

Ingegneria Meccanica Triennale – Forlì

ALMA MATER STUDIORUM UNIVERSITA' DI BOLOGNA

**TECNICHE AVANZATE
PER LE PREVISIONI DI ROTTURA
DELLE AUTO**

TESI DI LAUREA DI
SIMONE BIANCHI

RELATORE
Prof. **CRISTIANO FRAGASSA**

Co-Relatori:

prof.ssa **ANA PAVLOVIC**

Ing. **MARIO VIANELLO**

Ottobre 2022



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



Sommario

1	ABSTRACT	9
2	INTRODUZIONE	9
2.1	Perché fare uno studio affidabilistico?	9
2.2	Perché questa tesi è innovativa?.....	9
3	DATI E METODI	10
3.1	Spiegazione generale del problema	10
3.2	Premessa:	13
3.2.1	L'utilizzo di dati semplificati	13
3.2.2	L'importanza della Rottamazione	14
3.2.3	Perché costruire un database di valori estraibili?	15
3.3	Database della Curva di Percorrenza.....	15
3.4	Database della Curva di Rottamazione	21
3.5	Report di Produzione	23
3.6	Dati di Rottura.....	23
3.7	Rappresentazione del parco circolante.....	23
3.8	Analisi Rotture: metodo del Risk-Set	25
3.9	Carta di Weibull Linearizzata.....	25
3.10	Database della Curva di Rottura	27
3.11	Ricalcolo il parco circolante	28
4	RISULTATI	31
4.1	CASO 1.....	31
4.1.1	Introduzione – 1.....	31
4.1.2	Profilo di Percorrenza – 1.....	31
4.1.3	Report Produzione – 1	33
4.1.4	Profilo di Rottamazione – 1	34
4.1.5	Parco Circolante – 1	35
4.1.6	Rotture – 1.....	36
4.1.7	Dall'analisi non parametrica alla curva parametrica – 1	38
4.1.8	Profilo di Rottura – 1	40
4.1.9	Previsioni Parco Circolante – 1	41
4.2	CASO 2.....	42
4.2.1	Introduzione – 2.....	42
4.2.2	Profilo di Percorrenza – 2.....	42
4.2.3	Report Produzione – 2	43
4.2.4	Profilo di Rottamazione – 2	45
4.2.5	Parco Circolante – 2	46



4.2.6	Rotture – 2	47
4.2.7	Dall’analisi non parametrica alla curva parametrica – 2	48
4.2.8	Profilo di Rottura – 2	50
4.2.9	Previsioni Parco Circolante – 2	51
4.3	CASO 3	52
4.3.1	Introduzione – 3	52
4.3.2	Profilo di Percorrenza – 3	52
4.3.3	Report Produzione – 3	53
4.3.4	Profilo di Rottamazione – 3	54
4.3.5	Parco Circolante – 3	55
4.3.6	Rotture – 3	56
4.3.7	Dall’analisi non parametrica alla curva parametrica – 3	58
4.3.8	Profilo di Rottura – 3	60
4.3.9	Previsioni Parco Circolante – 3	61
5	CONCLUSIONI	62
6	REFERENZE	63
7	RINGRAZIAMENTI	64



Indice delle Figure

Figura 1 Dati Semplificati	13
Figura 2 Parco Circolante.....	14
Figura 3 MC Profilo di Percorrenza	20
Figura 4 Carta di Weibull.....	26
Figura 5 MC profilo di Rottura	27
Figura 6 MC Profilo di Percorrenza – 1	32
Figura 7 Produzione – 1	33
Figura 8 Istogramma – 1.....	34
Figura 9 MC Rottamazione – 1	35
Figura 10 Parco Circolante - 1	35
Figura 11 Tempi di Rottura – 1	37
Figura 12 Intervalli di Rottura – 1.....	37
Figura 13 Carta di Weibull – 1.....	38
Figura 14 Weibull Rotture – 1.....	39
Figura 15 MC Rotture – 1	40
Figura 16 Previsione Parco Circolante – 1	41
Figura 17 MC Profilo di Percorrenza – 2.....	43
Figura 18 Produzione – 2	43
Figura 19 Istogramma – 2.....	45
Figura 20 MC Rottamazione – 1	46
Figura 21 Parco Circolante – 2.....	46
Figura 22 Intervalli di Rottura – 2.....	48
Figura 23 Carta di Weibull – 2.....	49
Figura 24 Weibull Rotture – 2.....	50
Figura 25 MC Rotture – 2	50
Figura 26 Previsione Parco Circolante – 2	51
Figura 27 MC Profilo di Percorrenza – 3	53
Figura 28 Istogramma – 3.....	54
Figura 29 MC Rottamazione – 3	55
Figura 30 Parco Circolante – 3.....	55
Figura 31 Intervalli di Rottura – 3.....	57
Figura 32 Carta di Weibull – 3.....	59
Figura 33 Weibull – 3.....	60
Figura 34 MC Rotture – 3	60
Figura 35 Previsione Parco Circolante – 3.1	61
Figura 36 Previsione Parco Circolante – 3.2	61



Indice delle Tabelle

Tabella 1 Database di Chilometri.....	15
Tabella 2 Profilo chilometrico.....	18
Tabella 3 Risk-Set	25
Tabella 4 Profilo di percorrenza B (Benzina) – 1	31
Tabella 5 Produzione Auto Ridotta – 1	33
Tabella 6 Dati Weibull di Rottamazione – 1	34
Tabella 7 Curva Rottamazione – 1	34
Tabella 8 Rotture Tempi Esatti – 1	36
Tabella 9 Intervallo Rottura - 1	37
Tabella 10 Analisi del Risk-Set – 1.....	38
Tabella 11 Profilo di Percorrenza D (Benzina) – 2	42
Tabella 12 Produzione Auto Ridotta – 2	44
Tabella 13 Dati Weibull di Rottamazione – 2.....	45
Tabella 14 Curva Rottamazione – 2	45
Tabella 15 Rotture Tempi Esatti – 2	47
Tabella 16 Intervallo Rottura – 2	47
Tabella 17 Analisi del Risk-Set – 2	48
Tabella 18 Profilo di Percorrenza D (Diesel) – 3.....	52
Tabella 19 Dati Weibull di Rottamazione – 3.....	54
Tabella 20 Curva Rottamazione – 3	54
Tabella 21 Intervallo Rottura – 3	56
Tabella 22 Analisi del Risk-Set – 3	58



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



1 ABSTRACT

Questa tesi ha come obiettivo quello di confrontare i metodi di previsione delle rotture studiati in classe e avvalorati dal libro di Horst Rinne (Rinne, 2008). Applicando la teoria al sistema reale si evincono i problemi che sorgono nelle previsioni, come l'incertezza, la mancanza e l'impossibilità di utilizzo della totalità dei dati a disposizione; per cui è stato necessario adattare i dati prima di usarli, e sfruttare nuovi metodi per raggiungere i risultati prefissati.

2 INTRODUZIONE

2.1 Perché fare uno studio affidabilistico?

Studiare l'affidabilità di un sistema ci permette di fare manutenzioni preventive e di ridurre i guasti frequenti, causati dalla rottura dello stesso componente o gruppo di componenti, il quale può essere riprogettato, migliorando la qualità prodotto.

2.2 Perché questa tesi è innovativa?

Questo studio è innovativo perché:

- È stato utilizzato un profilo di rottamazione specifico per tener conto delle macchine che non fanno più parte del parco circolante¹ (Pugnaloni, 2006)
- Ci sono dei consuntivi con cui si possono confrontare i dati (Brighi F, Fragassa C, Verratti L, Vianello M, 2004)

¹ È il gruppo di auto che fa parte del sistema, dalla circolazione della prima auto, fino alla rottamazione o guasto dell'ultima



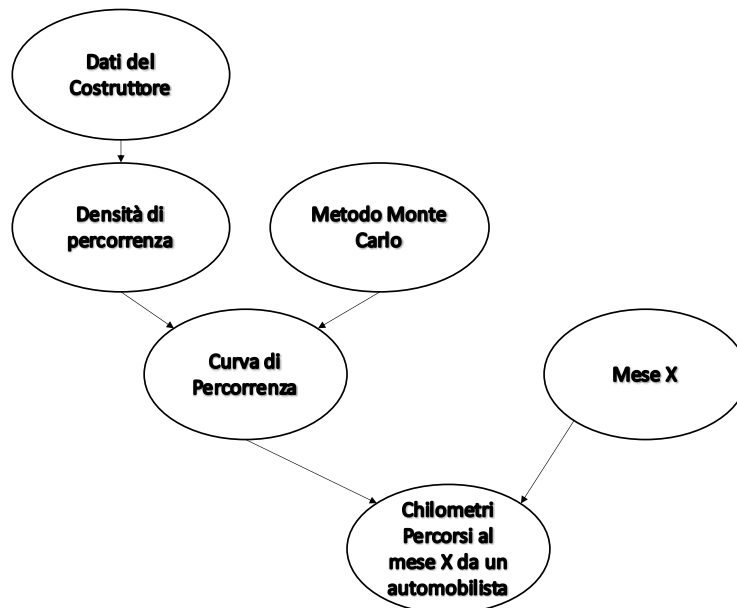
3 DATI E METODI

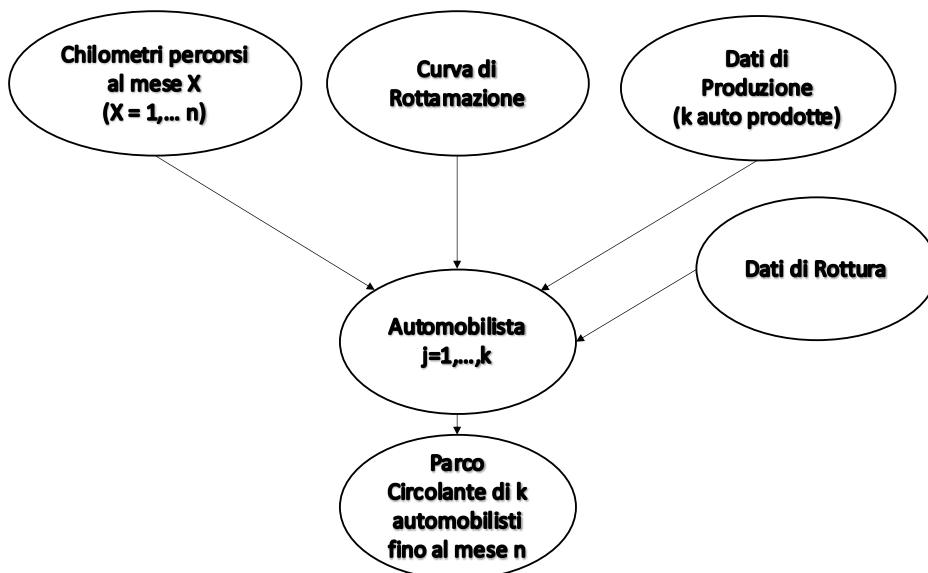
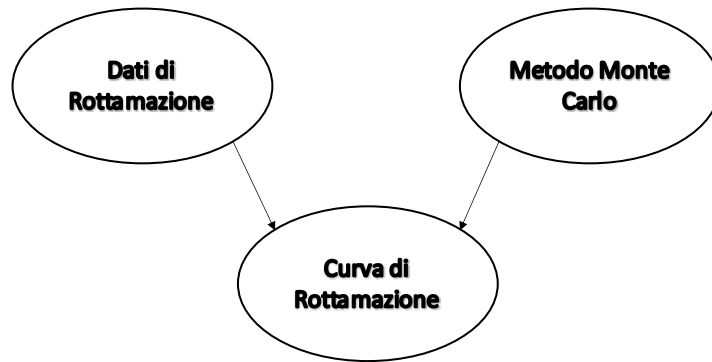
I dati di produzione, segmenti e rottura sono stati forniti interamente dal costruttore, così come i profili di percorrenza. Le curve del profilo di rottamazione sono state ricavate empiricamente da un altro tesista (Pignaloni, 2006).

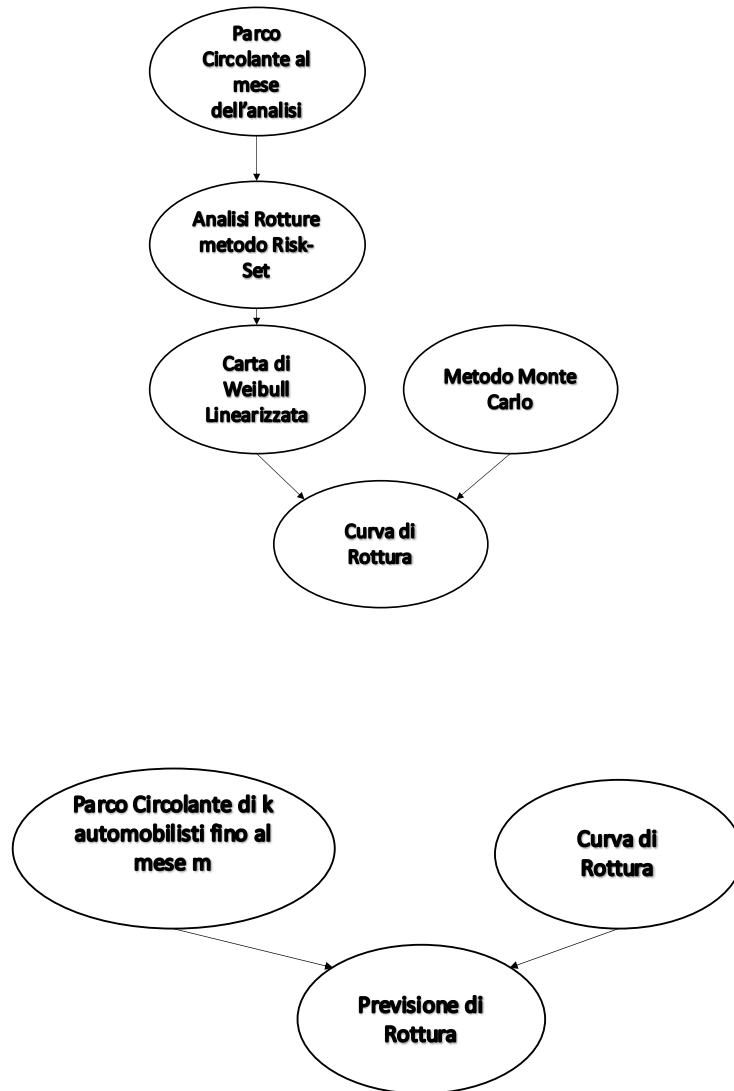
Per studiare i seguenti sistemi si utilizzano principalmente le distribuzioni Gaussiana (per la Rottamazione), Log Normale (Profilo di Percorrenza) e Weibull. Tutte le volte in cui è stato necessario svolgere delle simulazioni della realtà ho utilizzato il metodo Monte Carlo: è un metodo matematico utile per estrarre valori casuali che seguono profili specifici adattandosi ottimamente alla realtà (IBM, s.d.).

3.1 Spiegazione generale del problema

Per poter prevedere la rottura del parco macchine in un futuro, è necessario studiare il sistema che conosciamo fino alle rotture riscontrate. Utilizzo degli schemi iniziali per rendere più comprensibile i procedimenti spiegati nelle prossime pagine:









3.2 Premessa:

3.2.1 L'utilizzo di dati semplificati

I dati di produzione potrebbero essere non completi, infatti la produzione potrebbe essere proseguita oltre i mesi dell'analisi. Inoltre, dei dati di produzione totali forniti ne utilizzo un sottoinsieme. Se ho una produzione 1.000 auto ogni mese per 10 mesi, allora ho 10.000 automobilisti; Riduco il sistema in un sottoinsieme: ogni mese ipotizzo una produzione di 100 auto per 10 mesi, avrò quindi 1.000 automobilisti. Nell'analisi, ogni rottura o censura, rappresenta così 10 automobilisti, in modo che il sistema al termine dell'analisi risulti avere ancora 10.000 automobilisti in totale (Figura 1 Dati Semplificati).

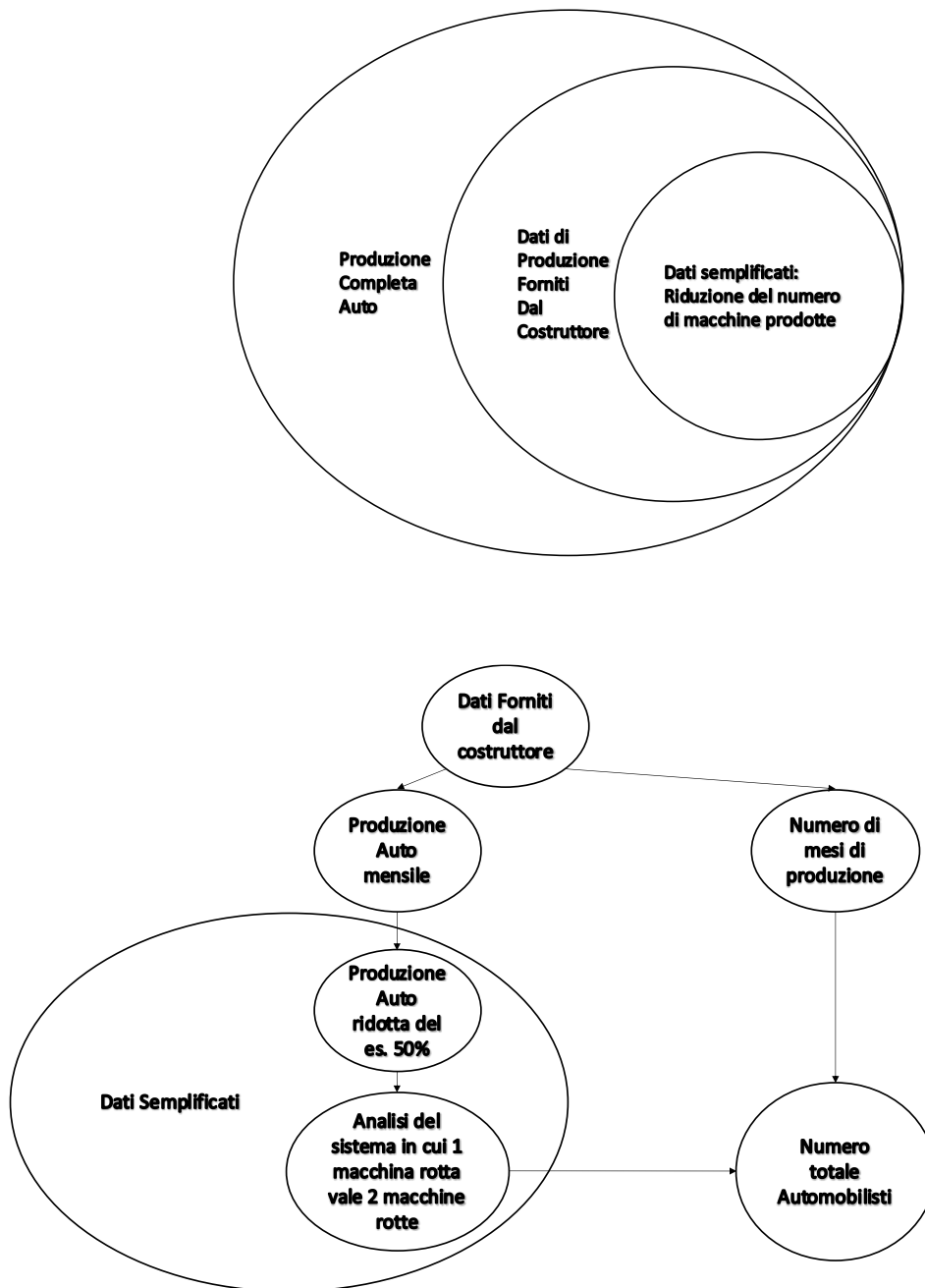


Figura 1 Dati Semplificati



3.2.2 L'importanza della Rottamazione

La curva di rottamazione incide sull'invecchiamento del parco macchine, di conseguenza, lo fa anche sull'analisi e sulla previsione delle rotture, come vedremo più avanti; Ho rappresentato in Figura 2 Parco Circolante la differenza del parco se considero o non considero la rottamazione nel sistema. Superato il dodicesimo mese in maniera sempre più preponderante le auto iniziano ad essere rottamate uscendo così dalla circolazione: un'auto rottamata non si può più guastare, per questo se trascurassimo questo aspetto avremmo molte più rotture di quelle che ci aspetteremmo, perché ci sarebbero auto con tempi di circolazione illimitati che prima o poi si romperebbero.

