

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea Magistrale

**Sviluppo di un algoritmo di ottimizzazione della sostituzione del
Modulo Pompa per il post trattamento dei gas di scarico su veicoli
industriali per l'autotrazione**



Relatore: Ch.mo Prof. Maurizio Galetto

Correlatore: Prof. Luca Mastrogiacomo

Tutor Aziendale: Ing. Stefano Rozzi

Candidato: Leonardo Lamontanara

INDICE

INTRODUZIONE	1
CAPITOLO 1 – L’AZIENDA: CNH INDUSTRIAL	3
1.1 ORGANIGRAMMA	3
1.2 IVECO	3
1.2.1 Richiesta di intervento su un veicolo in garanzia.....	4
1.3 STORIA E RICONOSCIMENTI	5
1.4 DATI ECONOMICI (CNH INDUSTRIAL)	5
CAPITOLO 2 – PUMP MODULE.....	6
2.1 TELEMATICA	6
2.1.1 Infrastruttura Telematica in Iveco	6
2.1.2 Tools Telematici in Iveco	8
2.2 AFTER TREATMENT SYSTEM (ATS).....	8
2.3 PUMP MODULE.....	11
2.3.1 Segnalazioni di errore	13
2.3.2 Errori legati al pump module	14
CAPITOLO 3 – INGEGNERIA DELL’AFFIDABILITÀ	16
3.1 RICHIAMI DI STATISTICA E DI TEORIA DELLA PROBABILITÀ	16
3.1.1 Spazio campionario, insiemi, eventi	16
3.1.2 Definizioni di probabilità	17
3.1.3 Richiami di calcolo combinatorio	19
3.1.4 Variabili casuali	20
3.1.5 Momenti di variabili casuali	22
3.1.6 Misure statistiche	23
3.1.7 Distribuzioni di probabilità classiche.....	24
3.1.8 Test d’ipotesi.....	26
3.1.9 Analisi di regressione.....	28
3.2. AFFIDABILITÀ	30
3.2.1 “Life distributions” classiche	32
3.2.2 Classificazione dei dati	35
3.2.3 Stima dei parametri con metodo della massima verosimiglianza (MLE).....	35
3.3 AFFIDABILITÀ DEL PUMP MODULE.....	37
3.3.1 Scelta delle popolazioni per l’analisi	37
3.3.2 Scelta della distribuzione	37
3.3.3 Stima dei parametri della distribuzione scelta	38
3.3.4 Risultati ed individuazione delle Failure modes	39

CAPITOLO 4 – ALGORITMO	42
4.1 DEFINIZIONE DELLE POPOLAZIONI.....	42
4.1.1 Sottopopolazione di veicoli, claims, errori	42
4.1.2 Analisi di Pareto per le segnalazioni di errore	43
4.1.2 Considerazione riguardo le sottopopolazioni di veicoli, claims, errori.....	49
4.2 DEFINIZIONE DELLA REGOLA DI SOSTITUZIONE DEL PUMP MODULE	56
4.2.1 Range occorrenze.....	56
4.2.1 Matrice errori (0X4B8A00 – 0XFBAF00)	59
4.2.2 Scelta della regola di ottimizzazione.....	61
4.2.3 Impostazione delle basi per la validazione regola.....	69
4.3 CALCOLO DELLA VITA RESIDUA DEL PUMP MODULE DA SOSTITUIRE	69
4.3.1 Mediana delle occorrenze dell'errore di pressione alla sostituzione.....	70
4.3.2 Previsione della vita residua	70
CONCLUSIONI	72
BIBLIOGRAFIA.....	74
SITOGRAFIA	74

Introduzione

Il lavoro di tesi si pone l'obiettivo di sviluppare un algoritmo di ottimizzazione dell'intervento di sostituzione del modulo pompa, componente legato al post trattamento dei gas di scarico su veicoli industriali per l'autotrazione alimentati a gasolio.

La trattazione è stata realizzata presso CNH Industrial, azienda multinazionale che opera nel settore dei capital goods e, in particolare, per il brand Iveco, che con Iveco Astra, Iveco Bus, HeuliezBus, Magirus, Iveco Defense Vehicles rappresentano alcuni tra i 12 brand dell'azienda. Iveco si occupa di progettare, realizzare e commercializzare commercial vehicles.

Il seguente lavoro nasce dalla volontà dell'azienda di migliorare il servizio post-vendita al cliente, aspetto sempre più importante per aggiungere valore al prodotto. L'obiettivo, ad esempio, è riuscire ad avvertire il cliente in anticipo nel caso si stia per verificare qualche anomalia durante il funzionamento del veicolo o gestire ed analizzare dati relativi ai consumi e allo stile di guida del driver. Questo è possibile grazie all'utilizzo della telematica, la quale permette di monitorare il veicolo in tempo reale raccogliendo dati ed errori che si stanno verificando durante il funzionamento dello stesso. L'assistenza telematica, coadiuvata da algoritmi validi che spieghino e prevedano determinate anomalie, porterà ad una riduzione dei costi e ad un aumento dell'efficienza e della sicurezza per il cliente.

In una prima fase dell'elaborato di tesi sarà illustrata l'azienda, l'ambito in cui opera, in grandi linee la sua organizzazione strutturale e la sua storia. Successivamente verrà presentato il componente preso in considerazione, i motivi di questa scelta e lo studio di affidabilità effettuato su di esso.

Nella parte centrale del lavoro, sarà descritta la regola che ottimizza gli interventi di sostituzione del componente, determinata attraverso dati forniti dall'azienda che permetterà di avvisare il cliente in anticipo quando si stanno per verificare le condizioni che possono portare al guasto e, quindi, alla sostituzione del componente analizzato. Questo permetterà di schedare la sostituzione del componente in maniera condivisa tra il cliente e l'officina in modo tale da minimizzare i tempi di fermo veicolo e, quindi, evitare disagi e costi per il cliente.

Le varie regole di ottimizzazione degli interventi sono state giudicate attraverso dei KPIs definiti dall'azienda per la valutazione di altre regole realizzate per lo stesso scopo ma per altri componenti e, successivamente, sono state impostate le basi per la validazione successiva dell'algoritmo ideato.

Infine, sarà presentato il modello di regressione lineare individuato per determinare la vita residua del modulo pompa dal momento in cui viene segnalato come guasto dalla regola di ottimizzazione al momento medio di rottura del componente.

Capitolo 1 – L'azienda: CNH Industrial

CNH Industrial è un'azienda globale che opera nel settore dei capital goods; attraverso i suoi marchi progetta, produce e commercializza macchine per l'agricoltura e le costruzioni, veicoli industriali e commerciali, autobus e mezzi speciali, oltre ai relativi motori e trasmissioni, e a propulsori per applicazioni marine. CNH industrial è presente in 180 paesi, con più di 60 plants, per un totale di circa 64 mila dipendenti e un fatturato di circa 27 miliardi di dollari.

1.1 Organigramma

L'organigramma di CNH Industrial è abbastanza complesso. Prevede una struttura a matrice, dove la prima linea da un lato è composta da funzioni aziendali come Quality, Purchasing e Manufacturing e i vari brand, mentre dall'altro lato viene divisa in base alla regione territoriale o al segmento di prodotto. Le risorse presenti all'interno delle unità organizzative, quindi, dipendono contemporaneamente sia dalla propria funzione che dalla regione o dal segmento produttivo, in particolare c'è una dipendenza gerarchica dal segmento e una dipendenza funzionale dalla regione territoriale.

L'algoritmo è stato sviluppato all'interno della funzione Quality Telematics che fa capo alla divisione Quality Commercial Vehicles, che a sua volta dipende dalla funzione di primo livello Quality global.

1.2 Iveco

Come detto durante l'introduzione, il lavoro è stato svolto principalmente per il brand Iveco, che assieme a Iveco Astra, Iveco Bus, Heuliez Bus, Magirus, Iveco Defense Vehicles, FPT, Case Construction, New Holland Costruction, New Holland Agriculture, Case IH e Steyr rappresenta i 12 marchi posseduti da CNH.

Iveco dispone di 18 plants e 13 centri di ricerca e sviluppo con i quali si occupa di progettare e realizzare veicoli commerciali e industriali on-road e off-road nelle gamme leggera, media e pesante. Per quanto riguarda i veicoli on road, la gamma leggera presenta come veicolo il Daily, nelle sue due versioni Cab e Van, che ha la possibilità di trasportare un carico che vada da 3.3t a 7.2t; la gamma media, invece, si occupa di Eurocargo, veicolo che può trasportare da 6.5t a 19t; la gamma pesante è

famosa per lo Stralis che sopporta un carico fino a 44t. Per i veicoli off road ci sono lo Stralis X-way ed il Trakker.

La mission del brand (seguendo quella di tutta l'azienda) si sta focalizzando sempre di più sulla riduzione delle emissioni e sulla ricerca della sostenibilità; questo si sta traducendo in un continuo impegno per l'innovazione e lo sviluppo di veicoli CNG (compressed natural gas), LNG (liquefied natural gas), ibridi o interamente elettrici.

1.2.1 Richiesta di intervento su un veicolo in garanzia

Al momento dell'acquisto di un veicolo Iveco, il cliente può stipulare diverse tipologie di garanzia, che coprono, in maniera differente, i possibili guasti che possono verificarsi e manutenzioni che possono risultare necessarie nel corso della sua vita utile.

Le tipologie di garanzia più frequenti sono:

- A: Garanzia standard, durata di 1 anno per tutti i componenti veicolari;
- L: Estensione della garanzia per il secondo anno per la drive-line (motore, cambio, asse, differenziale, ponte, ruote etc.);
- 4: Contratto aggiuntivo, che estende la durata o i componenti in garanzia;
- M&R: Contratto di garanzia che comprende interventi di manutenzione e riparazione per determinati componenti (definiti nel contratto, ad esempio i componenti drive-line o extra-drive line o entrambi), ha una durata di 5 anni dal momento della stipula del contratto.

Nel caso in cui un veicolo provvisto di garanzia abbia necessità di subire un intervento, il cliente può recarsi in un'officina Iveco, la quale, dopo aver svolto l'intervento necessario, genererà una claim (richiesta di pagamento di intervento in garanzia). Le claims vengono raccolte in un grande database, il quale contiene per ogni richiesta diversi campi: il telaio del veicolo (che lo identifica), la data di intervento, un codice che identifica il tipo di guasto, i km del veicolo al momento dell'intervento, il codice del componente sostituito e la sua descrizione, il costo del componente di ricambio ed il costo della manodopera e tanti altri campi.

1.3 Storia e riconoscimenti

Nel 1999 il Gruppo Fiat acquisisce la Case Corporation e dalla fusione con New Holland N.V. nasce CNH Global, leader mondiale nel settore delle macchine per l'agricoltura e di quelle per il movimento terra. Successivamente nel 2011 nasce Fiat Industrial, la nuova società del settore dei Capital Goods originata dalla scissione delle attività di Iveco, CNH Global N.V. e FPT Industrial da Fiat S.p.A.; infine nel 2013 nasce l'attuale CNH Industrial a seguito della fusione per incorporazione tra Fiat Industrial e la sua più importante sussidiaria CNH Global N.V.

Dall'anno della sua costituzione, CNH Industrial vanta molti riconoscimenti per la sua lotta ai cambiamenti climatici e per le continue attività di ricerca e sviluppo nel settore automotive sia a livello globale che a livello dei singoli mercati nazionali, oltre a nomine come Industry Group Leader nei settori dei Capital Goods. Nel 2018 è stata nominata leader dell'Industry Machinery ad Electrical Equipment negli indici Dow Jones Sustainability (DJSI) World e Europe per l'ottavo anno consecutivo.

1.4 Dati Economici (CNH Industrial)

I dati relativi alle performance economiche, presenti sul bilancio di sostenibilità 2017, approvato nell'aprile del 2018, mostrano un fatturato in crescita di circa 10%, un incremento del risultato operativo di circa 15% e un utile netto che raggiunge quota 313 milioni di dollari aumentando del 225% rispetto al precedente bilancio.

L'obiettivo di CNH Industrial è di creare valore e distribuirlo ai propri stakeholders. Il calcolo del valore aggiunto creato nell'anno permette all'azienda di comprendere meglio i suoi impatti economici. Nel 2017 il valore aggiunto generato dalle attività dell'azienda e distribuito ai propri stakeholders è pari a circa 6 milioni di dollari, che rappresentano il 22,6% del fatturato, ed un mostrano un incremento del 7,6% rispetto allo scorso anno.

Capitolo 2 – Pump module

Il componente selezionato per redigere il lavoro di tesi è il modulo pompa del liquido AdBlue, componente del after treatment system (ATS) per i veicoli alimentati a diesel. Il funzionamento e le caratteristiche del modulo pompa saranno descritti nel paragrafo 2.3.

2.1 Telematica

La telematica, per definizione, è “l’insieme delle soluzioni tecniche e metodologiche adottate per permettere l’elaborazione a distanza di dati ovvero far comunicare applicazioni residenti in sistemi di elaborazione remoti e collegati tra loro” [G]. L’obiettivo della telematica, quindi, è quello di raccogliere delle informazioni e, in seguito, trasmetterle ed elaborarle in modo ottimale.

La telematica nel settore automotive si è sviluppata inizialmente come un sistema di tracciabilità e rintracciabilità e, quindi, come un mezzo di controllo del bene mobile. Successivamente si è evoluta permettendo ai conducenti di ottenere in tempo reale un feedback sul loro stile di guida e sulle loro performance. Adesso, i sistemi avanzati di gestione della flotta stanno permettendo ai driver di svolgere al meglio i loro compiti, incrementando il loro welfare e la loro sicurezza alla guida.

2.1.1 Infrastruttura Telematica in Iveco

In Iveco, l’architettura per consentire il servizio telematico si basa su delle componenti on-board e delle componenti off-board. Per quanto riguarda la parte on-board, viene inserito all’interno del veicolo un Secure Gateway Module che consente la divisione tra la zona sicura e la zona non sicura del veicolo. Nella zona sicura sono incluse tutte le centraline veicolari, nella zona non sicura sono inclusi tutte le centraline che ricevono dati dall’esterno. L’obiettivo del SGM è quello di filtrare i dati in ingresso così da evitare che dati provenienti da autori non certificati possano essere scritti sulle centrali veicolari. Oltre al SCM, fondamentale è la telematics box, chiamata P&CM, che permette di collezionare dati, di scambiare interazioni in tempo reale con le centraline presenti all’interno del veicolo, di eseguire calcoli direttamente on-board e rilasciare feedback in tempo reale al driver e, ovviamente, la trasmissione dei dati verso le piattaforme server che li gestiscono. Iveco, nel lancio dei nuovi modelli di veicoli che avverrà nel 2019, sta dotando i propri veicoli di moduli telematici che

permetteranno la trasmissione e la monetizzazione dei dati, allineandosi con gli altri costruttori (Fig 2.2).

Per quanto riguarda l'infrastruttura off-board, Iveco sfrutta delle importanti partnership. La partnership con Verizon, importante provider di telecomunicazioni, permette di svolgere una più accurata gestione della flotta ed end-user support; Microsoft, invece, sviluppa e gestisce la piattaforma server (Service Delivery Platform) dove vengono immagazzinati i dati dei veicoli collezionati in tempo reale dalla P&CM (Fig. 2.1).

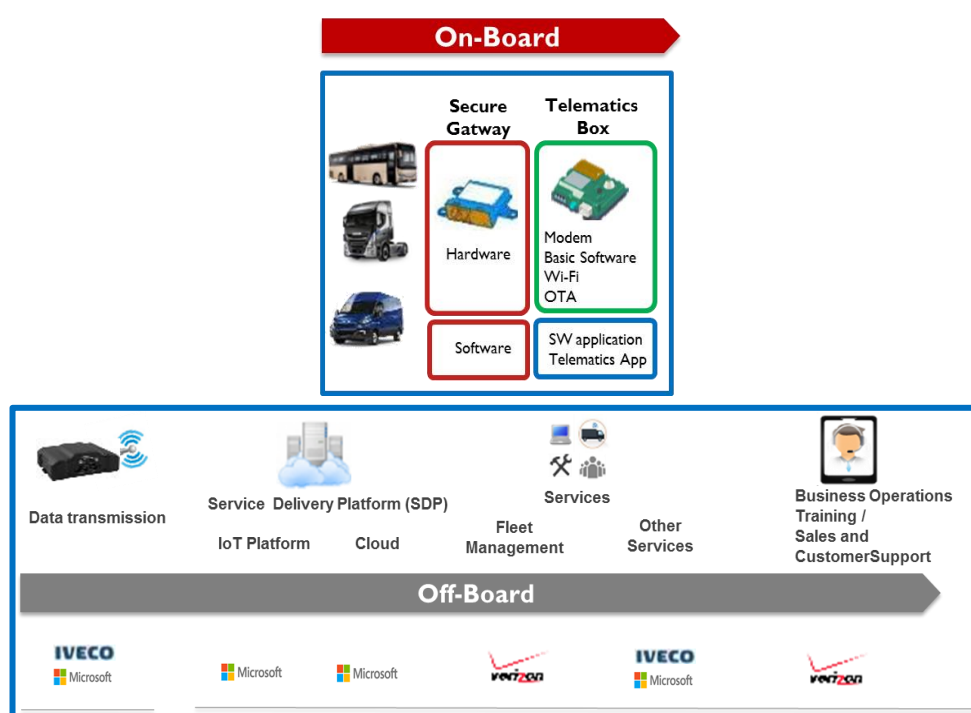


Fig. 2.1 Architettura telematica Iveco

	Competitors			IVECO MY13	IVECO MY19
	1	2	3		
Performance / Supplier	ACTIA 2015-2016	Stoneridge 2016	Continental 2014	Marelli Q3-2012	ACTIA
Processor	ARM9 800MHz	ARM9 800MHz	ARM1136 532MHz	ST ARM9 208MHz	ARM9 800MHz
Processor capability (MIPS)	3000	3000	2000	500	3000
Memory Flash	4GB	4GB	4GB	128 MB	4 GB
Memory RAM	512MB	512MB	128MB	48 MB	512MB
Remote Diagnostics	x	-	-	---	x
OTA Update (ECUs)	x	x	x	---	x
Tacho interface	x	x	x	x	x

Fig. 2.2 Analisi benchmark telematics box

2.1.2 Tools Telematici in Iveco

Iveco ha realizzato 3 tipologie di tools per l'analisi dei dati raccolti telematicamente dai veicoli:

- Maintenance & Diagnostics;
- Fuel & Performance;
- CRM & Financial Services;

In M&D, i tools più interessanti riguardano l'analisi degli errori registrati in centralina (ciò che è stato effettuato per il lavoro di tesi) per ottenere una diagnosi telematica del problema e effettuare manutenzione o riparazione preventiva sui componenti. Per l'ambito F&P, sono presenti tools riguardanti il consumo di carburante, la gestione della mission del veicolo e la gestione della pressione dei pneumatici. Infine, l'ultima tipologia di tools si occupa della gestione della relazione con il cliente, e quindi, l'analisi della storia del veicolo, invio di possibili notifiche per criticità, KPIs commerciali e aggregazioni di dati per definire e migliorare l'ambito garanzie.

2.2 After Treatment System (ATS)

Negli ultimi decenni, a seguito di standard imposti da parte della Commissione europea, ogni casa automobilistica sta cercando di ridurre le emissioni di inquinanti dei propri veicoli. In particolare, attraverso l'implementazione nel settore del regolamento Euro VI, sono state ottenute riduzioni molto importanti delle emissioni

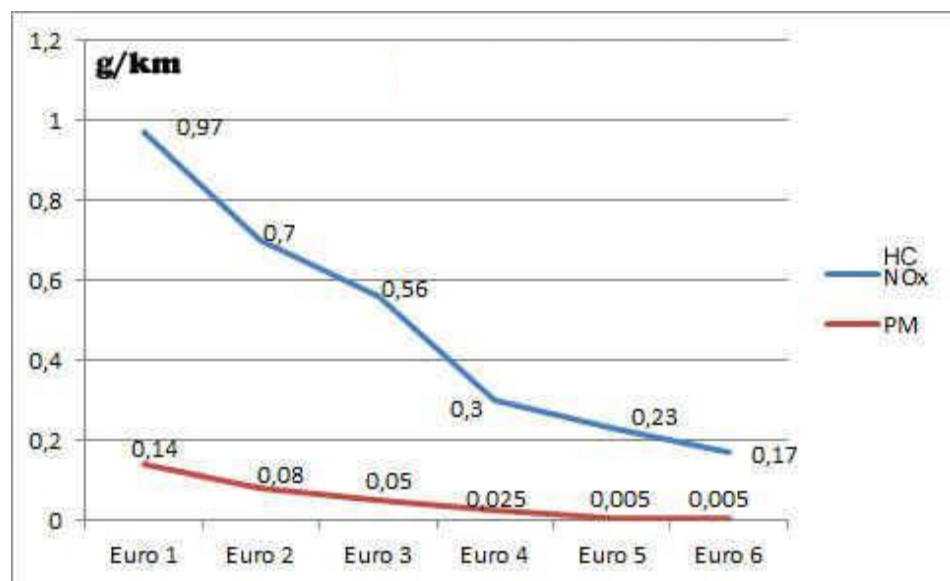


Fig. 2.3 Riduzioni inquinanti attraverso le normative Euro.

inquinanti dei veicoli pesanti, tra cui gli ossidi di azoto (NO_x) e il particolato (PM), che dal 1991 si sono ridotti a livelli prossimi allo 0 [E].

Per il post trattamento dei gas di scarico dei veicoli diesel vengono utilizzate principalmente due diverse tecnologie per raggiungere gli standard previsti nella normativa Euro 6: il sistema EGR e il sistema SCR [11].

Il funzionamento del sistema EGR (Exhaust Gas Recirculation) è caratterizzato dal ricircolo dei gas di scarico; questi vengono re-iniettati nella camera di combustione attraverso il passaggio dal collettore di scarico al collettore di aspirazione, in modo da contenere le temperature interne e gli eccessi di ossigeno, le principali cause della formazione degli ossidi di azoto (NO_x). Viene utilizzata una elettrovalvola, l'EGR, comandata dalla centralina del motore attraverso un segnale (Pulse Width Modulation). Questo consente la regolazione della quantità di gas di scarico dai relativi collettori. Specialmente nei veicoli pesanti, la valvola EGR, nonostante porti ad una riduzione delle emissioni nocive, comporta alcuni svantaggi. L'effetto più evidente è un calo di potenza del motore ed un aumento dei consumi che si verifica poiché la valvola EGR diminuisce la quantità di benzina da bruciare impattando in maniera negativa sul rendimento del propulsore. Il sistema di riciclo dei gas esausti comporta, inoltre, un aumento delle temperature in aspirazione che in qualche modo impone al motore di operare a temperature più alte. Altro problema risulta essere l'intasamento della valvola EGR che spesso si sporca a causa del passaggio di gas combusti; ciò causa evidenti malfunzionamenti che emergono soprattutto nell'uso cittadino dell'autovettura, quando il motore è a freddo [11][A].

In Iveco, invece, viene utilizzato il secondo sistema; in particolare viene utilizzato l'HI-eSCR, di FPT Industrial, che è in grado di ridurre i livelli di NO_x di oltre il 95% senza l'utilizzo del sistema EGR. I componenti principali della tecnologia SCR sono il Diesel Oxidation Catalytic (DOC), il diesel particulate filter system (DPF) ed il selective catalytic reduction system (SCR). Questo sistema di abbattimento si serve, inoltre, dell'aggiunta di un agente chimico riducente, Ammoniaca o Urea, sfruttandone la capacità di assorbimento dell'ossigeno, producendo così vapore acqueo e N_2 a scapito degli NO_x . Di solito il fluido utilizzato è una soluzione composta dal 32,5% di Urea e acqua deionizzata che viene chiamata Diesel exhaust fluid (DEF o AdBlue). Questa soluzione viene iniettata nel flusso di scarico attraverso il dosing module per ridurre le emissioni di NO_x [C].

