magnete.

Misurando la densità del flusso magnetico del filo, è possibile estrarre la permeabilità differenziale per valutare in fine, lo sforzo nei fili.

Le prestazioni del sensore sono testate sperimentalmente. I risultati sperimentali mostrano che il sensore può misurare accuratamente la curva di magnetizzazione con l'errore nell'intervallo di $\pm 6\%$. Inoltre, la permeabilità differenziale ottenuta nei punti di lavoro 1200 A/m e 10000 A/m varia quasi linearmente con lo stress dei fili di acciaio, la bontà degli accoppiamenti lineari sono tutti superiori a 0,987.

Nelle Figure 7.2 e 7.3 si riportano i grafici dei test sperimentali su fili di diametro rispettivamente pari a 5 mm ed a 7 mm.

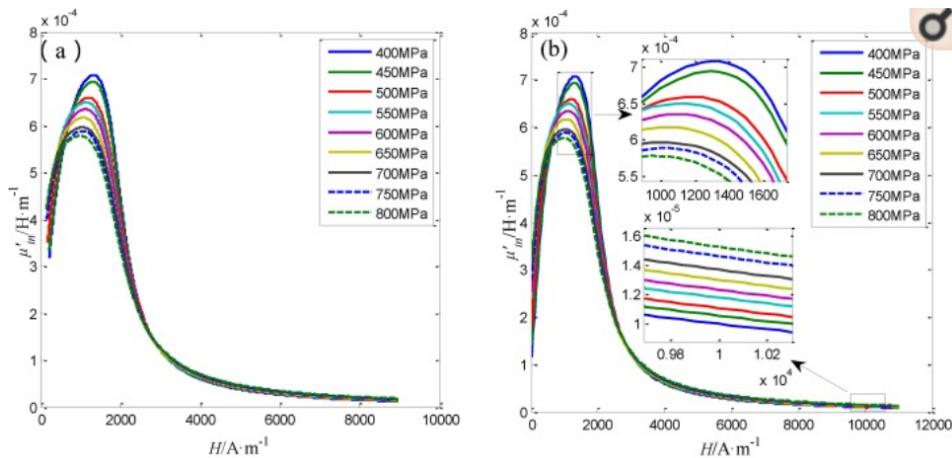


Figura 7.2. Curve di sforzo dei fili di diametro 5 mm

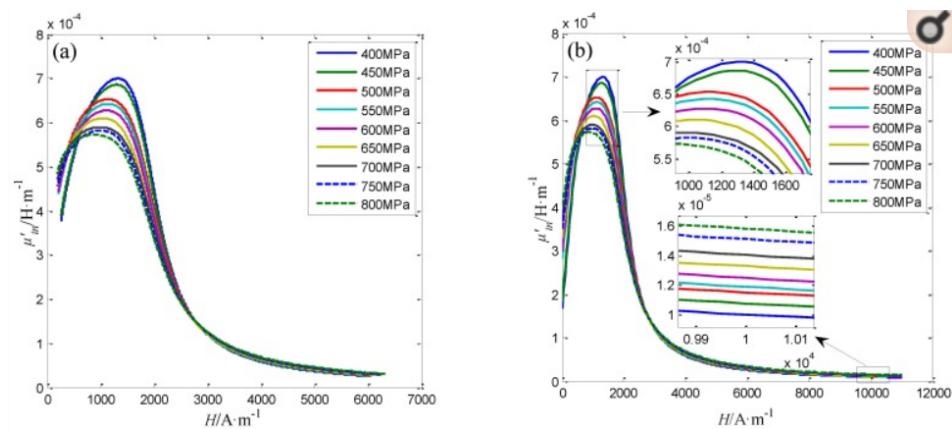


Figura 7.3. Curve di sforzo dei fili di diametro 7 mm

La sperimentazione di questo sensore ne valida dunque l'applicazione ai singoli fili d'acciaio. Altro conto sarebbe invece riuscire a determinare lo sforzo subito dalle funi di un impianto ascensore, queste sono infatti costituite da un grande numero di fili, che intrecciati ne determinano l'anima con i trefoli avvolti intorno.

Uno studio approfondito sull'effettiva applicabilità di questo tipo di sensore ad un cavo intrecciato potrebbe essere uno spunto per una nuova metodologia di misura non invasiva volta alla misurazione dello stato di usura delle funi.

7.3.2 Assistente virtuale in cabina (AI di bordo)

Ormai nei nuovi impianti vengono installati pannelli di comando touch screen con ampi display in alta definizione dove si riportano solitamente informazioni quali:

- meteo
- ora
- calendario
- stato di salita/discesa dell'ascensore
- piano al quale si trova la cabina

Non si esclude di poter upgradare tale servizio, integrandone altri. Infatti, sfruttando le potenzialità di predizione e controllo dello status dell'impianto che fornisce il GrAMS 2020, si potrebbe riportare sul display uno schema virtuale interattivo dei blocchi di funzionamento principale dell'ascensore (cabina, vano, piani, locale macchine), al fine di mostrargli lo stato di usura e di funzionamento direttamente all'utente.

Oltre a tale aggiornamento, potrebbe essere integrato il comando vocale dell'ascensore, così da rendere più facile e più igienico l'utilizzo dell'impianto.

7.3.3 Block chain

La tecnologia delle blockchain sta rivoluzionando diversi settori, dalla finanza alla logistica, alla gestione dei big data.

Determinate problematiche derivanti dai punti deboli dell'analisi predittiva, come mancanza di potenza di calcolo sufficiente e/ o scarsità di dati, potrebbero essere affrontate proprio con questa tecnologia emergente.

Le caratteristiche di decentralizzazione, trasparenza, immutabilità, rendono tale soluzione appetibile dal punto di vista legale/commerciale, per gestire rapporti di fiducia tra diversi enti fornitori e condividenti di dati e servizi di

cloud computing e data streaming.

7.3.4 Controllo del traffico dell'impianto – ottimizzazione del percorso

Nell'ambito di grandi edifici con uffici vari, usualmente ci sono almeno due ascensori in funzione, per poter smaltire l'elevato traffico che si crea a causa delle molteplici compagnie situate nei diversi piani dell'edificio.

Se ci si mette nei panni dell'utente, si immagina facilmente come esso possa premere entrambi i tasti dell'ascensore per ottimizzare i tempi. Il problema che ne deriva è che, l'ascensore 'più lento', farà una fermata in più a vuoto, non necessaria, poiché l'utente che ha prenotato la fermata, sarà salito già sull'altra cabina. Così se un utente si dovesse trovare in cabina, perderebbe solo tempo passando per il piano in cui è stata fatta la prenotazione, vedendo oltretutto non salire nessuno. Questo, in situazioni frenetiche e/o d'emergenza può causare disagi, oltre che stress e nervosismo ai passeggeri.

Questo fenomeno, a catena se si considera che lo stesso accade per altri utenti, genera inefficienze notevoli nella logistica degli impianti. Dunque si potrebbe ricorrere all'utilizzo di un modello di ottimizzazione del percorso dell'elevatore.

Si propone l'utilizzo di una videocamera, come sensore di input per il modello. È bene che le immagini prese real-time, vengano analizzate da un algoritmo di intelligenza artificiale basato sulle deep neural network. Questo perché in tal modo è possibile riconoscere alcuni comportamenti piuttosto che altri, in modo ad esempio da evitare che l'ascensore venga chiamato esclusivamente per il passaggio di una persona davanti alla video camera.

Inoltre, potrebbe essere utile l'utilizzo di un microfono installato per ogni piano. In questo modo, nel momento in cui la videocamera riconosce un potenziale utente, il sistema può essere informato del piano di destinazione, permettendo all'algoritmo di ottimizzare il percorso da compiere.

7.4 Nuovi ambiti applicativi

Lo sviluppo di un sistema per la manutenzione predittiva degli ascensori, essendo questi impianti elettro-meccanici, non impedisce l'applicazione di tale sistema in altri ambiti.

L'obiettivo è quello di poter applicare questo modulo di facile installazione, economico, in grado di monitorare la salute del sistema e predire le possibili rotture tramite l'analisi mediante algoritmi dei dati raccolti, a tipologie di impianti diversi da quelli per i quali il sistema stesso è stato progettato.

Uno dei possibili ambiti applicativi è rappresentato dalle scale e dai tappeti mobili. Questi sistemi sono infatti caratterizzati da un ciclo di lavoro molto lungo, si stima in media tra le 10 e le 16 ore di lavoro al giorno, una forte presenza di componenti meccanici ed un'alta esigenza di operazioni manutentive.

Un sistema come il GrAMS, basandosi sull'analisi delle vibrazioni, del rumore e di altri parametri propri dell'impianto può sicuramente giovare ad impianti della medesima questa natura.

Grazie al costo sempre più basso della sensoristica, dei microprocessori e l'imminente arrivo del 5G, c'è la possibilità di integrare ai macchinari un pacchetto di sensori per implementarne la manutenzione predittiva. Questa trova spazio nei macchinari presenti negli stabilimenti ma non provvisti di sensoristica, in cui un dispositivo esterno può essere installato facilmente, dunque l'idea di una box contenente i vari sensori risulta efficace.

Questa soluzione, riguardo la produzione industriale, favorisce sia il regolare scheduling della manutenzione sia l'efficientamento della produzione stessa, abbassando il down-time e la perdita del lotto di produzione che può derivarne.

7.5 Impatto sociale

Un sistema di manutenzione predittiva di questo tipo è stato ideato per rappresentare un vantaggio per le imprese italiane.