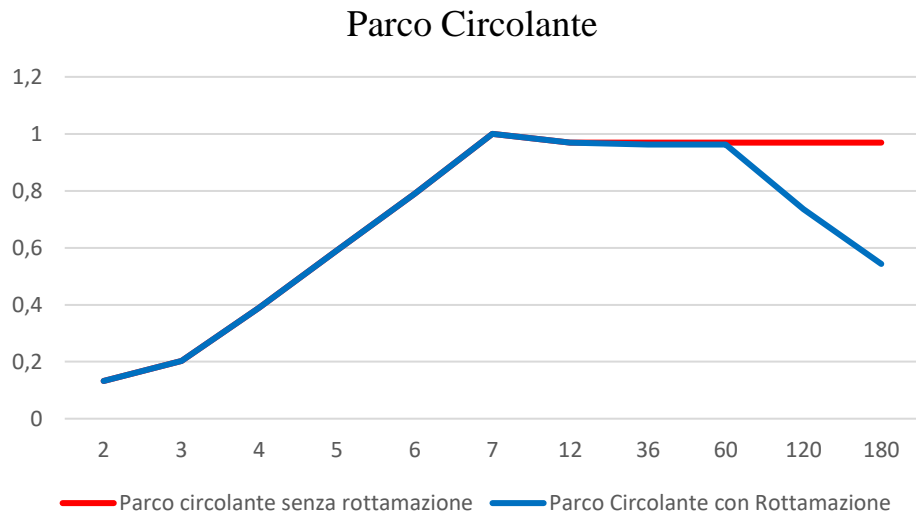


Figura 2 Parco Circolante



3.2.3 Perché costruire un database di valori estraibili?

Ogni curva che andremo ad analizzare successivamente è rappresentata da un database di valori, in cui, estraendo un numero casuale con una formula di Excel, otteniamo un possibile profilo di percorrenza, rottamazione o rottura di quell'automobilista (Tabella 1 Database di Chilometri).

Es. Estratto della Tabella 1 (Profilo di Percorrenza): Il valore estratto casualmente è 4 e l'automobilista percorre mediamente 7.500 km all'anno.

Numero di Riga	Chilometri
1	22500
2	7500
3	10000
4	7500
5	7500

Tabella 1 Database di Chilometri

È stato necessario ai fini dell'analisi costruire il database perché nella successiva rappresentazione del parco circolante estraggo un valore (ad esempio 4, come sopra) che viene associato ai chilometri (es. 7.500 km) al database di ogni curva considerata (di Percorrenza, di Rottamazione e di Rottura), a seconda della quantità di volte in cui quel valore chilometrico è presente nel database avremo possibilità maggiori o minori che sia estratto (è più frequente estrarre 7.500 km rispetto a 10.000 km nella tabella rappresentata). La costruzione del database è spiegata nei paragrafi successivi.

Ipotesi: Se fosse possibile estrarre un numero infinito di automobilisti la media di tutti i profili annui sarà la media fornita dal costruttore.

3.3 Database della Curva di Percorrenza

Inizialmente si crea il profilo di percorrenza di ogni automobilista con i dati di densità forniti dal costruttore.

Ho calcolato la distribuzione cumulata come somma delle densità, avendo tutti gli intervalli chilometrici uguali (2.500 km).

Percorrenza	Densità	Cumulata
2500	0,043	0,000
5000	0,085	0,043
7500	0,110	0,128
10000	0,140	0,238

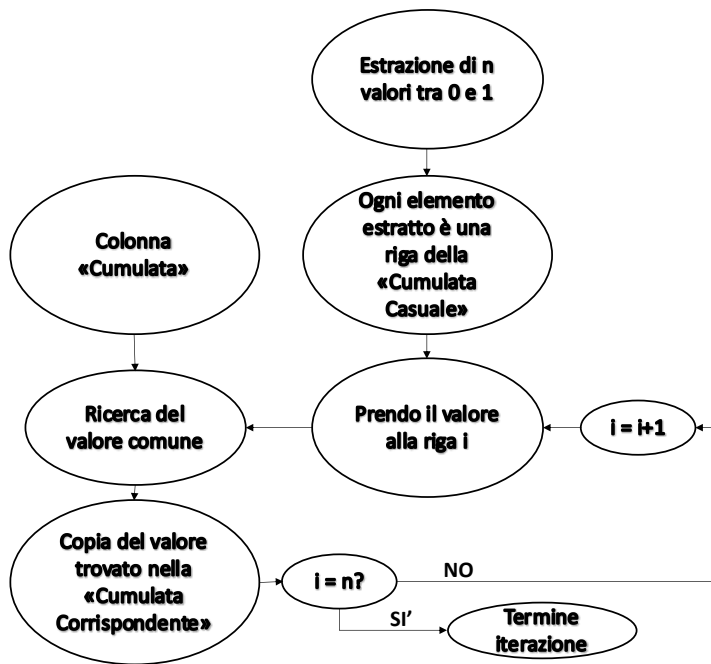
Dopo aver trovato la cumulata applico il Metodo Monte Carlo per creare il database ("Chilometri") di valori cercato, e avere una curva (rossa) che sia quanto più possibile sovrapponibile a quella della densità data dal costruttore (verde) come in Figura 3 MC Profilo di Percorrenza:



Metodo Monte Carlo:

Scelgo un numero di estrazioni (effettuate tra 0 e 1) che il sistema deve fare (ad es. $n = 3000$). Questi valori sono inseriti nella colonna “Cumulata Casuale”

Estrazione	Cumulata Casuale
1	0,900
2	0,001
...	...
3000	0,447

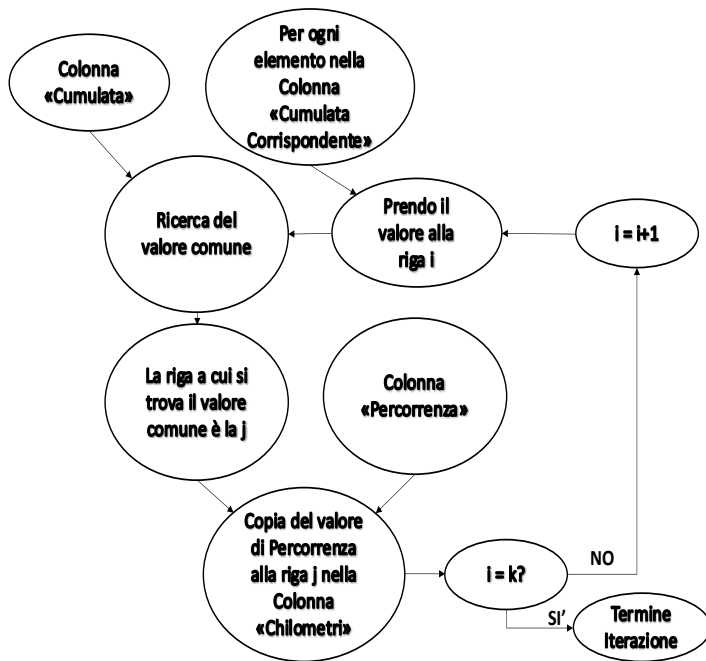


- (1) Definisco la colonna “Cumulata” come una matrice di ricerca².
- (2) Prendo un valore X (evidenziato in azzurro) della “Cumulata Casuale”
- (3) Lo cerco nella colonna “Cumulata”
- (4) Trovo il valore a cui X è più vicino tra tutti i valori della colonna “Cumulata”
- (5) Riporto il valore trovato della “Cumulata” all’interno della cella della colonna della “Cumulata Corrispondente”.
- (6) Itero il procedimento per tutti gli n valori (3000 in questo caso) della “Cumulata Casuale”

Cumulata (3)
0,043
0,128
0,238 (4)
0,378
0,528

Cumulata Casuale	Cumulata Corrispondente
0,900	0,879
0,417	0,378
0,447	0,378
0,263 (2)	0,238 (5)
0,820	0,753

² È la colonna in cui cerco i valori



- (1) Definisco la colonna della “Percorrenza” come “Matrice Restituita”³ e quella della Cumulata come “Matrice di Ricerca”.
- (2) Prendo un valore X (evidenziato in azzurro) della “Cumulata Corrispondente”
- (3) Cerco X nella matrice di ricerca della “Cumulata”
- (4) Il valore numerico restituito è quello che si trova sulla stessa riga della matrice di ricerca, ma con i valori della colonna della “Percorrenza” (in questo caso 7.500).
- (5) Questo risultato è riportato nella colonna dei “Chilometri”.
- (6) Itero il procedimento per ogni riga della “Cumulata Corrispondente”

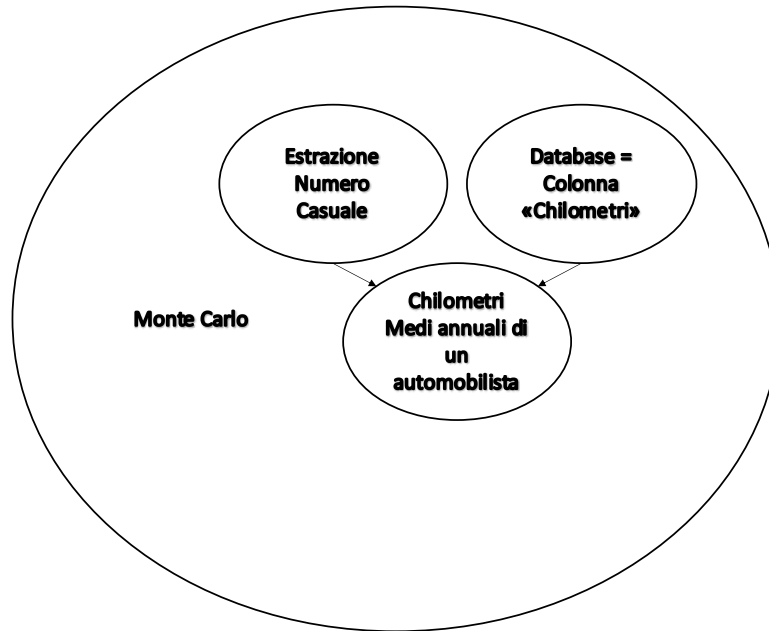
Percorrenza	Cumulata (3)
2500	0,043
5000	0,128
7500 (4)	0,238 (4)
10000	0,378
12500	0,528

Cumulata Corrispondente	Chilometri
0,879	22500
0,378	10000
0,378	10000
0,238 (2)	7500 (5)
0,753	17500

³È suo il valore numerico restituito



Infine, per trovare un profilo di percorrenza annuo di un automobilista con questa auto: è sufficiente estrarre con le formule di Excel un numero tra 1 e 3000 (il valore inizialmente scelto per l'estrazione), questo rappresenta il numero di riga a cui andare a trovare il valore nella colonna "Chilometri" che è il mio database.



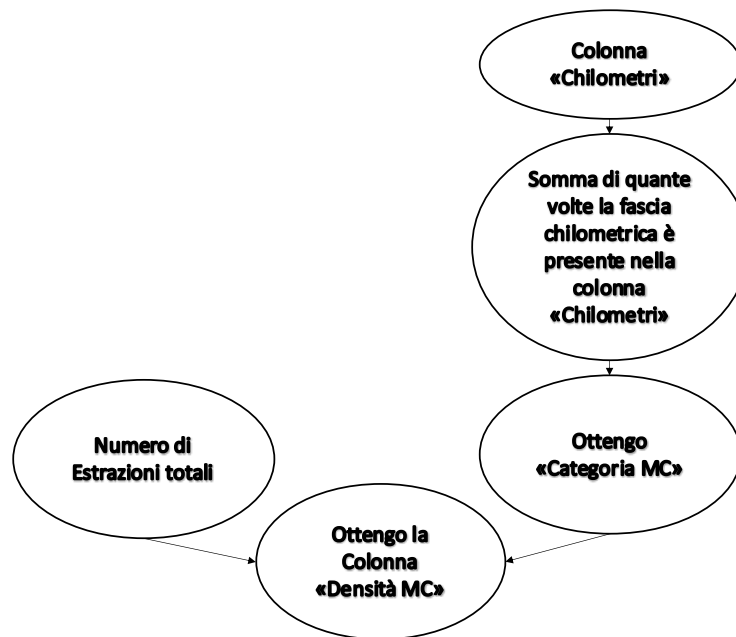
Es. Viene estratto il numero 4, l'automobilista percorre mediamente 10.000 km

Numero di Riga	Chilometri
1	22500
2	15000
3	7500
4	10000
5	17500

Tabella 2 Profilo chilometrico



Per verificare i risultati, Excel conta quante volte è stata trovata la stessa fascia chilometrica nella colonna «Chilometri»;



Sulle 3000 estrazioni totali: 20 sono 2500 km, 55 sono 5000 km, ...; per trovare la “Densità MC” divido ogni valore in “Categoria MC” per il numero di estrazioni totali (es. 3000)

Percorrenza	Categoria MC	Densità MC
2500	20	0,038346115
5000	55	0,090363454
7500	90	0,105035012
10000	130	0,144714905
12500	150	0,150383461
15000	120	0,120706902



Poi si rappresenta in un grafico la densità empirica (curva verde) e la densità estratta dal metodo Monte Carlo (curva rossa), più sono simili, migliore è il risultato.

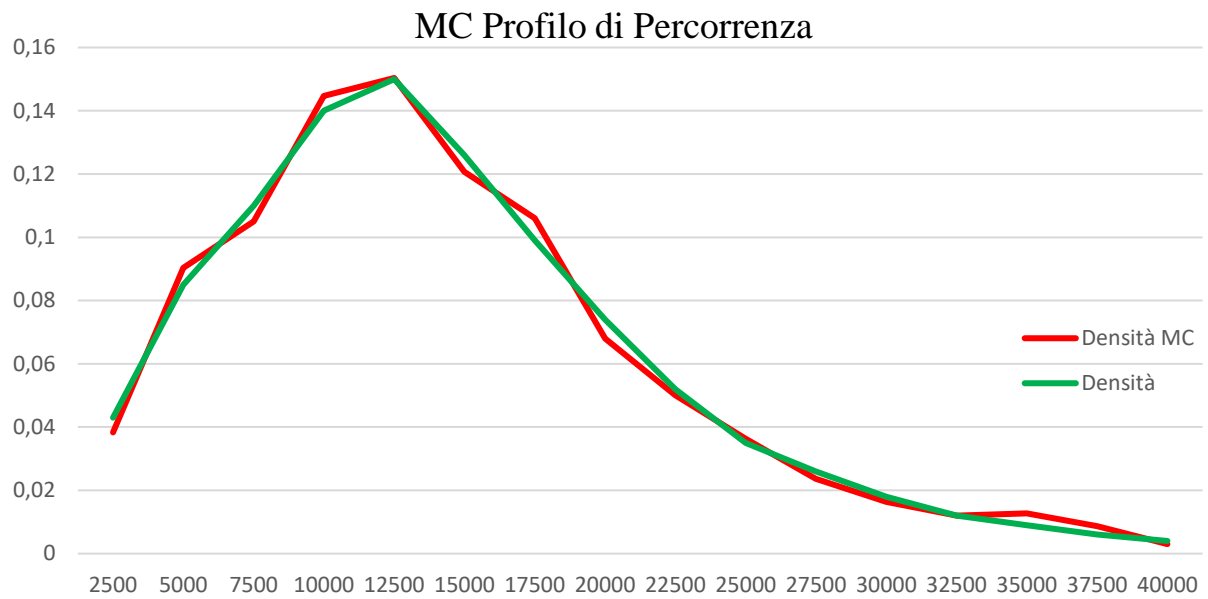
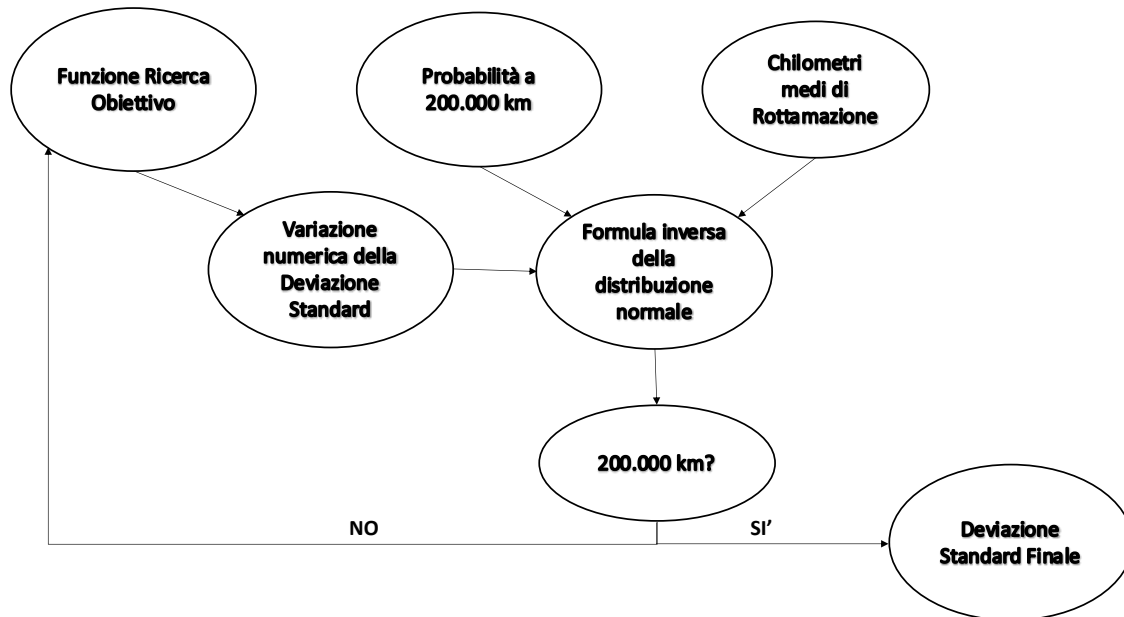


Figura 3 MC Profilo di Percorrenza

3.4 Database della Curva di Rottamazione

Per studiare come si degrada il parco circolante è necessario integrare alla curva di percorrenza, anche il profilo di rottamazione.