Il processo viene avviato dall'arrivo del gas di scarico al DOC; al suo interno avviene l'ossidazione degli idrocarburi e di parte del particolato, ma, principalmente avviene l'ossidazione di NO in NO₂ attraverso la reazione $2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$. Successivamente il flusso di scarico raggiunge il Passive DPF (filtro antiparticolato) il quale permette l'ossidazione del particolato attraverso l'O₂ e l'NO₂. A valle del DPF c'è l'SCR, il quale è collegato al sistema Denoxtronic. Quest'ultimo è composto da:

- Serbatoio AdBlue: è il serbatoio del liquido AdBlue che favorisce la riduzione delle emissioni nocive; il serbatoio deve essere riempito di circa 10 litri ogni 10000 km;
- Pump Module (AdBlue pump): aspira il liquido AdBlue dal serbatoio e filtra, avvia e mantiene la pressione tra la il pump module e il dosing module;
- Dosing Module (AdBlue doser): il modulo dosatore inietta l'AdBlue nel sistema di scarico;
- Decomposition chamber: è il luogo dove avviene il mixing del flusso di scarico con l'AdBlue prima dell'SCR;

L'SCR (Selective Catalytic Reduction) è il convertitore catalitico dove l'ammoniaca, ottenuta dal liquido AdBlue decomposto, riduce l'ossido di azoto in acqua ed azoto. Questo permette di rispettare i regolamenti per le emissioni di NO_x. La reazione chimica che avviene all'interno idealmente è $NO + NO_2 + 2NH_3 \rightarrow$

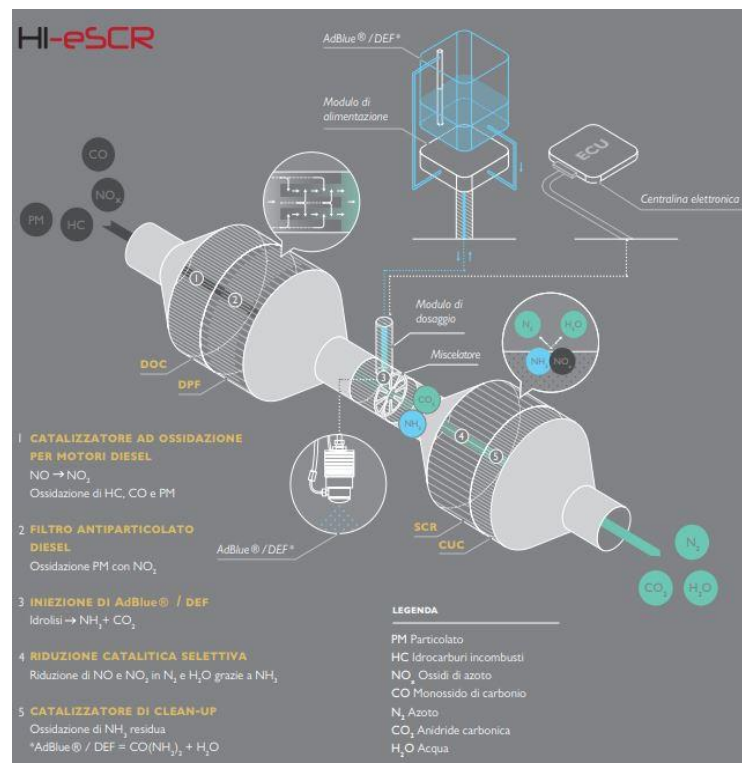


Fig. 2.4 HI-eSCR, After treatment system

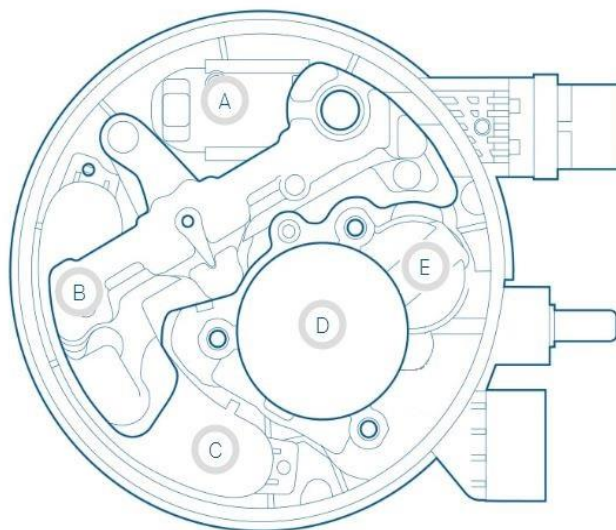
$2N_2 + 3H_2O$. Ovviamente, però, nei sistemi reali si verificano delle emissioni nocive, l'obiettivo è ridurle il più possibile per rispettare gli standard imposti dalla commissione europea. Infine, a valle dell'SCR è presente il CUC (Clean-Up Catalyst) che elimina l'ammonica (NH_3) residua attraverso la sua ossidazione.

Il “cervello” del sistema HI-eSCR è la centralina elettronica (ECU) che controlla, attraverso una rete di sensori integrati, la quantità di soluzione acqua-urea (AdBlue) da iniettare nel tubo di scarico, le emissioni di NO_x ed eventuali eccessi di NH_3 , oltre alle temperature durante tutte le fasi dello scarico [10].

Rispetto al sistema EGR, la tecnologia SCR presenta dei vantaggi come l'alta durabilità, l'assenza di incrementi di consumo del combustibile ed importante efficienza nella riduzione delle emissioni di CO_2 ed NO_x ; d'altra parte, l'unico svantaggio evidente è il dover inserire a bordo la struttura hardware e software per gestire il sistema denoxtronic, quindi il fluido AdBlue e la sua circolazione all'interno dell'ATS [11].

2.3 Pump Module

Il pump module è il componente del Denoxtronic (e quindi dell'ATS) responsabile di trasferire il liquido AdBlue dal suo serbatoio all'interno del sistema di scarico per permettere l'ossidazione degli ossidi di azoto (NO_x). Il pump module, detto anche supply module, assieme all'intero sistema Denoxtronic viene fornito da Bosch e permette di raggiungere gli standard richiesti in merito alle emissioni dei veicoli [F].



LEGENDA:

- A: Sensore per il livello di riempimento, concentrazione e temperatura;
- B: Riscaldatore elettrico;
- C: Filtro;
- D: Pompa a membrana;
- E: Sensore di pressione;

Fig. 2.5 Pump Module

Il modulo pompa è costituito da una pompa a membrana a solenoide che garantisce la fornitura del DEF al dosing module solo ogni volta che questo risulta necessario [D].

La scelta di incentrare lo studio e la ricerca di un algoritmo predittivo su questo componente dell'ATS è dovuta a diversi motivi:

Part number code	descrizione componente	% claim	n° claim
5801404925	HEAD COVER GASKET	**	**
5801620130	FUEL PRE-FIL. CARTR.	**	**
503140029	WASTE DISPOSAL	**	**
5801516883	FUEL FILTER ELEMENT	**	**
504381868	PUMP	1,84%	3224
504262598	WASHER	**	**
5801489564	FLAT GASKET ENGINE	**	**
MPT001V5H	RECALL KIT	**	**
MPT001V5D	RECALL KIT	**	**
5801587836	SENSOR	**	**
99456095	GASKET	**	**
500055482	INJECT.LINE SET	**	**
41288279	CLIP	**	**
5801483105	SENSOR	**	**
5801754014	SENSOR	**	**
5801453888	ELECTRICAL INJECTION	**	**
5801680759	CLIP	**	**
99463138	STUD	**	**
5801565929	HEXAGON NUT	**	**
42545784	PARAFU11 CONCENTR.	**	**
5801792376	SENSOR	**	**
42545785	PARAFUFE AL 50	**	**
5802028162	FASTENING BRACKET	**	**
17292681	O-RING	**	**
5801699334	FUEL FILTER	**	**
TPT002V4A	RECALL KIT	**	**
17292281	O-RING	**	**
5801483106	CONTROL VALVE	**	**
17285581	O-RING	**	**
5802061908	THERMOSTAT	**	**
5801777219	SENSOR	**	**
99448739	FLAT GASKET ENGINE	**	**
47537803	NOZZLE	**	**
5801519872	VARIAB.GEOM.TURBINE	**	**
5801938457	WATER PUMP	**	**

Tab. 2.1 Claims per part number code (dati sensibili)

- rientra tra i primi 5 componenti (relativi al motore e all'ATS) che sono stati sostituiti un numero maggiore di volte in garanzia dal negli ultimi due anni (Tab. 2.1);

- elevata quantità di segnalazioni di errore che potrebbero coinvolgere il modulo pompa;
- rilevata importanza del componente per favorire la riduzione delle emissioni nocive, e, di conseguenza, le performance del veicolo;
- costo del componente elevato;

2.3.1 Segnalazioni di errore

Le segnalazioni di errore, salvate nelle varie centraline ogni volta che si verifica un errore, attualmente vengono trasmesse al server telematico ogniqualvolta il veicolo si reca in officina. Sono raccolte in report dove ogni riga rappresenta una segnalazione di errore e, per ognuna di esse, abbiamo diverse informazioni:

- Data e ora della segnalazione di errore (che, come detto, corrispondono alla data in cui il veicolo si è recato in officina ed è stato collegato all'apparecchio di diagnostica);
- Codice telaio (VIN) del veicolo che ha riportato la segnalazione di errore;
- Truck family del veicolo;
- Chilometraggio del veicolo al momento della segnalazione d'errore;
- Codice Errore (DTC);
- Stato errore al momento della segnalazione d'errore (Attivo o intermittente);
- N° occorrenze del DTC al momento della segnalazione dell'errore (quante volte il DTC si è presentato tra l'entrata in officina del veicolo considerata e quella precedente);
- Descrizione dell'errore verificatosi.

Date	Time	VIN	Truck Family	Km	DTC	Status	OC	DTC Description
15/03/2017	20:23	WJMA1VNH60C305654	Stralis MY 2013 ATAD Euro VI	180335	0X4B8A00	Intermittent	22	SCR - ADBLUE PRESSURE > WRONG SIGNAL [DTC: 0xB8A00 FMI: 0x4 DTC FNR: 0x4B8A00]
20/07/2018	12:14	WJMA1VNJ60C298114	Stralis MY 2013 ATAD Euro VI	383864	0XFBAF00	Present	1	TORQUE LIMITATION DUE TO: SCR / ADBLUE > WARNING MESSAGE FOR FAULT [DTC: 0xBAF00 FMI: 0xF DTC FNR: 0XFBAF00]
03/08/2017	12:55	WJMA1VPH60C319368	Stralis MY 2013 ATAD Euro VI	178060	0X4B8A00	Intermittent	10	SCR - ADBLUE PRESSURE > WRONG SIGNAL [DTC: 0xB8A00 FMI: 0x4 DTC FNR: 0x4B8A00]

Tab. 2.2 Esempio segnalazioni d'errore

2.3.2 Errori legati al pump module

Il lavoro di tesi si è basato sullo studio dei DTC che coinvolgono il modulo pompa, rilevati in centralina motore durante il funzionamento dei veicoli e risaliti attraverso l'infrastruttura telematica nel momento in cui li stessi si sono recati in officina. Sono state considerate le segnalazioni di errore raccolte dal 01/01/2017 dai veicoli che hanno, attualmente, un contratto di garanzia M&R attivo.

Iveco ha a disposizione un grande database dove sono riportati tutti gli errori che possono essere segnalati dalle varie centraline presenti all'interno del veicolo. In questo database sono presenti diverse voci per ogni DTC: la descrizione, il componente coinvolto, la descrizione e la spiegazione dei parametri o della situazione che fa scaturire la segnalazione d'errore, la reazione del sistema, le cause che possono aver scaturito il failure, come eliminare il failure (riparazioni, sostituzioni, test), la classificazione e la priorità dell'errore, come validare dopo la riparazione se l'errore non è più presente, come cancellare la memoria errore, se la presenza dell'errore accende una spia, e tante altre voci. Attraverso questo database chiamato "failure reaction" è possibile collegare gli errori presenti nelle segnalazioni ai componenti possibilmente coinvolti.

Gli errori maggiormente legati al pump module e all'intero sistema Denoxtronic sono 17; nella tab 2-3 sono stati inseriti i DTC che possono essere causati da un problema al pump module affiancati dalle rispettive brevi descrizioni e possibili cause. Gli ultimi 3 in tabella sono errori derivati, ovvero errori attivati da altri errori; in particolare, sono errori che provocano torque reduction (riduzione della coppia del motore imposta), riducendo le performance del veicolo e generando disagio al driver che viene spinto a recarsi in officina.

Codice DTC	Breve descrizione/possibile causa
0X10150E	Pressurizzazione dopo la partenza non possibile. Possibile perdita di urea. Pompa non immette DEF. Pompa non immette abbastanza DEF. Sensore pressione urea mostra valori troppo bassi.
0X119A00	Livello DEF nel serbatoio troppo alto. Controllare cablaggi o sensore.
0X184A00	Livello urea troppo basso. Pompa non funzionante. Il sensore della pressione DEF mostra valori troppo alti (2° livello).
0X195A00	Pressione DEF nel modulo pompa al di sopra della soglia massima. Controllare sensore.
0X1A4A00	Livello DEF troppo basso. Pompa non funzionante. Il sensore della pressione DEF mostra valori troppo alti (1° livello)
0X229A00	Livello urea nel serbatoio più basso di un valore minimo. Controllare sensore.
0X294A00	Pressione DEF al di sotto di una soglia minima. Livello DEF nel serbatoio troppo basso. Possibile perdita di DEF. Pompa non immette DEF. Pompa non immette abbastanza DEF. Sensore pressione DEF mostra valori troppo bassi.
0X2A5A00	Pressione DEF nel modulo pompa al di sotto di un valore soglia minimo. Controllare sensore.
0X334A00	Errore stabilizzazione pressione, pressione oscilla al di fuori di un range definito. Linea bloccata, ghiacciata o danneggiata.
0X354A00	Errore generale pressione. Linea bloccata o danneggiata. Pompa non funzionante.
0X374A00	Errore nel tentativo di depressurizzare la pompa (la pressione dell'urea non scende ad un valore definito in un tempo definito). Depressurizzazione necessaria per non danneggiare il modulo a causa di urea ghiacciata.
0X387A00	Quantità DEF iniettato dal dosing module non plausibile..
0X4B8A00	Pressurizzazione dopo la partenza non possibile. Il DEF non raggiunge un valore di pressione definito entro un determinato tempo dallo start del veicolo. Possibile perdita di DEF. Pompa non immette DEF. Pompa non immette abbastanza DEF. Sensore pressione DEF mostra valori troppo bassi.
0X9A7A00	Iniezione DEF del dosing module fallita.
0XB4EEFF	La riduzione di coppia è attiva. Può essere presente un errore legato al sistema SCR o il serbatoio del DEF è vuoto. (DTC derivato)
0XD11610	Presente la riduzione di coppia a causa della qualità del DEF. (DTC derivato)
0XFBAF00	E' presente una riduzione di coppia a causa di un errore del sistema SCR o il serbatoio del DEF è vuoto. (DTC) derivato)

Tab 2.3 DTC legati al pump module

Capitolo 3 – Ingegneria dell'affidabilità

L'ingegneria dell'affidabilità è un campo dell'ingegneria che si occupa dello studio dell'affidabilità ovvero la capacità di un sistema o di un singolo componente di compiere la funzione richiesta in determinate condizioni e per uno specificato periodo di tempo. L'analisi di affidabilità (reliability analysis) nasce, quindi, per assicurare un certo livello di affidabilità, che diviene una misura di performance di un componente o di un sistema [1].

Un sistema ingegneristico ha numerose fonti di incertezza (utilizzo di semplificazioni nel predire il comportamento di sistemi, limiti nei metodi numerici utilizzati, fattori umani etc.), quindi non è possibile avere l'assoluta certezza dei risultati dell'analisi. La statistica ci aiuta a limitare ad un livello ragionevole la probabilità di avere performance inaccettabili. Prima di affrontare il tema della Reliability, è necessario, quindi, richiamare concetti legati alla statistica e alla teoria della probabilità [8].

3.1 Richiami di statistica e di teoria della probabilità

La teoria della probabilità è una branca delle discipline matematiche che studia i problemi di definizione e misurazione dell'incertezza. La realtà che ci circonda è il prodotto di infinite situazioni le cui cause si intrecciano e si sovrappongono. Nonostante l'estrema complessità della realtà fenomenica e le difficoltà nell'individuazione di leggi generali, l'osservazione e l'esperienza pongono in evidenza ripetizioni e regolarità che possono essere studiate e in qualche modo descritte. Il concetto di probabilità si presenta principalmente con due significati: quello di chance, ovvero quando l'osservazione sul risultato di un esperimento e la sua valutazione dipendono dal caso, e l'esperimento può essere ripetuto un gran numero di volte; quello di probabilità in senso stretto, ovvero attinente ad un esperimento difficilmente ripetibile [1].

3.1.1 Spazio campionario, insiemi, eventi

Prima di parlare di probabilità in maniera più approfondita, è bene richiamare alcuni concetti fondamentali. Gli insiemi, ad esempio, costituiscono un concetto primario per le analisi probabilistiche di problemi ingegneristici e, quindi, per definire un modello corretto e ottenere dei risultati realistici. Un insieme può essere definito come una raccolta di elementi o componenti e può essere classificato come finito o

infinito a seconda degli elementi che lo compongono. Gli elementi, a loro volta, possono essere discreti o continui. Definiti due insiemi A e B, se ogni elemento di B è anche un elemento di A allora B è un sottoinsieme di A; l'insieme vuoto è considerato come sottoinsieme di ogni insieme. In campi ingegneristici, l'insieme dei possibili risultati di un sistema (o esperimento) costituisce lo spazio campionario "S". Un sotto insieme dello spazio campionario è chiamato evento. Un evento che non ha alcun punto dello spazio campionario è un insieme vuoto ed è definito "evento impossibile"; al contrario,

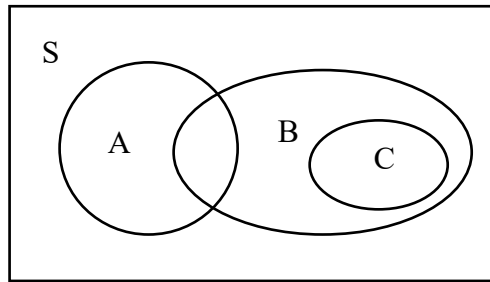


Fig. 3.1 Rappresentazione degli eventi con diagramma di Venn

un evento che possiede tutti i punti campionari è definito "evento certo". Insiemi ed eventi possono essere graficamente attraverso i diagrammi di Venn-Euler [1].

E' possibile eseguire delle operazioni elementari tra insiemi: dati due insiemi A e B, si indica con $A \cup B$ la loro unione, ovvero l'evento costituito dal verificarsi dell'evento A oppure dell'evento B; con $A \cap B$ la loro intersezione, ovvero l'evento costituito dall'insieme di tutti gli elementi che appartengono sia ad A che a B; la differenza tra gli insiemi A e B, $A - B$, è l'insieme degli elementi che appartengono ad A ma non a B; ed infine, si indica con \bar{A} il complemento di A, ovvero l'insieme degli elementi dello spazio campionario che non appartengono ad A. Ulteriore operazione possibile è il prodotto cartesiano tra due insiemi, che, dati due insiemi A e B non vuoti, è l'insieme che ha per elementi tutte le coppie ordinate (a,b) con $a \in A$ e $b \in B$ e viene indicato con $A \otimes B$ [1]

3.1.2 Definizioni di probabilità

Nel corso della storia sono state sviluppate diverse definizioni per il concetto di probabilità [4].

La definizione classica è la definizione "a priori", ovvero, la probabilità viene determinata prima che l'evento si verifichi e supponendo che i possibili risultati elementari siano equiprobabili: la probabilità di un evento è il rapporto fra il numero di casi favorevoli m ed il numero di casi possibili n. L'esempio classico riguarda il

lancio del dado; vogliamo calcolare la probabilità che lanciando un dado otteniamo il numero 5. La probabilità sarà:

$$p = \frac{m}{n} = \frac{1}{6} = 0,167. \quad (3.1)$$

La definizione frequentista è la definizione “a posteriori”, ovvero, in questo caso, la probabilità viene calcolata dopo aver osservato N prove di un esperimento. Viene utilizzato il concetto di frequenza relativa. La probabilità viene stimata empiricamente a seguito dell’esperimento come il rapporto fra il numero n di osservazioni di un determinato evento E e il numero di prove N complessivamente effettuate:

$$p = \frac{n_E}{N}. \quad (3.2)$$

La misura di probabilità del generico evento elementare è il limite della sua frequenza relativa al divergere del numero di prove:

$$p(E) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{n_E}{N} \quad \forall E \ni S. \quad (3.3)$$

La definizione soggettiva, invece, esprime che la probabilità di un evento E è la misura del grado di fiducia che un individuo coerente attribuisce, secondo le sue informazioni ed opinioni, all’avverarsi dell’evento E. In modo operativo, la probabilità che si verifichi l’evento E viene definita come il prezzo p che uno scommettitore sarebbe disposto a pagare per riscuotere un importo unitario nel caso in cui si verifichi l’evento E. Esisterà quindi un valore soglia p^* che separa la decisione di partecipare alla scommessa da quella di non partecipare. Quel valore soglia p^* è la probabilità soggettiva che l’individuo coerente assegna all’evento E.

La definizione assiomatica, formulata da Kolmogorov, è considerata la definizione più consistente sul piano matematico poiché si fonda su alcuni principi generali di teoria della misura. La probabilità, in questo caso, viene definita come una funzione che associa ad ogni sottoinsieme A dello spazio campionario S un numero reale non negativo. Dato quindi l’evento A, la notazione $P(A)$ esprime la probabilità che lo stesso si verifichi. La funzione $P(.)$ deve soddisfare le seguenti proprietà:

$$0 \leq P(A) \leq 1, \quad \forall A \subseteq S \quad (3.4)$$

$$P(S) = 1 \quad (3.5)$$

Se A_1, A_2, \dots, A_n sono eventi mutuamente esclusivi in S allora

$$P(A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_n) = P(A_1) + P(A_2) + \dots + P(A_n). \quad (3.6)$$

La prima proprietà stabilisce che la probabilità di un qualsiasi evento è inclusa tra 0 e 1 e che, quindi, non è concesso un valore di probabilità negativo o maggiore di 1. La seconda proprietà viene dalla definizione dello spazio campionario, ovvero, l'insieme di tutti i possibili casi che possono verificarsi. Se la probabilità dello spazio campionario S non è uguale a 1, questo significa che esso non è stato correttamente definito. La terza proprietà deriva dalla definizione di eventi mutuamente esclusivi, ovvero, eventi che non possono verificarsi contemporaneamente [1].

3.1.3 Richiami di calcolo combinatorio

Quando siamo di fronte ad esperimenti in uno spazio campionario finito, i processi di identificazione, enumerazione e calcolo combinatorio sono essenziali per determinare le probabilità degli eventi di interesse. L'identificazione è il processo che prevede la definizione di tutti i possibili eventi e della probabilità che questi si verifichino. L'ordine con il quale gli eventi si verificano può essere importante in alcune applicazioni ingegneristiche, per questo, è importante anche il processo di enumerazione, ovvero l'assegnazione a ciascuno degli eventi che si sono verificati un numero naturale univoco, permettendo così di indicizzarli [2].

3.1.3.1 Permutazioni

La permutazione di r elementi ottenuti da un insieme di n elementi appartenenti ad uno spazio campionario S è il numero di raggruppamenti che possono essere fatti estraendo r elementi dall'insieme degli n elementi. L'ordine con il quale gli r elementi vengono selezionati è importante. La permutazione $P_{r|n}$ di r su n (dove $r \leq n$) è:

$$P_{r|n} = \frac{n!}{(n-r)!} . \quad (3.7)$$

L'equazione 3.7 si ottiene poiché ci sono n modi per selezionare il primo elemento, $(n-1)$ per selezionare il secondo elemento, $(n-2)$ per selezionare il terzo elemento e così via fino all'ultimo elemento, assumendo che l'elemento estratto dall'insieme di n elementi non venga reinserito.

Per quanto riguarda invece le permutazioni con reimmisione degli elementi estratti, la permutazione $P_{r|n}$ di r su n (dove $r \leq n$) è:

$$P_{r|n} = n^r . \quad (3.8)$$

3.1.3.2 Combinazioni

Le combinazioni di r elementi ottenuti da un insieme di n elementi appartenenti ad uno spazio campionario S è:

$$C_{r|n} = \frac{P_{r|n}}{r!} = \frac{n!}{(r!)(n-r)!} \quad (3.9)$$

è molto comune usare la notazione:

$$C_{r|n} = \binom{n}{r}. \quad (3.10)$$

3.1.4 Variabili casuali

Una variabile casuale è una funzione che associa un valore numerico ad ogni possibile risultato di un esperimento o fenomeno aleatorio. Ad una variabile casuale può essere associato un concetto di probabilità.