I gruppi che in Italia si occupano di manutenzione e/o di costruzione degli impianti sono caratterizzati da una conduzione per lo più familiare e dall'essere imprese di piccola o media dimensione.

Queste inoltre devono tener conto del confronto con grandi gruppi multinazionali, che mirano a vendere oltre che l'impianto, anche i relativi servizi di manutenzione dedicati.

Le grandi multinazionali sono già a lavoro per offrire servizi innovativi che puntano alla creazione di una smart city e che comprendono lo sviluppo di sistemi di manutenzione predittiva basati sul concetto dell' IoT. Dispongono inoltre di centri di ricerca con torri di prova e di un parco impianti che permette un'un'elevata possibilità di raccolta dati e di sperimentazione.

Il poter usufruire di un sistema come il GrAMS 2020 per le piccole e medie aziende di manutenzione permette di creare una collaborazione tra le università e il mondo del lavoro, dando la possibilità alle aziende di integrare le tecnologie e conoscenze universitarie, alle quali difficilmente avrebbero normalmente accesso, con le conoscenze lavorative proprie del settore.

Il vantaggio sarebbe quindi duplice permettendo da un'parte alle aziende di poter ottimizzare i programmi di manutenzione degli impianti, riducendo così i costi di gestione e aumentando i guadagni (data la possibilità di lavorare con un parco ascensori maggiore); dall'altra parte invece darebbe alle università la possibilità di applicare le tecnologie innovative sviluppate in programmi di ricerca su progetti concreti, i quali porterebbero un guadagno sia di immagine che economico tramite le collaborazioni con le aziende collaboratrici nella realizzazione del progetto.

Questa sinergia permetterebbe quindi alle aziende minori di poter competere con i grandi gruppi multinazionali e di implementare soluzioni innovative nate dalla collaborazione tra il mondo accademico (nel quale si trovano le conoscenze della ricerca) e il mondo del lavoro (nel quale si trovano i finanziamenti e la conoscenza del mercato reale).

Un impatto sociale a lungo termine è invece legato al concetto di smart city: questa usa un insieme di device IoT, come i sensori per collezionare e analizzare i dati, al fine di migliorare le infrastrutture di pubblica utilità, i servizi o altri aspetti che vedono il cittadino come cliente finale; in questo modo si migliora la qualità della vita dei residenti, si ottiene un efficienta-

mento delle comuni azioni svolte dalla popolazione ed una riduzione dei consumi energetici.

Esempi di ambiti applicativi del GrAMS 2020 all'interno di un comune centro urbano sono: la gestione del trasporto pubblico, le illuminazioni cittadine, la creazione di una smart grid per la gestione della rete elettrica, ecc.

Tutti questi servizi danno vita ad una città digitalizzata, dunque interconnessa, più efficiente e sostenibile.

7.6 Business model per la soluzione commerciale

In questo paragrafo si vuole presentare una proposta commerciale per la vendita del nostro servizio.

Data l'innovazione tecnologica di questa soluzione si è scelto di costituire una start up per permettere lo sviluppo commerciale del progetto GrAMS. Una start up può essere definita come un'azienda operante in settori altamente tecnologici, ma per avere una definizione più formale possiamo ricorrere al Dlg 221/2012 "Decreto Crescita 2.0".

Questo decreto va a definire nello specifico le cosiddette start up innovative che si caratterizzano di un elemento fondamentale: la **scalabilità**.

Essa caratterizza un'azienda la cui attività è facilmente replicabile, ed è pertanto possibile aumentarne le dimensioni e il giro d'affari in maniera anche esponenziale.

La legge garantisce l'accesso alle misure agevolative alle società di capitali, anche se costituite in forme di cooperativa. Le azioni del capitale sociale non devono essere però quotate su un mercato regolamentato oppure su un sistema multilaterale di negoziazione.

Per fondare una start up, oltre a queste caratteristiche, bisogna soddisfare i seguenti requisiti:

- Aver costituito la società da zero, oppure che non sia più vecchia di 5 anni

- La sede principale della start up deve esser situata in Italia, oppure in un altro paese membro dell'Unione Europea. L'importante è che sia presente in Italia almeno una sede produttiva o una filiale
- Non deve essere sforato il tetto massimo annuo fissato a quota 5 milioni di euro
- Non devono esser stati distribuiti utili in passato
- Necessità di avere oggetto sociale esclusivo o prevalente lo sviluppo, la produzione e la commercializzazione di prodotti o servizi innovativi ad alto valore tecnologico
- La start up non deve derivare da fusione, scissione societaria o dalla cessione di un'azienda
- Deve essere presentato un forte contenuto innovativo

Questo ultimo punto viene identificato attraverso 3 criteri:

1. Un 15 % del valore ottenuto dal rapporto tra fatturato e costi annui dovrà essere ascrivibile ad attività di ricerca e sviluppo
2. La forza lavoro complessiva dovrà essere costituita almeno per 1/3 da dottorandi, dottori di ricerca o ricercatori, oppure per almeno 2/3 da soci o collaboratori a qualsiasi titolo in possesso di laurea magistrale
3. L'impresa dovrà essere titolare, depositaria o licenziataria di un brevetto registrato

Una start up, per svilupparsi, ha bisogno di sostegno economico e possibili aiuti in ambito manageriali. Per tale motivo il decreto ha previsto l'istituzione di una lista di incubatori certificati, ovvero riconosciuti dallo Stato. Come afferma lo stesso decreto gli incubatori sono "imprese che offrono anche in modo non esclusivo, servizi per sostenere la nascita o lo sviluppo di start up innovative".

Gli incubatori sostengono e accompagnano lo sviluppo delle start up dal concepimento dell'idea imprenditoriale al suo primo sviluppo. Lo fanno in maniera pratica, offrendo sostegno operativo e manageriale, ma anche

fornendo direttamente strumenti e luoghi di lavoro. Tutto ciò viene fatto per permettere alla start up di essere lanciata sul mercato in tempi rapidi.

L'incubatore non è l'unico aiuto previsto, sono presenti infatti altre agevolazioni:

- **Nuova modalità di costituzione digitale e gratuita:** l'atto costitutivo della start up potrà essere redatto attraverso la piattaforma digitale preposta, risparmiando sui costi dell'atto pubblico
- **Esonero da diritti camerale e imposte di bollo:** non sarà necessario pagare questi adempimenti da effettuare presso il Registro delle Imprese
- **Proroga del termine per la copertura delle perdite:** nel caso il capitale scendesse a meno di 1/3 rispetto a quello di partenza, il rientro potrà essere posticipato al secondo esercizio successivo. Di norma i regolamenti societari lo prevedono per il primo esercizio
- **Possibilità di estensione dei contratti a tempo determinato per i dipendenti:** i contratti a tempo determinato per i dipendenti della start up potranno avere una durata massima di 36 mesi, il triplo rispetto ai 12 mesi previsti dalla legge vigente
- **Facoltà di remunerare il personale in modo flessibile:** fatto salvo un minimo tabellare, sta ai fondatori stabilire con i relativi dipendenti quale parte della remunerazione sarà fissa e quale variabile. Quest'ultima solitamente è collegata alla redditività dell'impresa
- **Remunerazione attraverso strumenti di partecipazione al capitale:** i collaboratori potranno essere remunerati con strumenti di partecipazione al capitale sociale
- **Incentivi fiscali per chi investirà nel capitale di rischio della start up:** chiunque volesse investire nel capitale della start up otterrà sull'investimento una detrazione IRPEF del 30 % fino ad un massimo di 1 milione di euro
- **Possibilità di raccolta fondi con il crowdfunding:** l'utilizzo di questa tecnica di raccolta fondi "social" è contemplata, ma potrà essere effettuata solo sui portali autorizzati

- **Accesso semplificato ai servizi del Fondo di Garanzia per le Piccole e Medie Imprese:** grazie a questa disposizione l'accesso al credito sarà facilitato attraverso la concessione di garanzie sui prestiti bancari
- **Servizi di internalizzazione:** attraverso l'agenzia ICE preposta a questo genere di servizi, si può ottenere assistenza in materia normativa, societaria e fiscale. L'agenzia inoltre faciliterà gli incontri con gli investitori stranieri

Elencati tutti i benefit economici che una start up permette di ottenere, vengono elencati i passaggi operativi per aprirla:

1. **Costituire una società di capitali:** c'è la possibilità gratuita di fare l'atto costitutivo online attraverso la piattaforma preposta
2. **Segnalazione Certificata di Inizio Attività (SCIA):** Effettuabile attraverso la procedura di Comunicazione Unica al Registro delle Imprese
3. **Richiesta dell'iscrizione alla sezione speciale delle start up innovative:** si avrà la possibilità di compilare e presentare la domanda anche in formato elettronico
4. **Per avviare una start up bisognerà redigere un particolare documento:** il Modello S5: Dovrà indicare le attività svolte comprese quelle di ricerca e sviluppo, i titoli di studio dei soci e dei collaboratori, e, infine, un'autocertificazione prodotta dal legale rappresentante, la quale attesterà il nostro adempimento di tutte le procedure richieste

La soluzione che si è scelto dunque di adottare è la costituzione di una start up con la Sapienza come ruolo di incubatore.