Dai dati ricevuti dal tesista (Pugnali, 2006) ho preso i chilometri medi a cui una macchina è stata rottamata e la probabilità di rottura a 200.000 km.

chilometri medi rottamazione	173709,4
probabilità a 200.000km	71,51%

Prendo due celle:

- La cella della deviazione standard è vuota
- La cella dei chilometri contiene la formula per trovare l'inversa di una distribuzione normale⁴ ed è quella in cui devo avere 200.000 km al termine della "ricerca obiettivo".

Utilizzo la funzione "ricerca obiettivo" di Excel per trovare i valori desiderati:

- (1) "Imposta la cella": è la cella in cui devo raggiungere 200.000 km
- (2) "Al valore": inserisco 200.000
- (3) "Cambiando la cella": è la cella della deviazione standard

⁴ La formula è: =INV.NORM.N(media; dev.std.; probabilità)



Ricerca obiettivo ? X

Imposta la cella: ↑

Al valore:

Cambiando la cella: ↑

OK Annulla

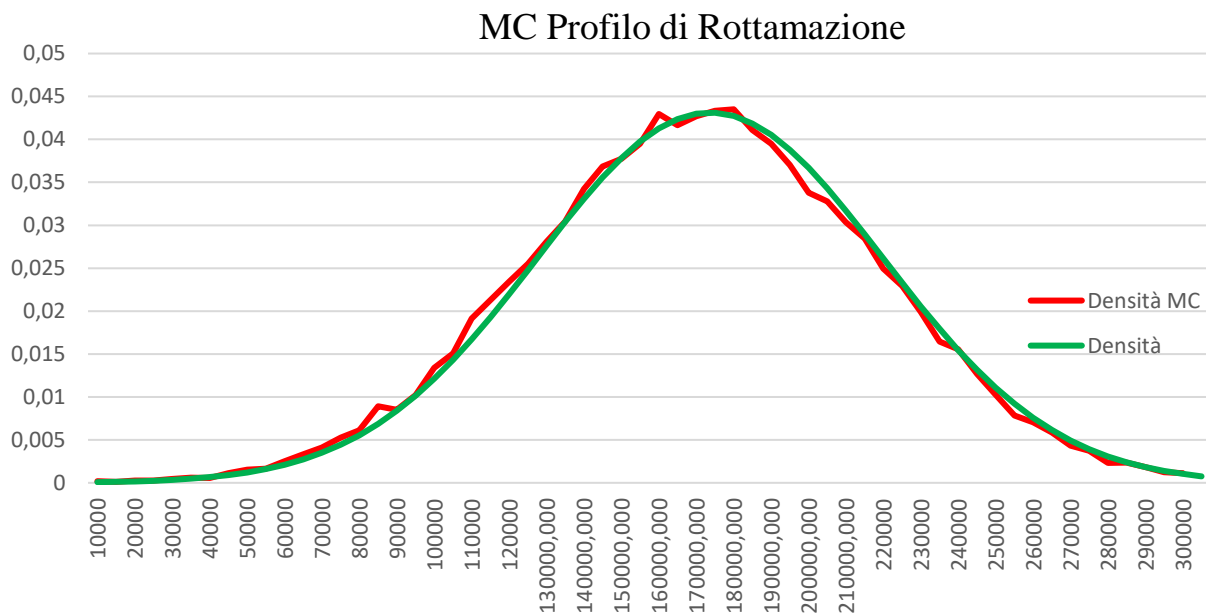
Excel fa variare la deviazione standard finché la cella dei chilometri non raggiunge 200.000 km.

Al termine della “Ricerca obiettivo” ottengo il valore della deviazione standard che mi serve per fare la curva di distribuzione.

deviazione standard	46258,1
Voglio 200.000 km	200000

Con il valor medio e la deviazione standard posso trovare la cumulata e ripetere i passaggi del Metodo Monte Carlo [16] per il profilo di percorrenza.

La curva ottenuta:



3.5 Report di Produzione

La produzione inizia al mese 0 e termina dopo un certo tempo indicato dal costruttore. Utilizziamo questi dati per individuare quante macchine sono state prodotte in un determinato mese. Nel parco circolante andrebbe indicato il periodo in cui queste auto sono effettivamente entrate in circolazione, non avendo il ritardo alla consegna, si suppone che tutte le auto prodotte a un certo mese, abbiano iniziato a circolare il mese successivo.

3.6 Dati di Rottura

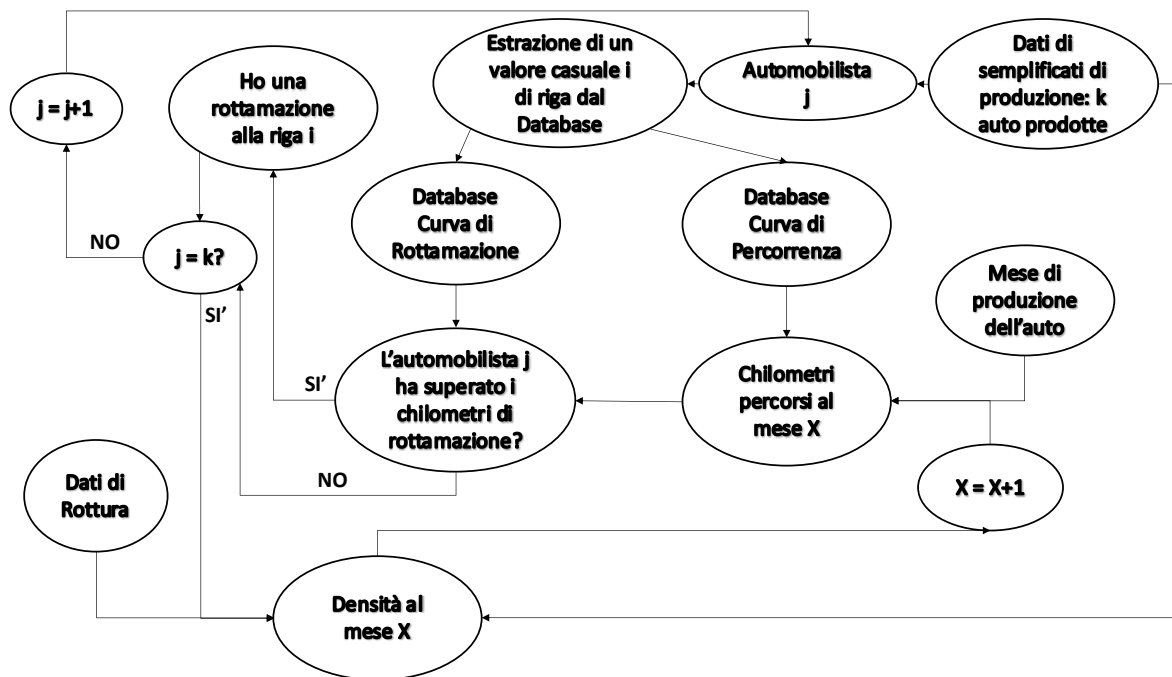
I dati di rottura sono stati forniti dal costruttore divisi per densità chilometriche o per tempi esatti.

3.7 Rappresentazione del parco circolante

Studiando l'invecchiamento delle auto otteniamo il parco circolante. Questo è dato dalla combinazione di quattro curve:

- Curva di Percorrenza
- Curva di Rottamazione
- Curva di Produzione
- Curva di Rottura

La quarta curva ancora non ce l'abbiamo, abbiamo solo i dati di rottura.



Per ogni mese di produzione si individua un numero di macchine proporzionato al numero totale prodotto a quel mese (Ad. Esempio ho 100 auto prodotte al Mese 0, su un totale di 1.000 auto prodotte lo stesso mese; suppongo una produzione totale di 10.000 auto in 5 mesi).

I passaggi indicati di seguito rappresentano solo il calcolo di un mese del parco circolante, escluso il punto (1) in cui i profili di guida e di rottamazione rimangono gli stessi per l'automobilista in questione, tutti i mesi precedenti e successivi del parco circolante di quell'automobilista si calcolano iterativamente dal punto (2) al punto (5).



- (1) Per ogni auto prodotta nei dati semplificati estraggo un profilo chilometrico annuo (27.500 km) e un profilo di rottamazione (70.000 km).
- (2) Calcolo i chilometri (ad es.) al trentaseiesimo mese dopo la produzione: $\frac{27500}{12} \cdot 36 = 82.500$
- (3) Controllo se i “Chilometri al Mese” sono maggiori della “Rottamazione”, se lo sono, allora la cella della colonna “Rottamata” assume il valore di 1 (Ipotizziamo 200 auto rottamate al trentaseiesimo mese)
- (4) Dopo aver trovato tutte le rottamazioni di quel mese si trova la densità di auto che fanno parte del parco circolante. $densità = \frac{N_{AutoRottamate}}{N_{Autotot}} = \frac{200}{10000} = 0,02$
- (5) Per correggere i valori del parco circolante inseriamo anche le rotture, dal mese di analisi in poi: $densità^5 = \frac{N_{AutoRottamate} + N_{Rotture}}{N_{Autotot}}$
- (6) Dopo aver calcolato ripetutamente il processo un numero sufficiente di mesi, otteniamo la curva del parco circolante

Percorrenze Medie	Rottamazione
2500	130000
27500 (1)	70000 (1)

Chilometri al Mese 36	Rottamata
7500	0
82500 (2)	1 (3)

Densità Mese 6	0,02 (4)
----------------	----------



3.8 Analisi Rotture: metodo del Risk-Set

Per applicare il metodo del Risk-Set utilizzo i dati del parco circolante al mese dell'analisi.

Al mese dell'analisi ogni censura è il valore minore tra i chilometri totali percorsi e i chilometri della Rottamazione.

Se la produzione al Mese 0 era di 200 auto, ma sono state fatte 20 auto, ogni censura vale 10 auto, in modo da avere, al termine dell'analisi, il totale delle auto prodotte

- (1) L'intervallo dell'analisi del Risk-Set corrisponde all'intervallo dei dati di rottura
- (2) Trovo il valor medio dell'intervallo $\text{valore medio} = \frac{\text{lower} + \text{upper}}{2}$
- (3) Inserisco le rotture per fasce chilometriche dai dati del costruttore
- (4) Trovo le censure per fasce chilometriche con i dati del parco circolante
- (5) Calcolo $n_i = n_{i-1} - r_i - c_i$
- (6) Trovo l'Adjust Risk $Adj_i = n_{i-1} - \frac{c_{i-1}}{2}$
- (7) Calcolo $p = \frac{r_i}{Adj_i}$
- (8) Trovo l'affidabilità $S_i = \prod_{j=1}^i (1 - p_j)$
- (9) Trovo l'inaffidabilità $F_i = 1 - S_i$

Intervallo (1)	Valore Medio (2)	Rotture (3)	Censure (4)	n_i (5)	Adjust Risk $n_i - r_i / 2$ (6)	p_i (7)	S_i (8)	F_i (9)
0-2500	1250	3	6125	40995	37932,5	7,90879E-05	0,99992091	0,0079%
2500-5000	3750	5	13368	34867	28183	0,000177412	0,99974351	0,0256%

Tabella 3 Risk-Set

3.9 Carta di Weibull Linearizzata

Linearizzo gli assi della carta di Weibull con i risultati trovati nel Risk-Set:

$$x = LN(\text{Valore Medio}^6)$$

$$y = LN(LN(1/(1 - F_i^7)))$$

x	y
7,13089883	-9,44491171
8,229511119	-8,268309243

⁶ Nella Tabella 3 Risk-Set sono i valori della colonna (2)

⁷ Nella Tabella 3 Risk-Set sono i valori della colonna (9)



Carta di Weibull

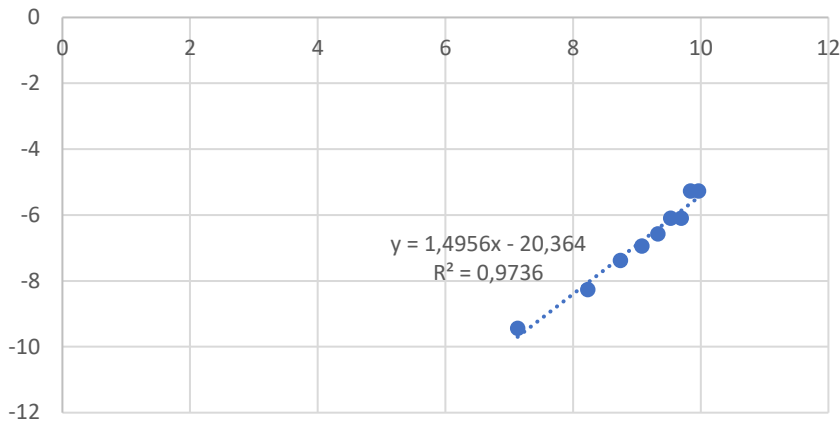


Figura 4 Carta di Weibull

Trovo il fattore di forma (alfa, la pendenza della retta) e il fattore di scala (beta, l'intercetta della retta).

alfa	1,461072413
beta	929928,9532

Per non appesantire ulteriormente la trattazione, la dimostrazione della linearizzazione della Carta di Weibull e il calcolo di alfa e beta è riportato qui di seguito (Carta di Weibull):



3.10 Database della Curva di Rottura

Per trovare la densità della Weibull aumento progressivamente i chilometri fino a costruire l'intera curva di Weibull, questa è la curva mancante del parco circolante.

Trovata la densità della curva ripeto il processo del metodo Monte Carlo:

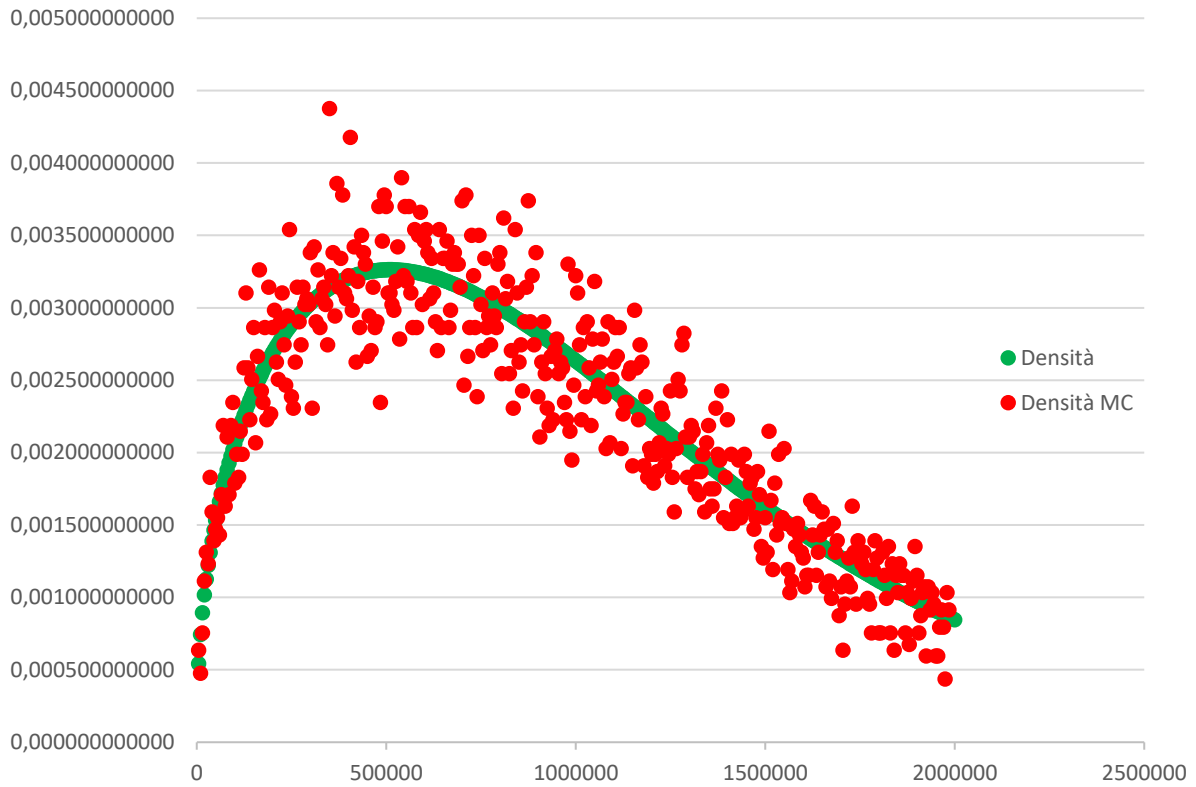
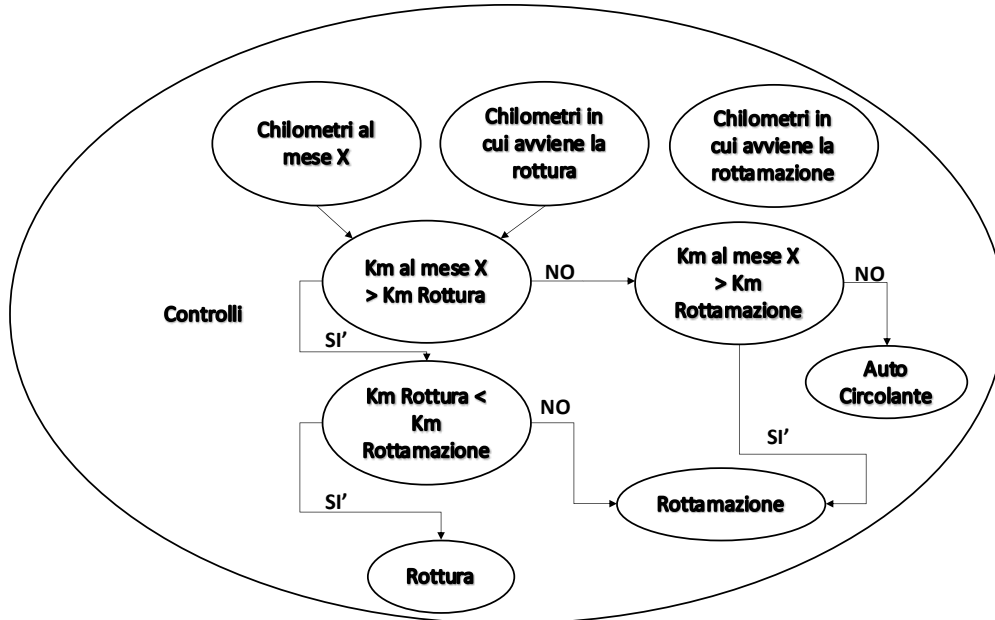
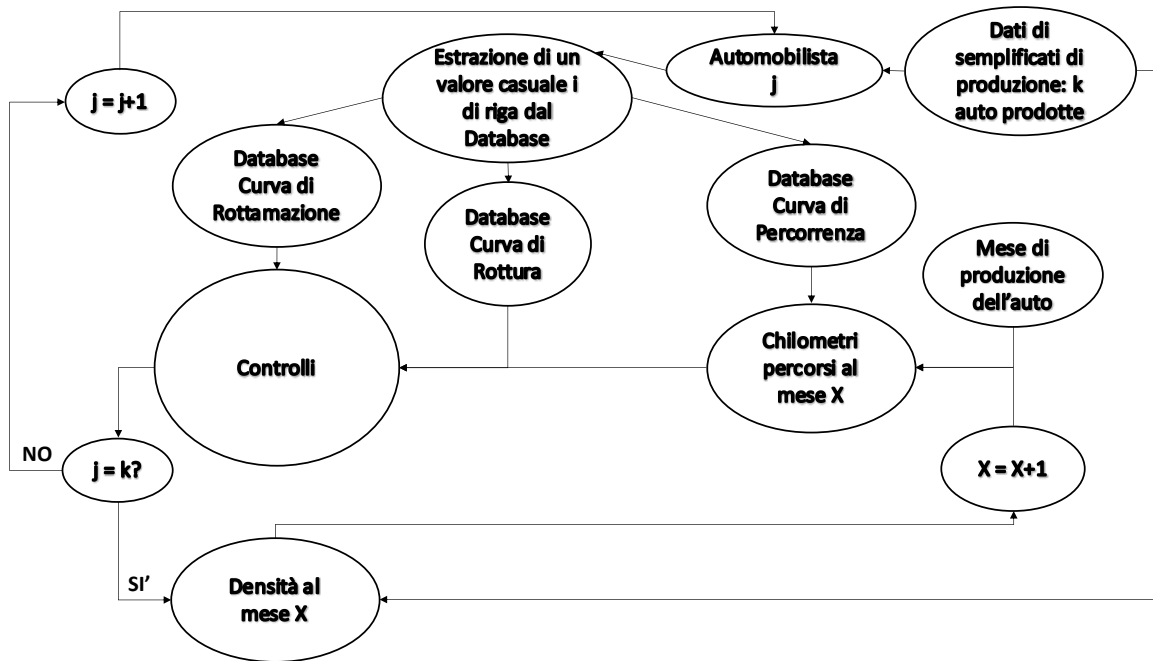


Figura 5 MC profilo di Rottura



3.11 Ricalcolo il parco circolante

Ricalcolo il parco circolante estraendo ora la curva di rottura al tempo della previsione





(es. 43 mesi):

- (1) Se i chilometri sono maggiori dei Km della rottura e minori dei km della censura allora nella colonna "Rottura" metto 1.
- (2) Se i chilometri sono maggiori dei Km della rottura e maggiori dei km della censura, confronto che i km della rottura siano minori dei Km della censura (cioè che la macchina si sia rotta prima di essere rottamata), poi metto 1 nella colonna "Rottura".
- (3) Tutti gli altri casi ho 0.