È importante distinguere due tipi di variabile causale a seconda che i valori dei possibili risultati dell'esperimento casuale siano discreti o continui. Ad esempio, il numero di persone in coda per una cassa di un supermercato rappresenta un esempio di una situazione discreta, infatti, i possibili valori che può assumere sono lo 0 ed i numeri interi positivi. Al contrario, la temperatura misurata all'interno del sistema di scarico di un veicolo rappresenta un esempio di una variabile causale continua poiché i possibili valori sono i numeri reali compresi tra 0 e 1500 °C [3].

3.1.4.1 Variabile casuale discreta

Una variabile casuale X è definita “discreta” se l'insieme dei possibili valori che può assumere è rappresentato dall'insieme dei numeri interi. Se $\{x_0, \dots, x_n, \dots\}$, dove $n \in \mathbb{N}$, ed \mathbb{N} è l'insieme dei valori interi che può assumere, la distribuzione di probabilità di X è definita come segue:

$$f_X(x_n) = P_X(x_n) = \Pr(X = x_n) \quad (3.11)$$

ovvero la probabilità che X sia uguale all'elemento x_n . È bene ricordare, inoltre, che la probabilità rispetta le proprietà (3.4), (3.5) e (3.6).

Di solito la probabilità viene associata alla variabile casuale attraverso la funzione di probabilità cumulata $F_X(x) = P(X \leq x_n) = \sum_{j=1}^n P_X(x_j)$, ovvero indica la probabilità che la variabile casuale X sia minore o uguale al valore x_n . Questa funzione, anche chiamata cumulative distribution function (cdf), è una funzione monotona crescente e quindi $F_X(-\infty) = 0$ e $F_X(+\infty) = 1$. La funzione cumulativa è 0 per

tutti i valori minori del più piccolo valore x_j ed è 1 per tutti i valori maggiori del più grande valore x_k .

$f_X(x)$ è la funzione di densità discreta, è definita per ogni valore x_j che può assumere la variabile casuale ed è, come espresso dall'espressione (3.11), la probabilità che X assuma un determinato valore [3].

3.1.4.2 Variabile casuale continua

Una variabile casuale Y è definita “continua” se l'insieme dei possibili valori che può assumere è rappresentato dall'insieme dei numeri reali R e se, dati due numeri reali a e b , la probabilità che Y assuma un valore y contenuto tra a e b è:

$$\Pr(Y \in [a, b]) = \int_a^b f_Y(y) dy \quad (3.12)$$

dove $f_Y(y)$ è chiamata funzione di densità di probabilità (pdf) tale che $\int_{-\infty}^{+\infty} f_Y(y) dy = 1$. È importante specificare che non è definibile il concetto di probabilità puntuale, poiché la probabilità, per le variabili casuali continue, deve essere definita necessariamente su un intervallo; infatti, in questo caso, la pdf non è una probabilità, ma il rapporto tra una probabilità e l'intervallo su cui è definita.

La funzione, definita per ogni $y \in R$,

$$F_Y(y) = \Pr(Y \leq y) = \int_{-\infty}^y f_Y(u) du \quad (3.13)$$

è la funzione di funzione di distribuzione cumulativa (cdf) della variabile casuale continua Y . Anche in questo caso è una funzione monotona crescente.

La densità di probabilità $f_Y(y)$ rappresenta la derivata di $F_Y(y)$ rispetto a y .

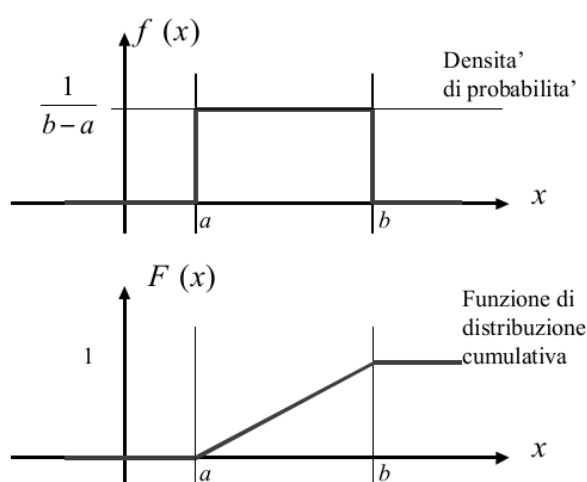


Fig. 3.2 Esempio di pdf e cdf corrispondente

3.1.5 Momenti di variabili casuali

Per descrivere una popolazione, ovvero l'insieme degli elementi oggetto di studio, è solitamente necessario descrivere un campione di dati estratti dalla stessa. I momenti sono strumenti utili per caratterizzare i dati. Si chiama momento di ordine q di una variabile casuale continua X , dotata di funzione di densità $f_X(x)$, la quantità:

$$E[X^q] = \int_{-\infty}^{+\infty} x^q f_X(x) dx. \quad (3.14)$$

Nel caso di una variabile casuale discreta, il momento di ordine q è dato dall'equazione:

$$E[X^q] = \sum_{i=1}^n x_i^q P_X(x_i). \quad (3.15)$$

I momenti sono parametri che descrivono determinate proprietà della variabile casuale X . Essendo $f_X(x) \geq 0$, i momenti di ordine pari, se esistono, saranno sempre non negativi. I momenti più noti sono quelli di ordine 1 e 2 ($q=1$, $q=2$). Il momento del primo si chiama valore atteso o valor medio di X , e se la variabile casuale è continua, allora è dato dall'equazione:

$$E[X] = \int_{-\infty}^{+\infty} x f_X(x) dx. \quad (3.16)$$

Il valor medio per una variabile casuale discreta, è definito come:

$$E[X] = \sum_{i=1}^n x_i P_X(x_i) \quad (3.17)$$

e, nel caso ci siano n osservazioni di un campione e ogni osservazione ha lo stesso peso, ovvero $P_X(x_i) = \frac{1}{n}$, allora la media per una variabile casuale discreta può essere definita anche:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n x_i. \quad (3.18)$$

Sebbene la media contenga importanti informazioni sulla variabile casuale, non descrive completamente la stessa.

I momenti di ordine superiore al primo vengono calcolati proprio rispetto al valore atteso (m_X) della variabile casuale considerata X , operando una traslazione $x' = x - m_X$, individuando lo scarto dalla media. Il momento più importante tra questi è quello di ordine 2, chiamato varianza di X ed indicato come $\sigma^2(x)$:

$$\sigma^2_X = E[(X - m_X)^2] = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - m_X)^2 f_X(x) dx \quad (3.19)$$

mentre per variabili casuali discrete la varianza è definita come:

$$\sigma^2_X = \sum_{i=1}^n (x_i - m_X)^2 P_X(x_i) \quad (3.20)$$

Sebbene la varianza sia molto utilizzata in tutte le analisi statistiche e probabilistiche, la sua capacità di descrivere la variabile casuale è abbastanza limitata a causa della sua unità dimensionale. Per questo motivo è spesso utilizzata la sua radice quadrata positiva σ_X , è chiamata deviazione standard e conserva le dimensioni della variabile casuale [1].

3.1.6 Misure statistiche

Per descrivere un insieme di dati statistico o una distribuzione di probabilità, che sia relativa ad una variabile aleatoria discreta o continua, è necessario utilizzare parametri (o misure statistiche) che individuano la centratura e la dispersione delle distribuzioni.

Per quanto riguarda la centratura, gli indici di posizione più utilizzati sono:

- Media: momento di primo ordine, già affrontato precedentemente nella trattazione;
- Moda: è il valore che si presenta con maggior frequenza;
- Mediana: è l'ascissa che divide esattamente a metà l'area sottesa dalla funzione densità di probabilità; a differenza della moda, è unica e può essere un buon indicatore dal punto di vista applicativo.

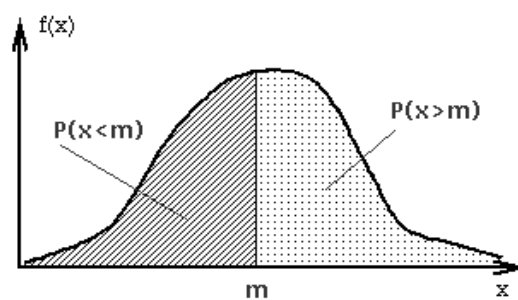


Fig. 3-3 Mediana

Per quanto riguarda la dispersione, gli indici maggiormente utilizzati per descrivere le distribuzioni di probabilità sono:

- Varianza: momento di secondo ordine rispetto al valore medio, già trattato precedentemente;
- Deviazione standard: è la radice quadrata della varianza, mi indica quanto i dati possono allontanarsi dalla media, è un indice di variabilità dei dati che stiamo analizzando. Prelevato un campione di dati dalla popolazione analizzata, la deviazione standard può essere calcolata come $s_x =$

$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N-1}}$, dove \bar{x} = media aritmetica dei dati estratti ed N è il numero di osservazioni presenti nel campione.

- Range: è il più semplice degli indici di dispersione, viene calcolato attraverso la differenza tra gli estremi ($x_{\max} - x_{\min}$) e rappresenta l'ampiezza dell'intervallo dei dati.

3.1.7 Distribuzioni di probabilità classiche

Ogni funzione che soddisfa gli assiomi della teoria della probabilità (3.4) (3.5) può essere utilizzata per rappresentare una distribuzione di probabilità.

Ci sono delle distribuzioni di probabilità che sono maggiormente utilizzate dagli ingegneri per descrivere dei fenomeni; le distribuzioni di probabilità vengono divise in distribuzioni di probabilità discrete e distribuzioni di probabilità continue a seconda del tipo di variabile casuale considerata [1].

3.1.7.1 Distribuzioni di probabilità discrete

La distribuzione discreta uniforme, è una distribuzione di probabilità discreta che è uniforme su un insieme finito discreto, ovvero, attribuisce la stessa probabilità ad ogni elemento dell'insieme considerato. È il caso del lancio del dado, dove ogni faccia dello stesso ha la stessa probabilità di venir fuori dopo il lancio [1][H].

La funzione di densità discreta è: $f_X(x) = \begin{cases} \frac{1}{n}, & x = 1, 2, \dots, n \\ 0, & \text{altrove} \end{cases}$.

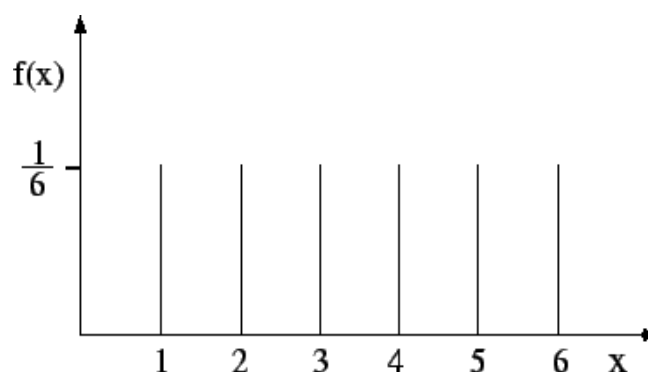


Fig. 3-4 Rappresentazione della distribuzione uniforme discreta

La distribuzione binomiale è molto utilizzata nel campo della qualità, ad esempio per determinare la probabilità che ci siano x prodotti difettosi all'interno di un

campione estratto di numerosità n , stante la percentuale di difettosi p all'interno della popolazione. La funzione di densità discreta è:

$$f_x(p, n, x) = \begin{cases} \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}, & x = 0, 1, \dots, n \\ 0, & \text{altrove} \end{cases} \quad (3.21)$$

Altre distribuzioni discrete di probabilità classiche sono la distribuzione ipergeometrica, che ha in grandi linee lo stesso significato della distribuzione binomiale, e la distribuzione di Poisson, utilizzata, ad esempio, per determinare la probabilità che in una produzione giornaliera vengano prodotti un numero determinato di prodotti difettosi.

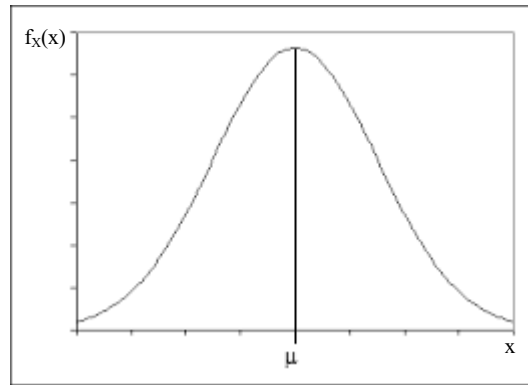


Fig. 3.5 Rappresentazione della distribuzione normale

3.1.7.2 Distribuzioni di probabilità continue

La distribuzione di densità di probabilità più comune è la distribuzione normale (o Gaussiana), ha una forma a campana che può variare per due parametri, un parametro di posizione μ (media della popolazione) e un parametro di dispersione σ^2 (varianza della popolazione). La distribuzione è simmetrica, per questo la media, la moda e la mediana coincidono [1][8].

È possibile trasformare tutte le distribuzioni gaussiane in una particolare gaussiana, detta standardizzata, che ha media pari a 0 e deviazione standard pari a 1 attraverso la trasformazione $z = \frac{x-\mu}{\sigma}$.

La funzione densità di probabilità è:

$$f_x(x, \mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}, -\infty \leq x \leq \infty. \quad (3.22)$$

La gaussiana è considerata la distribuzione più tipica dei fenomeni che si osservano poiché vale il teorema del limite centrale (TLC). Questo teorema afferma

che la somma (o la media) di n valori casuali provenienti da distribuzioni indipendenti, non necessariamente uguali tra loro e gaussiane, determina una variabile casuale che tende ad avere una distribuzione gaussiana per $n \rightarrow \infty$.

Altre distribuzioni di probabilità continue classiche sono, ad esempio, la distribuzione uniforme continua, la distribuzione esponenziale, la distribuzione lognormale e la distribuzione di Weibull.

3.1.8 Test d'ipotesi

Il test d'ipotesi è uno strumento statistico che viene utilizzato per prendere delle decisioni in condizioni di incertezza, e più in generale, per verificare la bontà di un'ipotesi [1]. La realizzazione di un test d'ipotesi prevede diverse step:

1. Definire l'ipotesi: quest'ultima rappresenta un'affermazione che deve essere verificata o smentita attraverso dati osservati sperimentalmente; viene chiamata ipotesi nulla;
2. Scegliere il test statistico adeguato;
3. Definire un livello di significatività (α), ovvero il rischio;
4. Collezionare i dati e calcolare il valore del test statistico;
5. Definire la regione di rifiuto per il test statistico;
6. Rifiutare o non rifiutare l'ipotesi nulla.

Una volta definita l'ipotesi nulla H_0 , l'ipotesi alternativa H_a ed aver scelto il test statistico da utilizzare si possono verificare quattro situazioni differenti che individuano due diversi tipi di errori:

	H_0 è vera	H_0 è falsa
Accetto H_0	Decisione corretta	Decisione sbagliata (errore di II tipo β)
Rifiuto H_0	Decisione sbagliata (errore di I tipo α)	Decisione corretta

I due tipi di errori non sono indipendenti, ma, di solito viene preso in considerazione maggiormente l'errore α per prendere una decisione, poiché ritenuto il più grave. Il livello di significatività rappresenta la probabilità che accada l'errore di I tipo; questo non può essere troppo piccolo poiché, altrimenti, aumenterebbe la

probabilità che accade l'errore di II tipo. I valori di α utilizzati solitamente sono 0,1 o 0,5. Il valore critico del test statistico è definito come il valore che separa la regione di accettazione dalla regione di rifiuto e dipende dall'ipotesi alternativa, dalla distribuzione del test statistico, dal livello di significatività e dalle caratteristiche dei dati della/delle popolazione/i utilizzata/e.

La scelta di rifiutare o meno l'ipotesi nulla dipende dal confronto tra il valore ottenuto dal test statistico e il valore critico. Il rifiuto dell'ipotesi nulla implica l'accettazione dell'ipotesi alternativa [1].

3.1.8.1 Test della differenza tra medie con varianze delle popolazioni note

Il teste della differenza tra medie è uno dei test più frequentemente utilizzato poiché può essere importante capire se le medie di due popolazioni possono essere definite uguali statisticamente o meno. Lo svolgimento del test cambia a seconda della conoscenza di alcuni dati sulle popolazioni; la trattazione prenderà in considerazione il caso con varianze delle popolazioni note [1].

La realizzazione del test d'ipotesi deve seguire i 6 step definiti precedentemente:

1. H_0 : le medie delle due popolazioni sono uguali ovvero $H_0: \mu_a = \mu_b$; l'ipotesi alternativa sarà $H_A: \mu_a \neq \mu_b$;
2. L'ipotesi definita al primo step può essere testata con:

$$z = \frac{(\bar{X}_a - \bar{X}_b)}{\sqrt{\frac{\sigma_a^2}{n_a} + \frac{\sigma_b^2}{n_b}}} \quad (3.23)$$

3. Di solito, il livello di significatività viene scelto pari a 5% o 1%;
4. Calcolare il valore del test statistico attraverso il calcolo delle medie e le varianze delle popolazioni;

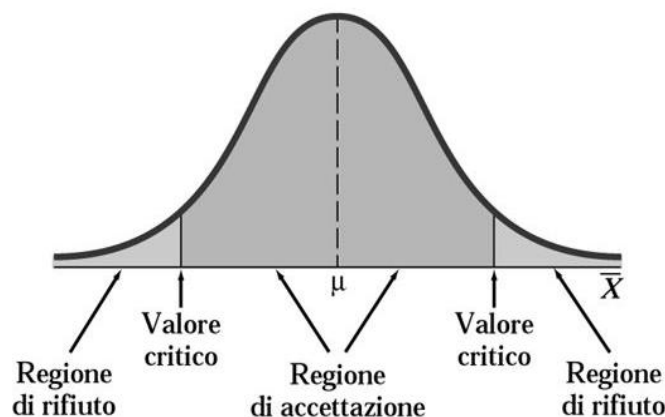


Fig. 3.6 Rappresentazione test d'ipotesi

5. La regione di rifiuto è una funzione dipendente dai gradi di libertà ($v = n_1 + n_2 - 2$), dal livello di significatività (α) e dall'ipotesi alternativa. Rifiuto H_0 se

$$z < -z_\alpha \text{ o } z > z_\alpha$$

6. Confrontiamo il valore di z con il valore critico e decidiamo se rifiutare o meno l'ipotesi nulla. Se il valore del test statistico rientra nella regione di rifiuto definita allora l'ipotesi nulla è rifiutata.

3.1.8.2 Test di Anderson – Darling

Il test di AD è usato per testare se un campione di dati deriva da una popolazione con una specifica distribuzione. È un'alternativa ai test chi-square e Kolmogorov – Smirnov. Il test di AD è definito come:

- H_0 : i dati seguono la specifica distribuzione;
- H_a : i dati non seguono la specifica distribuzione;
- Test statistico: $A^2 = -N \cdot S$

Dove: $S = \sum_{i=1}^N \frac{(2i-1)}{N} [\ln F(Y_i) + \ln(1 - F(Y_{N+1-i}))]$, F è la cdf della specifica distribuzione e Y_i sono i dati ordinati.

Quando il test viene utilizzato per confrontare il fit dei dati con diverse distribuzioni, il miglior fit viene evidenziato dalla distribuzione che ha ottenuto il valore del test statistico (A^2) più basso [I].

3.1.9 Analisi di regressione

L'analisi di regressione è la valutazione dei coefficienti di un'equazione che relaziona una variabile dipendente con una o più variabili indipendenti. Definita l'equazione, questa può essere utilizzata per ottenere un valore predetto come output usando dei valori in input. Nell'analisi di regressione il tipo del valore predetto è un valore numerico continuo.

Il modello di regressione è definito come:

$$Y_i = f(X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{pi}) + \varepsilon_i \quad (3.24)$$

dove: Y_i è il valore della variabile output per l'osservazione i -esima, X_{1i} , è il valore della prima variabile in input, X_{pi} è il valore della p -esima variabile in input per l'osservazione i -esima e ε_i è l'errore casuale per l'osservazione i -esima. Il termine di errore viene inserito per due ragioni:

1. Per considerare i possibili errori e le possibili imprecisioni nella misura;
2. Il modello così definito non sarebbe completo. Il modello è un'astrazione del mondo reale. Possono esserci tanti altri input che non vengono inclusi nel modello e che potrebbero creare una distorsione dalla realtà.

Una volta definito il modello, questo può essere utilizzato per effettuare previsioni a partire da valori di input conosciuti [13].

3.1.9.1 Regressione Lineare

Il modello più utilizzato per effettuare una regressione è quello lineare; è il modello più semplice e viene definito in questo modo:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i \quad (3.25)$$

dove: Y_i è il valore della variabile output per l'osservazione i-esima, X_{1i} è il valore della prima variabile in input; β_0 è l'intercetta in Y (o costante); β_1 è la pendenza o il coefficiente della variabile in input X; ε_i è l'errore casuale per l'osservazione i-esima.

La regressione lineare può avere anche più variabili in input diventando una regressione lineare multipla:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_p X_{pi} + \varepsilon_i \quad (3.26)$$

dove: p è il numero delle variabili in input;

Per ottenere il valore in output è necessario ottenere il valore di tutti i coefficienti delle variabili in input; per stimare i coefficienti delle variabili, viene utilizzato lo stimatore dei minimi quadrati ordinari (OLS) [13][1].

3.1.9.2 Misure di bontà della regressione

La performance di un modello di regressione è definita da quanto il modello riesce a predire l'output in modo corretto a partire da un dato input, ovvero in base alla grandezza del termine di errore. Per definire la grandezza dell'errore viene utilizzato come benchmark un modello base che viene confrontato con il nostro modello. Quando un insieme di dati con valori di output Y noti è applicato al modello base (dato dalla media dai valori ottenuti dalla variabile in output Y), possiamo calcolare l'errore totale del modello come:

$$SSE = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (3.27)$$

dove: SSE è la somma degli errori al quadrato ovvero la misura dell'errore totale del modello di previsione; n è il numero di osservazioni; Y_i è il valore attuale di output dell'osservazione i-esima; \bar{Y} è il valore medio degli output.

Quando lo stesso insieme di dati è applicato al modello di regressione la SSE è:

$$SSE_{reg} = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (3.28)$$

dove: \hat{Y}_i è il valore dell'output predetto dal modello per l'osservazione i-esima.

Se l'errore del modello di regressione è minore dell'errore del modello base ($SSE_{reg} < SSE$), allora c'è un miglioramento rispetto al modello base. Per quantificare questo miglioramento viene utilizzato l'indice R^2 :

$$R^2 = 1 - \frac{SSE_{reg}}{SSE} \quad (3.29)$$

L' R^2 è la percentuale della varianza dei dati spiegata dal modello di regressione. Un modello di regressione che predice perfettamente il valore in output avrà R^2 pari a 1 (100% di accuratezza). Quando confrontiamo due modelli di regressione, ovviamente, è preferibile il modello con l' R^2 maggiore [13][1].

3.1.9.3 Regressione polinomiale

Per ottenere un modello di regressione non lineare, il metodo comune prevede di aggiungere variabili indipendenti che sono trasformazioni non lineari delle iniziali variabili. Ad esempio, nella regressione polinomiale di secondo grado, ci sono delle variabili di input elevate al quadrato. Il modello diventa:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 X_i^2 + \varepsilon_i \quad (3.30)$$

È possibile realizzare un modello di regressione polinomiale di qualsiasi ordine [13].

3.2. Affidabilità

Quando si parla di affidabilità si intende la probabilità che un sistema funzioni correttamente, per lo scopo per cui è stato realizzato, per almeno un determinato periodo di tempo sotto determinate condizioni.