La Sapienza permette l'apertura di start up universitarie: "Si definisce spin off o start up universitario Sapienza la società di capitali costituita su iniziativa dell'Università o del personale universitario, nel rispetto della vigente normativa di legge che prevede la partecipazione al capitale da parte dell'Università stessa, ovvero la partecipazione al capitale e l'impegno diretto nel conseguimento dell'oggetto sociale da parte dei proponenti di cui al successivo art. 3, offrendo gli stessi, alla nuova entità giuridica, l'impiego del know how e delle competenze generate in un contesto di ricerca".

Per spiegare il modello di business si è utilizzato un business model canvas. Questo infatti è consigliato per una startup che ancora non ha un prodotto consolidato, e non ha numeri per considerare in modo obiettivo:

- **Growth:** la capacità cioè di aumentare gli utenti
- **Retention:** la percentuale di utenti che restano fedeli al prodotto
- **Revenue:** il guadagno derivante da ciò che viene offerto

Il business model canvas è un template lean, estremamente semplice, che obbliga a ragionare su tutte le componenti attive e necessarie per far funzionare il modello di business. Quest'ultimo è riportato in Figura 7.4:

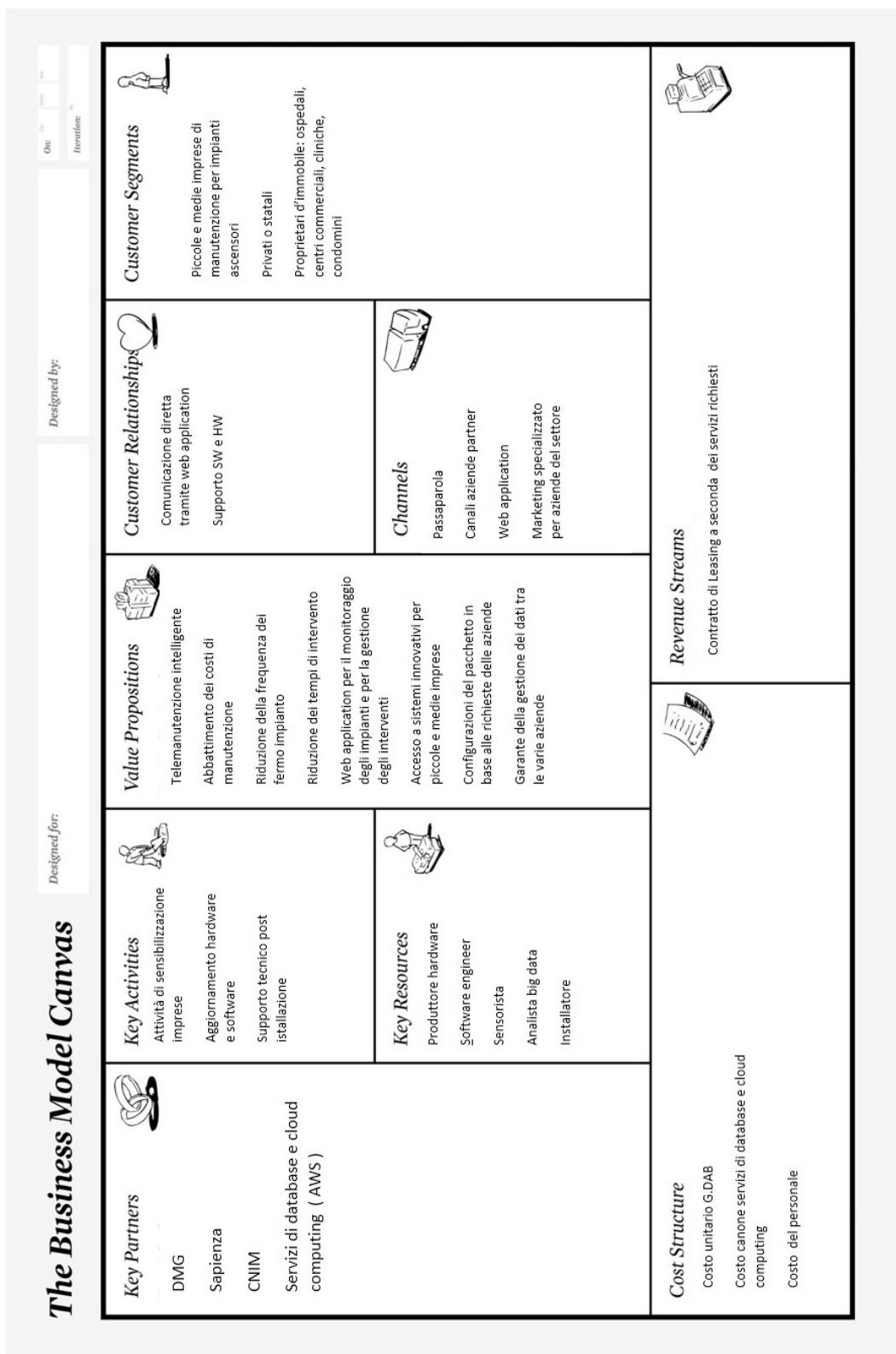


Figura 7.4. Business Model Canvas per il GrAMS 2020

Capitolo 8

La tecnologia blockchain: come può sostenere e migliorare l'analisi predittiva

8.1 Cosa si intende per blockchain

Blockchain è un libro mastro di transazioni condiviso ed affidabile, ove tutti i partecipanti hanno equo potere. È un database distribuito che mantiene un elenco di transazioni in continua crescita di dati, crittograficamente protetti da manomissione e/o revisione.

Un protocollo Blockchain gira su una rete P2P di computer nella quale ogni nodo esegue un protocollo e conserva una copia identica del libro mastro delle transazioni, abilitandole senza dover passare per un intermediario.

Il modello peer to peer (p2p) è un' architettura logica di rete informatica in cui i nodi non sono gerarchizzati unicamente sotto forma di client o server fissi, ma anche sotto forma di nodi equivalenti o 'paritari' (peer), potendo fungere al contempo da client e server verso gli altri nodi terminali (host) della rete. In Figura 8.1 si riporta uno schema di tale configurazione, ove i computer rappresentano i nodi.



Figura 8.1. Schema rete P2P

Blockchain stesso è un file - un libro mastro pubblico e condiviso dove sono presenti tutte le transazioni di un asset, a partire dalla prima generata.

In Figura 8.2 si mostra il processo di costruzione della catena dei blocchi.

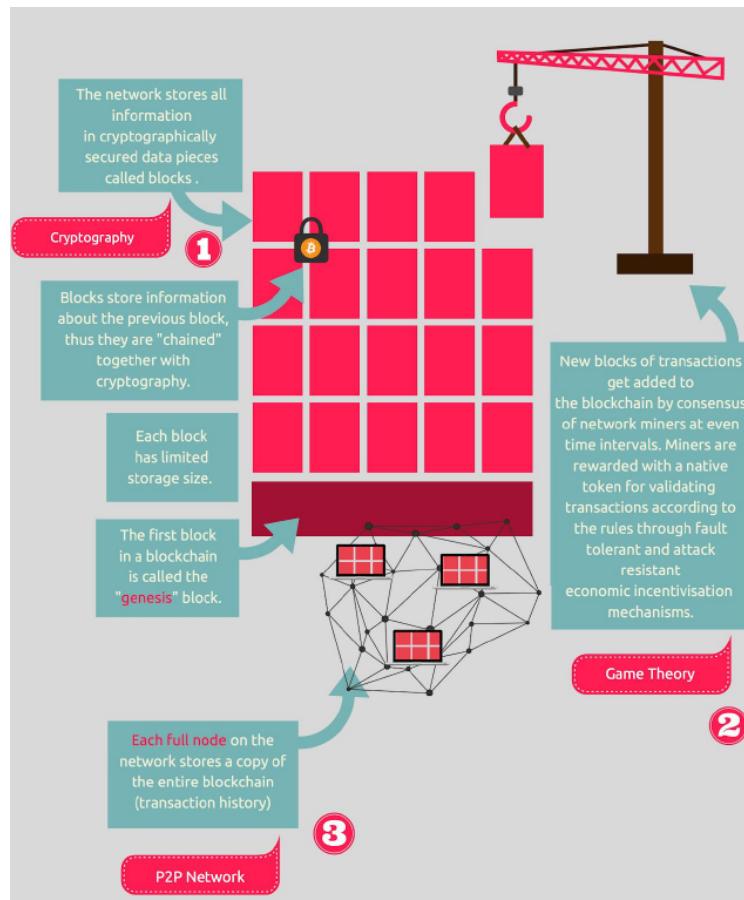


Figura 8.2. Costruzione della catena di blocchi

Ma da cosa sono composti tali blocchi?

Sono caratterizzati da due parti distinte: L'**header** e il **body**. Nel primo vi sono i campi di gestione del blocco stesso, mentre nel secondo, vi sono le transazioni.

Queste generano ciascuna una hash, ossia una stringa di numeri e lettere. Le transazioni vengono inserite esattamente nell'ordine in cui sono avvenute; la hash dipende non solo dalla transazione corrente, ma anche dalla hash di quella precedente quindi anche una piccola modifica alla transazione genererebbe una hash totalmente diversa. Pertanto ispezionandola, prima di validarla, i nodi possono accertarsi che la transazione non sia stata manomessa.

In Figura 8.3 si riporta un esempio di header di un blocco.

Versione	02000000
Hash del blocco precedente (PrevHash)	E87C17C45768w7e1643fsd5481sd3f4131df681
Merkle root	697we168t4v1a4rv3v1e3r43c4er14ca8c4168a
Timestamp	358b0553
Bits	535f0119
Nonce	48750933
Numero di transazione	64

Figura 8.3. Header del blocco

Ogni campo rappresenta una caratteristica univoca del blocco, crittografata da una funzione hash. In tal modo si garantisce un ottimo livello di privacy e sicurezza.