Targa	km totali auto al mese di osservazione	Km profilo di Rottura	Km Rottamazione	Rottura
5	35833,33333	92000	50000	0
6	53750 (1)	45000 (1)	110000 (1)	1
7	56875 (2)	2000 (2)	40000 (2)	1
8	107500	735000	110000	0

Carta di Weibull

La funzione di affidabilità della Weibull è:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha}$$

$$F(t) = 1 - R(t) \rightarrow 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha}$$

$$\frac{1}{1 - F(t)} = e^{\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha}$$

Per linearizzare la carta di Weibull che è logaritmica, applico il logaritmo naturale

$$\ln\left(\frac{1}{1 - F(t)}\right) = \left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha$$

Lo uso ancora per poter abbassare sfruttare le proprietà dei logaritmi sia sull'esponente che sulla frazione

$$\ln\left(\ln\left(\frac{1}{1 - F(t)}\right)\right) = \alpha \ln(t) - \alpha \ln(\beta)$$

L'equazione di una generica retta nel grafico possiamo scriverla come:

$$y = mx + q$$

Per cui la linearizzazione degli assi è dimostrata:

$$y = \ln\left(\ln\left(\frac{1}{1 - F(t)}\right)\right)$$



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

$$x = \ln(t)$$

Per trovare alfa e beta individuiamo anche m e q

$$m = \alpha$$

$$q = -\alpha \ln(\beta)$$

Ora posso ricavare il fattore di forma alfa e il fattore di scala beta:

$$\alpha = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

$$\beta = e^{-\frac{q}{\alpha}}$$



4 RISULTATI

4.1 CASO 1

4.1.1 Introduzione – 1

Questo caso è stato studiato su vetture appartenenti al segmento B (motorizzate benzina). La produzione è avvenuta in sei mesi. Il parco macchine è stato analizzato al nono mese dopo la prima auto circolata; con 23 casi di guasti riscontrati. Il costruttore ha fornito dati di guasto entro 20.000 km

4.1.2 Profilo di Percorrenza – 1

Sono andato a studiare il profilo di percorrenza delle auto del segmento B, calcolando come visto in precedenza (3.3) la distribuzione cumulata e il database dei chilometri, che useremo nello sviluppo del problema. La precisione del database si può valutare nella Figura 6 MC Profilo di Percorrenza – 1

Percorrenza	Densità	Cumulata
2500	0,043	0,000
5000	0,085	0,043
7500	0,110	0,128
10000	0,140	0,238
12500	0,150	0,378
15000	0,126	0,528
17500	0,099	0,654
20000	0,074	0,753
22500	0,052	0,827
25000	0,035	0,879
27500	0,026	0,914
30000	0,018	0,940
32500	0,012	0,958
35000	0,009	0,970
37500	0,006	0,979
40000	0,004	0,985

Tabella 4 Profilo di percorrenza B (Benzina) – I



MC Profilo di Percorrenza - 1

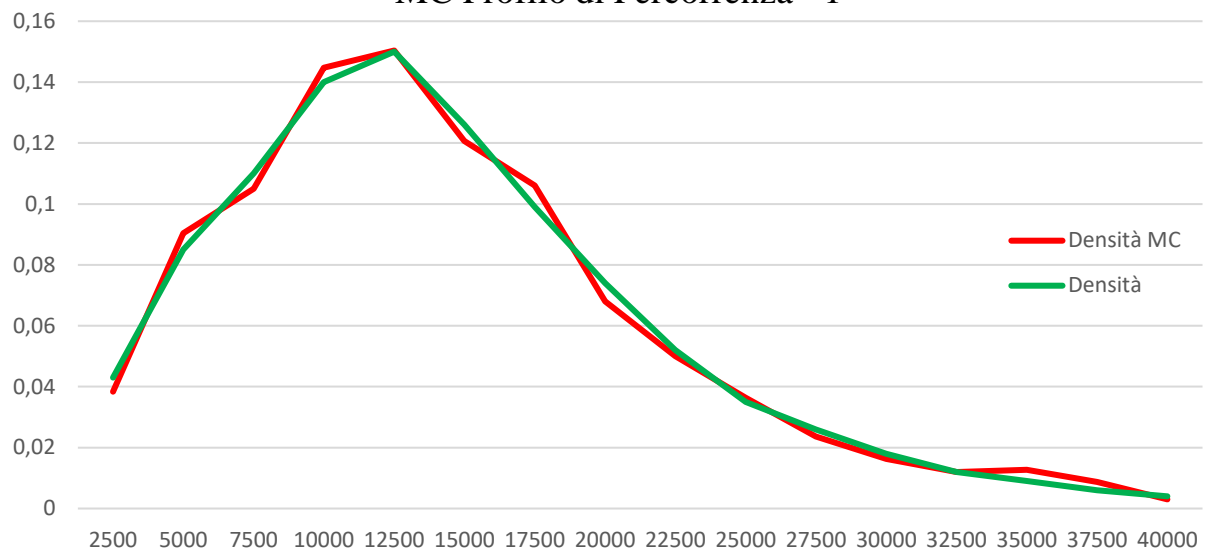


Figura 6 MC Profilo di Percorrenza - 1



4.1.3 Report Produzione – 1

Il “Report di Produzione” illustra quante macchine sono state prodotte nei sei mesi di produzione, ottenendo il valore complessivo di circa 40.995 auto. I dati di produzione sono stati forniti dal costruttore (Brighi F, Fragassa C, Verratti L, Vianello M, 2004).

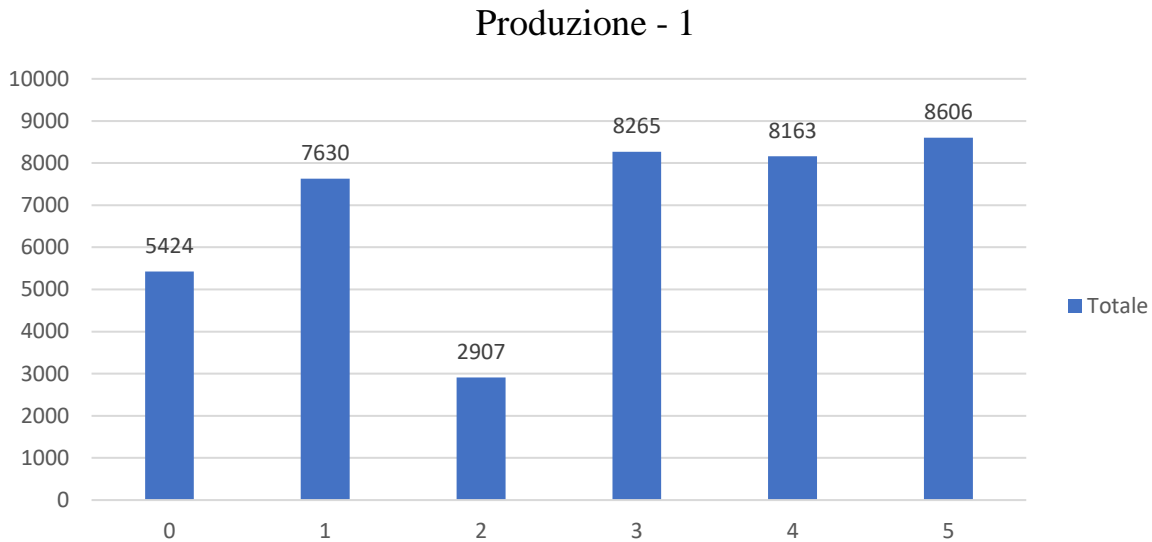


Figura 7 Produzione – 1

Non potendo utilizzare tutti i dati disponibili a causa dell'enorme mole, nel problema ho proporzionato la produzione in modo da ottenere 10.000 auto totali.

Valori di produzione proporzionali

Mese di Produzione	Auto Prodotte Reali	Produzione di Auto Proporzionata rispetto al totale	Produzione di Auto Ridotta Cumulata
0	5424	1323	1323
1	2907	709	2032
2	7630	1861	3893
3	8265	2016	5909
4	8163	1991	7900
5	8606	2100	10000

Tabella 5 Produzione Auto Ridotta – 1



4.1.4 Profilo di Rottamazione – 1

Prima di continuare con l'analisi introduco nel sistema la curva di rottamazione, la quale sarà fondamentale per il ciclo di vita completo della macchina. È stato seguito un profilo specifico alle auto di categoria B. I valori di densità e cumulata sono stati calcolati come in (3.4)

I risultati ottenuti sono riportati di seguito:

chilometri medi rottamazione	173709,4
deviazione standard	46257,73
probabilità a 200000km	71,51%
Devo avere 200.000 km	200000

Tabella 6 Dati Weibull di Rottamazione – 1

Chilometri	Densità Rottamazione	Cumulata Rottamazione
10000	1,64419E-08	0%
30000	6,91665E-08	0%
50000	2,41355E-07	0%
70000	6,98603E-07	1%
90000	1,67734E-06	4%
110000	3,3406E-06	8%
130000	5,5188E-06	17%
150000	7,56275E-06	30%
170000	8,59665E-06	47%
190000	8,10577E-06	64%
210000	6,33978E-06	78%
230000	4,1131E-06	89%
250000	2,2135E-06	95%
270000	9,88107E-07	98%
290000	3,65884E-07	99%
310000	1,12382E-07	100%

Tabella 7 Curva Rottamazione – 1

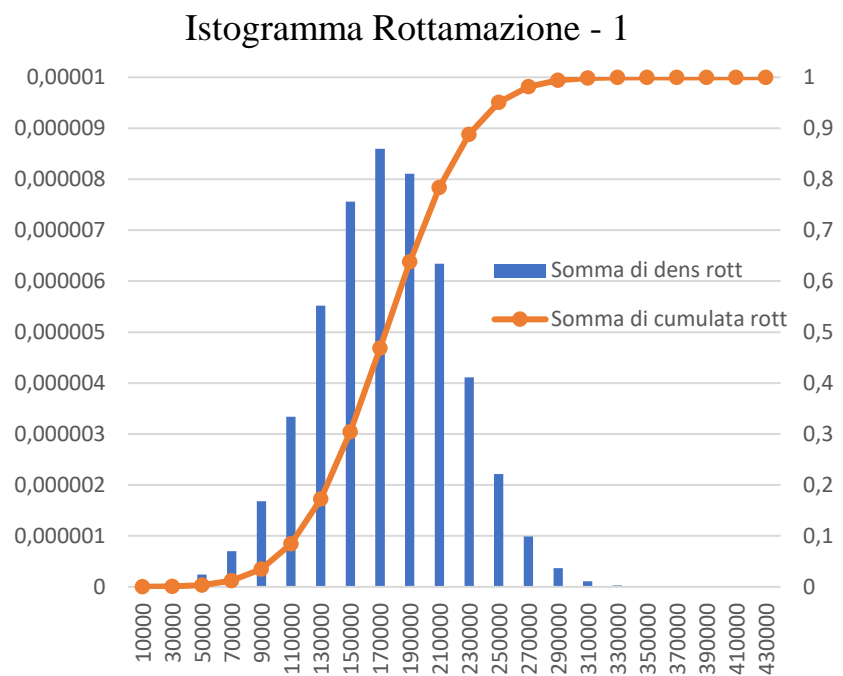


Figura 8 Istogramma – 1



MC Profilo di Rottamazione - 1

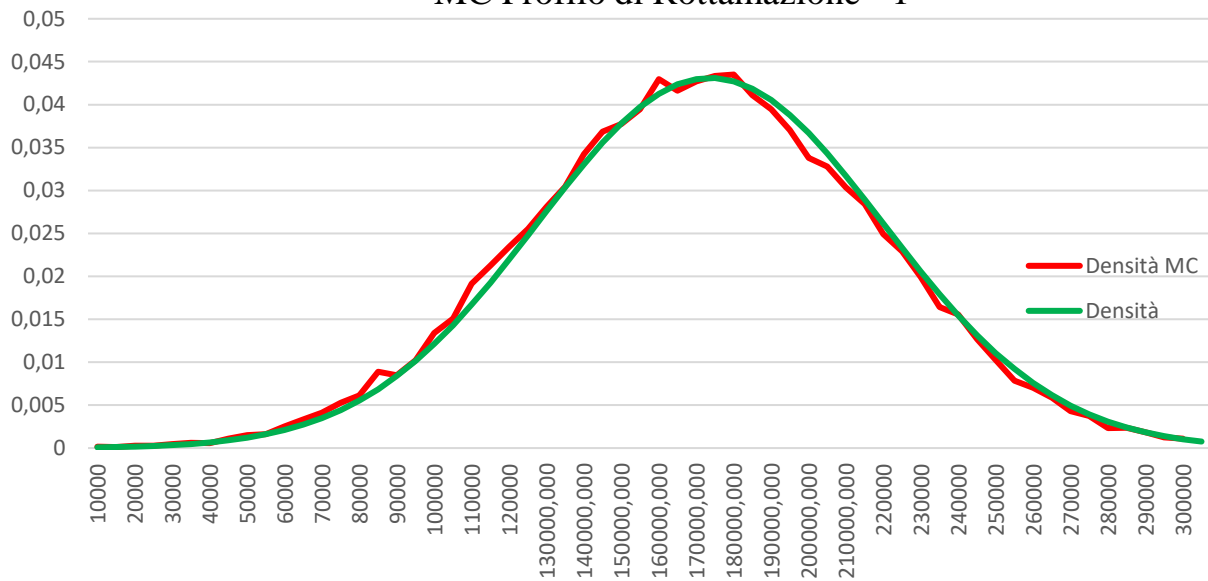


Figura 9 MC Rottamazione - 1

4.1.5 Parco Circolante - 1

Il parco circolante rappresenta il ciclo di vita delle auto prodotte. Le 23 rotture trovate nel sistema sono quasi ininfluenti rispetto alle 40.995 macchine studiate al nono mese. Il 100% delle auto entra in circolazione al sesto mese, dopodiché, oltre alle 23 auto (che assumo guaste e non rimesse in circolazione), ho anche le auto che iniziano a maturare i chilometri sufficienti per essere rottamate. Si nota che la rottamazione inizia ad essere un dato rilevante oltre i 60 mesi dal primo mese di circolazione.

Parco Circolante - 1

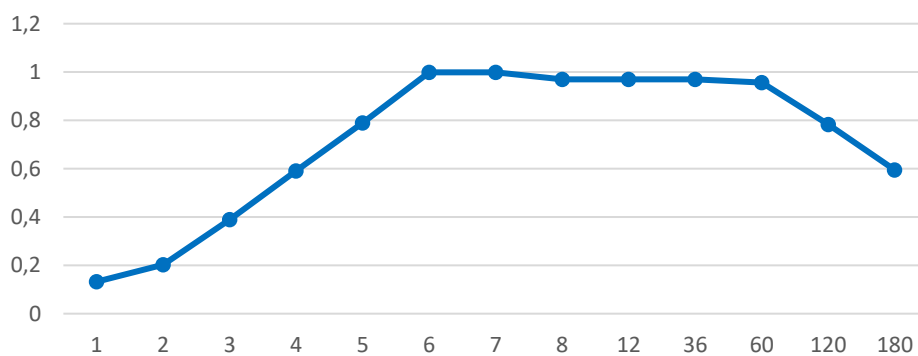


Figura 10 Parco Circolante - 1



4.1.6 Rotture – 1

I dati di rottura per tempi esatti sono i chilometri effettivi in cui l'auto si è rotta; disponendo solo degli intervalli di rottura e della quantità di rotture avvenute al suo interno, i valori di rottura sono stati estratti casualmente: la formula utilizzata è = *CASUALE.TRA(LOWER;UPPER)*.