Il tempo T , istante in cui il componente si rompe, viene definito come “time to failure”. Il tempo T è una variabile casuale che ha funzione di densità di probabilità $f_T(t)$ e funzione cumulativa $F_T(t)$. Allora, l'affidabilità $R_T(t)$ viene definita come:

$$R_T(t) = \Pr(T > t) = \int_t^{\infty} f_T(t) dt = 1 - F_T(t) \quad (3.31)$$

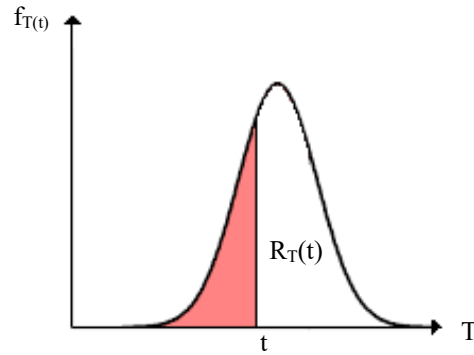


Fig. 3-7 pdf della variabile casuale tempo al guasto

Un altro importante aspetto all'interno del mondo dell'affidabilità è il concetto del tasso di guasto (o failure rate) che mostra la frequenza con cui il componente analizzato si guasta, espresso in guasti nell'unità di tempo. Il tasso di guasto viene misurato attraverso la "hazard function" $h_T(t)$. Questa funzione rappresenta la probabilità che il componente si romperà nell'intervallo di tempo $(t, \Delta t)$ posto che, nell'istante di tempo t , il componente era funzionante. Si parla quindi di probabilità condizionata:

$$h_T(t) = \lambda_T(t)\Delta t = P(t < T \leq t + \Delta T | T > t) \stackrel{\text{def}}{=} \frac{P(t < T \leq t + \Delta T)}{P(T > t)} \quad (3.32)$$

Dividendo entrambi i membri per Δt e osservando il limite per $\Delta t \rightarrow \infty$, il tasso di guasto diventa:

$$\lambda_T(t) = \frac{f_T(t)}{R_T(t)} \quad (3.33)$$

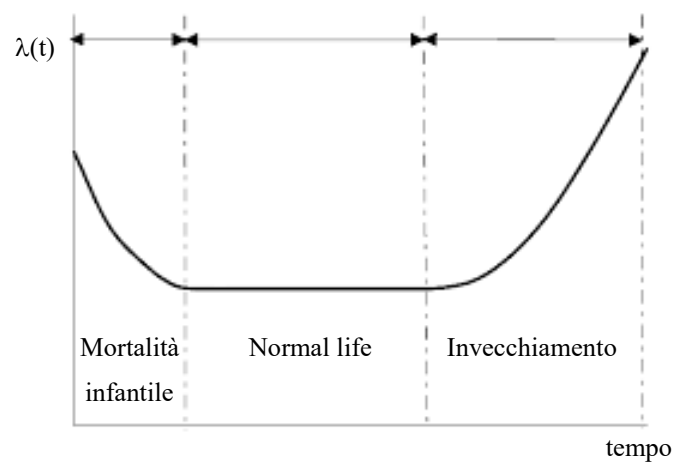


Fig. 3.8 Curva a vasca da bagno

Attraverso sperimentazioni su più componenti, è stata determinata una curva tipica della variazione tasso di guasto $\lambda(t)$ (o hazard function poiché sono direttamente proporzionali) nel tempo. Questa curva è detta “curva a vasca da bagno” ed ha tre regioni facilmente identificabili: la mortalità infantile, la maturità (o normal life), e l’invecchiamento (fig 3.8) [8].

Il tasso di guasto elevato nella prima regione è dovuto a diversi fattori legati ad errori nella realizzazione del componente, setup iniziali imperfezioni, bassa qualità e fattori umani. Questa regione rappresenta il periodo iniziale di funzionamento del prodotto ed è di solito coperto dalla garanzia del costruttore. Il tasso di guasto nella seconda regione diminuisce e individua i guasti casuali che si verificano durante la vita normale del component. Nella terza ed ultima regione, il tasso di guasto aumenta nuovamente a causa dell’invecchiamento del prodotto [8].

3.2.1 “Life distributions” classiche

Ci sono alcune distribuzioni che vengono utilizzate maggiormente rispetto ad altre per rappresentare la variabile causale T (time to failure) e, per questo, vengono definite lifetime distributions. La pdf delle varie distribuzioni può essere caratterizzata da tre parametri:

- Parametro di scala η : è il parametro più comune e definisce dove si localizza la maggior parte della distribuzione o quanto è estesa; nel caso di una distribuzione gaussiana il parametro di scala è la deviazione standard;
- Parametro di forma β : rappresenta la forma della distribuzione; nel caso di una distribuzione normale, il parametro di forma le dà la famosa forma “a campana”. Questo parametro va a caratterizzare l’affidabilità e il tasso di guasto del componente.
- Parametro di posizione γ : definisce l’origine della distribuzione e, quindi, se la distribuzione ha uno shift in ascissa rispetto all’origine degli assi.

Vengono descritte adesso le distribuzioni maggiormente utilizzate in ambito reliability engineering [8].

3.2.1.1 Distribuzione esponenziale

La distribuzione esponenziale è usata molto spesso nell’ambito dell’affidabilità. È una distribuzione semplice dal punto di vista matematico ed è un caso particolare della distribuzione di Weibull (ovvero una Weibull con parametro $\beta = 1$). Questa

distribuzione è utilizzata per descrivere il comportamento di componenti con tasso di guasto λ costante nel tempo. La distribuzione esponenziale può avere 1 o 2 parametri. Nel caso di distribuzione a due parametri la pdf è data dalla funzione:

$$f_T(t) = \lambda e^{-\lambda(t-\gamma)}, f_T(t) \geq 0, \lambda, t \geq 0, \quad (3.34)$$

dove γ definisce l'origine della distribuzione e quindi, se positivo, sposta l'inizio della distribuzione verso destra di una quantità pari a γ (a partire dall'origine degli assi). Il parametro di scala è uguale a $\frac{1}{\lambda}$. Invece, è assente il parametro di forma, poiché la forma della distribuzione esponenziale è unica. La distribuzione inizia a $t = \gamma$ con un'ordinata $f_T(t) = \lambda$ e decresce esponenzialmente; se $t \rightarrow \infty, f_T(t) \rightarrow 0$. Nel caso di distribuzione esponenziale a 1 parametro, $\gamma = 0$ e, quindi, la distribuzione ha origine in $t = 0$.

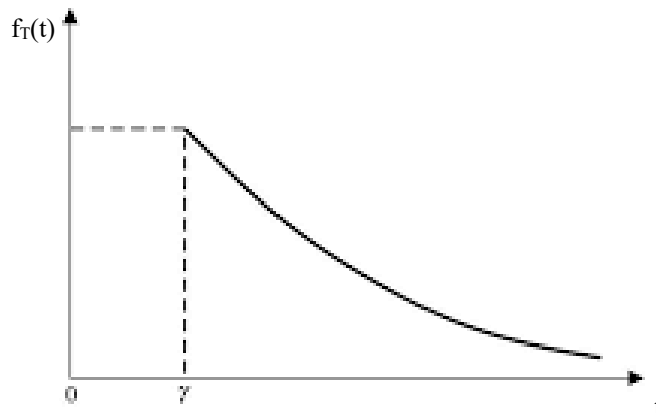


Fig. 3.9 Distribuzione esponenziale a 2 parametri

La cdf per questo tipo di distribuzione è data da:

$$F_T(t) = 1 - e^{-\lambda(t-\gamma)} \quad (3.35)$$

e, quindi, l'affidabilità che, come detto precedentemente, è uguale al complemento a 1 della cdf, viene espressa come:

$$R_T(t) = 1 - F_T(t) = e^{-\lambda(t-\gamma)} \quad (3.36)$$

Il tasso di guasto, come già detto, è costante, infatti partendo dalla (3.31):

$$\lambda_T(t) = \frac{f_T(t)}{R_T(t)} = \frac{\lambda e^{-\lambda(t-\gamma)}}{e^{-\lambda(t-\gamma)}} = \lambda \quad (3.37)$$

ed il mean-time-to-failure (MTTF), ovvero il tempo medio tra le failure, è dato dal momento del primo ordine della variabile casuale time to failure (T) ed è pari a:

$$\bar{T} = \int_{\gamma}^{\infty} t f_T(t) dt = \int_{\gamma}^{\infty} t \lambda e^{-\lambda(t-\gamma)} dt = \gamma + \frac{1}{\lambda} \quad (3.38)$$

se $\gamma = 0$ il MTTF è uguale all'inverso del tasso di guasto costante λ .

3.2.1.2 Distribuzione di Weibull

La distribuzione di Weibull è una delle distribuzioni maggiormente usate per rappresentare la variabile casuale T per un componente. È una distribuzione versatile che può prendere diverse caratteristiche delle altre distribuzioni a seconda del parametro di forma β [8].

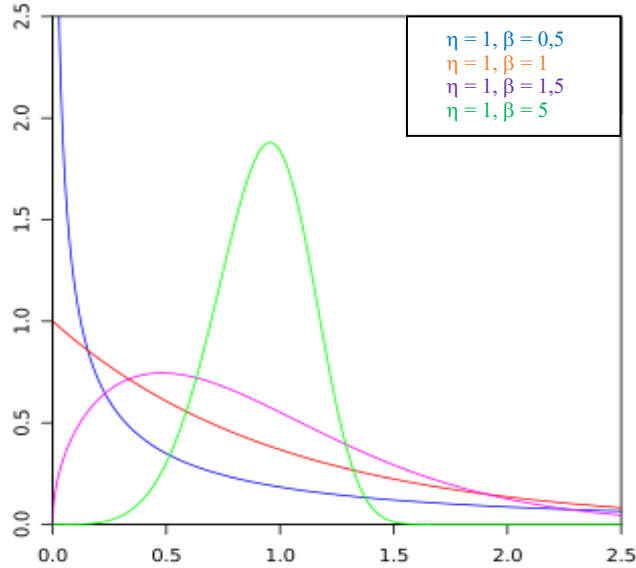


Fig. 3.10 Distribuzione di Weibull a 2 parametri

La funzione densità di probabilità per la distribuzione di Weibull a tre parametri è

$$f_T(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta}, f_T(t) \geq 0, t \geq \gamma, \beta, \eta > 0 \quad (3.39)$$

Per la distribuzione di Weibull a 2 parametri, $\gamma = 0$, mentre per quella a 1 parametro

$\gamma = 0$ e $\beta = C$ (costante), ovvero β è conosciuto a priori grazie ad esperienza passata su componenti simili o identici.

La cdf per una distribuzione di Weibull a 2 parametri sarà quindi:

$$F_T(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta} \right)^\beta} \quad (3.40)$$

e l'affidabilità sarà:

$$R_T(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta} \right)^\beta} \quad (3.41)$$

3.2.2 Classificazione dei dati

Nell'ambito dell'ingegneria dell'affidabilità, siamo principalmente a contatto con dati relativi al momento in cui il componente smette di svolgere la sua funzione in maniera corretta. Questi dati possono essere affetti o no da incertezza. I dati di vita di un componente possono essere separati in due categorie: “complete data” (disponiamo di tutte le informazioni), o “censored data” (non disponiamo di alcune informazioni) [8].

3.2.2.1 Complete data

Appartengono a questa categoria di dati, quelli il cui valore è osservato o conosciuto. Ad esempio, un campione di dati relativi al chilometraggio in cui si guasta un componente di un veicolo è definito completo se per tutti i veicoli del campione conosco o osservo questo dato.

3.2.2.2 Censored data

Nella maggior parte dei casi non tutti i dati relativi al failure sono conosciuti o osservati. Questa tipologia di dati si divide a sua volta in: right censored, interval censored and left censored.

Il caso maggiormente presente è il right censored (o dato sospeso); un dato è definito right censored se il failure non si verifica durante l'intervallo di tempo che prendo in considerazione per il mio studio. L'evento di interesse (rottura di un componente), avviene “a destra” della data di osservazione (estremo destro dell'intervallo di tempo).

L'interval censored data riguarda l'incertezza dell'esatto chilometraggio al quale può verificarsi una rottura; alcuni veicoli potrebbero non avere un chilometraggio certo di rottura del componente.

Il dato left censored è simile all'interval data poiché, in questo caso, siamo di fronte a failure che avvengono prima di una certa data (chilometraggio) ma non sappiamo con esattezza quando.

3.2.3 Stima dei parametri con metodo della massima verosimiglianza (MLE)

Il metodo della massima verosimiglianza è uno dei metodi utilizzati in statistica per determinare la stima dei parametri di una distribuzione. Il metodo ha diverse sfaccettature a seconda della presenza di dati “complete” o “censored”.

L'obiettivo del metodo della massima verosimiglianza è quello di ottenere i parametri della distribuzione che rappresenta nel miglior modo i dati [1][8].

3.2.3.1 MLE complete data

Sia X una variabile casuale continua con pdf:

$$f_X(x; \theta_1; \theta_2; \theta_3; \dots; \theta_k) \quad (3.42)$$

dove $\theta_1, \dots, \theta_k$, sono i k parametri sconosciuti che devono essere stimati con R osservazioni indipendenti x_1, x_2, \dots, x_R , che corrispondono nel caso dell'affidabilità ai dati di tempo al guasto. La funzione di massima verosimiglianza è data da:

$$L(\theta_1; \theta_2; \theta_3; \dots; \theta_k | x_1; x_2; x_3; \dots; x_R) = L = \prod_{i=1}^R f_X(x; \theta_1; \theta_2; \theta_3; \dots; \theta_k) \quad (3.43)$$

con $i = 1, 2, \dots, R$.

Viene usata molto spesso la funzione logaritmica di massima verosimiglianza poiché è più facile lavorare con questa funzione rispetto alla funzione L :

$$A = \ln L = \sum_{i=1}^R \ln f_X(x; \theta_1; \theta_2; \theta_3; \dots; \theta_k) \quad (3.44)$$

I parametri della funzione di massima verosimiglianza ($\theta_1, \dots, \theta_k$) sono calcolati massimizzando la funzione L o la funzione A . Gli stimatori della funzione A sono ottenuti determinando le soluzioni delle k equazioni come:

$$\frac{\partial A}{\partial \theta_j} = 0, j = 1, 2, \dots, k \quad (3.45)$$

3.2.3.2 MLE Right Censored data

Se sono presenti dati sospesi, la tecnica di stima dei parametri non cambia complessivamente, ma deve essere aggiunto un termine alla funzione della massima verosimiglianza. Consideriamo la precedente variabile causale continua X con pdf (3.32) e cdf:

$$F_X(x; \theta_1; \theta_2; \theta_3; \dots; \theta_k) \quad (3.46)$$

In questo caso avremo R osservazioni di failure ai tempi T_1, T_2, \dots, T_R (giorni dalla costruzione del componente alla failure) e M dati sospesi, ovvero casi in cui non è ancora avvenuta la failure al momento dello studio, i cui tempi saranno S_1, S_2, \dots, S_M (giorni di vita del component). La funzione di massima verosimiglianza sarà formulata come segue:

$$L(\theta_1; \theta_2; \theta_3; \dots; \theta_k | T_1; \dots; x_R; S_1; \dots; S_M) = \prod_{i=1}^R f_X(T_i; \theta_1; \theta_2; \theta_3; \dots; \theta_k) \cdot \prod_{j=1}^M [1 - F_X(S_j; \theta_1; \theta_2; \theta_3; \dots; \theta_k)] \quad (3.47)$$

I parametri, come nel caso precedente, sono ottenuti massimizzando l'equazione (3.47) [1][8].

3.3 Affidabilità del pump module

La prima parte del lavoro di tesi è incentrata sulla realizzazione di un'analisi di affidabilità per il componente oggetto di studio. Per svolgere l'analisi è stato utilizzato il software Minitab.

3.3.1 Scelta delle popolazioni per l'analisi

La popolazione di veicoli scelta per l'analisi si compone di tutti i veicoli della gamma pesante Euro 6 con un contratto di garanzia M&R attivo. Una volta definito il parco dei veicoli, sono state raccolte tutte le claims relative alla sostituzione del modulo pompa per i veicoli individuati dalla popolazione estraendo il chilometraggio al momento della sostituzione e il chilometraggio attuale di ogni veicolo. È stata realizzata una tabella dove per ogni veicolo (in riga), sono stati inseriti nella prima colonna il chilometraggio al momento della sostituzione del modulo pompa (se ha effettuato la sostituzione fino ad ora), o il chilometraggio attuale del veicolo, se non ha ancora effettuato la sostituzione (right censored data); nella seconda colonna è stato inserito il valore 1 se ha effettuato la riparazione del componente, 0 in caso contrario.

La popolazione utilizzata è di circa 20000 veicoli, di cui circa 1000 hanno sostituito la pompa.

3.3.2 Scelta della distribuzione

La nostra variabile causale (la classica T = tempo al guasto), è individuata dal km al guasto, ovvero il chilometraggio al quale si verifica la rottura e quindi la sostituzione del componente. Il primo passo per compiere l'analisi è individuare la distribuzione che meglio rappresenta i dati della nostra popolazione. I dati sono stati analizzati tramite Minitab e la migliore distribuzione per i dati del campione è stata scelta tra la distribuzione esponenziale e la distribuzione di Weibull a 3 parametri in base al valore più basso ottenuto attraverso il test di Anderson – Darling.

La distribuzione che fitta meglio i nostri dati è la distribuzione di Weibull con 3 parametri, distribuzione che viene utilizzata molto spesso in ambiente lavorativo per descrivere dati relativi a rotture di componenti di veicoli.

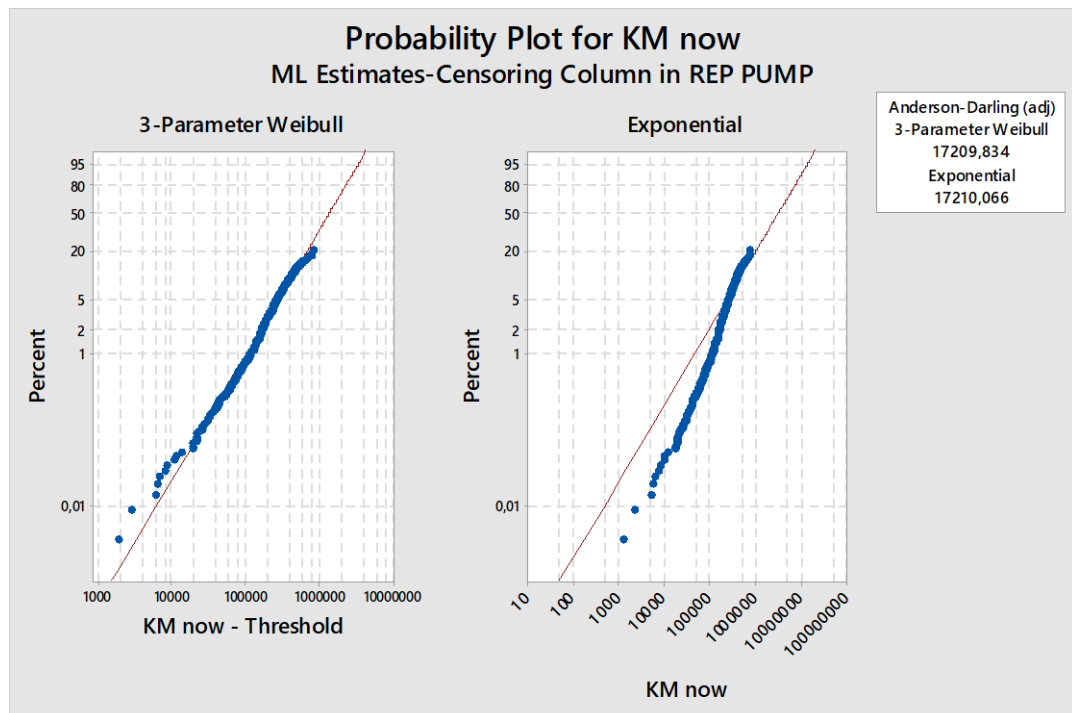


Fig. 3.11 Scelta distribuzione

3.3.3 Stima dei parametri della distribuzione scelta

Il secondo passo consiste nella stima dei parametri della distribuzione individuata per i nostri dati. Minitab stima i parametri di questa distribuzione attraverso il metodo della massima verosimiglianza per dati censored (3.2.3.2).

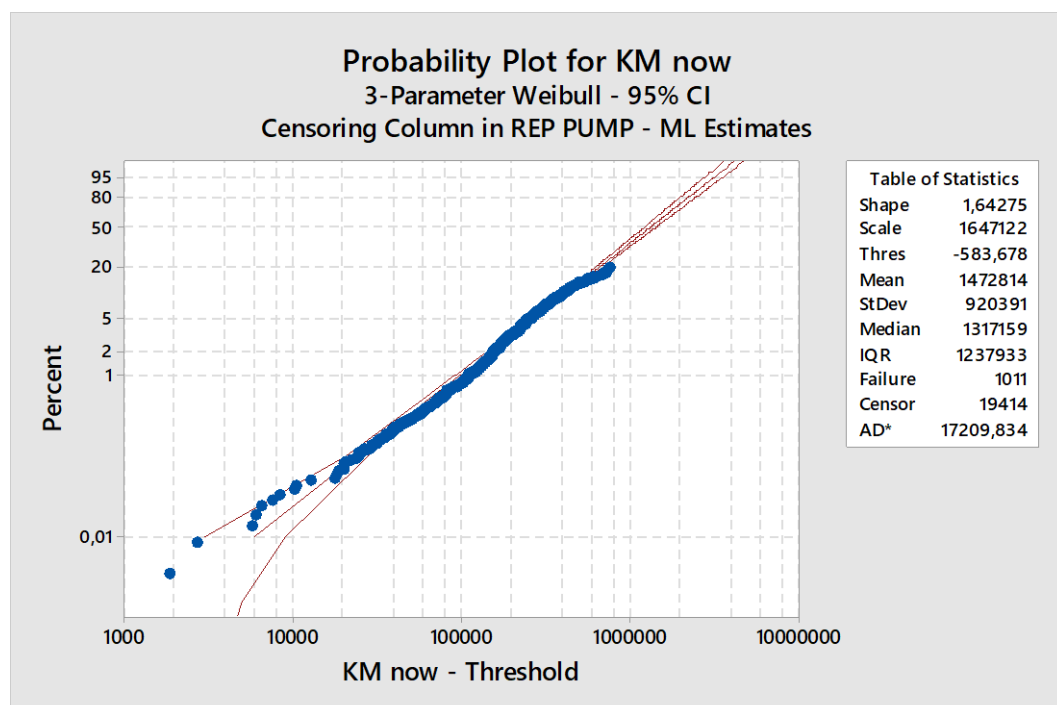


Fig. 3.12 Scelta Stima parametri

3.3.4 Risultati ed individuazione delle Failure modes

Una volta individuati i parametri della distribuzione è possibile rappresentare la curva dell'affidabilità del componente attraverso il survival plot che indica la probabilità che il componente sia funzionante dopo aver raggiunto un determinato numero di km.

Minitab fornisce anche la curva cumulata delle failures all'aumentare dei km e la curva relativa all'hazard function (ovvero il tasso di guasto).