- Il campo **Versione** designa il software utilizzato;
- Il campo **PrevHash** fa riferimento al precedente blocco della catena;
- Il **Merkle root** è l'hash rappresentativo di tutte le transazioni nel blocco;
- Il campo **Timestamp** rappresenta il timing dell'ultima transazione;
- Il campo **Bits** rappresenta il corrente valore target: l'hash dell'header di un blocco dev'essere minore o al massimo uguale al corrente valore di target per essere accettato dalla rete;

- Il campo **Nonce** viene aggiunto al blocco in modo che l'output della funzione di hash vari facendo in modo che risulti inferiore al valore target. Il valore viene ricalcolato finché l'hash del blocco non contiene il richiesto numero di zeri principali;
- Il campo **Numero di transazione** identifica il numero della transazione stesso.

8.2 Il legame con l'analisi predittiva

Il tema dell'analisi predittiva è uno dei più discussi negli ultimi anni, data la grande spinta subita grazie alla possibilità dei computer di elaborare grosse moli di dati. Questo strumento viene usato ormai in moltissimi ambiti, a partire dalla finanza, passando per la medicina, toccando anche il mondo industriale, secondo i temi di manutenzione intelligente.

L'analisi predittiva si basa su una grande quantità di dati, che descrivono il fenomeno da analizzare, i cosiddetti 'Big Data', ma necessita anche dell'intelligenza artificiale per costruire ed allenare un modello predittivo.

I dati sono caratterizzati da:

- **Volume**: numero e mole dei dati;
- **Velocità**: la repentina con cui essi cambiano/se ne generino di nuovi;
- **Varietà**: diverse sorgenti dalle quali provengono i dati.

Gestire queste tre caratteristiche, abbinandole al corretto 'timing', dunque alla prontezza con cui tali dati vengono elaborati e di conseguenza un output target emesso, è una criticità, pertanto una vera e propria sfida in questo settore.

La **privacy** è un tema centrale in questo ambito e con l'aumentare della consapevolezza del valore aggiunto che i Big Data possono offrire, una volta processati ed analizzati, aumentano anche le preoccupazioni da parte delle compagnie che ne fanno uso.

Quando si parla di analisi predittiva in ambito industriale si ricade spesso sulla manutenzione predittiva, quindi è bene riprendere il concetto di **Internet of Things**, in quanto gli impianti da studiare vengono ‘digitalizzati’, dunque rappresentati tramite dati caricati su di una rete che funge da base di scambio ed elaborazione.

Il concetto di IoT è dunque fondamentale per capire il possibile ambito applicativo della blockchain, dato che le sue caratteristiche permettono di superare dei vincoli tecnologici e di interesse legale-economico. [42]

8.3 Blockchain privata o pubblica?

8.3.1 Rete pubblica

Il meccanismo di consenso delle reti pubbliche è basato su algoritmi di consenso Proof of Work (PoW): Per chiudere un blocco, dunque per validare le transazioni, contribuiscono ciascuno dei partecipanti della rete, risolvendo un problema matematico che richiede elevata potenza di calcolo. In cambio riceveranno premi sottoforma di denaro virtuale e/o benefici di altro tipo. Chiunque può partecipare, senza dover chiedere il permesso di accesso. Chiunque può scaricare il file-codice ed iniziare ad essere a tutti gli effetti un nodo pubblico sul proprio dispositivo locale.

Le transazioni sono trasparenti, ma anonime.

8.3.2 Rete privata/federata

Le Blockchain federate operano sotto la guida di un gruppo. Al contrario delle Blockchain pubbliche, il processo di verifica delle transazioni viene assegnato a dei nodi specifici, designati come ‘validators’.

Le Blockchain private sono molto più veloci (maggiore scalabilità, bassa latenza) e offrono maggiore privacy per le transazioni, dunque si collocano bene nel settore dello scambio di dati sensibili e IoT.

Si potrebbe immaginare un consorzio di 15 istituti finanziari, ciascuno dei

quali gestisce un nodo e 10 di essi devono firmare ogni blocco affinché esso sia valido. Questo garantisce ancora il beneficio primo della **decentralizzazione** delle reti pubbliche, ovvero la difficoltà nell'hackerare la rete, in quanto l'attacco dovrebbe esser tale da prendere il controllo, riferendoci all'esempio precedente, di tutti i 10 nodi validatori.

Il diritto di leggere la blockchain può essere pubblico o limitato ai partecipanti.

Le blockchain private trovano motivo di applicazione, soprattutto quando si richiede **scalabilità** e compliance delle norme sulla privacy dei dati, tematiche che più si avvicinano al caso di studi di questa tesi.

In Figura 8.4 e Figura 8.5 si mostrano le sostanziali differenze tra reti pubbliche e private.

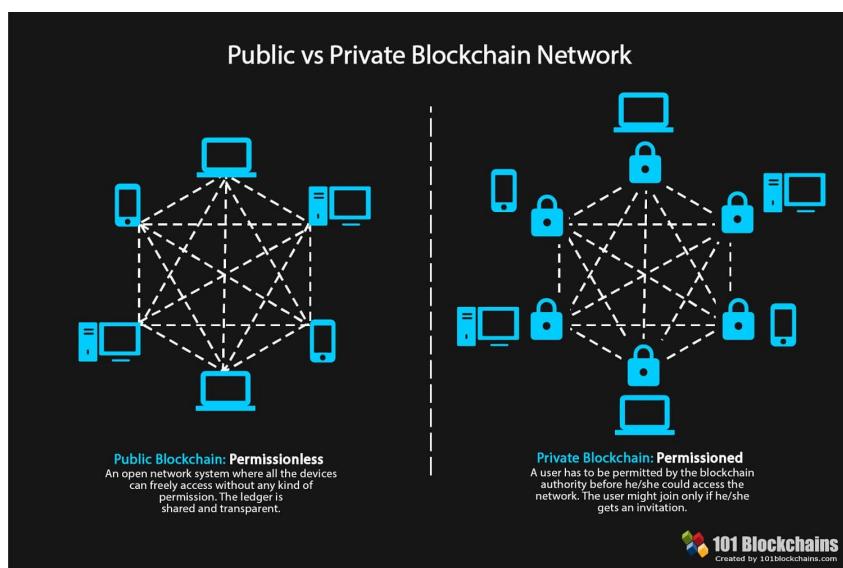


Figura 8.4. Public vs private network (1)

✖ 'Public' (Open) vs 'Private' (Closed) Blockchains: Generalized Features Comparison

	Public	Private
Access	Open read/write access to database	Permissioned read and/or write access to database
Speed	Slower	Faster
Security	Proof-of-Work/Proof-of-Stake	Pre-approved participants
Identity	Anonymous/pseudonymous	Known identities
Asset	Native assets	Any asset

Figura 8.5. Public vs private network (2)

In Figura 8.6 si mostrano le differenze tra reti private e consorziali.

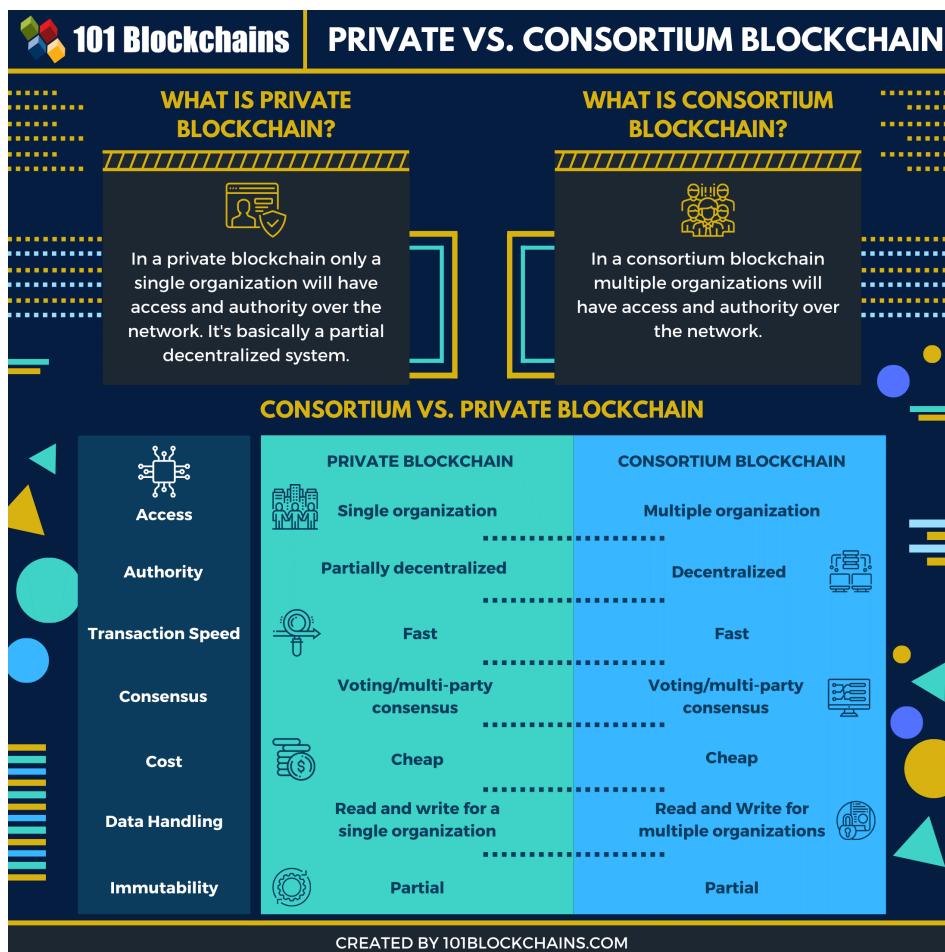


Figura 8.6. Private vs consortium network

Di seguito si riportano più schematicamente le somiglianze e le differenze sostanziali tra tali tipologie di rete.