Questi sono i tempi esatti del primo caso, estratti casualmente:

tempi esatti con numero rotture prese dalle fasce di chilometri		
targa	limite superiore	Dati rottura estrai casuale
1	2500	258
2	2500	1338
3	5000	4045
4	5000	4924
5	5000	4907
6	5000	4081
7	5000	3677
8	5000	3981
9	7500	7067
10	7500	5065
11	7500	5825
12	7500	6892
13	7500	7483
14	7500	5565
15	10000	8964
16	10000	9234
17	12500	11886
18	12500	11899
19	12500	11629
20	15000	13896
21	15000	13832
22	20000	16341
23	20000	15559

Tabella 8 Rotture Tempi Esatti – 1



Rispetto alle fasce di chilometri				
limite inferiore	limite superiore	Rotture	Rotture Cumulate	
0	2500	2	2	
2500	5000	6	8	
5000	7500	6	14	
7500	10000	2	16	
10000	12500	3	19	
12500	15000	2	21	
15000	17500	0	21	
17500	20000	2	23	
20000	22500	0	23	

Tabella 9 Intervallo Rottura - 1

E questi sono i grafici relativi alle rotture, sia come intervalli sia come dati esatti:

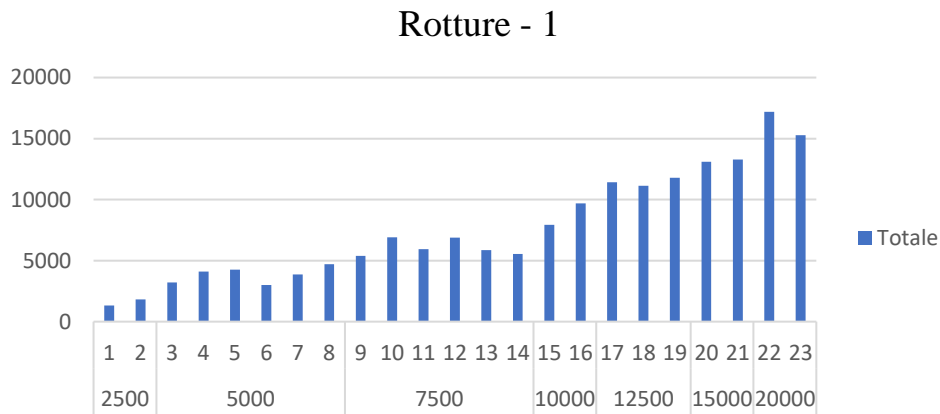


Figura 11 Tempi di Rottura - 1

Questo grafico invece rappresenta i gruppi di rotture nell'intervallo chilometrico:

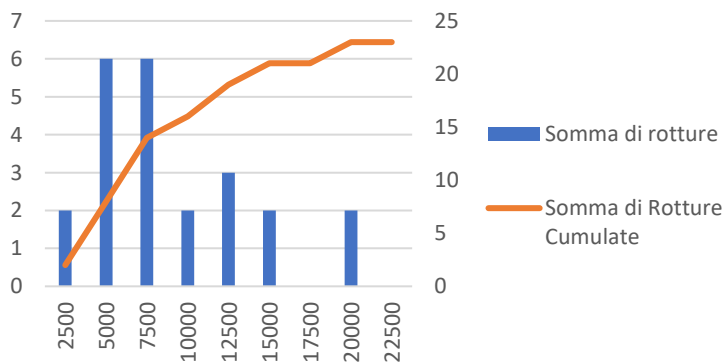


Figura 12 Intervalli di Rottura - 1



4.1.7 Dall'analisi non parametrica alla curva parametrica – 1

Qui di seguito ho svolto l'analisi del Risk-Set del caso 1, un sistema con censure multiple.

intervallo	Km Max	Valore Medio	Rotture	Censure	ni	Adjust Risk ni-ri/2	p	S	F
0-2500	2500	1250	2	4866	40995	38562	5,18645E-05	0,99994814	0,0052%
2500-5000	5000	3750	6	10351	36127	30951,5	0,000193852	0,99975429	0,0246%
5000-7500	7500	6250	6	11388	25770	20076	0,000298864	0,99945550	0,05445%
7500-10000	10000	8750	2	5530	14376	11611	0,00017225	0,99928335	0,07167%
10000-12500	12500	11250	3	3739	8844	6974,5	0,000430138	0,99885352	0,1146%
12500-15000	15000	13750	2	2652	5102	3776	0,000529661	0,99832446	0,1676%
15000-17500	17500	16250	0	1086	2448	1905	0	0,99832446	0,1676%
17500-20000	20000	18750	2	500	1362	1112	0,001798561	0,99652891	0,3471%

Tabella 10 Analisi del Risk-Set – 1

Carta di Weibull - 1

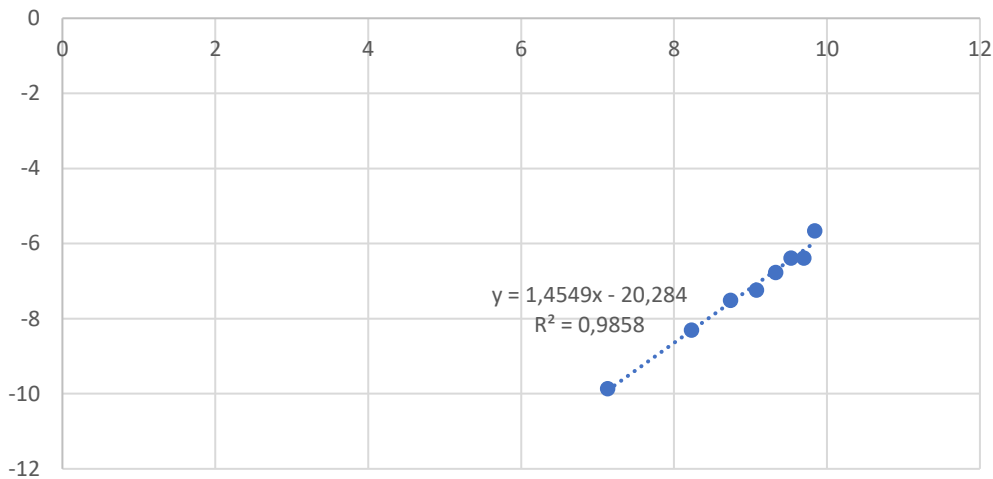


Figura 13 Carta di Weibull – 1

I Fattori di forma e scala che descrivono la Weibull:

alfa	1,455142643
beta	1133896,279



Con l'utilizzo dei parametri di forma e scala e le formule di Excel, ricavo le curve di densità di guasto⁸(verde), affidabilità⁹ (blu) e inaffidabilità¹⁰ (arancione)

chilometri percorsi	Densità di Rottura	Inaffidabilità	Affidabilità
0	0	0,0000%	100,0000%
5000	1,08651E-07	0,0373%	99,9627%
10000	1,48855E-07	0,1023%	99,8977%
15000	1,78876E-07	0,1846%	99,8154%

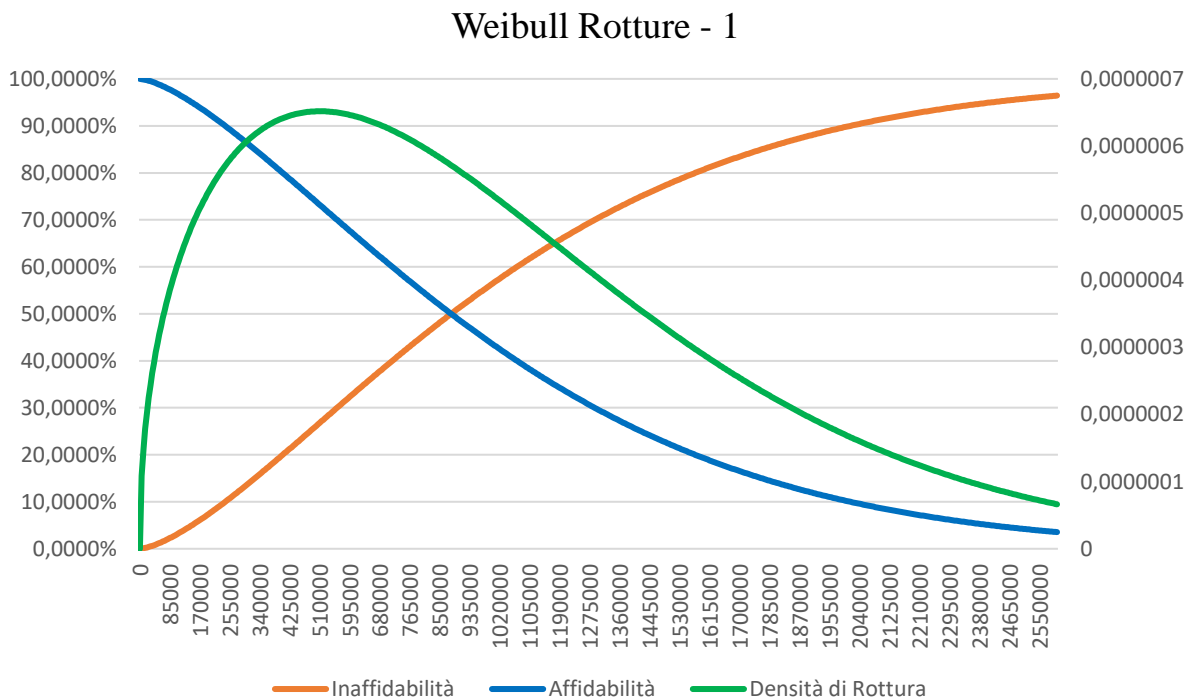


Figura 14 Weibull Rotture – 1

⁸ =DISTRIB.WEIBULL(Chilometri; Alfa; Beta; 0)

⁹ =DISTRIB.WEIBULL(Chilometri; Alfa; Beta; 1)

¹⁰ = 1 – Affidabilità = 1 - DISTRIB.WEIBULL(Chilometri; Alfa; Beta; 1)

4.1.8 Profilo di Rottura – 1

I valori di densità e cumulata sono stati trovati al paragrafo precedente (4.1.7), posso quindi creare il Database del profilo di rottura. Studio la curva fino a 200.000 km, perché la “Ricerca del Valore comune” riporta sempre 200.000 km nel caso in cui questo valore sia stato oltrepassato; quindi, dal punto di vista della densità del sistema non ho incongruenze.

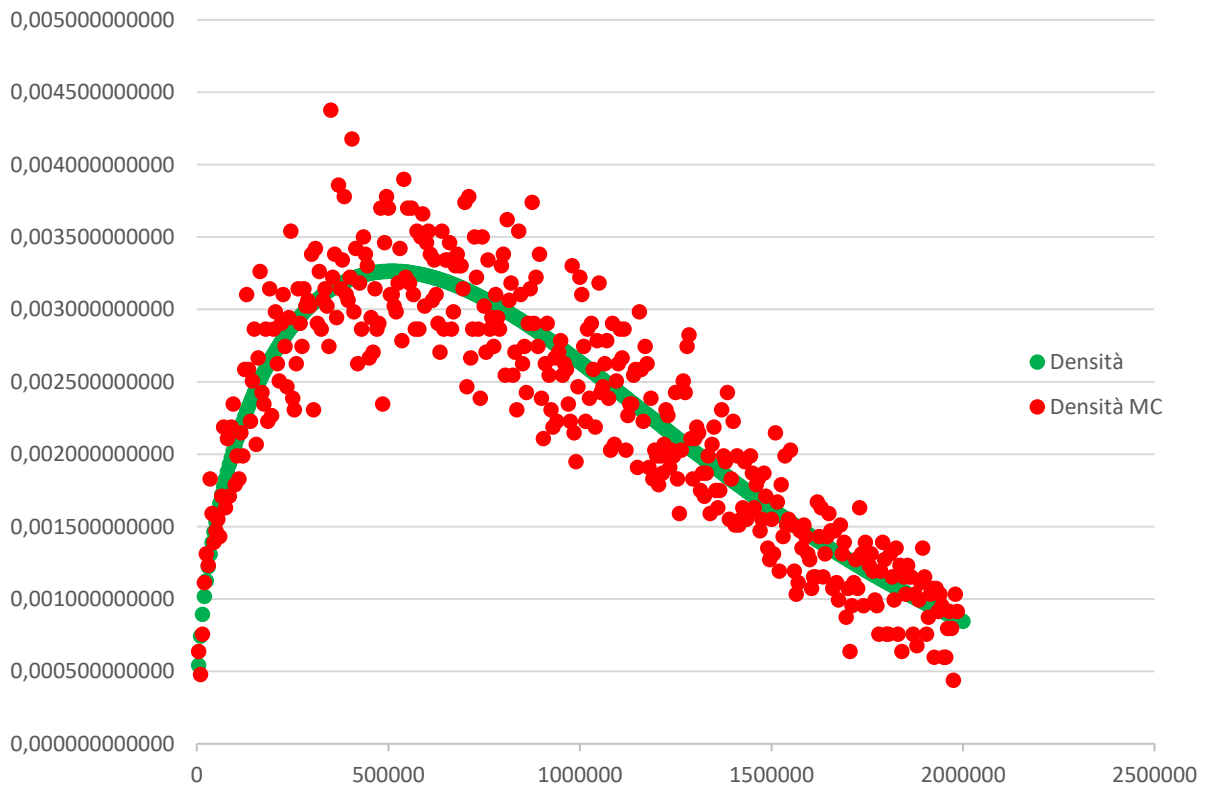
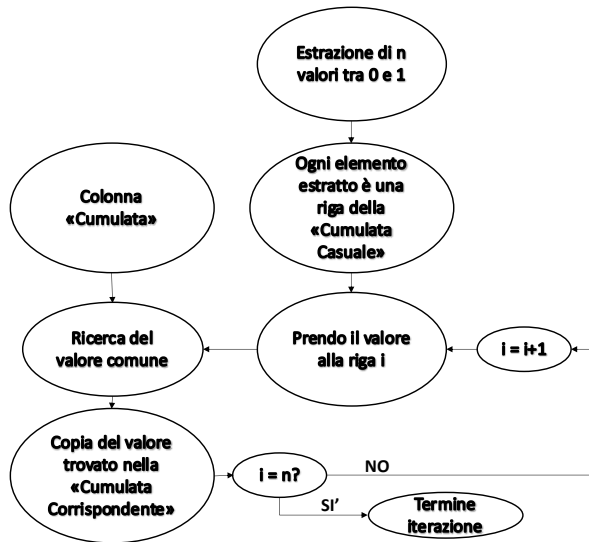


Figura 15 MC Rotture – 1



4.1.9 Previsioni Parco Circolante – 1

Ottenuta la curva mancante come in (3.11) posso riprendere i dati del parco circolante aggiungendo il profilo di rottura. Per essere meno soggetto a fluttuazioni dovute alle casualità ho estratto più volte i diversi profili delle curve, lasciando in evidenza alcuni profili tra quelli peggiori e migliori, poi ho creato la media dei profili.

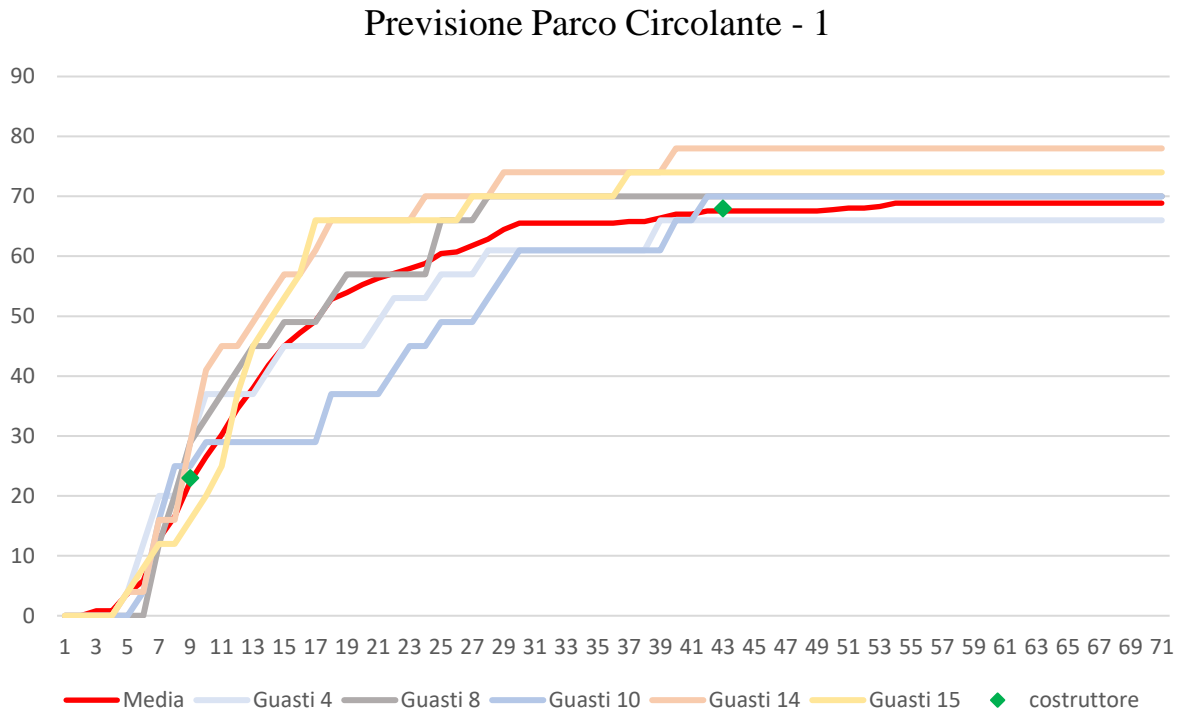


Figura 16 Previsione Parco Circolante – 1



4.2 CASO 2

4.2.1 Introduzione – 2

Questo caso è stato studiato su vetture appartenenti al segmento D (motorizzate benzina). La produzione è avvenuta in diciannove mesi. Il parco macchine è stato analizzato al ventiseiesimo mese dopo la prima auto circolata; con 194 casi di guasti riscontrati. Il costruttore ha fornito dati di guasto entro 57.000 km.

4.2.2 Profilo di Percorrenza – 2

Sono andato a studiare il profilo di percorrenza delle auto del segmento D, calcolando come visto in precedenza (3.3) la distribuzione cumulata e il database dei chilometri. La precisione del database si può valutare nella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

Percorrenza	Densità	Cumulata
2500	0,016	0,00
5000	0,170	0,02
7500	0,125	0,19
10000	0,125	0,31
12500	0,120	0,44
15000	0,120	0,56
17500	0,075	0,68
20000	0,075	0,75
22500	0,040	0,83
25000	0,040	0,87
27500	0,023	0,91
30000	0,023	0,93
32500	0,012	0,95
35000	0,012	0,96
37500	0,011	0,98
40000	0,011	0,99

Tabella 11 Profilo di Percorrenza D (Benzina) – 2



MC Profilo di Percorrenza - 2

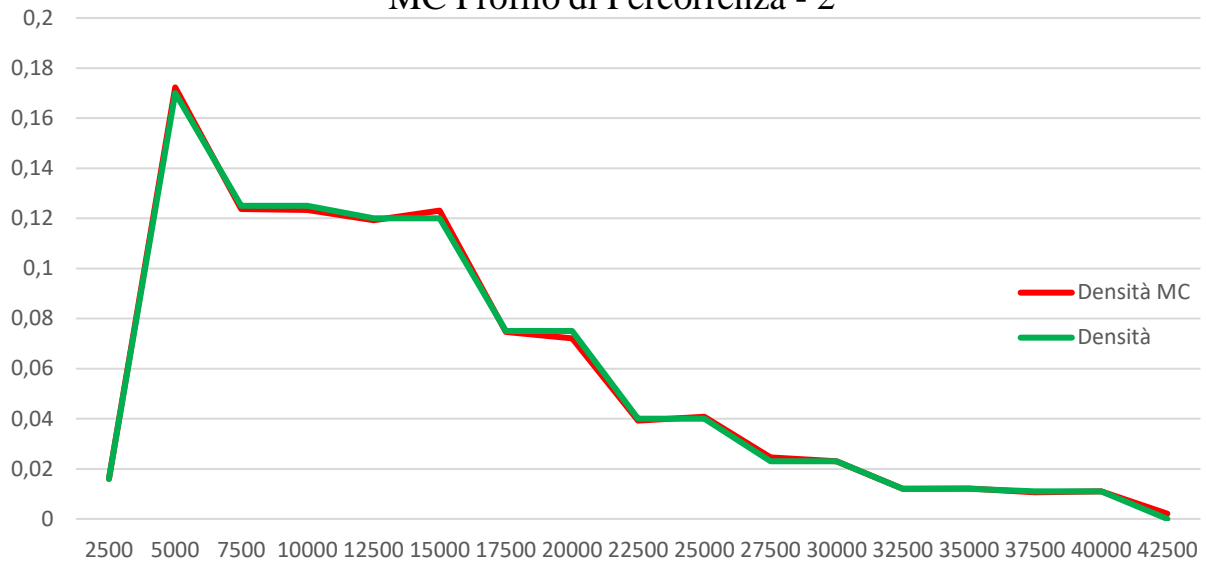


Figura 17 MC Profilo di Percorrenza - 2

4.2.3 Report Produzione - 2

Il “Report di Produzione” mostra quante macchine sono state prodotte nei diciannove mesi di produzione, ottenendo il valore complessivo di circa 42.345 auto. I dati di produzione sono stati forniti dal costruttore (Brighi F, Fragassa C, Verratti L, Vianello M, 2004).