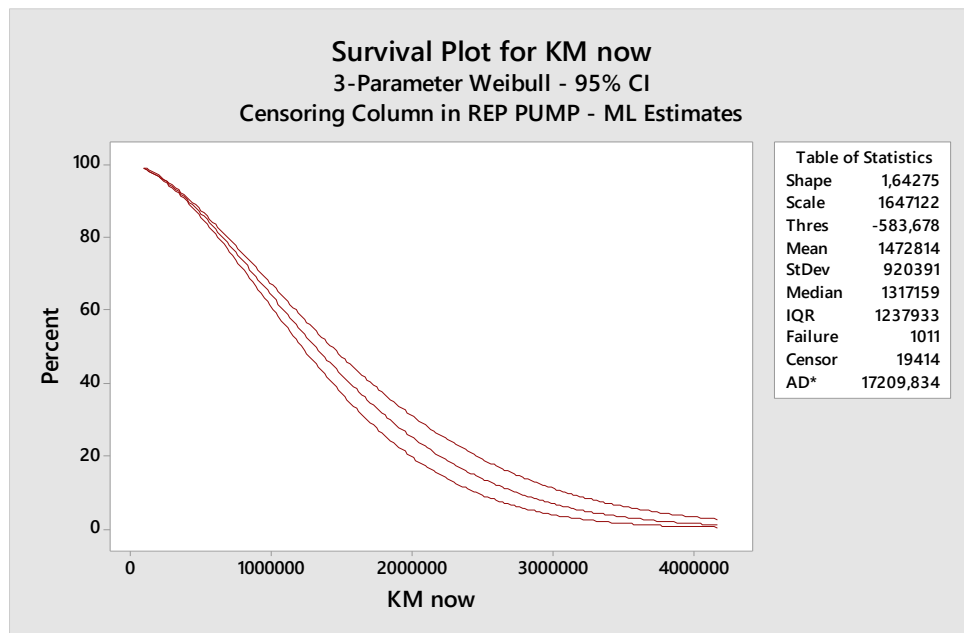


Fig. 3.13 Reliability Plot

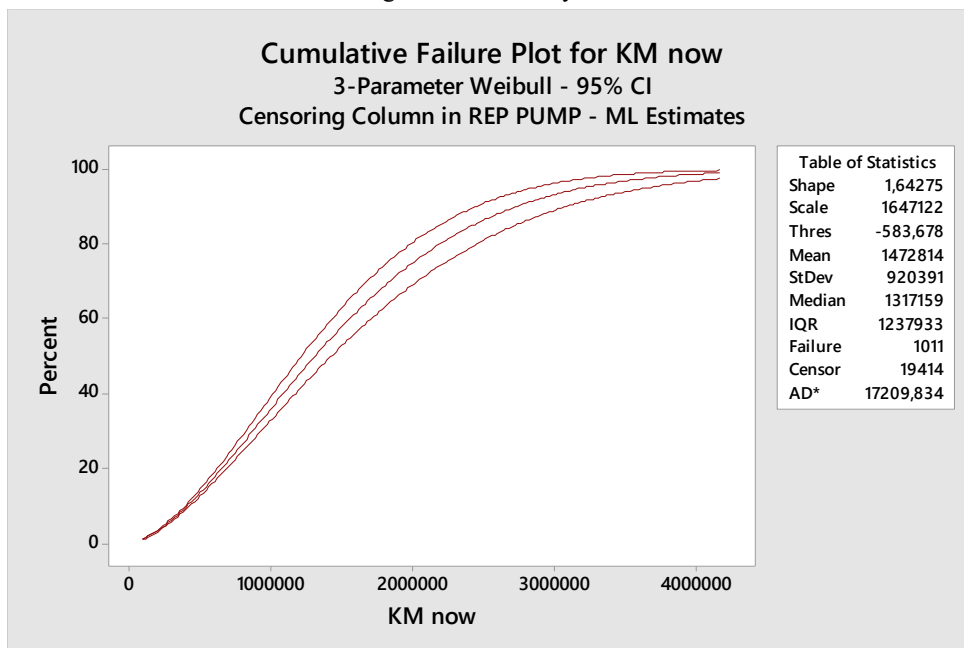


Fig. 3.14 Cumulative Failure Plot

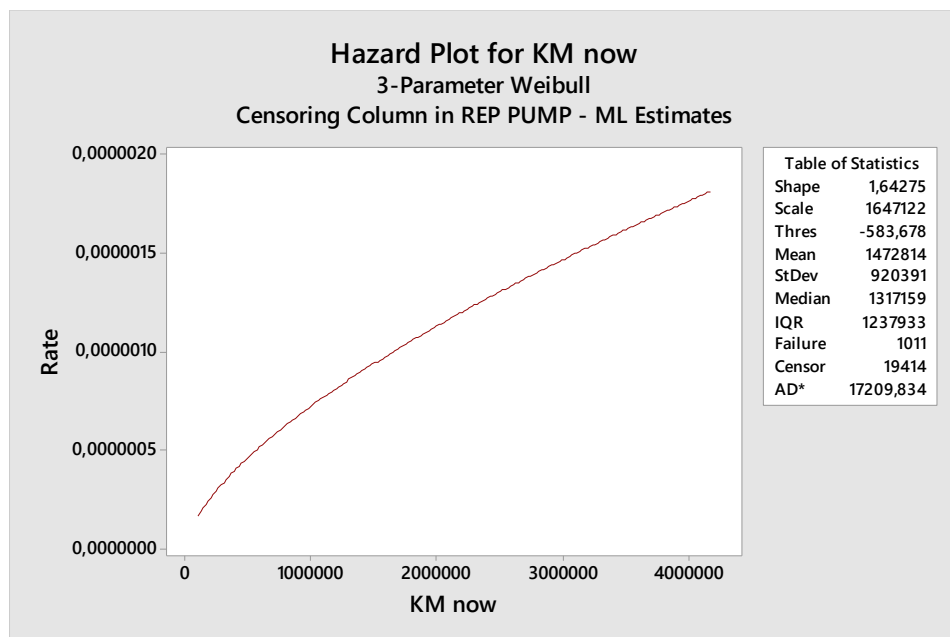


Fig. 3.15 Hazard plot

Come è evidente dalla figura 3.14, il tasso di guasto non è costante ma cresce all'aumentare del chilometraggio del veicolo. La pdf della distribuzione dei dati del nostro campione è rappresentata nella figura 3.15; attraverso lo studio delle macro flessioni della retta che identifica la distribuzione (probability plot) è possibile individuare i diversi modi di guasto del componente. La successiva determinazione dell'algoritmo prenderà in considerazione come campione iniziale i veicoli che

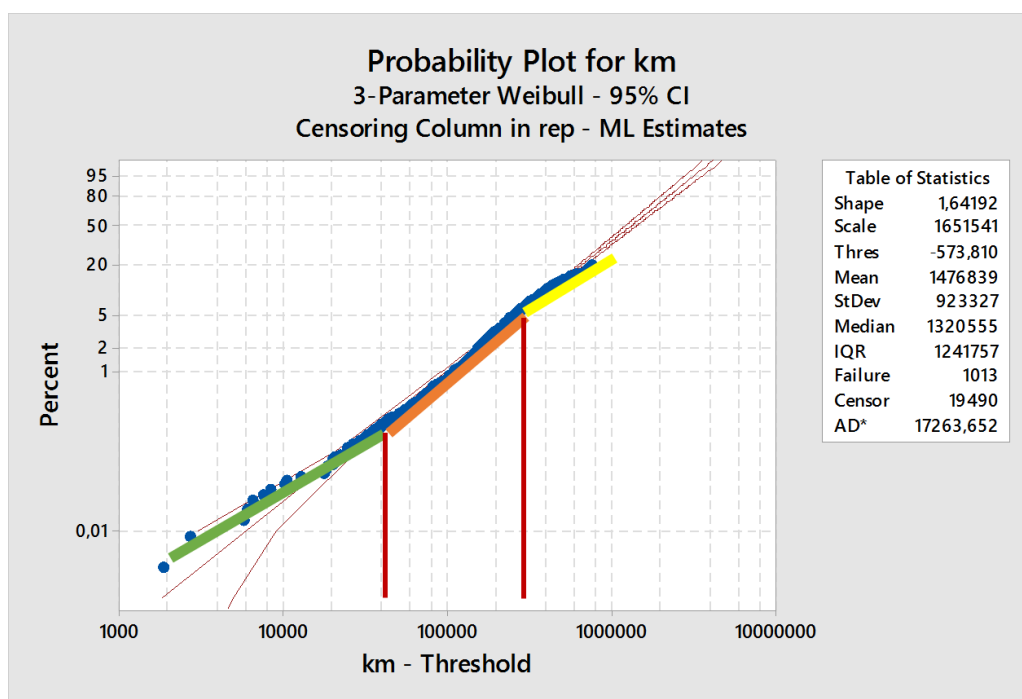


Fig. 3.16 Probability plot per km al guasto

rientrano nella parte centrale del probability plot ($35000 \leq \text{km} \leq 230000$), così da essere concentrati su un'unica failure mode.

La media, come detto nel paragrafo (3.2), identifica il MTTF, ovvero nel nostro caso, i chilometri che mediamente intercorrono tra un guasto e l'altro del pump module. Il pump module subisce un guasto in media ogni 1476839 km percorsi e, avendo determinato l'affidabilità del componente, ad esempio, è possibile calcolare la probabilità che il componente sia funzionante dopo aver percorso 700000 km:

Table of Survival Probabilities

km	Probability	95,0% Normal CI	
		Lower	Upper
700000	0,782291	0,765087	0,798406

Fig. 3.17 Affidabilità del componente

Capitolo 4 – Algoritmo

L'obiettivo del lavoro di tesi verte sulla realizzazione dell'algoritmo che permetta di individuare i veicoli che hanno la necessità di sostituire il modulo pompa e la stima della vita residua del componente. L'obiettivo è richiamare in officina i veicoli in anticipo, riducendo i costi per Iveco e per i clienti. L'algoritmo è stato determinato attraverso l'analisi delle segnalazioni di errore presenti in centralina motore dei veicoli, risalite attraverso la telematica, e attraverso l'analisi delle claims relative alla sostituzione del modulo pompa. In primis, è stato necessario definire il parco dei veicoli, delle segnalazioni di errore e delle claims da prendere in considerazione per il nostro studio.

4.1 Definizione delle popolazioni

In statistica, una popolazione è un insieme di oggetti o eventi che hanno delle stesse proprietà o caratteristiche. Una popolazione può essere un insieme finito di oggetti esistenti o un insieme ipotetico e potenzialmente infinito di oggetti o eventi. La determinazione di una popolazione è fondamentale per condurre esperimenti.

Un sottoinsieme della popolazione che ha una o più caratteristiche aggiuntive è chiamato sottopopolazione. Un risultato può essere coerente e corretto per una determinata sottopopolazione ma non per altre, per questo è necessario definire in maniera corretta il campo degli elementi su cui compiere lo studio.

Il primo passo per la definizione dell'algoritmo, quindi, è stato quello di scegliere le sottopopolazioni di veicoli, delle segnalazioni di errore e delle claims con i quali lavorare. Non è stato necessario lavorare con dei campioni di queste sottopopolazioni poiché si disponeva di tutti i dati relativi alle popolazioni e sottopopolazioni di interesse e, poiché, questa scelta non comportava un aumento dei costi per lo studio.

4.1.1 Sottopopolazione di veicoli, claims, errori

Per determinare l'isola dei veicoli presi in considerazione per lo studio si è partiti dalla popolazione di veicoli Iveco appartenenti alla gamma pesante (Stralis, X-Way, Trakker), aventi un contratto di garanzia M&R attivo alla data di inizio dello studio ed almeno una segnalazione di errore relativa ai DTC legati al pump module (errori in tabella 2-3) dal 01/01/2017 ad oggi, per un totale di 15329 veicoli e 58789 segnalazioni

di errore. Invece, per determinare la sottopopolazione di claims, sono state recuperate tutte le claims relative alla sostituzione del modulo pompa dal 01/01/2017 ad oggi (ovvero circa 3000 come riportato nella tab 2-1). Successivamente, il numero di veicoli è stato ridotto prendendo in considerazione solo quelli con chilometraggio attuale compreso tra 35000 e 230000, che rappresentano quelli che potrebbero rientrare nella modalità di guasto identificata attraverso l'analisi di affidabilità e descritta all'interno del paragrafo 3.3.4, passando ad un subtotale di 1649 veicoli e 6759 segnalazioni di errore. Dopo di che, sono stati esclusi dalla sottopopolazione dei veicoli, tutti quelli che hanno sostituito il modulo pompa più di due volte (indice che il veicolo non riesce a risolvere il problema e che la sostituzione del modulo pompa non è sicuramente la soluzione) e, contemporaneamente, sono state eliminate le segnalazioni di errore con data superiore alla data di sostituzione del componente ma entro i due giorni successivi rispetto alla stessa (sono considerate come refusi o segnalazioni non eliminate dalla memoria guasti), ottenendo una subpopolazione di 1607 veicoli e 5584 segnalazioni di errore.

4.1.2 Analisi di Pareto per le segnalazioni di errore

Avendo definito le sottopopolazioni di veicoli, claims e segnalazioni di errore, lo step successivo è stato quello di studiare le segnalazioni di errore per capire i possibili eventi che si sono verificati prima della “sostituzione” o “non sostituzione” del modulo pompa; questo è stato necessario per capire quali sono gli errori o le combinazioni di errore (tab 2-2) che si sono verificate più spesso prima della sostituzione del componente, e che sono, quindi, principali indiziate per il guasto.

4.1.2.1 Analisi di Pareto

Il principio di Pareto (conosciuto anche come la regola 80-20), definisce che per la maggior parte dei fenomeni, circa l'80% delle conseguenze è prodotto dal 20% delle cause. Il diagramma di Pareto è un grafico che sottolinea l'importanza di alcune cause rispetto ad altre; è formato da un grafico a barre e un grafico a linea, dove ogni barra rappresenta la causa che può scaturire la conseguenza (sono poste in ordine decrescente a seconda della frequenza con cui la causa si verifica) e la linea rappresenta la distribuzione cumulata [12].

Gli step da seguire per identificare le cause principali di un effetto usando il principio di Pareto sono 4:

- Calcolare la frequenza delle cause in percentuale;
- Disporre le cause in ordine decrescente per frequenza (ogni causa è rappresentata da una barra);
- Cumulare le percentuali delle cause ed inserire l'informazione sul grafico;
- Identificare le cause che maggiormente scaturiscono l'effetto studiato.

4.1.2.2 Analisi di Pareto DTC Pump module

L'analisi di Pareto è stata molto utile per determinare quali errori o combinazione di errori, tra quelli legati al modulo pompa, hanno portato più spesso ad una sostituzione del componente.

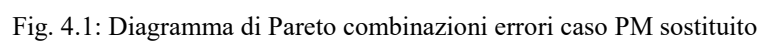
Per fare questo, i veicoli sono stati divisi in veicoli che hanno sostituito il componente e veicoli che non hanno sostituito il componente. Per entrambi i cluster sono state analizzate le segnalazioni di errore per capire quali errore o combinazioni di essi si verificano maggiormente (per questa parte iniziale dello studio è stata considerata solo la presenza o meno dell'errore non considerando il numero di volte con cui l'errore si è presentato).

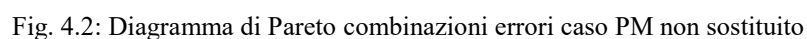
Le combinazioni di errore che si sono verificate prima della sostituzione del modulo pompa sono rappresentate in tabella 4.1 con le loro frequenze relative in percentuale, mentre le combinazioni di errore che si sono verificate nei casi in cui il modulo pompa non è stato sostituito sono raggruppate in tabella 4.2 con le loro frequenze relative in percentuale. Le figure 4.1 e 4.2 rappresentano i due diagrammi di Pareto relativi alle combinazioni di errori che si verificano prima della sostituzione o meno del modulo pompa.

Tab. 4.1: Combinazioni errori casi pump module sostituito

[illegible]

Tab. 4.2: Combinazioni errori casi pump module non sostituito





4.1.2.3 Considerazioni

Prendendo in considerazione il gruppo di veicoli che hanno sostituito il componente, è evidente come l'errore che ha portato più frequentemente alla sostituzione è l'errore 0X4B8A00 presente nel 87% dei casi; invece, la coppia di errori più frequenti è 0X4B8A00 – 0XFBAF00 che si è presentato quasi nel 35% dei veicoli. Questo non avviene per il gruppo di veicoli che non hanno sostituito il componente, infatti, la stessa coppia di errori si è verificato solo nel 3% dei casi, ed il singolo errore di pressione (0X4B8A00) si è verificato nel 14% dei veicoli. È facile intuire che l'errore di pressione (0X4B8A00) e l'errore derivato di riduzione della coppia (0XFBAF00) sono errori determinanti per la sostituzione della pompa e sono tra loro collegati. Possiamo concludere intuendo che, essendo l'errore di riduzione della coppia un errore derivato, allora è l'errore di pressione a generarlo e, da solo, o assieme al derivato, porta alla sostituzione del modulo pompa nel 65% dei veicoli.

4.1.2 Considerazione riguardo le sottopopolazioni di veicoli, claims, errori

Avendo notato l'importanza di questi due errori, quindi si è deciso di soffermare l'attenzione sulle loro dinamiche e su come insieme possano portare alla sostituzione del modulo pompa. Per raggiungere questo scopo, è necessario concentrarsi su una parte più piccola della nostra popolazione; valutando l'aspetto temporale del sopraggiungersi degli errori, essendo quello di riduzione della coppia un errore che può derivare da altri, il verificarsi in un veicolo di quello di pressione dopo il suddetto, è un segnale che in quel veicolo i due DTC non sono collegati e che quindi il componente possa dover essere sostituito per altri motivi. Si sono quindi esclusi tutti i veicoli in cui l'errore di riduzione di coppia si è verificato prima dell'errore di pressione, riducendo la nostra sottopopolazione ad un sottotale di 1559 (di cui 363 hanno sostituito il componente e 1196 no) e la sottopopolazione di segnalazioni di errore ad un sottotale di 5143.

Riflettendo ancora sulla popolazione di veicoli, è necessario fare un'ulteriore considerazione: potrebbero essere presenti all'interno dei 1197 veicoli, che non hanno sostituito il modulo pompa, dei veicoli che hanno avuto da poco una segnalazione di errore di pressione e che quindi potrebbero sostituirlo a breve; questi veicoli, danneggiano la nostra sottopopolazione di veicoli con pompa non sostituita, è necessario escluderli. Per tener conto di questa condizione, si è stimato, per ogni veicolo che ha sostituito il componente, quanti giorni sono passati tra la data della

prima occorrenza del primo errore e la data della sostituzione. Non disponendo in molti casi del dato relativo al giorno esatto in cui si è verificato la prima occorrenza del primo errore (poiché, come detto più volte, la data delle segnalazioni d'errore si riferiscono al momento in cui il veicolo si è recato in officina), è stato necessario stimare la data della prima occorrenza del primo errore per ogni veicolo.

Per prima cosa è stata testata la linearità della crescita delle occorrenze degli errori nel tempo attraverso Minitab, sfruttando il modello di regressione lineare; questo è stato fatto per molti veicoli, ne vengono riportati 3 casi in dettaglio:

WJMA1VNH60C305654	
Data	OX4B8A00
06/01/2017	11
07/02/2017	22
15/03/2017	44
16/03/2017	45
28/03/2017	61
07/04/2017	69

Tab. 4.3: Caso 1

WJMA1VSH60C357884	
Data	OX4B8A00
09/02/2018	18
02/03/2018	26
09/03/2018	32
14/03/2018	33

Tab. 4.4: Caso 2

WJMM1VUH60C337463	
Data	OX4B8A00
21/09/2017	11
25/09/2017	15
04/10/2017	24
10/10/2017	25

Tab. 4.5: Caso 3

Regression Analysis: errori cumulati versus data

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	2330,6	2330,61	69,89	0,001
data	1	2330,6	2330,61	69,89	0,001
Error	4	133,4	33,35		
Total	5	2464,0			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
5,77481	94,59%	93,23%	79,84%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-26923	3226	-8,35	0,001	
data	0,6301	0,0754	8,36	0,001	1,00

Regression Equation

$$\text{errori cumulati} = -26923 + 0,6301 \text{ data}$$

Fig. 4.3: Caso 1

Regression Analysis: errori cumulati versus data

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	138,882	138,882	71,81	0,014
data	1	138,882	138,882	71,81	0,014
Error	2	3,868	1,934		
Total	3	142,750			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1,39070	97,29%	95,94%	83,04%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-20189	2386	-8,46	0,014	
data	0,4684	0,0553	8,47	0,014	1,00

Regression Equation

$$\text{errori cumulati} = -20189 + 0,4684 \text{ data}$$

Fig. 4.4: Caso 2

Regression Analysis: errori cumulati pressione versus data

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	133,261	133,261	35,59	0,027
data	1	133,261	133,261	35,59	0,027
Error	2	7,489	3,744		
Total	3	140,750			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1,93504	94,68%	92,02%	72,17%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-33303	5586	-5,96	0,027	
data	0,775	0,130	5,97	0,027	1,00

Regression Equation

$$\text{errori cumulati pressione} = -33303 + 0,775 \text{ data}$$

Fig. 4.5: Caso 3

In questi tre casi evidenziati, l' R^2 è superiore al 94%, indice che la crescita delle occorrenze nel tempo è ben approssimata da una retta. Possiamo quindi supporre che la crescita sia lineare per tutti i veicoli, e possiamo stimare linearmente la data della prima occorrenza del primo errore (tab 4.6) attraverso la pendenza del modello di regressione lineare per ogni veicolo.

Veicoli	Pendenza	Data stima 1° errore	Data sostituzione	Giorni da 1° errore a sostituzione
WJMM1VUH60C329***	0,2811	28/01/2018	10/04/2018	71,34
WJMM1VTH60C340***	0,2622	28/01/2017	10/04/2017	71,02
WJME2NUH60C281***	1,0365	12/01/2017	24/03/2017	70,93
WJMM1VTH6GC350***	0,1555	03/09/2017	13/11/2017	70,86
WJMM1VUH60C322***	0,4239	15/11/2017	25/01/2018	70,43
WJMM1VTH6HC360***	0,1428	15/01/2018	26/03/2018	70,00
WJMM1VUH60C343***	0,2857	11/08/2017	20/10/2017	70,00
WJMA1VSH60C357***	0,4684	03/01/2018	14/03/2018	69,29
WJMM1VTH60C287***	0,6666	25/01/2017	03/04/2017	68,00
WJMM1VTH60C331***	0,2500	14/01/2018	23/03/2018	68,00
WJMS2NTH60C3338***	0,1321	15/10/2017	20/12/2017	65,13
WJMM1VTH6HC353***	0,2577	18/10/2017	22/12/2017	64,91
WJMA1VTH60C347***	0,2500	04/03/2018	07/05/2018	64,00
WJMM1VTH60C339***	0,2986	13/01/2017	18/03/2017	63,74
WJMM1VTH6GC331***	0,3809	03/02/2017	07/04/2017	63,00
WJMM1VUH60C336***	0,5258	06/03/2017	08/05/2017	62,61
WJMM1VTH60C334***	0,3485	06/09/2017	07/11/2017	62,00
WJMM1VUH60C336***	0,2302	13/07/2017	13/09/2017	61,34
WJMM1VTH6GC322***	0,2622	22/11/2016	23/01/2017	61,02
WJMM1VTH6GC350***	0,2622	08/12/2017	08/02/2018	61,02
WJMM1VTH60C310***	0,0677	24/04/2018	22/06/2018	59,00
WJMM1VTH60C357***	0,4387	07/03/2018	05/05/2018	58,26
WJMM1VTH60C348***	0,2622	08/11/2017	05/01/2018	57,21
WJMM1VUH60C314***	0,2622	05/06/2017	02/08/2017	57,21
WJMM1VTH60C328***	0,2622	17/01/2018	16/03/2018	57,21
WJMM1VTH6GC328***	0,2622	17/04/2017	14/06/2017	57,21
WJMM1VUH60C334***	0,2622	30/08/2017	27/10/2017	57,21
WJMM1VUH60C320***	0,3380	08/03/2017	04/05/2017	56,79
WJMM1VTH60C357***	0,3749	20/09/2017	15/11/2017	55,67
WJMS2NTH60C3360***	0,2623	05/01/2017	28/02/2017	53,39
WJMM1VTH60C353***	0,2622	23/02/2018	18/04/2018	53,39
WJMM1VUH60C325***	0,2622	26/07/2017	18/09/2017	53,25
WJMM1VTH6GC336***	0,3636	05/08/2017	27/09/2017	52,25

WJMM1VTH60C326***	0,4421	08/02/2017	01/04/2017	51,57
WJMM1VTH6GC330***	0,2941	11/05/2017	01/07/2017	51,00
WJMM1VUH60C322***	0,2622	06/11/2017	27/12/2017	50,14
WJMM1VUH60C325***	0,3793	11/01/2017	03/03/2017	50,01
WJME2NTS70C330***	0,2622	23/08/2017	12/10/2017	49,50
WJMM1VTH6GC325***	0,2622	04/01/2017	23/02/2017	49,58
WJMM1VTH6GC336***	0,2622	14/03/2018	03/05/2018	49,58
WJMM1VUH60C348***	0,0357	28/05/2018	16/07/2018	49,00
WJMS2NTH60C315***	0,2653	16/11/2017	04/01/2018	49,00
WJMM1VTH60C333***	2,3076	19/09/2017	06/11/2017	47,97
WJMM1VUH60C348***	0,5625	22/07/2018	07/09/2018	46,22
WJMM1VTH60C333***	0,2622	23/01/2017	10/03/2017	45,76
WJMM1VTH6GC335***	0,2622	13/10/2017	28/11/2017	45,76
...