Somiglianze di Blockchain pubbliche e private

- Entrambe sono **immutabili**;
- Ogni nodo di rete in entrambe le blockchain ha una replica completa del libro mastro. Entrambi sono **decentralizzati** e **distribuiti** su una rete di computer/server peer-to-peer.
- In entrambe viene verificata la validità di un record, fornendo così un livello considerevole di **immutabilità**, fino a quando la maggioranza dei partecipanti concordi sulla validità della transazione. Questo aiuta a **prevenire la manomissione dei registri**.
- Entrambe le blockchain si affidano a numerosi utenti per validare le modifiche al libro mastro distribuito, contribuendo così alla creazione di una nuova copia alla quale tutti possono accedere in qualsiasi momento.

Differenze tra Blockchain pubbliche e private

- Livello di accesso concesso ai partecipanti: in una blockchain pubblica, chiunque può partecipare verificando e aggiungendo dati alla blockchain. Nelle blockchain private, solo le entità autorizzate possono partecipare e controllare la rete. Esempi sono rispettivamente Bitcoin e Hyperledger.
- La **latenza** è più alta in una blockchain pubblica rispetto alla privata. Poiché il numero di partecipanti autorizzati è inferiore in una blockchain privata, essa può elaborare centinaia o addirittura migliaia di transazioni al secondo.
- Una blockchain privata ha prestazioni migliori in termini di **scalabilità**, poiché solo pochi nodi devono gestire i dati, dunque le transazioni possono essere supportate ed elaborate con un ritmo molto più elevato rispetto alle pubbliche.
- Le blockchain pubbliche sono Trustless. In una blockchain privata, la validità dei record non può essere verificata in modo indipendente poiché l'integrità di una rete privata si basa sulla credibilità dei nodi autorizzati.

- Una rete pubblica è più sicura grazie alla decentralizzazione e alla partecipazione attiva. A causa del maggior numero di nodi nella rete, è quasi impossibile attaccare il sistema ed ottenere il controllo sulla rete di consenso. Una blockchain privata è leggermente più vulnerabile ad hacking, rischi e violazioni / manipolazioni dei dati, a causa del numero ridotto di nodi validatori.
- Una blockchain pubblica consuma più **energia** di una blockchain privata in quanto richiede una quantità significativa di risorse elettriche per funzionare e raggiungere il consenso della rete. Le blockchain private dunque sono energeticamente più economiche
- In una blockchain privata, ogni validatore è noto ed ha le credenziali adatte per far parte della rete. Ma in una blockchain pubblica, nessuno è a conoscenza dei miners e questo aumenta il rischio di potenziali collusioni o di un attacco cosiddetto “del 51%” (un gruppo di miners che controllano oltre il 50% della potenza di calcolo della rete).

Per i motivi precedentemente discussi, si opta per una rete privata consorziale, condivisa tra proprietari del GrAMS ed aziende di manutenzione per impianti ascensori. Nel paragrafo di applicazione pratica, se ne parlerà più approfonditamente.

8.4 Vantaggi e svantaggi rispetto alle soluzioni tradizionali

8.4.1 Blockchain privata vs database classico

I database classici, dunque i sistemi centralizzati sono affetti da diverse problematiche, ormai diventate difficilmente gestibili e poco appetibili dalle imprese che richiedono specifiche sempre più restrittive.

Se un individuo riuscisse ad accedere agli strumenti di amministrazione di un server, potrebbe potenzialmente aggiungere, modificare o rimuovere ogni genere di dato.

Se il numero di richieste fosse troppo alto, il server potrebbe sovraccaricarsi e non rispondere.

In caso di guasti al sistema di archiviazione, non sarebbe possibile accedere ai dati fino al termine delle riparazioni.

Se il server fosse situato in un altro paese o addirittura in un altro continente rispetto alla posizione dell'utente, la qualità della connessione potrebbe risentirne.

La potenza delle reti centralizzate non scala in maniera lineare: la capacità di un server è limitata, e la banda di traffico non è di certo infinita.

Di seguito si riportano dunque i vantaggi che una blockchain privata può fornire, ovviando ai suddetti problemi.

- **Sicurezza:** I dati vengono distribuiti equamente tra tutti i nodi della rete. Ogni qual volta un'informazione venga aggiunta, modificata o eliminata da un computer, questo cambiamento si rifletterebbe su tutte le altre macchine del network. Nel caso in cui venisse approvato uno specifico emendamento tecnico, i nuovi dati verrebbero distribuiti a tutti gli utenti della rete; in caso contrario, le informazioni verrebbero immediatamente ripristinate, così da coincidere con quelle presenti all'interno di tutti gli altri nodi. Si tratta di un sistema autosufficiente e autoregolante, **protetto sia da attacchi esterni intenzionali che da modifiche accidentali**.
- **Scalabilità:** In un modello centralizzato gli utenti si connettono al medesimo server, dove tutti i dati vengono archiviati. Ogni singola richiesta di ricezione, aggiunta, modifica o rimozione di dati viene gestita dal computer principale. Ma per quanto potente, le risorse di qualsiasi macchina sono finite: il lavoro può essere eseguito in maniera corretta ed efficiente solo fino al raggiungimento del limite massimo di utenti tollerabili. I modelli **decentralizzati e distribuiti** non possiedono questo problema, in quanto il carico di richieste viene distribuito in maniera pressoché equa su molteplici computer;
- **Affidabilità e velocità di trasferimento:** Poiché tutti i nodi della rete possiedono gli stessi dati, il peso della gestione delle richieste non ricade su un'unica macchina, viene bensì distribuito in maniera più o meno equivalente tra tutti gli utenti del network.
La **capacità di banda** di un database decentralizzato sarà sempre più

alta di quella offerta da un unico server. Dato che il numero di macchine che compongono una rete decentralizzata è alto, un ipotetico attacco risulterebbe non solo molto oneroso da un punto di vista economico, ma anche quasi totalmente inefficace. Si può quindi affermare che, a differenza dei database centralizzati, le reti decentralizzate e distribuite come la blockchain siano quasi immuni a questo genere di attacchi informatici.

- **Accessibilità:** Gli utenti possono fare uso di un certo servizio da ogni angolo del pianeta: a differenza di un database centralizzato, le reti decentralizzate permettono di scegliere sempre il nodo migliore rispetto alla propria posizione attuale.

8.4.2 Validità nel contesto economico

In questi anni si sta assistendo ad una deflazione in crescita, dunque all'abbassamento dei prezzi dei beni. Questo in accordo all' analisi CVP, porta ad una traslazione più o meno significativa del cosiddetto **Breakeven point**. Il risultato è che l'azienda si trova costretta ad aumentare le quantità prodotte, a patto che vengano vendute, per trovarsi in una situazione di guadagno (a destra del breakeven point in Figura 8.7).

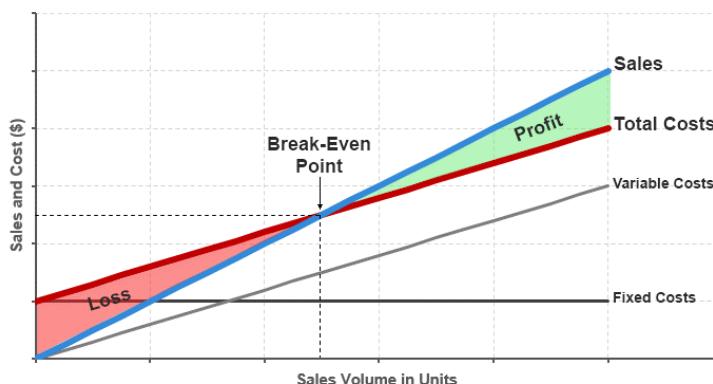


Figura 8.7. Analisi CVP

La società, sempre più interconnessa, sta virando verso un'economia di common-wealth, dunque di condivisione. Attraverso l'internet delle cose, una singola persona può addirittura produrre energia pulita privatamente e condividerla in rete. La tendenza è proprio quella dello sharing e gli unici costi rimasti sono ancora i fissi, anche se in discesa. Il risultato è che si assiste

ad una produzione di beni a costo marginale quasi nullo, con conseguente condivisione degli stessi.

La blockchain in questo senso può esser vista come un mercato ove i benefici risentiti dai partecipanti derivano da scambi di un bene. Questo significa che si parla di prezzo e costo marginale nulli, assecondando la tendenza alla deflazione, come suddetto.

Il continuo scambio circolare di dati grezzi ed elaborati, porta quindi a benefici in termini di sviluppo per la start-up fornitrice del servizio GrAMS e di riduzione dei costi per le aziende manutentrici, che sfruttano la manutenzione predittiva, pianificando al meglio gli interventi, in termini di tempestività e priorità.