Produzione - 2

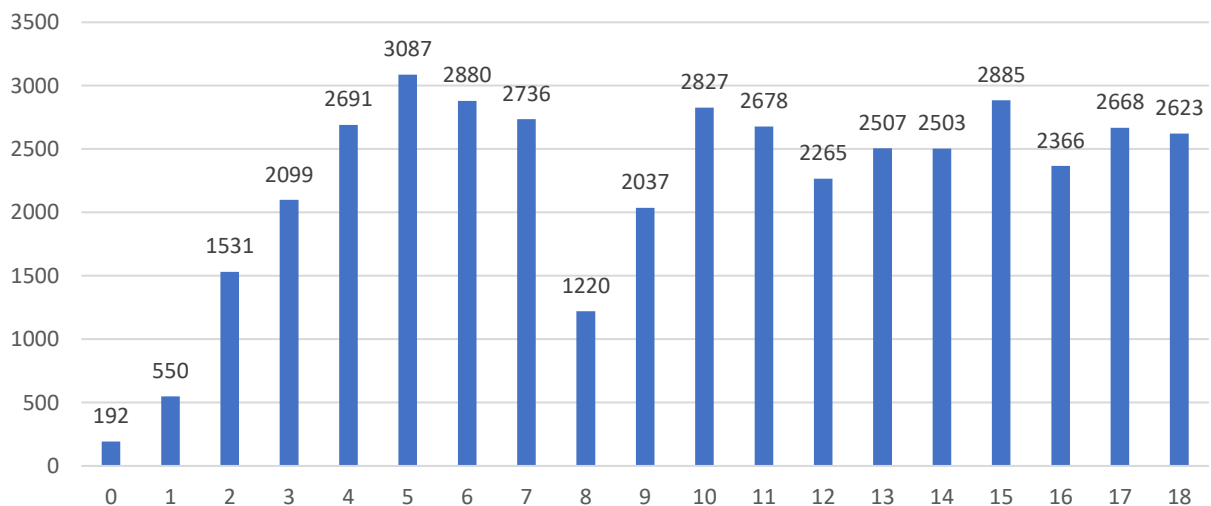


Figura 18 Produzione - 2



Non potendo utilizzare tutti i dati disponibili a causa dell'enorme mole, nel problema ho proporzionato la produzione in modo da avere la metà delle auto totali.

Valori di produzione proporzionali

Mese di Produzione	Auto Prodotte Reali	Produzione di Auto Proporzionata rispetto al totale	Produzione di Auto Ridotta Cumulata
0	192	96	96
1	550	275	371
2	1531	766	1137
3	2099	1050	2187
4	2691	1346	3533
5	3087	1544	5077
6	2880	1440	6517
7	2736	1368	7885
8	1220	610	8495
9	2037	1019	9514
10	2827	1414	10928
11	2678	1339	12267
12	2265	1133	13400
13	2507	1254	14654
14	2503	1252	15906
15	2885	1443	17349
16	2366	1183	18532
17	2668	1334	19866
18	2623	1307	21173

Tabella 12 Produzione Auto Ridotta – 2



4.2.4 Profilo di Rottamazione – 2

Prima di continuare con l'analisi introduco nel sistema la curva di rottamazione, la quale sarà fondamentale per il ciclo di vita completo della macchina. È stato seguito un profilo specifico alle auto di categoria C. I valori di densità e cumulata sono stati calcolati come in (3.4).

I risultati ottenuti sono riportati di seguito:

chilometri medi rottamazione	170403,3
deviazione standard	55015,92
probabilità a 200000km	70,47%
Devo avere 200.000 km	200000

Tabella 13 Dati Weibull di Rottamazione – 2

Chilometri	Densità Rottamazione	Cumulata Rottamazione
10000	1,03405E-07	0%
30000	2,79353E-07	1%
50000	6,6126E-07	1%
70000	1,3715E-06	3%
90000	2,49246E-06	7%
110000	3,96885E-06	14%
130000	5,53742E-06	23%
150000	6,76949E-06	36%
170000	7,2512E-06	50%
190000	6,80566E-06	64%
210000	5,59675E-06	76%
230000	4,03281E-06	86%
250000	2,54616E-06	93%
270000	1,40854E-06	96%
290000	6,82746E-07	99%
310000	2,89971E-07	99%

Tabella 14 Curva Rottamazione – 2

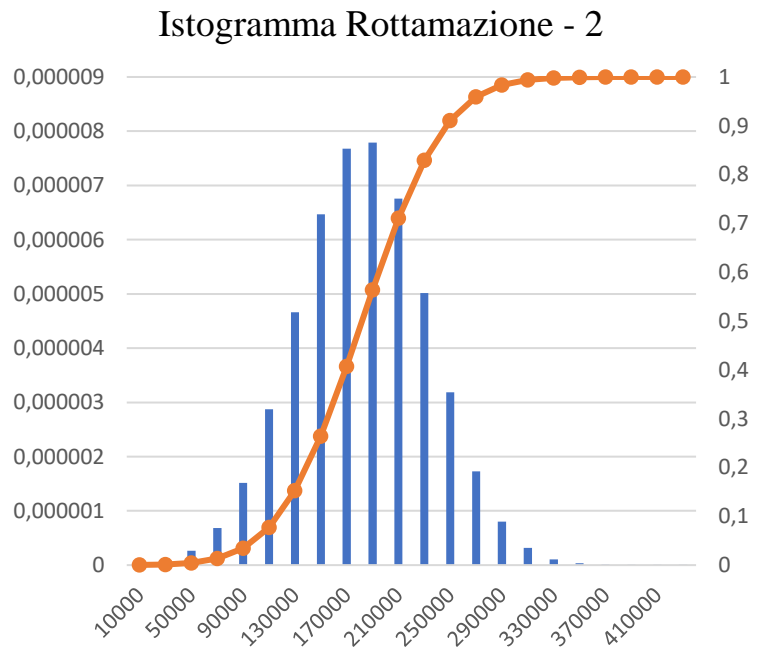


Figura 19 Istogramma – 2

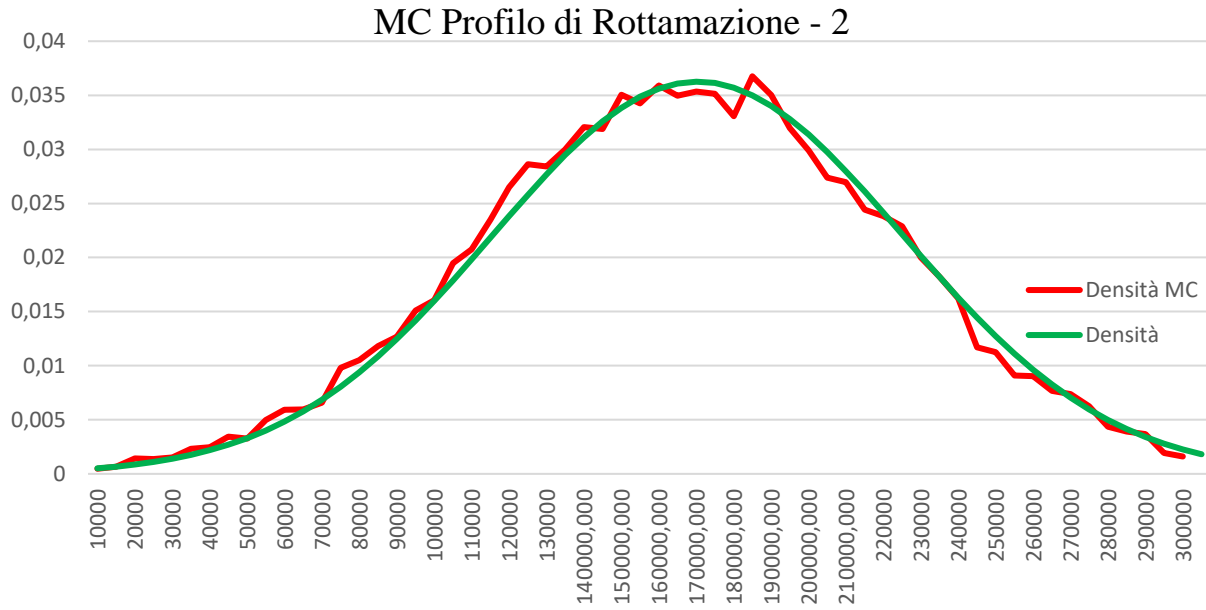


Figura 20 MC Rottamazione - 1

4.2.5 Parco Circolante - 2

Il parco circolante rappresenta il ciclo di vita delle auto prodotte. Ho 194 rotture nel sistema di 42.345. auto. Superati i 70 mesi la rottamazione inizia ad essere un fattore drastico per il parco circolante.

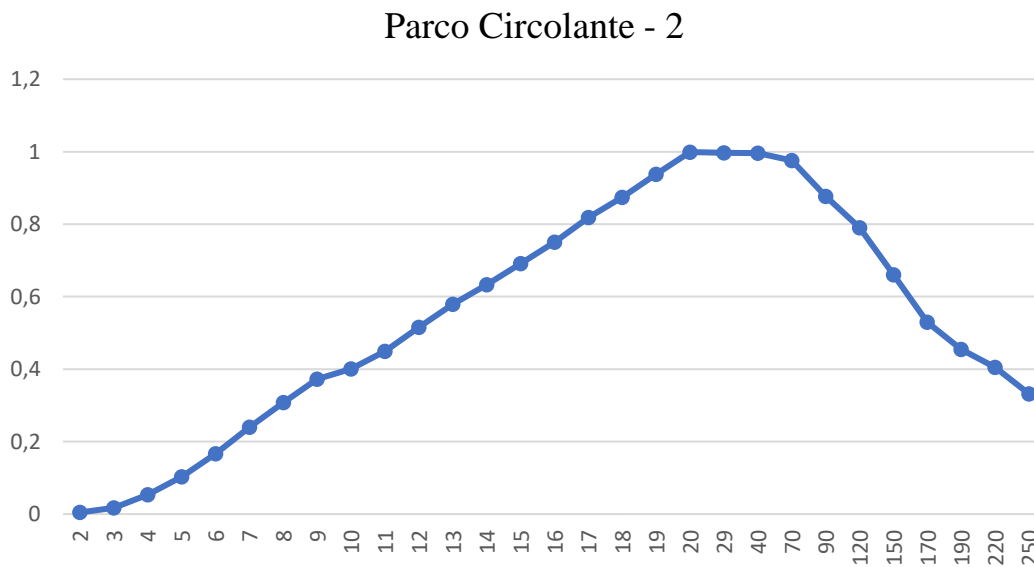


Figura 21 Parco Circolante - 2



4.2.6 Rotture – 2

I dati di rottura per tempi esatti sono i chilometri effettivi in cui l'auto si è rotta; questo caso ha delle rotture per tempi esatti, ne riporto solo un estratto, calcolato come nel caso precedente con valori casuali.

Questi sono i tempi esatti del secondo caso, estratti casualmente:

tempi esatti con numero rotture prese dalle fasce di chilometri		
targa	limite superiore	Dati rottura estrai casuale
1	5000	1385
2	5000	4470
3	5000	358
4	5000	3669
5	5000	829

Tabella 15 Rotture Tempi Esatti - 2

Rispetto alle fasce di chilometri			
limite inferiore	limite superiore	Rotture	Rotture Cumulate
0	5000	14	14
5000	10000	26	40
10000	15000	39	79
15000	20000	30	109
20000	25000	18	127
25000	30000	10	137
30000	35000	19	156
35000	40000	11	167
40000	45000	8	175
45000	50000	13	188
50000	55000	4	192
55000	60000	1	193
60000	65000	0	193
65000	70000	1	194
70000	75000	0	194

Tabella 16 Intervallo Rottura - 2



Questo grafico invece rappresenta i gruppi di rotture nell'intervallo chilometrico

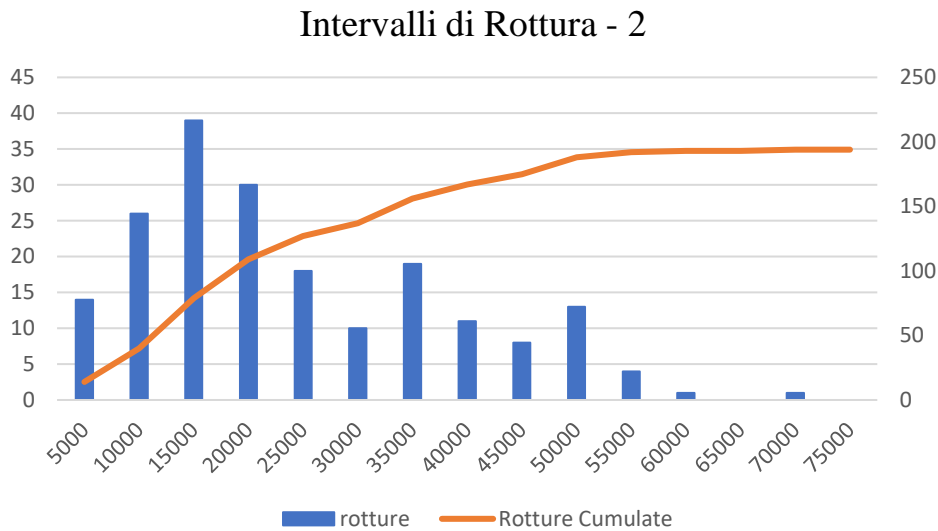


Figura 22 Intervalli di Rottura – 2

4.2.7 Dall'analisi non parametrica alla curva parametrica – 2

Qui di seguito ho eseguito l'analisi del Risk-Set del caso 2, un sistema con censure multiple.

Km Max	Valore Medio	Rotture	Censure	ni	Adjust Risk ni-ri/2	p	S	F
5000	2500	14	6498	42539	39290	0,000356325	0,999643675	0,0356%
10000	7500	26	10414	36027	30820	0,000843608	0,998800368	0,1200%
15000	12500	39	7832	25587	21671	0,00179964	0,997002887	0,29971%
20000	17500	30	5528	17716	14952	0,002006421	0,99500248	0,49975%
25000	22500	18	4294	12158	10011	0,001798022	0,993213443	0,6787%
30000	27500	10	2500	7846	6596	0,00151607	0,991707662	0,8292%
35000	32500	19	1874	5336	4399	0,004319163	0,987424314	1,2576%
40000	37500	11	1180	3443	2853	0,003855591	0,98361721	1,6383%
45000	42500	8	708	2252	1898	0,004214963	0,9794713	2,0529%
50000	47500	13	622	1536	1225	0,010612245	0,969076911	3,0923%
55000	52500	4	266	901	768	0,005208333	0,964029635	3,5970%
60000	57500	1	222	631	520	0,001923077	0,962175732	3,7824%
65000	62500	0	158	408	329	0	0,962175732	3,7824%
70000	67500	1	144	250	178	0,005617978	0,95677025	4,3230%

Tabella 17 Analisi del Risk-Set - 2



Carta di Weibull - 2

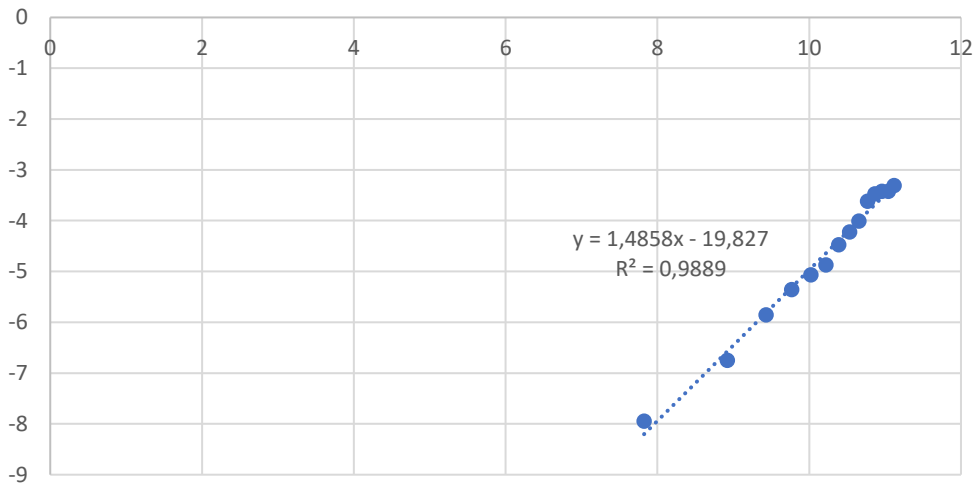


Figura 23 Carta di Weibull – 2

I Fattori di forma e scala che descrivono la Weibull:

alfa	1,485422917
beta	625237,8126

Con l'utilizzo dei parametri di forma e scala e le formule di Excel, ricavo le curve di densità di guasto¹¹(verde), affidabilità¹² (blu) e inaffidabilità¹³ (arancione)

chilometri percorsi	Densità di Rottura	Inaffidabilità	Affidabilità
0	0	0,0000%	100,0000%
2500	1,62776E-07	0,0274%	99,9726%
12500	3,54573E-07	0,2988%	99,7012%
22500	4,69687E-07	0,7140%	99,2860%

¹¹ =DISTRIB.WEIBULL(Chilometri; Alfa; Beta; 0)

¹² =DISTRIB.WEIBULL(Chilometri; Alfa; Beta; 1)

¹³ = 1 – Affidabilità = 1 - DISTRIB.WEIBULL(Chilometri; Alfa; Beta; 1)



Weibull Rotture - 2

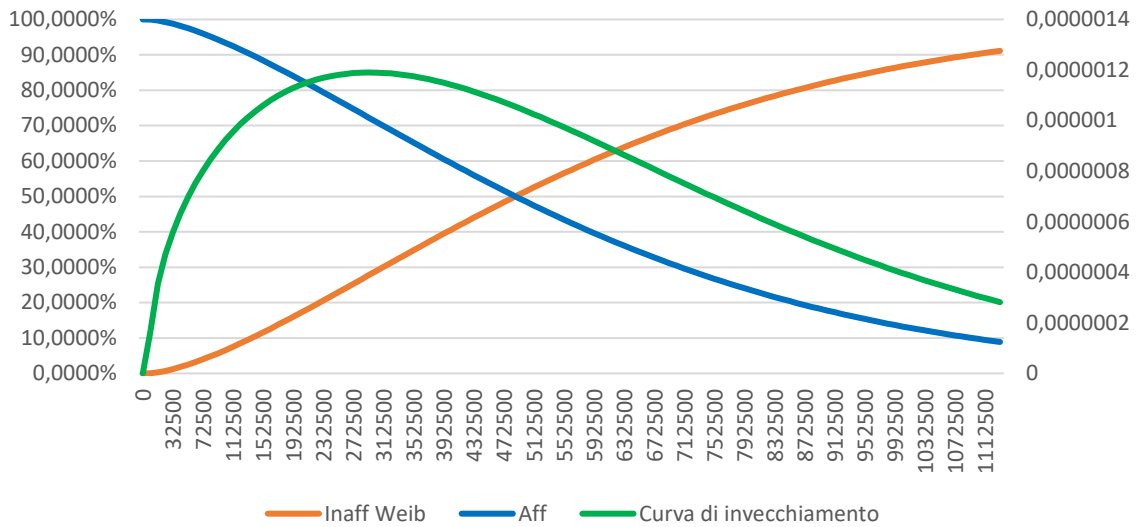


Figura 24 Weibull Rotture - 2

4.2.8 Profilo di Rottura - 2

I valori di densità e cumulata sono stati trovati al paragrafo precedente (4.2.7), posso quindi creare il Database del profilo di rottura come nel caso precedente.