Tab. 4.6 Calcolo dei giorni che intercorrono tra il primo errore e la sostituzione

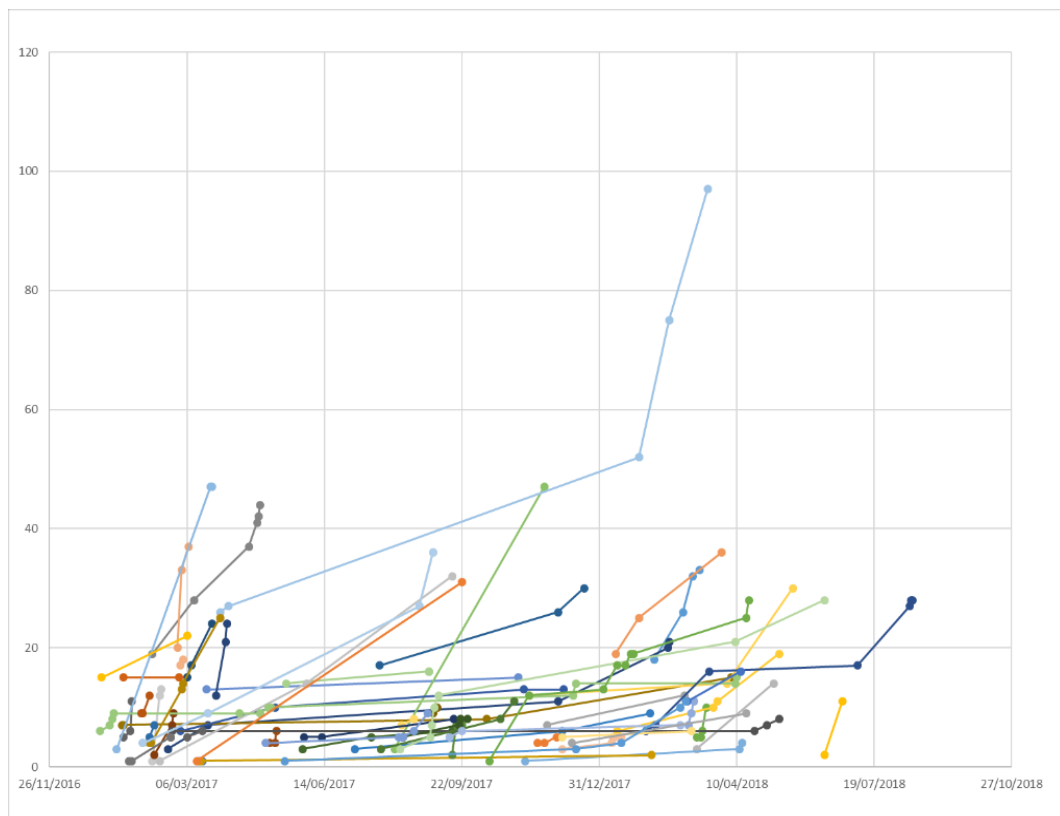


Fig. 4.6 Pendenze 0X4B8A00-tempo di alcuni dei veicoli considerati

Per i veicoli per cui non è stato possibile determinare una pendenza (una sola segnalazione di errore, per veicoli con pendenze outlier etc.) è stata utilizzata come pendenza la mediana della distribuzione delle pendenze di 247 veicoli poiché la distribuzione non è normale.

Veicolo	Pendenza
--	--
WJMM1VUH60C351***	0,3381
WJMM1VUH60C320***	0,3381
WJME2NNH60C295***	0,3333
WJMM1VSH60C354***	0,3333
WJMM1VTH60C333***	0,3333
WJMS2NUH60C334***	0,3286
WJMM1VUH60C332***	0,3286
WJMM1VUH60C334***	0,3273
WJMS2NWH60C313***	0,3158
WJMM1VUH60C332***	0,2994
WJMM1VTH60C339***	0,2986
WJMA1VTH60C344***	0,2947
WJMM1VTH6GC330***	0,2941
WJMM1VUH60C343***	0,2857
WJMM1VTH6GC328***	0,2836
WJMM1VUH60C329***	0,2811
WJMS2NUH60C321***	0,2809
WJMM1VTH6GC327***	0,2764
WJMJ3JPS70C312***	0,2691
WJMS2NTH60C315***	0,2653
WJMM1VTH6GC329***	0,2622
WJMM1VUH60C334***	0,2579
WJMM1VTH6HC353***	0,2578
WJMM1VTH6GC332***	0,2544
WJMA1VTH60C347***	0,2500
WJMM1VTH60C331***	0,2500
WJMM1VTH6GC336***	0,2494
WJMM1VUH60C336***	0,2302
WJMM1VTH60C338***	0,2286
WJMM1VUH60C343***	0,2234
WJME2NTH6FC308***	0,2158
WJMM1VUH60C332***	0,2080
WJMM1VTH6GC349***	0,2048
WJME2NSH60C313***	0,2000
WJMM1VTH60C297***	0,2000
WJMM1VSH60C333***	0,1969
WJMM1VUH60C352***	0,1935
WJMM1VTH60C337***	0,1910
WJMJ3JPS70C3131***	0,1902
WJMM1VUH60C326***	0,1842
WJMM1VUH60C351***	0,1831
WJMM1VTH60C352***	0,1692
WJMM1VTH60C351***	0,1667
WJMM1VTH6GC347***	0,1667
WJMM1VTH60C334***	0,1641
WJMM1VUH60C340***	0,1622
WJMM1VTH60C322***	0,1600
WJMM1VTH6GC350***	0,1556
WJMM1VUH60C327***	0,1535
WJME2NUS70C331***	0,1476
WJMA1VTH60C347***	0,1471
WJMM1VTH60C332***	0,1469
WJMM1VTH6HC360***	0,1429
WJMM1VUH60C335***	0,1429
WJMS2NUH60C357***	0,1420
WJME2NPH60C330***	0,1403
WJMM1VRH60C310***	0,1391
WJMS2NTH60C333***	0,1322
--	--

Tab. 4.7: Pendenze errore/tempo per ogni veicolo

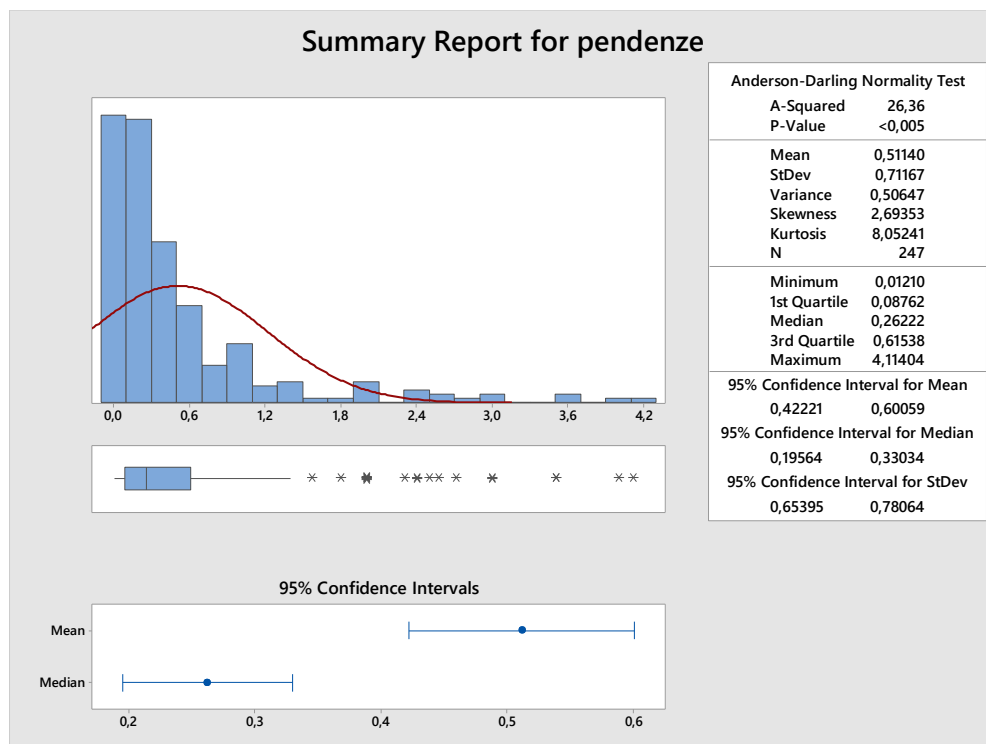


Fig. 4.7 Distribuzione delle pendenze e calcolo della mediana

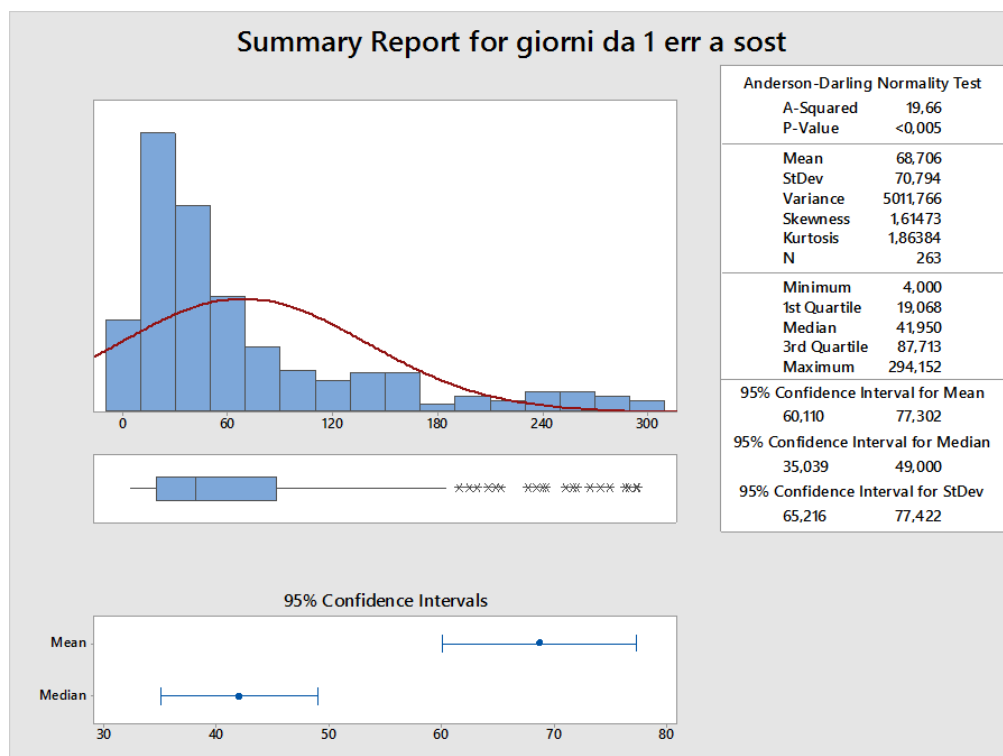


Fig. 4.8 Distribuzione dei giorni tra 1° occorrenza e sostituzione componente

Poiché i giorni che intercorrono tra la stima della data del primo errore e la data di sostituzione del componente non si distribuiscono in modo normale, è stato preferito l'utilizzo della mediana il cui intervallo di confidenza varia tra 35 giorni e 49 giorni. Per considerare anche eventuali errori di stima, sono stati esclusi, tra i veicoli che non hanno sostituito il componente, quelli nei quali il primo errore si è verificato entro 50 giorni dalla data dello studio. I veicoli esclusi sono 7 e saranno usati in futuro come campione di validazione per la regola che sarà determinata. La sottopopolazione di veicoli finale per realizzare il nostro algoritmo è quindi di 1552 veicoli di cui 363 hanno sostituito il componente e 1189 non hanno sostituito il componente.

4.2 Definizione della regola di sostituzione del Pump Module

Dopo aver definito le sottopopolazioni definitive, ha inizio la fase principale del lavoro di tesi, ovvero la determinazione della regola con cui richiamare in officina i veicoli per i quali si sospetta un guasto al modulo pompa attraverso lo studio delle occorrenze degli errori individuati come i principali responsabili del guasto al componente (0X4B8A00 – 0XFBAF00).

4.2.1 Range occorrenze

È doveroso, però, considerare la variabilità del numero di occorrenze dell'errore al momento della sostituzione (e non sostituzione) del componente, poiché, come detto più volte, i dati disponibili non sono ottenuti in tempo reale ma solo quando il veicolo si reca in officina. Per tener conto di quest'incertezza sono stati definiti dei range del totale delle occorrenze dei vari errori al momento della sostituzione (e non sostituzione); il totale è stato ottenuto sommando le occorrenze degli errori delle varie segnalazioni per ogni veicolo fino alla sostituzione del componente. Questo è stato fatto supponendo che l'officina cancelli la memoria guasti quando il veicolo si reca in officina (ipotesi forte ma molto probabile).

La determinazione di range di occorrenze è stata necessaria anche per capire se il totale di occorrenze stesso ha influenza o meno nella sostituzione, infatti se la percentuale delle sostituzioni fosse simile per tutti i range, allora non avrebbe senso valutare come dato rilevante il numero di occorrenze complessivo dell'errore considerato al momento della sostituzione.

I range individuati sono 10: r_0 ($OC = 0$), r_1 ($1 \leq OC \leq 5$), r_2 ($6 \leq OC \leq 10$), r_3 ($11 \leq OC \leq 15$), r_4 ($16 \leq OC \leq 20$), r_5 ($21 \leq OC \leq 25$), r_6 ($26 \leq OC \leq 30$),

r7 ($31 \leq OC \leq 35$), r8 ($36 \leq OC \leq 50$), r9 ($OC \geq 40$). In seguito, i range sono stati applicati alle occorrenze complessive di ogni errore legato al modulo pompa per ogni veicolo sia in caso di sostituzione che non sostituzione del componente.

<table> <tr><th>Range</th><th>Occorrenze 0X10150E</th></tr> <tr><td>r0 (0)</td><td>99,45%</td></tr> <tr><td>r1 (1-5)</td><td>0,55%</td></tr> <tr><td>Totale complessivo</td><td>100,00%</td></tr> </table>	Range	Occorrenze 0X10150E	r0 (0)	99,45%	r1 (1-5)	0,55%	Totale complessivo	100,00%	<table> <tr><th>Range</th><th>Occorrenze 0X119A00</th></tr> <tr><td>r0 (0)</td><td>91,74%</td></tr> <tr><td>r1 (1-5)</td><td>8,26%</td></tr> <tr><td>Totale complessivo</td><td>100,00%</td></tr> </table>	Range	Occorrenze 0X119A00	r0 (0)	91,74%	r1 (1-5)	8,26%	Totale complessivo	100,00%																				
Range	Occorrenze 0X10150E																																				
r0 (0)	99,45%																																				
r1 (1-5)	0,55%																																				
Totale complessivo	100,00%																																				
Range	Occorrenze 0X119A00																																				
r0 (0)	91,74%																																				
r1 (1-5)	8,26%																																				
Totale complessivo	100,00%																																				
<table> <tr><th>Range</th><th>Occorrenze 0X184A00</th></tr> <tr><td>r0 (0)</td><td>97,25%</td></tr> <tr><td>r1 (1-5)</td><td>1,65%</td></tr> <tr><td>r2 (6-10)</td><td>0,28%</td></tr> <tr><td>r3 (11-15)</td><td>0,28%</td></tr> <tr><td>r4 (16-20)</td><td>0,55%</td></tr> <tr><td>Totale complessivo</td><td>100,00%</td></tr> </table>	Range	Occorrenze 0X184A00	r0 (0)	97,25%	r1 (1-5)	1,65%	r2 (6-10)	0,28%	r3 (11-15)	0,28%	r4 (16-20)	0,55%	Totale complessivo	100,00%	<table> <tr><th>Range</th><th>Occorrenze 0X195A00</th></tr> <tr><td>r0 (0)</td><td>93,39%</td></tr> <tr><td>r1 (1-5)</td><td>6,06%</td></tr> <tr><td>r2 (6-10)</td><td>0,28%</td></tr> <tr><td>r5 (21-25)</td><td>0,28%</td></tr> <tr><td>Totale complessivo</td><td>100,00%</td></tr> </table>	Range	Occorrenze 0X195A00	r0 (0)	93,39%	r1 (1-5)	6,06%	r2 (6-10)	0,28%	r5 (21-25)	0,28%	Totale complessivo	100,00%										
Range	Occorrenze 0X184A00																																				
r0 (0)	97,25%																																				
r1 (1-5)	1,65%																																				
r2 (6-10)	0,28%																																				
r3 (11-15)	0,28%																																				
r4 (16-20)	0,55%																																				
Totale complessivo	100,00%																																				
Range	Occorrenze 0X195A00																																				
r0 (0)	93,39%																																				
r1 (1-5)	6,06%																																				
r2 (6-10)	0,28%																																				
r5 (21-25)	0,28%																																				
Totale complessivo	100,00%																																				
<table> <tr><th>Range</th><th>Occorrenze 0X1A4A00</th></tr> <tr><td>r0 (0)</td><td>99,17%</td></tr> <tr><td>r1 (1-5)</td><td>0,55%</td></tr> <tr><td>r4 (16-20)</td><td>0,28%</td></tr> <tr><td>Totale complessivo</td><td>100,00%</td></tr> </table>	Range	Occorrenze 0X1A4A00	r0 (0)	99,17%	r1 (1-5)	0,55%	r4 (16-20)	0,28%	Totale complessivo	100,00%	<table> <tr><th>Range</th><th>Occorrenze 0X294A00</th></tr> <tr><td>r0 (0)</td><td>82,92%</td></tr> <tr><td>r1 (1-5)</td><td>3,03%</td></tr> <tr><td>r2 (6-10)</td><td>2,48%</td></tr> <tr><td>r3 (11-15)</td><td>1,65%</td></tr> <tr><td>r5 (21-25)</td><td>0,28%</td></tr> <tr><td>r6 (26-30)</td><td>0,55%</td></tr> <tr><td>r9 (>40)</td><td>9,09%</td></tr> <tr><td>Totale complessivo</td><td>100,00%</td></tr> </table>	Range	Occorrenze 0X294A00	r0 (0)	82,92%	r1 (1-5)	3,03%	r2 (6-10)	2,48%	r3 (11-15)	1,65%	r5 (21-25)	0,28%	r6 (26-30)	0,55%	r9 (>40)	9,09%	Totale complessivo	100,00%								
Range	Occorrenze 0X1A4A00																																				
r0 (0)	99,17%																																				
r1 (1-5)	0,55%																																				
r4 (16-20)	0,28%																																				
Totale complessivo	100,00%																																				
Range	Occorrenze 0X294A00																																				
r0 (0)	82,92%																																				
r1 (1-5)	3,03%																																				
r2 (6-10)	2,48%																																				
r3 (11-15)	1,65%																																				
r5 (21-25)	0,28%																																				
r6 (26-30)	0,55%																																				
r9 (>40)	9,09%																																				
Totale complessivo	100,00%																																				
<table> <tr><th>Range</th><th>Occorrenze 0X2A5A00</th></tr> <tr><td>r0 (0)</td><td>95,59%</td></tr> <tr><td>r1 (1-5)</td><td>0,83%</td></tr> <tr><td>r2 (6-10)</td><td>0,55%</td></tr> <tr><td>r3 (11-15)</td><td>0,28%</td></tr> <tr><td>r6 (26-30)</td><td>0,55%</td></tr> <tr><td>r7 (31-35)</td><td>0,28%</td></tr> <tr><td>r8 (36-40)</td><td>0,28%</td></tr> <tr><td>r9 (>40)</td><td>1,65%</td></tr> <tr><td>Totale complessivo</td><td>100,00%</td></tr> </table>	Range	Occorrenze 0X2A5A00	r0 (0)	95,59%	r1 (1-5)	0,83%	r2 (6-10)	0,55%	r3 (11-15)	0,28%	r6 (26-30)	0,55%	r7 (31-35)	0,28%	r8 (36-40)	0,28%	r9 (>40)	1,65%	Totale complessivo	100,00%	<table> <tr><th>Range</th><th>Occorrenze 0X334A00</th></tr> <tr><td>r0 (0)</td><td>93,66%</td></tr> <tr><td>r1 (1-5)</td><td>3,86%</td></tr> <tr><td>r2 (6-10)</td><td>1,38%</td></tr> <tr><td>r3 (11-15)</td><td>0,55%</td></tr> <tr><td>r4 (16-20)</td><td>0,28%</td></tr> <tr><td>r9 (>40)</td><td>0,28%</td></tr> <tr><td>Totale complessivo</td><td>100,00%</td></tr> </table>	Range	Occorrenze 0X334A00	r0 (0)	93,66%	r1 (1-5)	3,86%	r2 (6-10)	1,38%	r3 (11-15)	0,55%	r4 (16-20)	0,28%	r9 (>40)	0,28%	Totale complessivo	100,00%
Range	Occorrenze 0X2A5A00																																				
r0 (0)	95,59%																																				
r1 (1-5)	0,83%																																				
r2 (6-10)	0,55%																																				
r3 (11-15)	0,28%																																				
r6 (26-30)	0,55%																																				
r7 (31-35)	0,28%																																				
r8 (36-40)	0,28%																																				
r9 (>40)	1,65%																																				
Totale complessivo	100,00%																																				
Range	Occorrenze 0X334A00																																				
r0 (0)	93,66%																																				
r1 (1-5)	3,86%																																				
r2 (6-10)	1,38%																																				
r3 (11-15)	0,55%																																				
r4 (16-20)	0,28%																																				
r9 (>40)	0,28%																																				
Totale complessivo	100,00%																																				
<table> <tr><th>Range</th><th>Occorrenze 0X354A00</th></tr> <tr><td>r0 (0)</td><td>98,62%</td></tr> <tr><td>r1 (1-5)</td><td>1,38%</td></tr> <tr><td>Totale complessivo</td><td>100,00%</td></tr> </table>	Range	Occorrenze 0X354A00	r0 (0)	98,62%	r1 (1-5)	1,38%	Totale complessivo	100,00%	<table> <tr><th>Range</th><th>Occorrenze 0X374A00</th></tr> <tr><td>r0 (0)</td><td>96,69%</td></tr> <tr><td>r1 (1-5)</td><td>3,31%</td></tr> <tr><td>Totale complessivo</td><td>100,00%</td></tr> </table>	Range	Occorrenze 0X374A00	r0 (0)	96,69%	r1 (1-5)	3,31%	Totale complessivo	100,00%																				
Range	Occorrenze 0X354A00																																				
r0 (0)	98,62%																																				
r1 (1-5)	1,38%																																				
Totale complessivo	100,00%																																				
Range	Occorrenze 0X374A00																																				
r0 (0)	96,69%																																				
r1 (1-5)	3,31%																																				
Totale complessivo	100,00%																																				
<table> <tr><th>Range</th><th>Occorrenze 0X387A00</th></tr> <tr><td>r0 (0)</td><td>99,17%</td></tr> <tr><td>r1 (1-5)</td><td>0,55%</td></tr> <tr><td>r3 (11-15)</td><td>0,28%</td></tr> <tr><td>Totale complessivo</td><td>100,00%</td></tr> </table>	Range	Occorrenze 0X387A00	r0 (0)	99,17%	r1 (1-5)	0,55%	r3 (11-15)	0,28%	Totale complessivo	100,00%	<table> <tr><th>Range</th><th>Occorrenze 0X488A00</th></tr> <tr><td>r0 (0)</td><td>12,95%</td></tr> <tr><td>r1 (1-5)</td><td>17,91%</td></tr> <tr><td>r2 (6-10)</td><td>17,08%</td></tr> <tr><td>r3 (11-15)</td><td>14,60%</td></tr> <tr><td>r4 (16-20)</td><td>15,70%</td></tr> <tr><td>r5 (21-25)</td><td>6,61%</td></tr> <tr><td>r6 (26-30)</td><td>3,03%</td></tr> <tr><td>r7 (31-35)</td><td>3,58%</td></tr> <tr><td>r8 (36-40)</td><td>2,20%</td></tr> <tr><td>r9 (>40)</td><td>6,34%</td></tr> <tr><td>Totale complessivo</td><td>100,00%</td></tr> </table>	Range	Occorrenze 0X488A00	r0 (0)	12,95%	r1 (1-5)	17,91%	r2 (6-10)	17,08%	r3 (11-15)	14,60%	r4 (16-20)	15,70%	r5 (21-25)	6,61%	r6 (26-30)	3,03%	r7 (31-35)	3,58%	r8 (36-40)	2,20%	r9 (>40)	6,34%	Totale complessivo	100,00%		
Range	Occorrenze 0X387A00																																				
r0 (0)	99,17%																																				
r1 (1-5)	0,55%																																				
r3 (11-15)	0,28%																																				
Totale complessivo	100,00%																																				
Range	Occorrenze 0X488A00																																				
r0 (0)	12,95%																																				
r1 (1-5)	17,91%																																				
r2 (6-10)	17,08%																																				
r3 (11-15)	14,60%																																				
r4 (16-20)	15,70%																																				
r5 (21-25)	6,61%																																				
r6 (26-30)	3,03%																																				
r7 (31-35)	3,58%																																				
r8 (36-40)	2,20%																																				
r9 (>40)	6,34%																																				
Totale complessivo	100,00%																																				
<table> <tr><th>Range</th><th>Occorrenze 0X9A7A00</th></tr> <tr><td>r0 (0)</td><td>94,21%</td></tr> <tr><td>r1 (1-5)</td><td>4,41%</td></tr> <tr><td>r2 (6-10)</td><td>0,83%</td></tr> <tr><td>r6 (26-30)</td><td>0,28%</td></tr> <tr><td>r9 (>40)</td><td>0,28%</td></tr> <tr><td>Totale complessivo</td><td>100,00%</td></tr> </table>	Range	Occorrenze 0X9A7A00	r0 (0)	94,21%	r1 (1-5)	4,41%	r2 (6-10)	0,83%	r6 (26-30)	0,28%	r9 (>40)	0,28%	Totale complessivo	100,00%																							
Range	Occorrenze 0X9A7A00																																				
r0 (0)	94,21%																																				
r1 (1-5)	4,41%																																				
r2 (6-10)	0,83%																																				
r6 (26-30)	0,28%																																				
r9 (>40)	0,28%																																				
Totale complessivo	100,00%																																				
<table> <tr><th>Range</th><th>Occorrenze 0XB4EEFF</th></tr> <tr><td>r0 (0)</td><td>99,45%</td></tr> <tr><td>r1 (1-5)</td><td>0,55%</td></tr> <tr><td>Totale complessivo</td><td>100,00%</td></tr> </table>	Range	Occorrenze 0XB4EEFF	r0 (0)	99,45%	r1 (1-5)	0,55%	Totale complessivo	100,00%	<table> <tr><th>Range</th><th>Occorrenze 0XFBAF00</th></tr> <tr><td>r0 (0)</td><td>44,63%</td></tr> <tr><td>r1 (1-5)</td><td>43,53%</td></tr> <tr><td>r2 (6-10)</td><td>8,26%</td></tr> <tr><td>r3 (11-15)</td><td>1,65%</td></tr> <tr><td>r4 (16-20)</td><td>1,10%</td></tr> <tr><td>r6 (26-30)</td><td>0,28%</td></tr> <tr><td>r7 (31-35)</td><td>0,28%</td></tr> <tr><td>r9 (>40)</td><td>0,28%</td></tr> <tr><td>Totale complessivo</td><td>100,00%</td></tr> </table>	Range	Occorrenze 0XFBAF00	r0 (0)	44,63%	r1 (1-5)	43,53%	r2 (6-10)	8,26%	r3 (11-15)	1,65%	r4 (16-20)	1,10%	r6 (26-30)	0,28%	r7 (31-35)	0,28%	r9 (>40)	0,28%	Totale complessivo	100,00%								
Range	Occorrenze 0XB4EEFF																																				
r0 (0)	99,45%																																				
r1 (1-5)	0,55%																																				
Totale complessivo	100,00%																																				
Range	Occorrenze 0XFBAF00																																				
r0 (0)	44,63%																																				
r1 (1-5)	43,53%																																				
r2 (6-10)	8,26%																																				
r3 (11-15)	1,65%																																				
r4 (16-20)	1,10%																																				
r6 (26-30)	0,28%																																				
r7 (31-35)	0,28%																																				
r9 (>40)	0,28%																																				
Totale complessivo	100,00%																																				