8.4.3 Svantaggi

Blockchain è una tecnologia non tanto nuova, quanto di recente applicazione in determinati ambiti. La mancanza di dati storici su applicazioni industriali genera senza dubbio un certo scetticismo nel mondo industriale, con conseguente riluttanza da parte delle aziende, soprattutto le piccole-medie imprese, che solitamente non hanno il know-how sufficiente per comprenderne a pieno la potenzialità.

Oltre a ciò, c'è da considerare che una blockchain, non è di facile implementazione. Il coding alla base di una buona architettura di rete non è di facile scrittura. Questo, oltretutto, è un fatto di cruciale importanza, dato il valore degli asset in circolo nelle reti applicate in ambiti come questo. Una rete mal costruita può portare a bug del sistema, così come a problemi di sicurezza in generale.

Sul piano legale è complesso regolamentare un traffico dati decentralizzato in parti diverse del mondo, in quanto le leggi sulla privacy cambiano a seconda del continente. Infatti il General Data Protection Regulation europeo del 2018, anche se esso stesso faccia da linea guida per i paesi extra-comunitari, risulta essere diverso in parte rispetto alle regolamentazioni degli USA. Per questo bisognerebbe senza dubbio condurre il tutto a fianco di un legale esperto del settore.

8.5 Applicazione al GrAMS 2020

Nell'ottica di una vera e propria commercializzazione del prodotto proposto in questo elaborato, essendo il suo scopo quello di predire lo stato di un impianto elettro-meccanico e basandosi su processi quali scambio dati sensibili ad alta frequenza, analisi ed elaborazione degli stessi, si incontrerebbero problematiche di cui si è parlato precedentemente, quali: **privacy, scalabilità, latenza ed affidabilità.**

Come si è visto, questi limiti possono essere superati attraverso l'implementazione di una **Blockchain privata**. Scendendo nel dettaglio, si propone un' infrastruttura già prestabilita, sfruttando il cosiddetto 'software outsourcing', dunque di seguito si vuole introdurre il concetto di **Blockchain as a Service (BaaS)**.

8.5.1 Blockchain as a Service

Blockchain as a Service (BaaS) è un tipo di offerta di servizi blockchain che consente ai clienti aziendali di utilizzare soluzioni basate su cloud per sviluppare, ospitare ed adottare le proprie applicazioni blockchain, smart contracts ed altre funzioni rilevanti sulla blockchain mentre il partner o il fornitore di servizi gestisce tutte le attività e si occupa delle misure necessarie per mantenere l'infrastruttura operativa.

Le complessità tecniche intrinseche, la mancanza di competenze, i costi operativi associati allo sviluppo, al funzionamento della Blockchain ed al mantenimento dell'infrastruttura, spesso allontanano le aziende, restie ad abbracciare tale tecnologia, anche se ne beneficierebbero notevolmente. BaaS è attualmente vista come una soluzione potenzialmente applicabile per risolvere questo problema.

BaaS darà alle aziende l'accesso a **sviluppatori** Blockchain qualificati, **esperti** di processo e governance, nonché di sviluppo e distribuzione dell'intera infrastruttura cloud, senza doversi preoccupare di costi di avvio e costi generali.

Inoltre, un partner BaaS di fama nella maggior parte dei casi è una ricca

fonte di esperienza e perizia nel settore, che può essere sfruttata per rendere i sistemi più sicuri. Per tali motivi, il numero di rischi che si dovrebbero affrontare diminuirebbe sensibilmente ad uno sviluppo interno.

Si è scelto dunque di beneficiare del servizio Amazon Managed Blockchain, nel quale si entra nel dettaglio nel paragrafo successivo.

8.5.2 Amazon Managed Blockchain

Amazon Managed Blockchain è un servizio completamente gestito che semplifica la creazione e la gestione di reti scalabili con tecnologia Blockchain, tramite i popolari framework open source Hyperledger Fabric ed Ethereum.

La tecnologia Blockchain consente di creare applicazioni che permettono a parti diverse di eseguire transazioni senza la necessità di un'autorità attendibile centrale.

Oggi, la creazione di una rete blockchain scalabile basata su tecnologie esistenti presenta complessità nella configurazione e difficoltà nella gestione. Al fine di creare una rete blockchain, ogni membro deve eseguire manualmente il provisioning dell'hardware, installare il software, creare e gestire certificati per il controllo degli accessi, oltre a dover configurare le componenti della rete.

Una volta diventata operativa, sarà necessario monitorare continuamente l'infrastruttura ed adattarsi ai cambiamenti, ad esempio un incremento delle richieste di transazione o ad un aumento o diminuzione dei membri della rete.

Amazon Managed Blockchain è un servizio completamente gestito che consente di configurare e gestire una rete con tecnologia Blockchain scalabile in pochi clic. AMB elimina il sovraccarico richiesto per la creazione della rete e si ridimensiona automaticamente per soddisfare le richieste di migliaia di applicazioni che eseguono milioni di transazioni. Una volta che la rete è operativa, AMB ne semplifica la gestione e la manutenzione. Ne gestisce inoltre i certificati, permette di invitare facilmente nuovi membri all'interno della rete e monitora i parametri operativi, come l'utilizzo di risorse di calcolo.

lo, memoria e archiviazione. Inoltre, può creare una copia immutabile della tua attività, relativamente alla rete blockchain, su Amazon Quantum Ledger Database (QLDB), un ledger database completamente gestito. Quest'ultimo consente una facile analisi dell'attività della rete al di fuori dalla rete stessa ed una miglior comprensione dei nuovi trend. [43]

Perché scegliere tale soluzione e non costruire una rete ad-hoc privatamente? Per implementare una rete, bisogna assecondare delle necessità:

- Costruire un' infrastruttura;
- Disporre di sufficiente storage space;
- Disporre di una connessione veloce;
- Implementare una peer2peer;
- Disporre di personale per l' encrypting;
- Implementare gli smart contracts;
- Disporre di sviluppatori front-end.

Affidandosi ad una BaaS, oltre ai vantaggi discussi precedentemente, si disporrebbe automaticamente di molti dei punti suddetti, come: infrastruttura, storage space, velocità della rete, rete p2p e specialisti della crittografia.

Inoltre il service provider, si farebbe da garante legale in caso di hacks e/o malfunzionamenti della rete legati alle loro tecnologie (sicuramente molto più all'avanguardia di quelle che si disporrebbero privatamente, a parità di costi).

Sorge spontanea una problematica molto importante ed invalidante, ovvero quella della privacy dei dati. Un ulteriore punto di forza del BaaS è che, sebbene il team di Amazon si occupi della manutenzione della rete, sarebbe per loro impossibile visualizzare i **dati scambiati**.

Amazon Managed Blockchain garantisce dunque un servizio completamente gestito pur mantenendo la sicurezza dei dati, proteggendo i certificati della rete tramite il servizio AWS Key Management Service (KMS), eliminando la necessità di una soluzione di storage sicura per le chiavi.

8.5.3 Partecipanti e struttura della rete

La proposta di una rete privata di tipo consorziale si avanza per rendere clienti e fornitori del servizio GrAMS 2020, parte di un team il più orizzontale possibile, senza capi e/o subordinati. La fiducia per aziende come quelle che si occupano di manutenzione di impianti ascensori risulta essere un concetto molto delicato, ma comunque cardine in collaborazioni di questo tipo, anche se parzialmente bypassata dalla blockchain.

Una soluzione di questo genere, con le garanzie elencate finora, potrebbe non essere sufficiente per attirare il cliente, in quanto, essendo così nuova, genera scetticismo. Dunque si prevede una **campagna di sensibilizzazione**, tramite la quale si cerca di aggiornare ed arricchire il cliente dei punti chiave di tale tecnologia, ai fini di comprenderla al meglio, con i suoi pregi e difetti.

La trasparenza è un concetto fondamentale in questi modelli economici di condivisione, delicata quanto potente, ma soprattutto necessaria per lo sviluppo di una collaborazione efficiente.

Le figure coinvolte nel business plan esposto nel capitolo precedente sono esse stesse parti della blockchain, sottoforma di nodi. Oltre a loro, le singole scatole intelligenti G.DAB costituiranno i restanti nodi.

Di seguito si riporta con più precisione il funzionamento della rete.

La start-up proposta, provider del servizio GrAMS 2020, in quanto nodo, riceve i cosiddetti ‘raw data’, da parte delle G.DAB, nodi IoT della rete.

I dati elaborati, dunque i risultati dell’algoritmo delle reti neurali, vengono trasmessi dai nodi providers ai nodi server delle aziende di manutenzione. Un asset fondamentale è dato dagli aggiornamenti firmware, che vengono trasmessi dai nodi providers ai dispositivi IoT, ossia a ciascuna delle G.DAB. I nodi G.DAB sono altresì collegati tra loro, per potersi confrontare in casi di necessità di calibratura dei sensori, qualora ci fossero problemi.

I ‘validators’, saranno i nodi non IoT, detti ‘full nodes’ dunque providers e aziende di manutenzione (clienti).

Di seguito si riporta un esempio di funzionamento, sottolineando i benefici di **affidabilità, sicurezza, privacy** che caratterizzano questa tecnologia:

A seguito di una transazione di dati da una G.DAB appartenente alla azien-

da di manutenzione X, verso il nodo start-up, segue un flusso inverso di dati, questa volta elaborati. Il fatto che le transazioni rimangano immutabili nel database e che i blocchi abbiano una ‘memoria genetica’, fanno sì che nel blocco della transazione dei dati elaborati verso l’azienda di manutenzione proprietaria della relativa G.DAB (in questo caso l’azienda X), permanga lo storico che identifichi tali dati come derivanti proprio dalla G.DAB X. In sostanza è possibile risalire alla fonte di provenienza dei dati, dunque identificando la singola G.DAB emittente. Altrimenti non si sarebbero potuti assegnare i dati di predizione ai relativi singoli impianti.