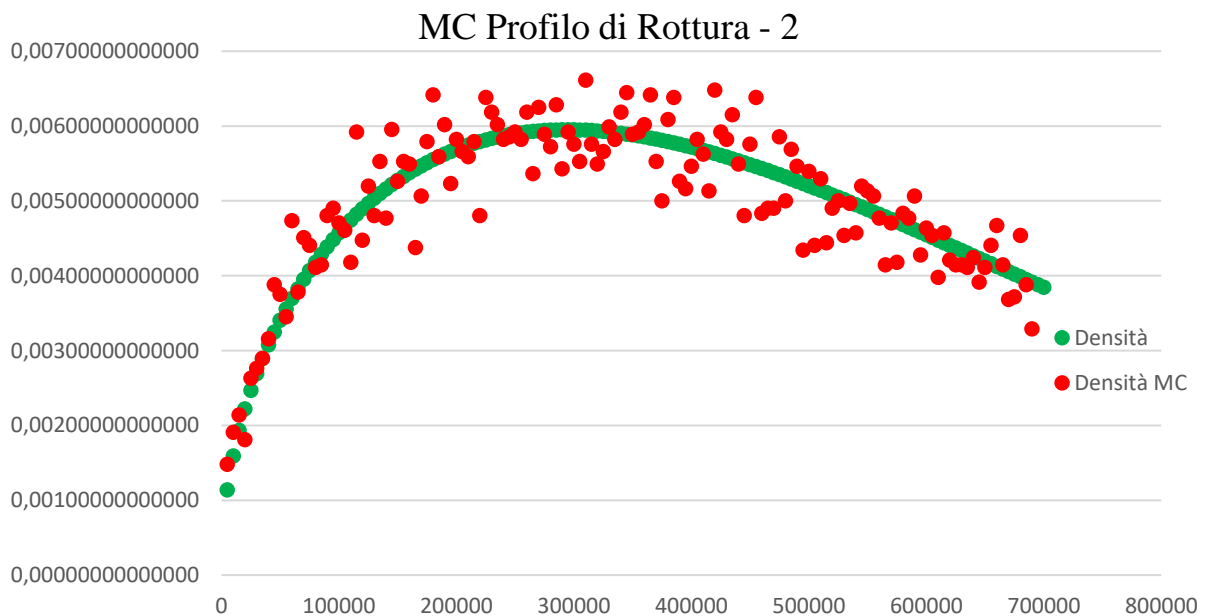


Figura 25 MC Rotture - 2



4.2.9 Previsioni Parco Circolante – 2

Ottenuta la curva mancante come in (3.11) posso riprendere i dati del parco circolante aggiungendo il profilo di rottura. Come nel caso precedente ho estratto più volte i diversi profili per avere la maggior possibilità di casualità nei risultati.

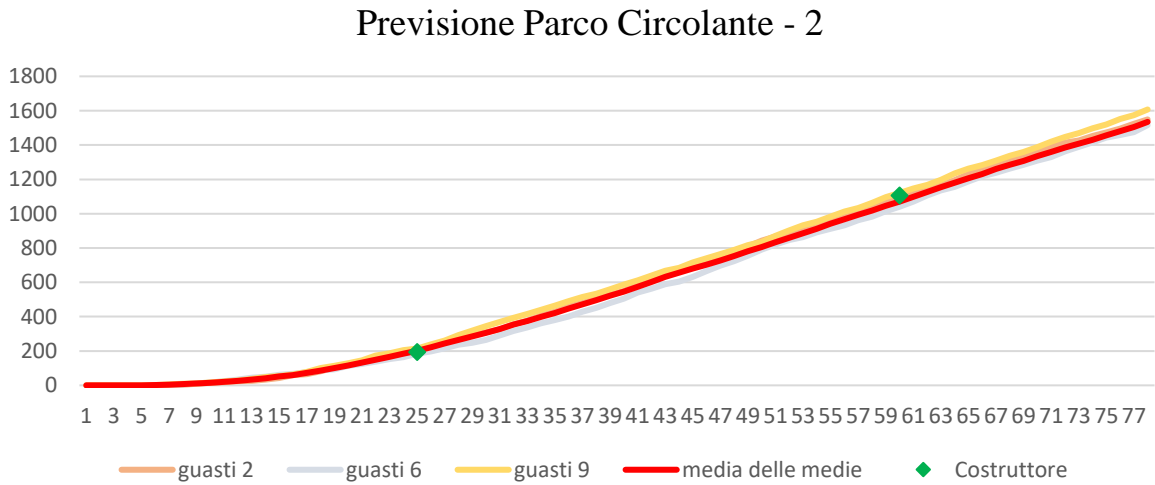


Figura 26 Previsione Parco Circolante – 2



4.3 CASO 3

4.3.1 Introduzione – 3

Questo caso è stato studiato su vetture appartenenti al segmento D (motorizzate Diesel). La produzione è avvenuta in venticinque mesi. Il parco macchine è stato analizzato al ventiseiesimo mese dopo la prima auto circolata; con 2427 casi di guasto riscontrati. Il costruttore ha fornito dati di guasto entro 175.000 km.

4.3.2 Profilo di Percorrenza – 3

Ho studiato il profilo di percorrenza delle auto del segmento D, calcolando come visto in precedenza (3.3) la distribuzione cumulata e il database dei chilometri. La precisione del database si può valutare nella Figura 27 MC Profilo di Percorrenza – 3. Riporto qui sotto un estratto della tabella dei chilometri:

Percorrenza	Densità	Cumulata
2500	0,015	0,000
5000	0,015	0,015
7500	0,024	0,030
10000	0,024	0,053
12500	0,028	0,077
15000	0,028	0,105
17500	0,042	0,134
20000	0,042	0,175
22500	0,053	0,217
25000	0,053	0,270
27500	0,053	0,324
30000	0,053	0,377
32500	0,051	0,430
35000	0,051	0,482
37500	0,041	0,533
40000	0,041	0,574

Tabella 18 Profilo di Percorrenza D (Diesel) – 3

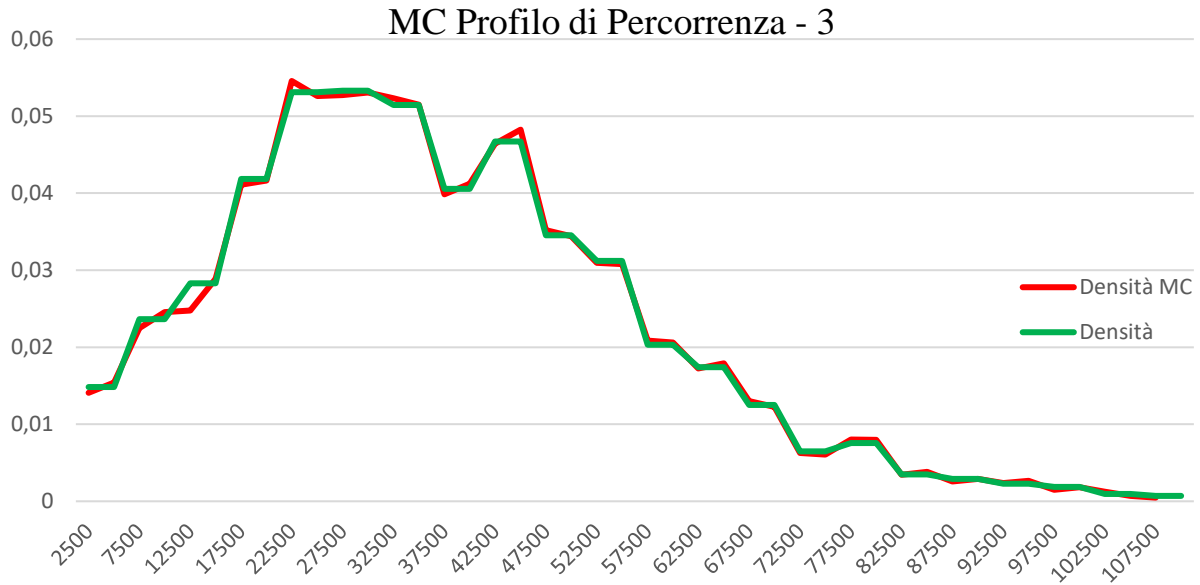


Figura 27 MC Profilo di Percorrenza – 3

4.3.3 Report Produzione – 3

Il “Report di Produzione” mostra quante macchine sono state prodotte nei venticinque mesi di produzione, ottenendo il valore complessivo di circa 27.348 auto. I dati di produzione sono stati forniti dal costruttore (Brighi F, Fragassa C, Verratti L, Vianello M, 2004).

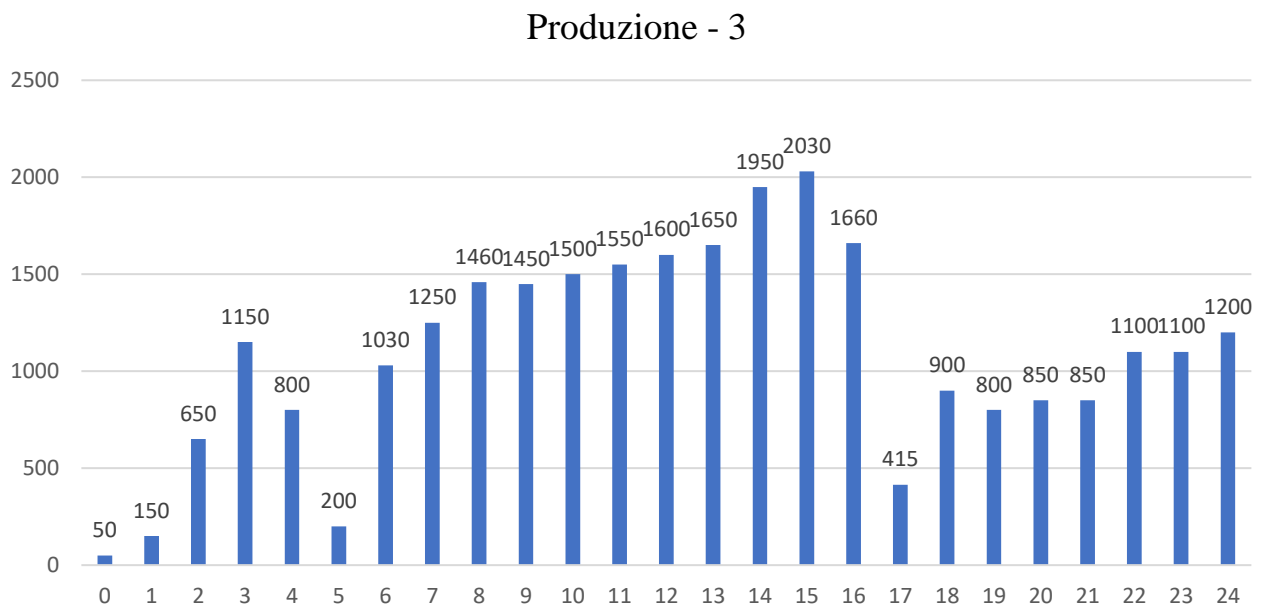


Figura 14 Produzione – 3



4.3.4 Profilo di Rottamazione – 3

Prima di continuare con l'analisi introduco nel sistema la curva di rottamazione, la quale sarà fondamentale per il ciclo di vita completo della macchina. È stato seguito un profilo specifico alle auto di categoria C. I valori di densità e cumulata sono stati calcolati come in (3.4)

I risultati ottenuti sono riportati di seguito:

chilometri medi rottamazione	181878,1
deviazione standard	50555,16
probabilità a 200000km	64,00%
Devo avere 200.000 km	200000

Tabella 19 Dati Weibull di Rottamazione – 3

Chilometri	Densità Rottamazione	Cumulata Rottamazione
10000	2,43893E-08	0%
30000	8,65639E-08	0%
50000	2,62727E-07	0%
70000	6,81874E-07	1%
90000	1,51333E-06	3%
110000	2,87206E-06	8%
130000	4,66106E-06	15%
150000	6,46853E-06	26%
170000	7,6764E-06	41%
190000	7,79005E-06	56%
210000	6,7601E-06	71%
230000	5,01645E-06	83%
250000	3,18325E-06	91%
270000	1,72733E-06	96%
290000	8,01515E-07	98%
310000	3,18037E-07	99%

Tabella 20 Curva Rottamazione – 3

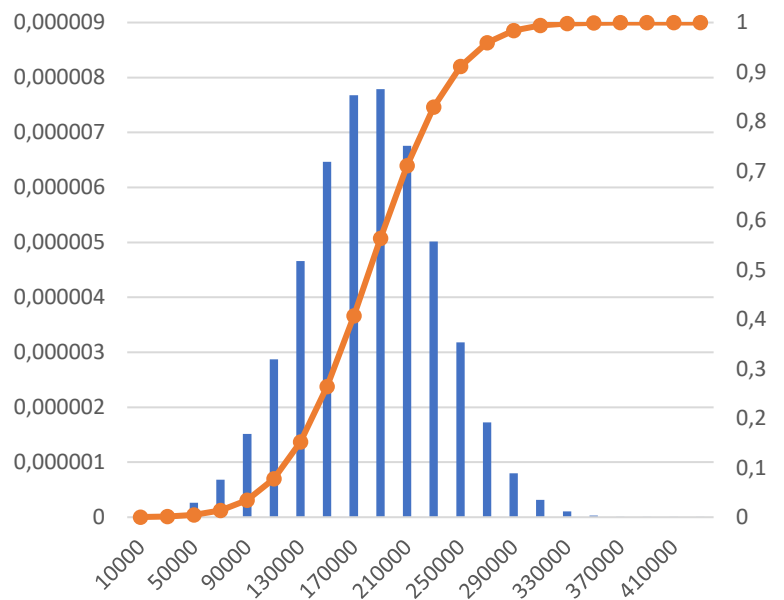


Figura 28 Istogramma – 3



MC Profilo di Rottura - 3

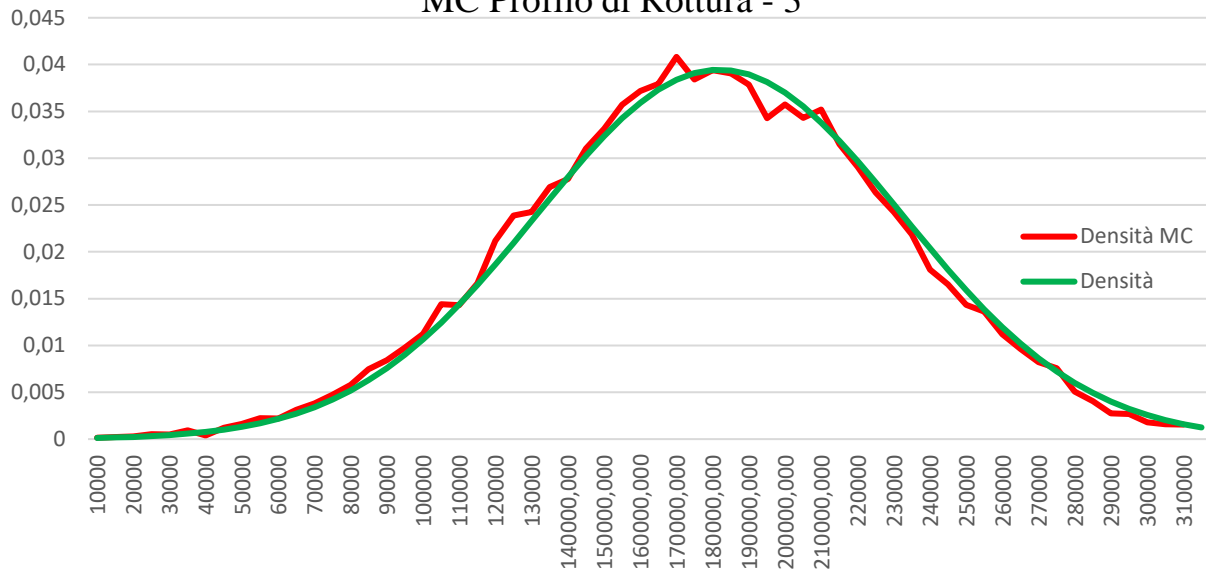


Figura 29 MC Rottamazione - 3

4.3.5 Parco Circolante - 3

Il parco circolante rappresenta il ciclo di vita delle auto prodotte. Oltre il quarantesimo mese ho una rottamazione sempre più drastica delle auto.