Tab. 4.8 Range di occorrenze verificatisi per ogni errore per i veicoli (in giallo gli errori di nostro interesse) in caso di sostituzione

Range	Occorrenze 0X10150E
r0 (0)	88,14%
r1 (1-5)	6,14%
r2 (6-10)	3,11%
r3 (11-15)	0,93%
r4 (16-20)	0,84%
r5 (21-25)	0,34%
r6 (26-30)	0,08%
r7 (31-35)	0,25%
r9 (>40)	0,17%
Totale complessivo	100,00%

Range	Occorrenze 0X119A00
r0 (0)	94,70%
r1 (1-5)	5,05%
r2 (6-10)	0,08%
r9 (>40)	0,17%
Totale complessivo	100,00%

Range	Occorrenze 0X184A00
r0 (0)	99,83%
r1 (1-5)	0,08%
r6 (26-30)	0,08%
Totale complessivo	100,00%

Range	Occorrenze 0X195A00
r0 (0)	97,31%
r1 (1-5)	2,44%
r2 (6-10)	0,08%
r8 (36-40)	0,08%
r9 (>40)	0,08%
Totale complessivo	100,00%

Range	Conteggio di 0X1A4A00
r0 (0)	99,92%
r1 (1-5)	0,08%
Totale complessivo	100,00%

Range	Occorrenze 0X229A00
r0 (0)	99,92%
r1 (1-5)	0,08%
Totale complessivo	100,00%

Range	Occorrenze 0X294A00
r0 (0)	93,52%
r1 (1-5)	0,76%
r2 (6-10)	0,67%
r3 (11-15)	0,42%
r4 (16-20)	0,59%
r5 (21-25)	0,25%
r6 (26-30)	0,25%
r7 (31-35)	0,17%
r8 (36-40)	0,08%
r9 (>40)	3,28%
Totale complessivo	100,00%

Range	Occorrenze 0X2A5A00
r0 (0)	99,83%
r9 (>40)	0,17%
Totale complessivo	100,00%

Range	Occorrenze 0X354A00
r0 (0)	95,37%
r1 (1-5)	4,29%
r2 (6-10)	0,17%
r3 (11-15)	0,17%
Totale complessivo	100,00%

Range	Occorrenze 0X334A00
r0 (0)	97,31%
r1 (1-5)	1,85%
r2 (6-10)	0,34%
r3 (11-15)	0,17%
r5 (21-25)	0,17%
r7 (31-35)	0,08%
r9 (>40)	0,08%
Totale complessivo	100,00%

Range	Occorrenze 0X374A00
r0 (0)	98,99%
r1 (1-5)	0,84%
r2 (6-10)	0,08%
r9 (>40)	0,08%
Totale complessivo	100,00%

Range	Occorrenze 0X387A00
r0 (0)	98,07%
r1 (1-5)	1,77%
r2 (6-10)	0,17%
Totale complessivo	100,00%

Range	Occorrenze 0X4B8A00
r0 (0)	85,95%
r1 (1-5)	6,56%
r2 (6-10)	3,03%
r3 (11-15)	1,68%
r4 (16-20)	1,01%
r5 (21-25)	0,59%
r6 (26-30)	0,17%
r7 (31-35)	0,08%
r8 (36-40)	0,34%
r9 (>40)	0,59%
Totale complessivo	100,00%

Range	Occorrenze 0X9A7A00
r0 (0)	85,37%
r1 (1-5)	11,52%
r2 (6-10)	1,26%
r3 (11-15)	1,09%
r4 (16-20)	0,25%
r5 (21-25)	0,08%
r6 (26-30)	0,08%
r7 (31-35)	0,08%
r8 (36-40)	0,08%
r9 (>40)	0,17%
Totale complessivo	100,00%

Range	Occorrenze 0XD11610
r0 (0)	94,28%
r1 (1-5)	5,21%
r2 (6-10)	0,42%
r7 (31-35)	0,08%
Totale complessivo	100,00%

Range	Occorrenze 0XE1061F
r0 (0)	87,64%
r1 (1-5)	10,18%
r2 (6-10)	0,93%
r3 (11-15)	0,25%
r4 (16-20)	0,42%
r5 (21-25)	0,17%
r6 (26-30)	0,08%
r7 (31-35)	0,17%
r8 (36-40)	0,08%
r9 (>40)	0,08%
Totale complessivo	100,00%

Range	Occorrenze 0XE10601
r0 (0)	99,24%
r2 (6-10)	0,08%
r3 (11-15)	0,17%
r4 (16-20)	0,17%
r9 (>40)	0,34%
Totale complessivo	100,00%

Range	Occorrenze 0XE10600
r0 (0)	96,97%
r1 (1-5)	0,67%
r4 (16-20)	0,17%
r5 (21-25)	0,08%
r6 (26-30)	0,08%
r7 (31-35)	0,17%
r8 (36-40)	0,08%
r9 (>40)	1,77%
Totale complessivo	100,00%

Range	Occorrenze 0XEE1000
r0 (0)	100,00%
Totale complessivo	100,00%

Range	Occorrenze 0XEE1001
r0 (0)	100,00%
Totale complessivo	100,00%

Range	Occorrenze 0XFBAF00
r0 (0)	65,60%
r1 (1-5)	27,75%
r2 (6-10)	3,36%
r3 (11-15)	1,68%
r4 (16-20)	0,42%
r5 (21-25)	0,08%
r6 (26-30)	0,17%
r7 (31-35)	0,17%
r8 (36-40)	0,25%
r9 (>40)	0,50%
Totale complessivo	100,00%

Range	Occorrenze 0XB4EEFF
r0 (0)	62,41%
r1 (1-5)	30,19%
r2 (6-10)	3,78%
r3 (11-15)	1,51%
r4 (16-20)	0,67%
r5 (21-25)	0,34%
r6 (26-30)	0,25%
r7 (31-35)	0,34%
r8 (36-40)	0,17%
r9 (>40)	0,34%
Totale complessivo	100,00%

Tab. 4.9 Range di occorrenze verificatisi per ogni errore per i veicoli (in giallo gli errori di nostro interesse) in caso di non sostituzione

4.2.1.1 Considerazioni

È evidente come il numero di occorrenze sia importante per la sostituzione del componente, infatti l'80% circa dei veicoli che ha sostituito il componente aveva la somma delle occorrenze dell'errore di pressione di nostro interesse (0X4B8A00) minore di 20 al momento della sostituzione; l'altro errore di nostro interesse (0XFBAF00) ha raggiunto al massimo quota 5 come somma di occorrenze nel 90% circa dei veicoli.

4.2.1 Matrice errori (0X4B8A00 – 0XFBAF00)

Il passo successivo è stato incrociare le tabelle relative alle occorrenze dei range per i due errori di nostro interesse in modo da ottenere una matrice che ci riassume i

casi in cui la somma delle occorrenze dell'errore di pressione ha raggiunto un certo range in corrispondenza del range raggiunto dall'errore di riduzione di coppia, sostituito o meno il componente.

0X4B8A00/0XFBAF00										
	r0 (0)	r1 (1-5)	r2 (6-10)	r3 (11-15)	r4 (16-20)	r6 (26-30)	r7 (31-35)	r9 (>40)	Totale	
r0 (0)	7,99%	3,86%	0,83%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,28%	12,95%	
r1 (1-5)	14,33%	3,31%	0,28%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	17,91%	
r2 (6-10)	11,29%	5,51%	0,00%	0,00%	0,00%	0,28%	0,00%	0,00%	17,08%	
r3 (11-15)	5,51%	9,09%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	14,60%	
r4 (16-20)	4,41%	9,92%	1,38%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	15,70%	
r5 (21-25)	0,55%	4,13%	1,65%	0,00%	0,28%	0,00%	0,00%	0,00%	6,61%	
r6 (26-30)	0,00%	1,38%	1,38%	0,28%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	3,03%	
r7 (31-35)	0,28%	2,48%	0,28%	0,28%	0,28%	0,00%	0,00%	0,00%	3,58%	
r8 (36-40)	0,00%	1,65%	0,55%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	2,20%	
r9 (>40)	0,28%	2,20%	1,93%	1,10%	0,55%	0,00%	0,28%	0,00%	6,34%	
Totale	44,63%	43,53%	8,26%	1,65%	1,10%	0,28%	0,28%	0,28%	100,00%	

Fig. 4.9: Matrice range 0X4B8A00/0XFBAF00 PM sostituito

0X4B8A00/0XFBAF00											
	r0 (0)	r1 (1-5)	r2 (6-10)	r3 (11-15)	r4 (16-20)	r5 (21-25)	r6 (26-30)	r7 (31-35)	r8 (36-40)	r9 (>40)	Totale
r0 (0)	57,11%	23,63%	2,69%	1,26%	0,34%	0,08%	0,08%	0,17%	0,25%	0,34%	85,95%
r1 (1-5)	5,47%	0,93%	0,00%	0,00%	0,08%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,08%	6,56%
r2 (6-10)	1,60%	1,01%	0,34%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,08%	3,03%
r3 (11-15)	0,76%	0,93%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,68%
r4 (16-20)	0,34%	0,67%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,01%
r5 (21-25)	0,25%	0,25%	0,00%	0,08%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,59%
r6 (26-30)	0,00%	0,08%	0,08%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,17%
r7 (31-35)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,08%	0,00%	0,00%	0,00%	0,08%
r8 (36-40)	0,08%	0,17%	0,08%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,34%
r9 (>40)	0,00%	0,08%	0,17%	0,34%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,59%
Totale	65,60%	27,75%	3,36%	1,68%	0,42%	0,08%	0,17%	0,17%	0,25%	0,50%	100,00%

Fig. 4.10: Matrice range 0X4B8A00/0XFBAF00 PM non sostituito

Per spiegare i risultati è necessario prima di tutto considerare due assunzioni sul dato storico:

- La sostituzione del modulo pompa dei veicoli della nostra popolazione (363 veicoli) è avvenuta dopo una diagnosi fatta dall'officina che deve essere ritenuta corretta e che quindi attesta che era necessario sostituire il componente perché guasto;
- La non sostituzione del componente per i restanti veicoli che (1189 veicoli) è stata decisa dopo la diagnosi svolta dall'officina e quindi il componente si assume come funzionante.

Detto ciò, possono essere individuati diversi trigger (regole in base al range di errori) per definire un veicolo su cui intervenire poiché considerato guasto e che quindi deve essere richiamato in officina in anticipo per sostituire il componente. L'idea alla base della scelta della regola da preferire è che la percentuale di veicoli della

popolazione studiata chiamati con modulo pompa non sostituito (e quindi non guasto) debba essere minimizzata, mentre la percentuale dei veicoli chiamati con il componente sostituito (e quindi guasto) debba essere massimizzata. I risultati delle diverse regole ipotizzate sono schematizzati nella tabella (4-9).

Trigger di chiamata	Descrizione trigger	% chiamati PM guasto	% chiamati PM funzionante
Nessuna Regola	AS IS	0,00%	0,00%
Regola1	chiamo tutti	100,00%	100,00%
Regola2	chiamo veicoli con press>0	87,052%	14,045%
Regola3	chiamo veicoli con press>5	69,146%	7,485%
Regola4	chiamo veicoli con press>5 o e press>0 e torque>0	72,727%	8,579%
Regola5	chiamo veicoli con press>0 e torque>0	50,413%	5,551%
Regola6	chiamo veicoli con press>5 e torque>0	46,832%	4,458%
Regola7	chiamo veicoli con press>10	52,066%	4,458%
Regola8	chiamo veicoli con press>10 e torque>0	41,047%	3,028%

Tab. 4.10 Possibili trigger di chiamata (errore press = 0X4B8A00, errore torque = 0XFBAF00)

Ovviamente, essendo delle regole discrete, è difficile scegliere la più efficiente utilizzando solo questi criteri; per questo è necessario valutare con maggiore attenzione gli algoritmi individuati.

4.2.2 Scelta della regola di ottimizzazione

4.2.2.1 Definizione dei KPIs aziendali

Iveco ha definito 4 KPIs per valutare le regole definite per lo stesso scopo ma per altri componenti:

1. Precision = $\frac{\text{n° veicoli con componente guasto chiamati dal trigger}}{\text{n° veicoli chiamati dal trigger}}$;
2. Sensitivity = $\frac{\text{n° veicoli con componente guasto chiamati dal trigger}}{\text{n° veicoli con componente guasto}}$;
3. Saving = (Costi non utilizzando il trigger – Costi utilizzando il trigger)_{AVG};
4. Anticipation km = (chilometraggio alla fermata non schedulata – chilometraggio al quale sarebbe stato chiamato il veicolo con il trigger)_{AVG};

Il KPI più rilevante è quello riguardante il risparmio economico che si otterrebbe attraverso l'utilizzo dell'algoritmo. La funzione di costo utilizzata per questo KPIs individua più elementi che sono indicati nella tabella successiva ed associati a delle lettere.

$$\text{Costo complessivo} = z \cdot A + (x + y) \cdot B + t \cdot C \quad (4.1)$$

x	Valorizzazione fermata improvvisa	800,00 €	A	veicoli chiamati con componente guasto
y	Costo claim veicolo non chiamato	2.000,00 €	B	veicoli non chiamati con componente guasto
z	Costo claim veicolo chiamato correttamente	1.500,00 €	C	veicoli chiamati con componente funzionante
t	Costo claim veicolo chiamato erroneamente	2.200,00 €		

Tab. 4.11 Elementi della funzione di costo

I costi associati alla funzione sono stati stimati in base al costo medio delle claims relative alla sostituzione del modulo pompa:

- Valorizzazione fermata improvvisa (x): comprende i costi da sostenere nel caso in cui il veicolo si fermi (costo intervento, valorizzazione del tempo perso dal cliente, costo rimorchio, distanza di trasporto etc.);
- Costo claim veicolo non chiamato (y): il costo da pagare all'officina per il lavoro di riparazione effettuato che comprende il costo del componente e il costo della manodopera (diagnosi e intervento), costo che si spende attualmente in assenza di algoritmo;
- Costo claim veicolo chiamato correttamente (z): il costo è pari al precedente ma è ridotto (viene evitata la diagnosi, l'intervento viene schedato in modo efficiente risparmiando tempi di attesa etc.);
- Costo claim veicolo chiamato erroneamente (t): il costo è maggiore rispetto al costo z poiché l'errore nella diagnosi porterà ad ulteriori costi poiché il problema non è stato risolto.

4.2.2.2 Analisi per la scelta della regola

Sono stati rappresentati nella tabella successiva le occorrenze per ogni trigger dei casi di veicoli chiamati e non, con componente guasto o funzionante.

Trigger di chiamata	Descrizione trigger	Veicoli chiamati	Veicoli chiamati con comp guasto	Veicoli chiamati con comp funzionante	Veicoli non chiamati	Veicoli non chiamati con comp guasto	Veicoli non chiamati con comp funzionante
Nessuna Regola	AS IS	0	0	0	1552	363	1189
Regola1	chiamo tutti	1552	363	1189	0	0	0
Regola2	chiamo veicoli con press>0	483	316	167	1069	47	1022
Regola3	chiamo veicoli con press>5	340	251	89	1212	112	1100
Regola4	chiamo veicoli con press>5 o press>0 e torque>0	366	264	102	1186	99	1087
Regola5	chiamo veicoli con press>0 e torque>0	249	183	66	1303	180	1123
Regola6	chiamo veicoli con press>5 e torque>0	223	170	53	1329	193	1136
Regola7	chiamo veicoli con press>10	242	189	53	1310	174	1136
Regola8	chiamo veicoli con press>10 e torque>0	185	149	36	1367	214	1153

Tab. 4.12 Frequenze per chiamata/componente guasto-funzionante per algoritmo

Nella tabella 4.13 sono stati calcolati i vari KPIs, con la percentuale di decisioni corrette (veicoli chiamati con guasto e veicoli non chiamati con componente funzionante rispetto a tutti i veicoli) seguendo la regola considerato, l'errore α (veicoli non chiamati con componente guasto rispetto a tutti i veicoli) e l'errore β (veicoli chiamati con componente funzionante rispetto a tutti i veicoli).

La scelta della regola vincente, guardando l'aspetto economico, può ricadere su tre delle alternative individuate: la Regola2, la Regola3 e la Regola4.

È importante notare come i KPIs di precision e sensitivity siano correlati all'errore α e β . Un alto valore della precisione corrisponde ad un basso valore di β , mentre un'alta sensitività determina un basso α .

Confrontando nel dettaglio queste tre regole è possibile determinare che la Regola2 è la preferibile per quanto riguarda il costo medio per veicolo e la sensitività; la Regola3 risulta vincente per il valore della precisione; la Regola4 genera un valore di decisione corretta più alto al pari della regola 3.

Per affinare ancora la scelta del trigger di richiamo dei veicoli di cui sospetta la necessità di sostituire il modulo pompa, è stato calcolato il quarto KPI relativo ai km di anticipo con cui la regola avrebbe segnalato il guasto. Per ottenere questo KPI è stata stimata, in modo lineare, il chilometro al quale si è verificata il numero di occorrenze di entrambi gli errori considerati che attiva la regola. Per questo, è stata nuovamente dimostrata per una decina di veicoli la linearità della crescita delle occorrenze degli errori all'aumentare dei km (ne vengono riportati due casi, uno per tipologia di errore).

Algoritmo di chiamata	Descrizione algoritmo	Costo complessivo	Costo complessivo medio	Risparmio	Risparmio medio	Decisione corretta	ERRORE β	ERRORE α	Predizione	Sensitività
Nessuna Regola	AS IS	1.016.400,00 €	2.800,00 €	0,00 €	0,00 €	76,61%	0,00%	23,39%	-	0,00%
Regola1	chiamo tutti	3.160.300,00 €	2.036,28 €	-2.143.900,00 €	763,72 €	23,39%	76,61%	0,00%	23,39%	100,00%
Regola2	chiamo veicoli con press>0	973.000,00 €	1.835,85 €	43.400,00 €	964,15 €	86,21%	10,76%	3,03%	65,42%	87,05%
Regola3	chiamo veicoli con press>5	885.900,00 €	1.959,96 €	130.500,00 €	840,04 €	87,05%	5,73%	7,22%	73,82%	69,15%
Regola4	chiamo veicoli con press>5 o press>0 e torque>0	897.600,00 €	1.930,32 €	118.800,00 €	869,68 €	87,05%	6,57%	6,38%	72,13%	72,73%
Regola5	chiamo veicoli con press>0 e torque>0	923.700,00 €	2.153,15 €	92.700,00 €	646,85 €	84,15%	4,25%	11,60%	73,49%	50,41%
Regola6	chiamo veicoli con press>5 e torque>0	912.000,00 €	2.192,31 €	104.400,00 €	607,69 €	84,15%	3,41%	12,44%	76,23%	46,83%
Regola7	chiamo veicoli con press>10	887.300,00 €	2.132,93 €	129.100,00 €	667,07 €	85,37%	3,41%	11,21%	78,10%	52,07%
Regola8	chiamo veicoli con press>10 e torque>0	901.900,00 €	2.260,40 €	114.500,00 €	539,60 €	83,89%	2,32%	13,79%	80,54%	41,05%

Tab. 4.13 Saving, precision, sensitivity, test d'ipotesi per regola

WJMA1VNH60C305654	
km	OXFBAF00
171032	3
180335	6
180365	7
183856	8
185860	10

Tab. 4.14 Caso Torque

WJMA1VTH60C347640	
km	OX4B8A00
101410	6
129663	16
131360	17

Tab. 4.15 Caso Pressione

Regression Analysis: OXFBAF00 versus km Regression Analysis: OX4B8A00 versus km_1

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	25,328	25,3284	51,64	0,006
km	1	25,328	25,3284	51,64	0,006
Error	3	1,472	0,4905		
Total	4	26,800			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,700373	94,51%	92,68%	71,36%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-72,9	11,1	-6,57	0,007	
km	0,000442	0,000062	7,19	0,006	1,00

Regression Equation

$$\text{OXFBAF00} = -72,9 + 0,000442 \text{ km}$$

Fig. 4.11 Caso Torque

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	73,9250	73,9250	986,07	0,020
km_1	1	73,9250	73,9250	986,07	0,020
Error	1	0,0750	0,0750		
Total	2	74,0000			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,273805	99,90%	99,80%	39,85%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-30,66	1,40	-21,91	0,029	
km_1	0,000361	0,000012	31,40	0,020	1,00

Regression Equation

$$\text{OX4B8A00} = -30,66 + 0,000361 \text{ km}_1$$

Fig. 4.12 Caso Pressione

È stata quindi calcolata la pendenza della crescita delle occorrenze degli errori all'aumentare dei km per ogni veicolo e, attraverso la mediana della distribuzione delle pendenze è stato assegnato un valore di pendenza ad i veicoli per i quali non era possibile calcolarla. Attraverso questa pendenza è stato stimato il chilometro al quale la specifica regola avrebbe fatto sostituire il componente attraverso l'equazione lineare:

$$km_2 = km_1 + \frac{(e_2 - e_1)}{m} \quad (4.2)$$

dove: m è la pendenza, km_1 e e_1 sono rispettivamente il chilometro e gli errori corrispondenti in una qualsiasi segnalazione di quell'errore del veicolo e e_2 è il numero di occorrenze del determinato errore che fa attivare la regola specifica.

Approfondiamo il calcolo per le tre regole da valutare calcolando l'intervallo di confidenza al 95% del valore medio dell'anticipation km a partire dalle distribuzioni dei valori dello stesso per ogni regola.

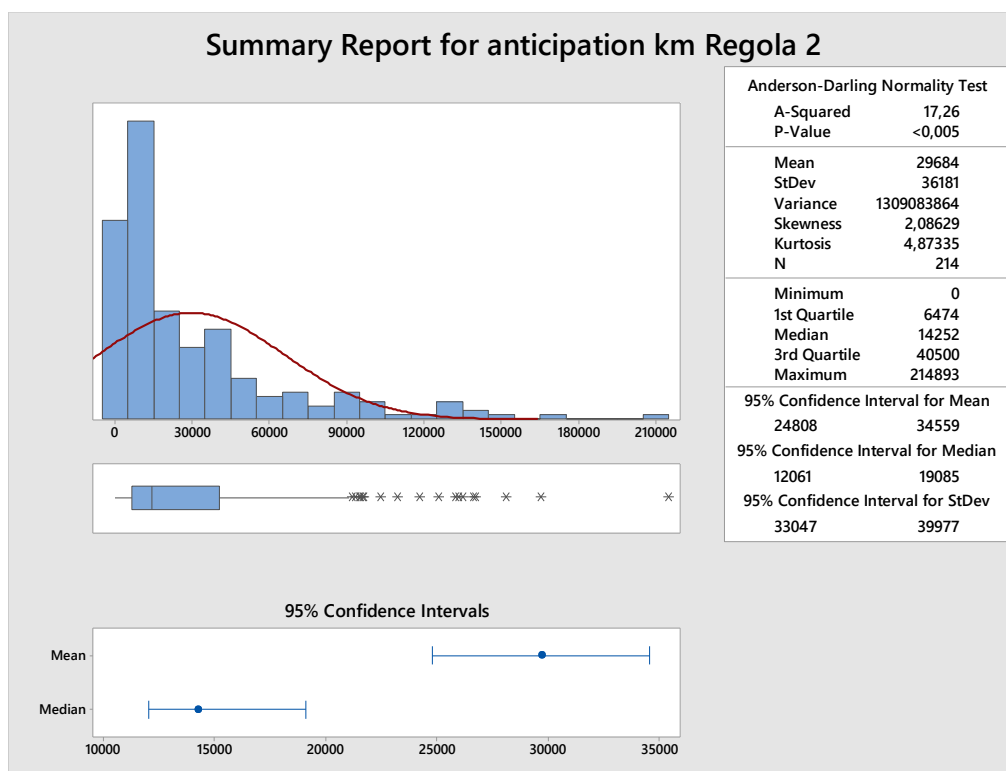


Fig. 4.13 Distribuzione anticipation km Regola2

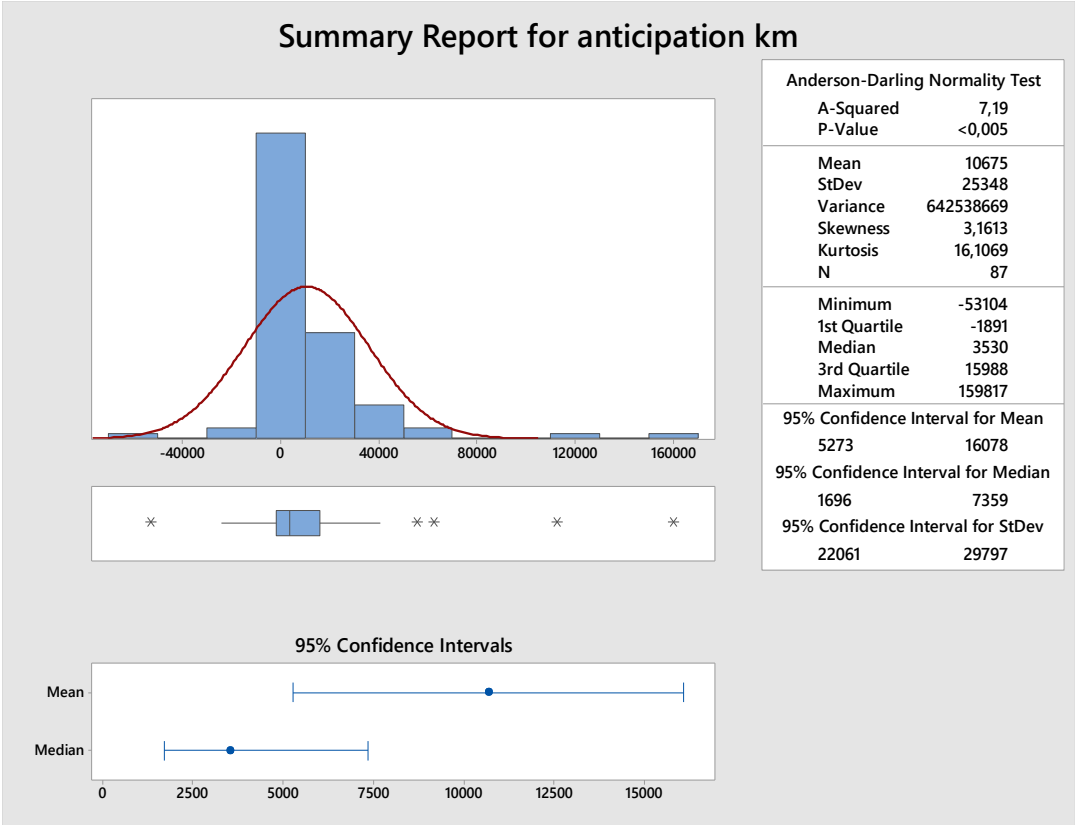


Fig. 4.14 Distribuzione anticipation km Regola3

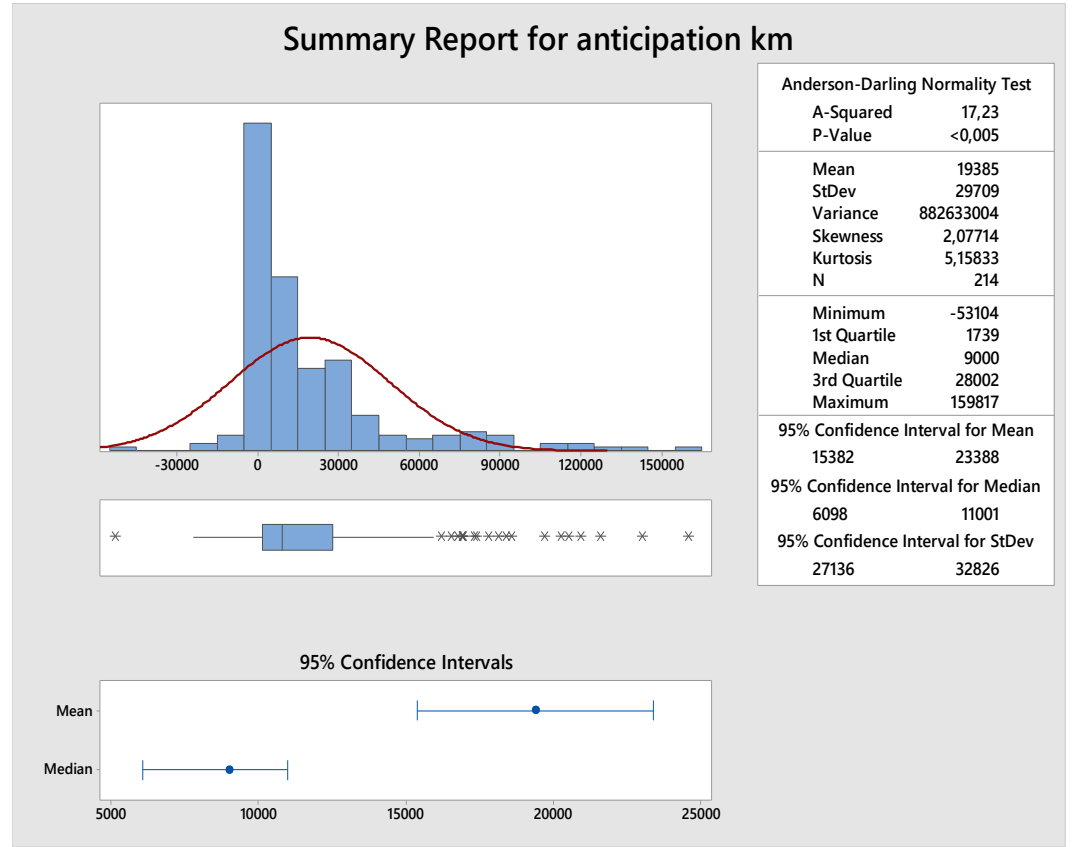


Fig. 4.15 Distribuzione anticipation km Regola4

Regola	95% Confidence Interval for Mean		
	LB	Mean	UP
2	24.808	29.684	34.559
3	5.723	10.675	16.078
4	15.382	19.385	23.388

Tab 4.16 Intervallo di confidenza della media di A_{km} per ogni regola

Per la regola 4, il calcolo è stato leggermente più complesso, poiché per la determinazione del chilometro al quale dovrebbe essere sostituito il componente secondo il trigger, può essere utilizzato o il valore di occorrenza dell'errore di pressione o quello dell'errore di torque a seconda di come questi si siano verificati. Quindi, viene utilizzato l'errore di pressione se entro la sesta occorrenza dell'errore non si è verificato l'errore di riduzione di coppia; viene usato l'errore di torque se entro il sesto errore di pressione questo si è verificato. Notando che, le due migliori regole per questo criterio sono la 2 e la 4, si è effettuato un test d'ipotesi della differenza tra medie per constatare che esse siano statisticamente differenti.

Method

μ_1 : mean of anticipation km Regola 2

μ_2 : mean of anticipation km Regola4

Difference: $\mu_1 - \mu_2$

Equal variances are not assumed for this analysis.

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
anticipation km Regola 2	214	29684	36181	2473
anticipation km Regola4	214	19385	29709	2031

Estimation for Difference

Difference	95% CI for Difference
10298	(4008; 16589)

Test

Null hypothesis $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Alternative hypothesis $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

T-Value	DF	P-Value
3,22	410	0,001

Fig. 4.16 Test d'ipotesi della differenza tra le medie

Essendo il valore della statistica utilizzata maggiore del valore critico per un livello di significatività del 5%, si rifiuta l'ipotesi nulla ovvero che le medie siano uguali.

4.2.2.3 Considerazioni finali

Riassumendo quindi tutta l'analisi effettuata, è evidente che la funzione del costo è pesata maggiormente sulle situazioni di bassa sensibilità, ovvero i casi con un errore alfa maggiore. Ciò significa che un veicolo non chiamato per l'intervento su cui si determinerà un guasto della pompa comporta per l'azienda un costo maggiore rispetto al costo di una chiamata per un veicolo con componente, in realtà, funzionante.

In definitiva quindi, nonostante il numero veicoli chiamati sia maggiore, la Regola2 è da preferire alle altre per il risparmio medio, che come detto prima è correlato alla sensibilità, per l'anticipation km, che permette di avvisare in maniera tempestiva il cliente riguardo il guasto e all'azienda di schedulare al meglio l'intervento, e per la percentuale di azioni (chiamate e non chiamate) corrette rispetto al funzionamento reale del modulo pompa.

4.2.3 Impostazione delle basi per la validazione regola

Per validare la regola in maniera concreta, i veicoli inseriti nella sottopopolazione destinata alla validazione (veicoli con data della prima occorrenza dell'errore di pressione entro 50 giorni dalla data dello studio), sono monitorati giornalmente per verificare se li stessi si sono recati in officina.. Inoltre, è stato richiesto di analizzare i componenti sostituiti per alcuni dei veicoli che nella nostra sottopopolazione rispettavano la regola in modo tale da verificare se realmente il modulo pompa era guasto e, quindi, da sostituire. I risultati della validazione non sono parte della trattazione poiché fuoriescono temporalmente dal lavoro effettuato, ma sarà cura dell'azienda validare in questo modo l'algoritmo.

4.3 Calcolo della vita residua del Pump Module da sostituire

Il passo successivo, dopo aver determinato la regola che ottimizza la chiamata dei veicoli per la sostituzione del modulo pompa, è il calcolo della vita residua del componente per ogni veicolo. Si assume che la distribuzione dell'errore chiave di pressione nei veicoli in cui è avvenuta la sostituzione del modulo pompa identifichi il

momento ultimo in cui è possibile sostituirlo. Questo permette di individuare per ogni veicolo il numero di chilometri restanti prima della rottura definitiva del pump module.

4.3.1 Mediana delle occorrenze dell'errore di pressione alla sostituzione

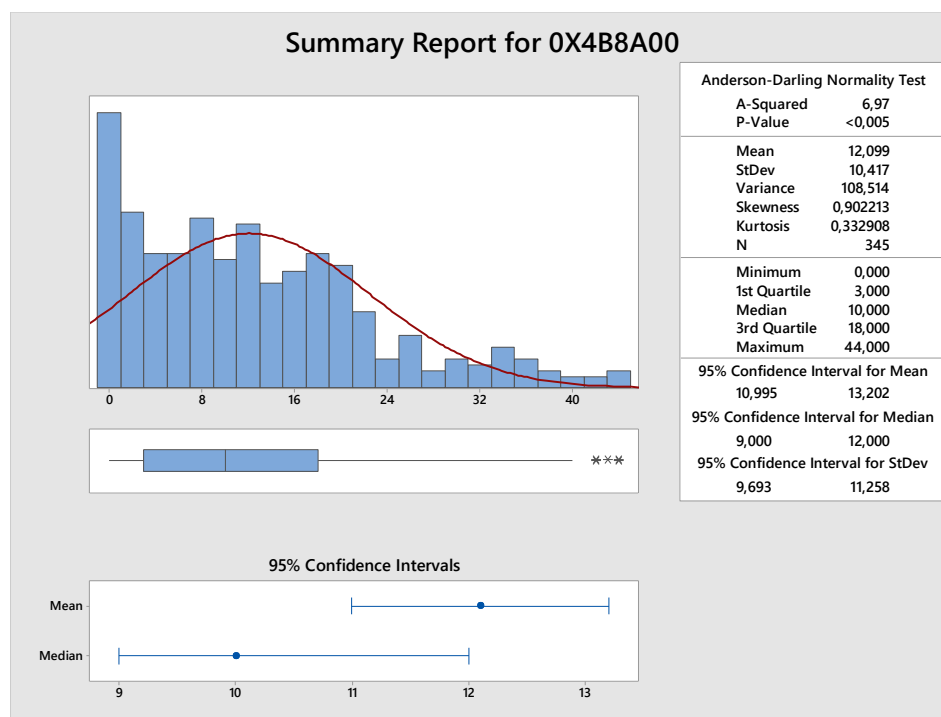


Fig. 4.17 Distribuzione occorrenze errore alla sostituzione

Come si può vedere dalla figura sovrastante, la distribuzione delle occorrenze finali dell'errore di pressione al momento della sostituzione non si può definire come normale; per questo, come in altri casi, è preferibile utilizzare la mediana.

La mediana della distribuzione è 10. Si può assumere, per ridurre il rischio, che la quantità massima di occorrenze dell'errore che possono avvenire prima della rottura del modulo pompa è pari all'estremo inferiore dell'intervallo di confidenza al 95%, ovvero 9.

4.3.2 Previsione della vita residua

Essendo stato dimostrata precedentemente, durante il calcolo del KPI di anticipation km, la linearità della crescita dell'errore in funzione dei chilometri, è stato utilizzato un modello di regressione lineare per la stima della vita residua del componente. È stato calcolato un valore unico di pendenza per la retta di regressione attraverso la mediana della distribuzione delle pendenze per ogni veicolo.

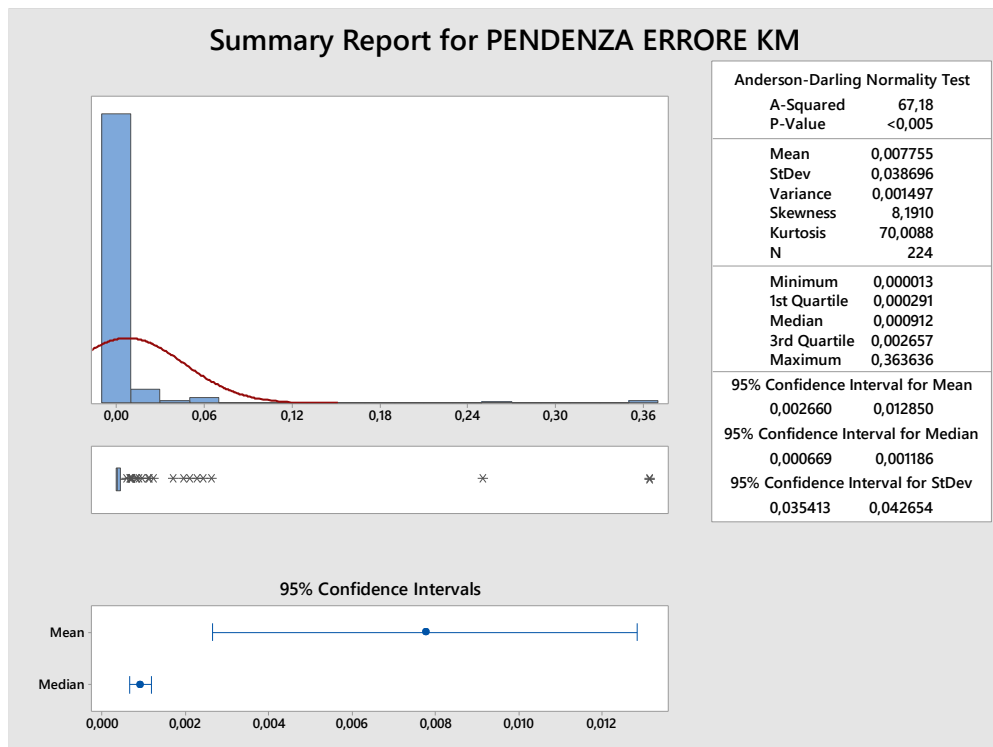


Fig. 4.18 Distribuzione pendenze occorrenze dell'errore in funzione dei km

La previsione della vita residua del modulo pompa viene ottenuta attraverso l'equazione:

$$km_9 = km_1 + \frac{(9-1)}{m} \quad (4.3)$$

Ad esempio, se un veicolo genera il primo errore in corrispondenza di un chilometraggio pari a 150.000, la sostituzione in media avverrà circa al chilometro 159.000. Il driver, Iveco e l'officina hanno a disposizione, quindi, circa 9000 km per schedulare la sostituzione del componente.

Con la nuova telematics box, ottenendo dati sugli errori in tempo reale, sarà possibile implementare il calcolo della vita residua del componente attraverso un modello di regressione non necessariamente lineare e che vari, per ogni veicolo, a seconda del modo di crescita dell'errore all'aumentare dei km; sarà possibile, inoltre, valutare altri elementi, dati e segnali per capire in anticipo se si stanno per verificare le condizioni per lo sviluppo di un errore. Questo anticiperebbe, non solo la sostituzione del componente, ma anche il verificarsi dell'errore che porterà col tempo alla sostituzione.

Conclusioni

In questo lavoro di tesi, svolto presso CNH Industrial, si è tentato di determinare un algoritmo che comprenda:

- una regola di attivazione di un segnale che permetta un richiamo dei veicoli in officina efficiente, nel caso in cui si stiano verificando le condizioni che portino alla rottura di un componente;
- la stima della vita residua dello stesso.

Lo studio è stato effettuato sul modulo pompa, componente che permette la riduzione delle emissioni nocive e facente parte dell'after treatment system di veicoli industriali per l'autotrazione alimentati a gasolio.

La definizione della regola di sostituzione del modulo pompa è stata determinata attraverso l'analisi statistica dei dati storici relativi alle occorrenze di errori legati al componente, rilevati nella centralina motore del veicolo. Il trigger è stato scelto attraverso una valutazione di efficienza realizzata sfruttando dei KPIs aziendali, ideati per lo stesso scopo ma per altri componenti.

Infine, è stata determinata la vita residua del modulo pompa attraverso lo studio dei dati storici dell'errore determinato dalla regola per mezzo di un modello di regressione lineare.

La regola di ottimizzazione della sostituzione del modulo pompa prevede il richiamo dei veicoli in officina al verificarsi del primo errore chiave di pressione. Nonostante in una prima battuta possa sembrare banale, la regola individuata è giustificata poiché, rispetto alla popolazione di veicoli presi in esame, comporta minori costi medi per l'azienda e un errore di tipo α (non richiamare in officina veicoli con componente guasto) molto basso.

La scelta di questa regola si è basata sul forte legame tra gli errori (0X4B8A00 di pressione e 0XFBAF00 di riduzione della coppia) e la sostituzione del modulo pompa. È evidente come uno studio più approfondito su tutti gli altri errori legati allo stesso componente potrebbe determinare delle regole di attivazione del segnale più complesse. Al momento questo non è stato possibile per limiti computazionali (difficoltà nella gestione di matrici a più di due dimensioni), incertezza elevata nei dati storici legati alle segnalazioni di errore e perché la scelta di prendere in considerazione solo i suddetti errori è stata confermata dallo studio del diagramma di Pareto.

In futuro, attraverso una migliore raccolta dati che avverrà grazie al nuovo telematics box, il quale sarà installato nei veicoli in produzione nel 2019, sarà possibile uno studio con minor incertezza; ciò permetterà di ridurre la dimensione dei range utilizzati e quindi verificare più nel dettaglio il numero di occorrenze minimo che debba generare il segnale di richiamo del veicolo, presumibilmente tra una e cinque occorrenze visto il risultato ottenuto in questo lavoro di tesi.

La vita residua del componente attraverso la nuova telematics box sarà calcolata in maniera più efficiente e precisa poiché i dati saranno raccolti in tempo reale. Questo permetterà un modello di previsione non necessariamente lineare e unico per ogni veicolo.

È importante continuare a indagare con strumenti statistici il funzionamento di componenti legati al post trattamento dei gas di scarico in veicoli alimentati a diesel, non solo per generare valore aggiunto per l'azienda e per i clienti, ma poiché una migliore gestione, manutenzione e sostituzione degli stessi in caso di guasto eviterebbe l'aumento non previsto di emissioni nocive per l'ambiente

Bibliografia

1. Probability, Statistics and Reliability for Engineers and Scientists – Bilal M. Ayyub, Richard H. McCuen (2003);
2. Hashing in Computer Science: Fifty Years of Slicing and Dicing – Alan G. Konheim (2010)
3. Digital Signal and Image Processing Using MATLAB, Volume 1: Fundamentals - Gérard Blanchet and Maurice Charbit (2014)
4. Introduction to Statistics Through Resampling Methods and R – Phillip I. Good (2013)
5. Elementary Introduction to Statistical Learning Theory – Sanjeev Kulkarni and Gilbert Harman (2011)
6. Elementary Probability for Applications – Rick Durrett (2009)
7. Mathematical Statistics – Jun Shao (1999)
8. Life data analysis reference – Reliasoft corporation (2005)
9. Introduction to reliability analysis - Shelemyahu Zacks (1991)
10. Scr systems for nox reduction in heavy duty vehicles - Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 22, No. 4 2015 - Piotr Jaworski, Łukasz Jan Kapusta
11. Tesi di Laurea “Evoluzione della limitazione di sostanze inquinanti e climalteranti nelle normative di omologazione per autoveicoli” – Debora Antonelli (2015)
12. The Pareto Principle – The Plymouth Student Scientist, 2014 – Rosie Dunford, Quanrong Su, Ekraj Tamang and Abigail Wintour
13. Visual Data Mining: The VisMiner Approach - Russell K. Anderson (2012)

Sitografia

- A. https://www.dieselnet.com/tech/engine_egr.php
- B. http://www.kstr.lth.se/fileadmin/kstr/pdf_files/vbkn10/Lectures/Reliability_analysis_121101.pdf
- C. <https://www.fptindustrial.com/products/it-IT/Documents/onroad-it.pdf>
- D. http://www.bosch.co.jp/tms2015/en/products/pdf/DS_ProductDatasheet_Denoxtronic5_EN.pdf

- E. <https://www.vehicleservicepros.com/vehicles/powertrain/emissions-fuel-efficiency/article/20982808/exhaust-and-emission-aftertreatment-systems-explained>
- F. <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/powertrain-systems/after-treatment-of-exhaust-gases/>
- G. <http://www.treccani.it/enciclopedia/telematica/>
- H. <https://www.roma1.infn.it/~dagosa/PRO/node96.html>
- I. <https://support.minitab.com/en-us/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/normality/the-anderson-darling-statistic/>