Il concetto e l’importanza della **tracciabilità** è il motivo per il quale la block-chain sta avendo molto successo nella food supply chain, infatti Walmart la usa per il maiale ad esempio. [44]

Ma che vantaggio può dare tale informazione?

Se per sbaglio venisse avviata una transazione di dati elaborati provenienti da X, verso l’azienda Y, i validatori contrassegnerebbero la transazione come ‘pericolosa’, rendendola dunque invalida. In altre parole il rischio per l’azienda di manutenzione Y è quello di leggere sul software la predizione dello stato di un suo impianto, con i dati di un altro.

In questo modo si possono evitare criticità, come:

- Predizione dello stato di un impianto diverso da quello in esame (sicurezza degli ascensori - problemi legali per l’azienda di manutenzione in caso di incidenti);
- Condivisione errata di dati.

In Figura 8.8 si rappresenta schematicamente la struttura della rete, mentre in Tabella 8.8 si riassume il flusso di asset descritto in precedenza.

Tabella 8.1. Flusso degli asset

ASSET	INVIA	RICEVE
RAW DATA	G.DAB (IoT node)	Start-up (provider)
AI RESULTS	Start-up (provider)	Azienda manutenzione
FIRMWARE UPDATES	Start-up (provider)	G.DAB (IoT node)
CALIBRATION CHECK	G.DAB (IoT node)	G.DAB (IoT node)

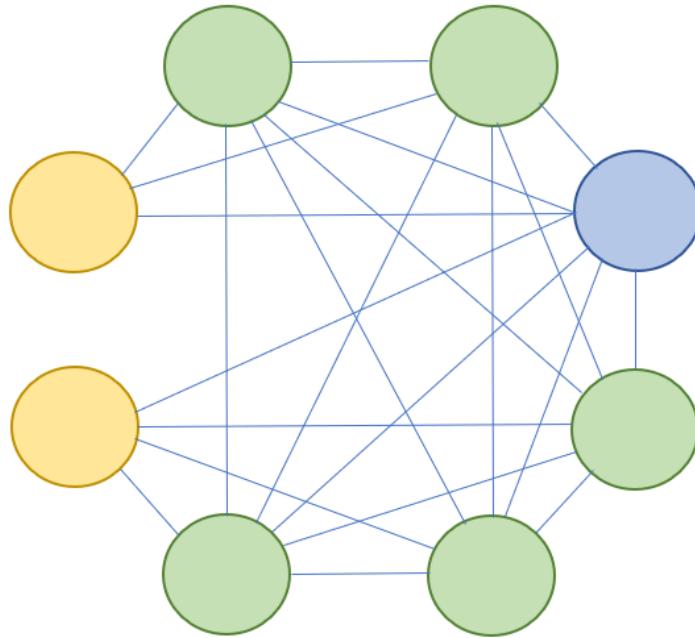


Figura 8.8. Blockchain del GrAMS 2020

8.5.4 Costi

I costi relativi al servizio BaaS tramite Amazon sono variabili, in funzione del numero di nodi, della potenza di calcolo e dell'entità del flusso di dati. La rete Amazon Managed Blockchain Starter Edition è progettata per reti di test e reti di produzione di piccole dimensioni.

Ha attributi diversi rispetto alla Standard Edition: si può disporre di un massimo di 5 membri per rete e 2 nodi peer per membro. I tipi di nodo peer disponibili sono bc.t3.small e bc.t3.medium.

Si possono avere fino a 3 canali Hyperledger Fabric per rete. Il servizio di ordinazione fornito in una rete Starter Edition ha un throughput e una disponibilità delle transazioni inferiori rispetto a quelli in una rete Standard Edition.

L'archiviazione del nodo peer si ridimensiona elasticamente in base alle variazioni del traffico dati. La memoria del nodo ha un costo variabile a seconda degli incrementi di GB-mese (0.10 \$ GB/mese) In Figura 8.9 si riportano i costi di due esempi applicativi.

2 Member Test Network

Consider an Amazon Managed Blockchain test network owned by a single customer. This network has two Starter Edition members to simulate a multi-party transaction. Each member has a single bc.t3.small peer node with 20 GiB of storage and writes 9 MB to the network per hour.

The hourly cost for this network is:

Membership cost: (2 Starter Edition members) x (\$0.30 per hour) x (1 hour) = \$0.60 per hour

Peer node cost: (2 members) x (1 bc.t3.small peer node per member) x (0.034 per hour) x (1 hour) = \$0.068 per hour

Peer node storage cost: (2 members) x (1 peer node per member) x (20 GiB storage per peer node) x (\$0.10 per GB-month) x (1 hour) = \$0.006 per hour

Data written cost: (2 members) x (9 MB per hour) x (0.10 per GB) = \$0.002 per hour

Total test network hourly cost: \$0.676

Joining a Production Network

Consider an Amazon Managed Blockchain network with members from multiple AWS accounts. In this example, we'll calculate the hourly cost for a single Standard Edition member in the network. This member has a two bc.m5.2xlarge peer nodes for high availability and performance, and each peer node has 500 GiB of storage.

The hourly cost for this network is:

Network member cost: (1 Standard Edition member) x (\$0.55 per hour) x (1 hour) = \$0.55 per hour

Peer node cost: (1 member) x (2 m5.2xlarge peer nodes per member) x (0.615 per hour) x (1 hour) = \$1.23 per hour

Peer node storage cost: (1 member) x (2 peer node per member) x (500 GiB storage per peer node) x (\$0.10 per GB-month) x (1 hour) = \$0.139 per hour

Data written cost: (1 member) x (100 MB per hour) x (0.10 per GB) = \$0.01 per hour

Total production network hourly cost: \$1.93

Figura 8.9. Esempi dei costi di AMB

Di seguito, in 8.2 si mostra un preventivo per il GrAMS 2020

Tabella 8.2. Preventivo GrAMS 2020 Blockchain

Voce di costo	Specifiche	Costo
Membership	2x starter edition members	1.20 \$/h
Peer nodes	9x Bc.t3 small	0.61 \$/h
Peer node storage	20 GB/node	0.05 \$/h
Data written	#members * 9 MB/h * 0.10 \$/GB	0.02 \$/h
TOTAL		1.68 \$/h

Considerando che l'impianto invii i dati solo quando in funzionamento, si suppongono **12 ore di servizio giornaliere**. Essendo potenzialmente attivo 30 giorni su 30, si ipotizza dunque una **spesa totale** di circa (**700 \$/mese**)

8.5.5 Conclusioni

Questa tipologia di rete è modulare, dunque non si esclude in futuro l'aggiunta di nodi IoT, nodi clienti, ma soprattutto nodi "blu", dunque altre realtà quali start-up universitarie e non, in ottica di condivisione e migliora-

mento del know-how, quindi di aggiunta di servizi innovativi e più prestanti. In conclusione, abbiamo ottenuto:

- **Privacy e Security** – i dati possono circolare esclusivamente nella rete, che essendo distribuita non ha una parte terza su cui dover far affidamento. Gli attacchi informatici sono più difficili da mettere a segno rispetto ad una soluzione tradizionale, dato che andrebbero hackerati i nodi validatori;
- **Solidità** – la rete funziona anche se un nodo va in down, al contrario dei sistemi tradizionali centralizzati;
- **Velocità** – le caratteristiche della blockchain privata forniscono bassa latenza, in accordo alla necessità di streaming real-time propria dell'IoT e del machine learning;
- **Affidabilità** – non c'è il rischio di confondere gli impianti nel momento in cui si invia la predizione dello stato degli stessi.

L'internet delle cose, l'analisi predittiva, i big data sono i concetti più in voga del momento, tuttavia come abbiamo visto, più le tecnologie sono potenti, più si ottengono risultati competitivi, più aumenta il rischio di perdere in termini di sicurezza e di affidabilità. Con la blockchain, i problemi di questo di questo tipo possono essere ridotti drasticamente, se non eliminati.

Bibliografia

- [1] UNI, *UNI 11126:2004 , Telemantenzione - Criteri per la predisposizione dei beni e per la definizione del servizio collegato*, 2004.
- [2] UNI, *UNI 10147:2013 , Manutenzione - Termini aggiuntivi alla UNI EN 13306 e definizioni*, 2013.
- [3] UNI, *UNI 13306:2018 , Manutenzione - Terminologia di manutenzione*, 2018.
- [4] IEEE, ed., *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios*, vol. 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), 2016.
- [5] T. M. Mitchell, *Machine Learning*. 1997.
- [6] R. G. D. Poole, A. Mackworth, *Computational Intelligence: A Logical Approach*. 1998.
- [7] K. Ashton, “That ‘internet of things’ thing.” <https://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>, note = Online; Consultato nel 2019,.
- [8] IEEE, “Towards a definition of the internet of things (iot),” 2015.
- [9] UNI, *UNI 11230:2007 , Gestione del rischio - Vocabolario*, 2007.
- [10] KONE, “Kone 24/7 connected services: Intelligent services for elevators and escalators are here,” 2019.
- [11] OTIS, “Otis one: Experience connected service, powered by the internet of things,” 2019.
- [12] M. A. Arbib, *The Handbook of brain theory and neural networks*. 2003.
- [13] J. C. Principe, *Artificial Neural Networks*, vol. The Electrical Engineering Handbook. 2000.

- [14] O. C. P. G. Giribone, S. Ligato, "Applicazioni delle reti neurali feed-forward per la ricostruzione di superfici di volatilità," 2015.
- [15] H. H. M. Al Shamisi, A. Assi, *Using MATLAB to Develop Artificial Neural Network Models for Predicting Global Solar Radiation in Al Ain City - UAE*. 2011.
- [16] T. K. Ho, "The random subspace method for constructing decision forests," 1998.
- [17] T. K. Ho, "Random decision forests," 1995.
- [18] G. S. H. V. E. A. Groll, C. Ley, "A hybrid random forest to predict soccer matches in international tournaments," 2019.
- [19] P. N. S. J. Russell, *Intelligenza artificiale: un approccio moderno*. 2003.
- [20] A. W. Services, "Algoritmo xgboost," 2019.
- [21] J. L. Elman, "Finding structure in time," 2003.
- [22] A. Shekhar, "Understanding the recurrent neural network," 2019.
- [23] S.-M. C. W. Pedrycz, *Deep Learning: concepts and architectures*. 2019.
- [24] I. T. U. (ITU), "Measuring digital development: Facts and figures 2019," 2019.
- [25] Vodafone, "La miglior rete 4g vodafone di sempre," 2019.
- [26] R. S. Ltd., "Blueeye for telemaintenance," 2017. Online; Consultato nel 2019.
- [27] T-Systems, "Greater cost savings through predictive maintenance," 2019.
- [28] thyssenkrupp, "Max: Maximum uptime, all the time," 2019.
- [29] Schindler, "Schindler ahead: Smart urban mobility," 2019.
- [30] E. Britannica, "Elisha otis: American inventor," 2019.
- [31] R. Paolelli, *Ascensori e montacarichi ad azionamento elettrico*. 1969.
- [32] P. della Repubblica, "D.p.r. 10 gennaio 2017, n. 23," 2017.

- [33] R. Sabelli, "Aduc - associazione per i diritti degli utenti e consumatori," 2017. Online; Consultato nel 2019.
- [34] P. della Repubblica, "D.p.r. 28 marzo 1994, n. 268," 1994.
- [35] UNI, *UNI EN 81-20:2014 , Regole di sicurezza per la costruzione e l'installazione degli ascensori - Ascensori per il trasporto di persone e cose - Parte 20: Ascensori per persone e cose accompagnate da persone*, 2014.
- [36] C. A. S.r.l., "Il sollevamento oleodinamico," Online; Consultato nel 2019.
- [37] A. Gualdaroni, "Development and implementation of a smart remote maintenance & management system for elevators," Master's thesis, Università di Roma La Sapienza, A.A. 2016/2017. Laurea magistrale in Ingegneria Meccanica.
- [38] L. Fedele, "Sistemi di tele-manutenzione intelligenti per la gestione di impianti tecnici," tech. rep., Università di Roma La Sapienza, ISPESL, Marzo 2006. Relazione di ricerca.
- [39] "Cma lifts." Online; Consultato nel 2019.
- [40] D. N. S. Shashank, P. Nick, "Best raspberry pi distros in 2020." <https://www.techradar.com/news/best-raspberry-pi-distro>, 26 Aprile 2019. Online; Consultato nel 2019.
- [41] S. Z. Dongge Deng, Xinjun Wu, "A steel wire stress measuring sensor based on the static magnetization by permanent magnets," *Sensors (Basel)*, 30 Settembre 2016.
- [42] J. S. Jay Lee, Moslem Azamfar, *A blockchain enabled Cyber-Physical System architecture for Industry*. Manufacturing Letters, 2019.
- [43] "Amazon managed blockchain." <https://aws.amazon.com/it/managed-blockchain/?nc=sn&loc=0>. Online; Consultato nel 2020.
- [44] K. Reshma, "Food traceability on blockchain: Walmart's pork and mango pilots," *The JBBA*, 12 June 2018.

Elenco delle figure

1.1	Tipologie di manutenzione	2
2.1	Meccanismo di formazione del rischio per la salute del sistema	10
2.2	Immagine termica di esempio con possibili difetti previsti .	12
2.3	Motore elettrico preso come modello	14
2.4	Matrice di confusione	19
2.5	Rete neurale ricorsiva	25
2.6	Architettura generale di un autoencoder	26
2.7	Estrazione profilo e features	27
2.8	Profili di accelerazione e vibrazioni	28
2.9	Features classificate	28
2.10	Confronto vita utile del componente	30
2.11	Usura dell'inserto	30
2.12	Studio di frequenze del cuscinetto	31
2.13	Analisi ed elaborazione dati dell'inserto	33
2.14	Recurrent Neural Network - RNN	34
2.15	Convolutional Neural Network - CNN	34
2.16	Matrice di confusione RNN	35
2.17	Matrici di confusione CNN	35
2.18	Processo di cross validation	36
2.19	Esempi SVM	38
2.20	Parametri prestazionali RF	40
2.21	Parametri prestazionali XGB	40
2.22	Parametri prestazionali SVM	40
2.23	Confronto F1	41
2.24	Evoluzione delle utenze fisse e mobili tra il 2005 e il 2019 .	41
2.25	Architettura del terminal di monitoraggio	43
2.26	Specifiche tecniche di BlueEye	45

3.1	Architettura del sistema GrAMS	50
3.2	Diagramma ad albero dell'impianto ascensore	52
3.3	Architettura della rete neurale GrAMS 2009	54
3.4	Diagramma del training	56
3.5	Andamento dell'errore	57
3.6	Diagramma logico del GrAMS	58
4.1	Schematizzazione impianto ascensore elettrico	66
4.2	Schema semplificato di ascensore MRL	70
4.3	Schema ascensore idraulico	72
4.4	Schema didattico del circuito idraulico	73
4.5	Configurazione ascensori idraulici	74
5.1	Diagramma ad albero, ascensore elettrico	77
5.2	Diagramma ad albero, ascensore oleodinamico	78
5.3	Numero di infortuni al personale e danni verso terzi	87
5.4	Tipologia di incidenti causati	87
5.5	Numero medio di fermi	91
5.6	Tempo di guasto medio	92
5.7	FTA di mancato livellamento per gli ascensori elettrici	93
5.8	FTA di mancato livellamento per gli ascensori idraulici	94
5.9	FTA di erronea chiusura delle porte di piano o cabina	94
5.10	FTA di movimentazione incontrollata della cabina per gli ascensori elettrici	94
6.1	Schermata esempio del desktop di PIXEL	106
6.2	VI acquisizione dati accelerometro monoassiale	107
6.3	Schermata di configurazione DAQ Assistant .1	108
6.4	Schermata di configurazione DAQ Assistant .2	109
6.5	Schermata di configurazione DAQ Assistant .3	110
6.6	Schermata di configurazione di Write To Measurement File	111
6.7	VI di LabVIEW per l'analisi dei segnali	112
6.8	ANN in Microsoft Azure	120
6.9	ANN in Spyder	121
6.10	Schermata di log-in per la web application	122
6.11	Schermata principale del software con la situazione dell'impianto	123
6.12	Schermata di gestione degli interventi manutentivi	123
6.13	Schermata dell'andamento storico dei parametri d'impianto	124

7.1	Preventivo di costo del prototipo di G.DAB	128
7.2	Curve di sforzo dei fili di diametro 5 mm	131
7.3	Curve di sforzo dei fili di diametro 7 mm	131
7.4	Business Model Canvas per il GrAMS 2020	141
8.1	Schema rete P2P	144
8.2	Costruzione della catena di blocchi	144
8.3	Header del blocco	145
8.4	Public vs private network (1)	148
8.5	Public vs private network (2)	149
8.6	Private vs consortium network	149
8.7	Analisi CVP	153
8.8	Blockchain del GrAMS 2020	160
8.9	Esempi dei costi di AMB	161

Elenco delle tabelle

2.1	Cause effetti vibrazioni e rumore	13
2.2	Grandezze ricavate dai segnali in input	14
2.3	Valori per valutare il modello in salita	29
2.4	Valori per valutare il modello in discesa	29
2.5	Variabili per RF con i relativi range consigliati	36
2.6	Variabili per XGB con i relativi range consigliati	37
2.7	Variabili con i relativi range consigliati	38
2.8	Confronto algoritmi	39
3.1	Risultati dell'analisi FMECA	53
3.2	Sensori e parametri di input	55
3.3	Indice Ks	55
3.4	Indice Ka	56
4.1	Dimensioni cabina	68
4.2	Dispositivi di sicurezza	69
5.1	FMEA dei componenti del vano corsa	80
5.2	FMEA dei componenti della cabina	81
5.3	FMEA dei componenti del motore a frizione	82
5.4	FMEA dei componenti della centralina oleodinamica	82
5.5	FMEA dei componenti dei circuiti e contatti elettrici	83
5.6	Controlli manutentivi per impianti ascensori a frizione	84
5.7	Controlli manutentivi per impianti ascensori idraulici	85
5.8	Numero ascensori e di incidenti in Korea dal 1998 al 2007	89
5.9	Componenti interessati da guasto	90
5.10	Parametri di misurazione e previsti guasti coperti	96
5.11	Sensori e posizionamento d'installazione	97
5.12	Specifiche Raspberry Pi 3 B+	99
7.1	Specifiche dei sensori acquistati	126
8.1	Flusso degli asset	159
8.2	Preventivo GrAMS 2020 Blockchain	161