Parco Circolante - 3

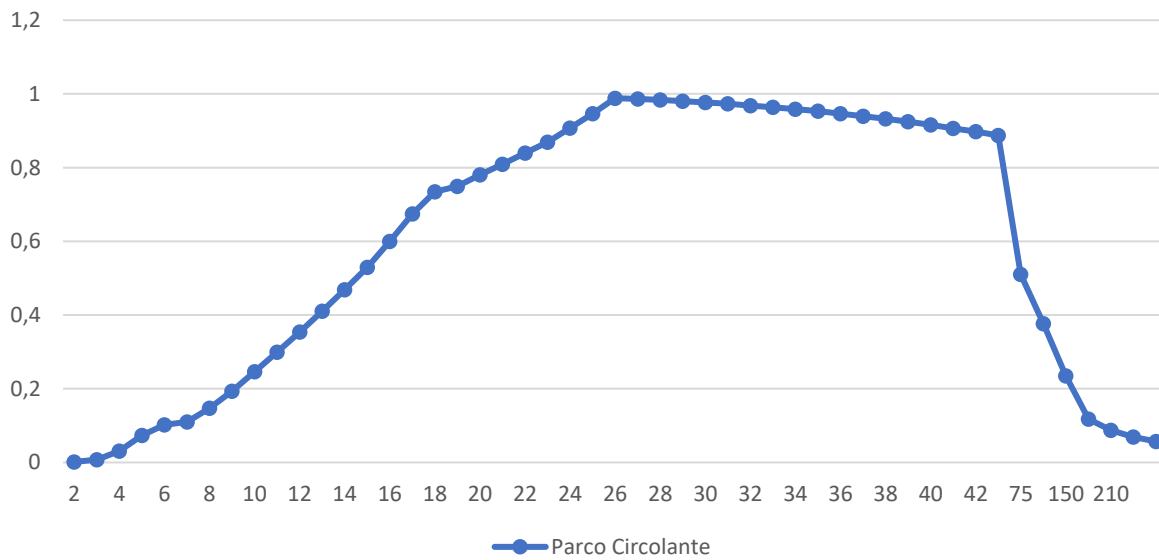


Figura 30 Parco Circolante - 3



4.3.6 Rotture – 3

Riporto i dati di rottura divisi per intervallo chilometrico:

Rispetto alle fasce di chilometri			
limite inferiore	limite superiore	Rotture	Rotture Cumulate
0	5000	78	78
5000	10000	112	190
10000	15000	141	331
15000	20000	199	530
20000	25000	259	789
25000	30000	259	1048
30000	35000	250	1298
35000	40000	199	1497
40000	45000	236	1733
45000	50000	119	1852
50000	55000	165	2017
55000	60000	97	2114
60000	65000	93	2207
65000	70000	61	2268
70000	75000	32	2300
75000	80000	39	2339
80000	85000	17	2356
85000	90000	15	2371
90000	95000	13	2384
95000	100000	10	2394
100000	105000	8	2402
105000	110000	5	2407
110000	115000	3	2410
115000	120000	3	2413
120000	125000	5	2418
125000	130000	3	2421
130000	135000	2	2423
135000	140000	2	2425
140000	145000	2	2427

Tabella 21 Intervallo Rottura – 3



Questo grafico invece rappresenta i gruppi di rotture nell'intervallo chilometrico,

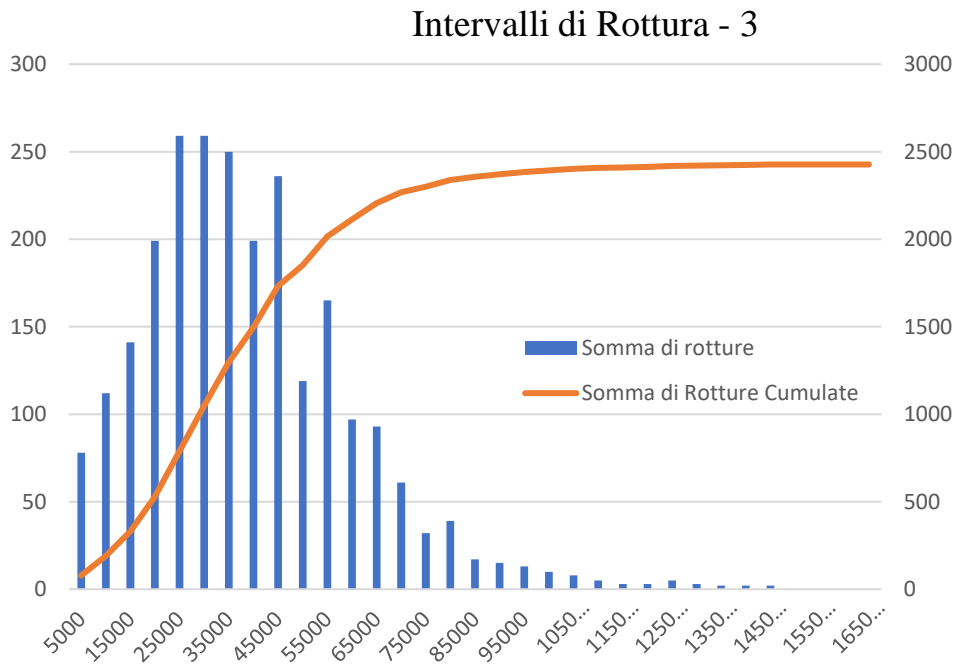


Figura 31 Intervalli di Rottura - 3



4.3.7 Dall'analisi non parametrica alla curva parametrica – 3

Qui di seguito ho eseguito l'analisi del Risk-Set del caso 3, un sistema con censure multiple.

Km Max	Valore Medio	Rotture	Censure	ni	Adjust Risk ni-ri/2	p	S	F
5000	2500	78	2069	29772	28737,5	0,002714224	0,997285776	0%
10000	7500	112	3052	27625	26099	0,004291352	0,993006072	1%
15000	12500	141	2408	24461	23257	0,006062691	0,986985783	1%
20000	17500	199	2005	21912	20909,5	0,009517205	0,977592437	2%
25000	22500	259	2190	19708	18613	0,013915006	0,963989233	4%
30000	27500	259	2060	17259	16229	0,015959086	0,948604846	5%
35000	32500	250	1674	14940	14103	0,017726725	0,931789189	7%
40000	37500	199	1724	13016	12154	0,01637321	0,916532809	8%
45000	42500	236	1402	11093	10392	0,022709777	0,895718553	10%
50000	47500	119	1578	9455	8666	0,013731826	0,883418702	12%
55000	52500	165	1101	7758	7207,5	0,02289282	0,863194757	14%
60000	57500	97	1065	6492	5959,5	0,016276533	0,849144939	15%
65000	62500	93	801	5330	4929,5	0,018866011	0,833124961	17%
70000	67500	61	684	4436	4094	0,014899853	0,820711521	18%
75000	72500	32	662	3691	3360	0,00952381	0,812895221	19%
80000	77500	39	565	2997	2714,5	0,014367287	0,801216122	20%
85000	82500	17	403	2393	2191,5	0,007757244	0,795000893	20%
90000	87500	15	325	1973	1810,5	0,008285004	0,788414308	21%
95000	92500	13	292	1633	1487	0,008742434	0,781521647	22%
100000	97500	10	261	1328	1197,5	0,008350731	0,774995371	23%
105000	102500	8	190	1057	962	0,008316008	0,768550503	23%
110000	107500	5	203	859	757,5	0,00660066	0,763477562	24%
115000	112500	3	145	651	578,5	0,005185825	0,759518301	24%
120000	117500	3	96	503	455	0,006593407	0,754510488	25%
125000	122500	5	74	404	367	0,013623978	0,744231053	26%
130000	127500	3	78	325	286	0,01048951	0,736424434	26%
135000	132500	2	54	244	217	0,00921659	0,729637112	27%
140000	137500	2	44	188	166	0,012048193	0,720846303	28%
145000	142500	2	22	142	131	0,015267176	0,709841016	29%

Tabella 22 Analisi del Risk-Set – 3



Carta di Weibull - 3

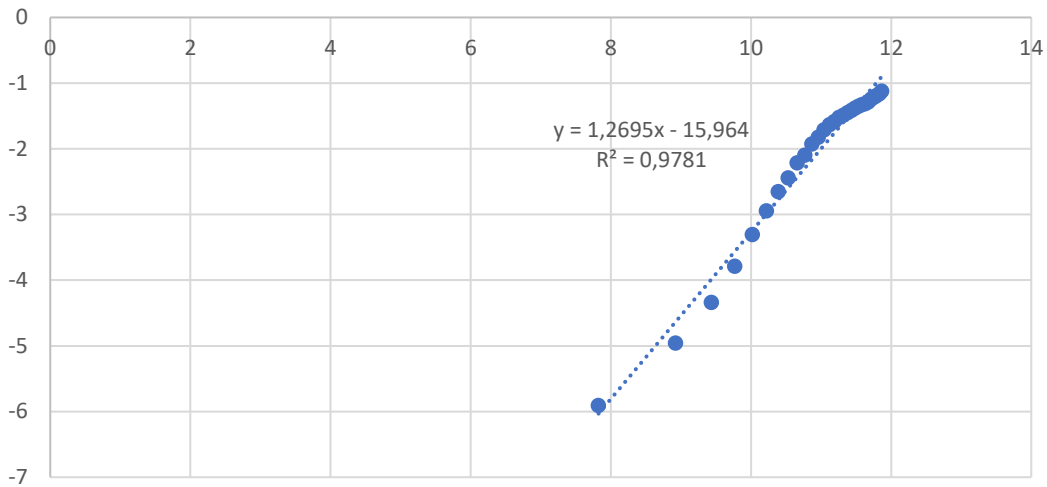


Figura 32 Carta di Weibull – 3

I Fattori di forma e scala che descrivono la Weibull:

alfa	1,279537829
beta	282215,7519

Con l'utilizzo dei parametri di forma e scala e le formule di Excel, ricavo le curve di densità di guasto¹⁴(verde), affidabilità¹⁵ (blu) e inaffidabilità¹⁶ (arancione)

chilometri percorsi	Densità di Rottura	Inaffidabilità	Affidabilità
0	0	0,0000%	100,0000%
5000	1,45995E-06	0,5721%	99,4279%
10000	1,75764E-06	1,3833%	98,6167%
15000	1,95003E-06	2,3130%	97,6870%

¹⁴ =DISTRIB.WEIBULL(Chilometri; Alfa; Beta; 0)

¹⁵ =DISTRIB.WEIBULL(Chilometri; Alfa; Beta; 1)

¹⁶ = 1 – Affidabilità = 1 - DISTRIB.WEIBULL(Chilometri; Alfa; Beta; 1)



Weibull - 3

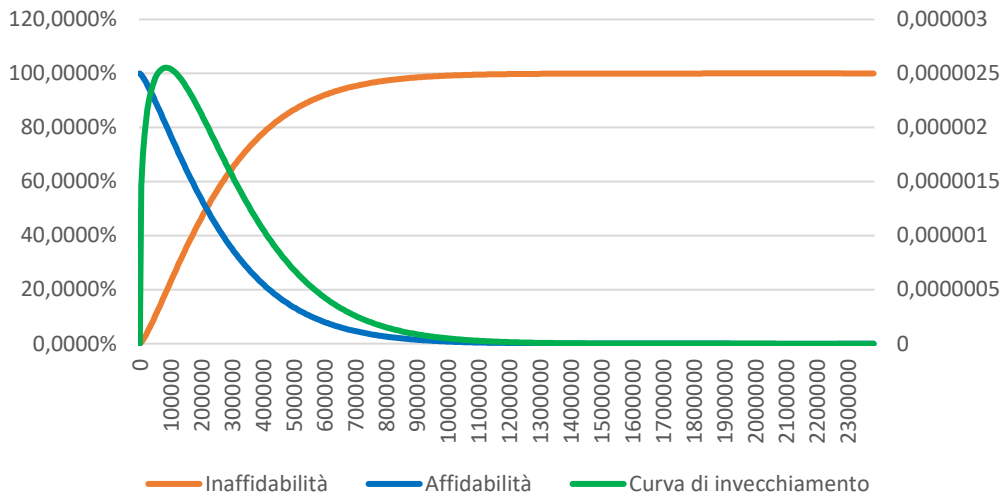


Figura 33 Weibull - 3

4.3.8 Profilo di Rottura - 3

I valori di densità e cumulata sono stati trovati al paragrafo precedente (4.3.7), posso quindi creare il Database del profilo di rottura come nel caso precedente.

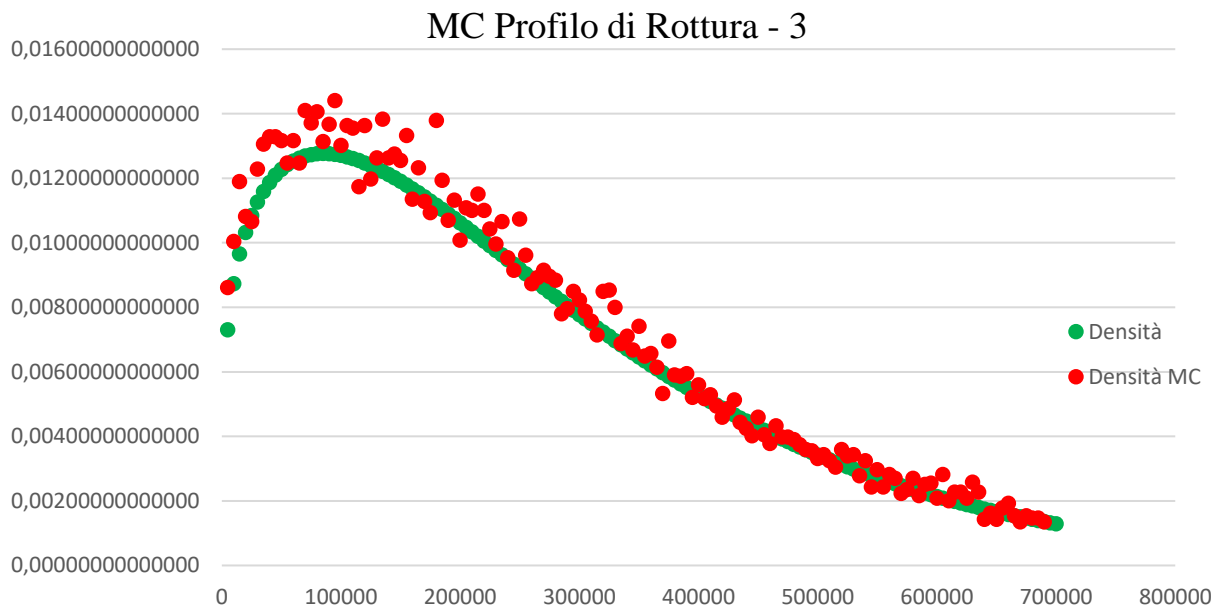


Figura 34 MC Rotture - 3



4.3.9 Previsioni Parco Circolante – 3

Ottenuta la curva mancante come in (3.11) posso riprendere i dati del parco circolante aggiungendo il profilo di rottura. Come nel caso precedente ho estratto più volte i diversi profili per avere la maggior possibilità di casualità nei risultati.

Poiché sono stati messi due casi diversi di analisi li ho fatti entrambi. Nella previsione 3.1 l'analisi è fatta al venticinquesimo mese, ottenendo come risultato il 10% dell'errore rispetto al secondo consuntivo trovato.

Previsioni Parco Circolante - 3.1

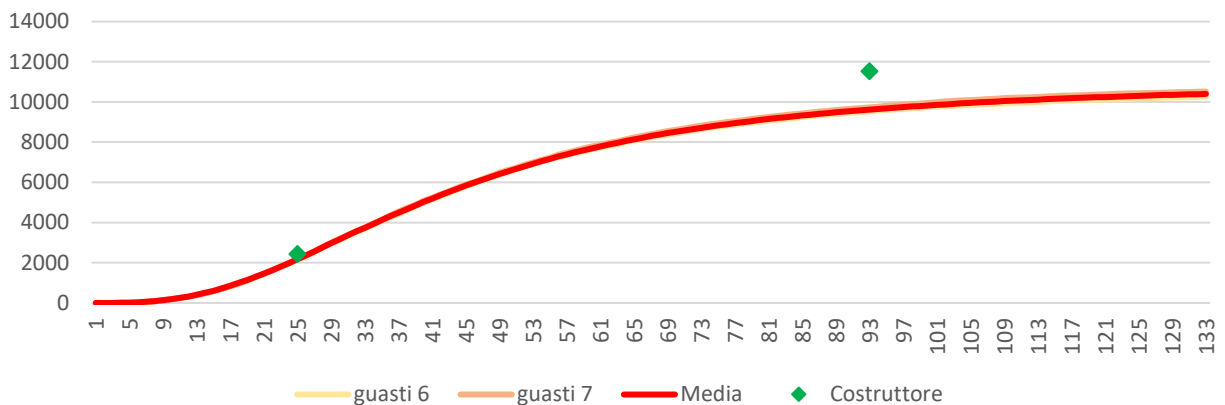


Figura 35 Previsione Parco Circolante – 3.1

Nel secondo caso l'analisi è stata fatta al quarantesimo mese, ma il consuntivo della previsione risulta essere molto inferiore.

Previsione Parco Circolante - 3.2

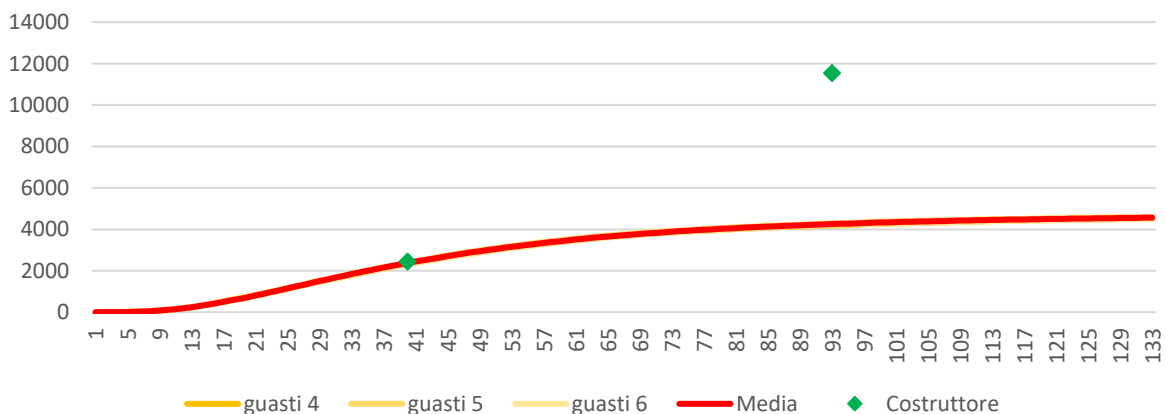


Figura 36 Previsione Parco Circolante – 3.2



5 CONCLUSIONI

Come si può evincere dai grafici conclusivi, i valori di rottura stimati sono nell'intorno di quelli forniti dal costruttore. Nei primi due casi i risultati sono molto vicini a quelli richiesti, nel terzo caso la previsione di rottura risulta molto diversa.



6 REFERENZE

1. Brighi F, Fragassa C, Verratti L, Vianello M. (2004). *How The Phenomenon of Vehicles Dismantling Influences Reliability Predictions in the Automotive Field*. Porretta Terme, Italia.
2. IBM. (s.d.). Tratto da IBM: <https://www.ibm.com/it-it/cloud/learn/monte-carlo-simulation>
3. Pagnaloni, M. (2006). *Tesi sull'analisi parametrica*.
4. Rinne, H. (2008). *The Weibull Distribution*.



7 RINGRAZIAMENTI

Come un ciclo che si chiude vorrei ringraziare tutte le persone che mi sono state accanto in questo progetto di vita. Prima di tutto il mio professore per la pazienza che ha avuto, per la sua disponibilità infinita e per l'aiuto che mi ha sempre dato. Vorrei ringraziare la mia famiglia perchè mi è stata vicina in ogni momento, mi ha visto crescere e diventare chi sono. Ringrazio i miei colleghi di lavoro, perchè ogni giorno mi danno la spinta e la forza per continuare a studiare. Ringrazio i miei amici, quelli che non vedo da un po' perchè troppo lontani e quelli che invece sono qui vicino a me, li ringrazio perchè anche nei momenti di difficoltà sono pronti a sostenermi ad ogni ora del giorno e della notte. Infine, vorrei ringraziare la mia ragazza per aver sopportato decine di serate spese a ripetere formule e schemi, ad ascoltare pianti e gioie, vittorie e sconfitte, ma la vita è fatta anche di questo: tutti noi cadiamo e ci facciamo male ogni giorno, ma dobbiamo alzare la testa e tornare a sognare.

Grazie.



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA