

Affidabilità e sicurezza dei sistemi software complessi

Indice

1	Capacity Test	2
1.1	Introduzione	2
1.2	Configurazione scenario	2
1.3	Workload Characterization	3
1.3.1	Configurazione Server	3
1.3.2	Configurazione JMeter	4
1.4	Risultati	5
1.5	Considerazioni finali	7
2	Experimental Design and Analysis	8
2.1	Configurazione dell'esperimento	8
2.2	Design per <i>Elapsed Time</i>	10
2.3	Design per <i>Throughput</i>	14
3	FFDA	18
3.1	Introduzione	18
3.2	Datacenter Mercury	18
3.2.1	Reliability Modeling	18
3.2.2	Analisi livello nodo	23
3.2.3	Analisi livello categoria	26
3.3	Datacenter BlueGene/L	29
3.3.1	Reliability Modeling	29
3.3.2	Analisi livello nodo	32
3.3.3	Analisi livello categoria	36
3.3.4	Confronto reliability Mercury - BG/L	38

1 Capacity Test

1.1 Introduzione

La prima parte dell'homework è diviso in 2 parti, ciascuna con un suo obiettivo.

La prima parte ha come obiettivo quello di effettuare la low level characterization di un Web Server e, a partire da questa, generare un **workload sintetico** che possa descrivere al meglio le caratteristiche del Server.

La seconda parte dell'homework consiste nell'effettuare un **Capacity Test** del Web Server. Vengono effettuate diverse tipologie di richieste al Web Server, sia per dimensione della risorsa richiesta, sia per intensità di richieste (numero di richieste al minuto), per poter così stimare la *knee capacity* e la *usable capacity*, al variare dei parametri.

L'ultima parte, infine, consiste nell'applicazione del **Design Of Experiments**, per poter generare così una serie di esperimenti e determinare quali fattori contribuiscano maggiormente alla risposta del sistema.

1.2 Configurazione scenario

Per effettuare le varie misurazioni è stata usata la seguente configurazione:

Client

- Processore: Intel® i7-8850H
- Numero di Core: 6 Core
- Scheda grafica: Radeon Pro 555X 4 GB
- RAM: 16 Gb LPDDR4 2400 MHz

È stato utilizzato il software JMeter per la generazione del workload (richieste al Server). Il tool è stato configurato in modo da simulare 30 utenti che inviano un numero di richieste al server variabile che vanno dalle 100 alle 1000.

Server

Il Web Server è installato su una macchina virtuale creata ad-hoc tramite la versione di prova del software Parallels disponibile per il sistema operativo MacOS, configurata con le seguenti caratteristiche:

- Numero di Core: 4 Core
- RAM: 4 Gb
- Sistema Operativo: Ubuntu 22.04
- Scheda grafica: VM Graphic Adapter

Il Web Server utilizzato è Apache HTTP Server, con la configurazione di default.

1.3 Workload Characterization

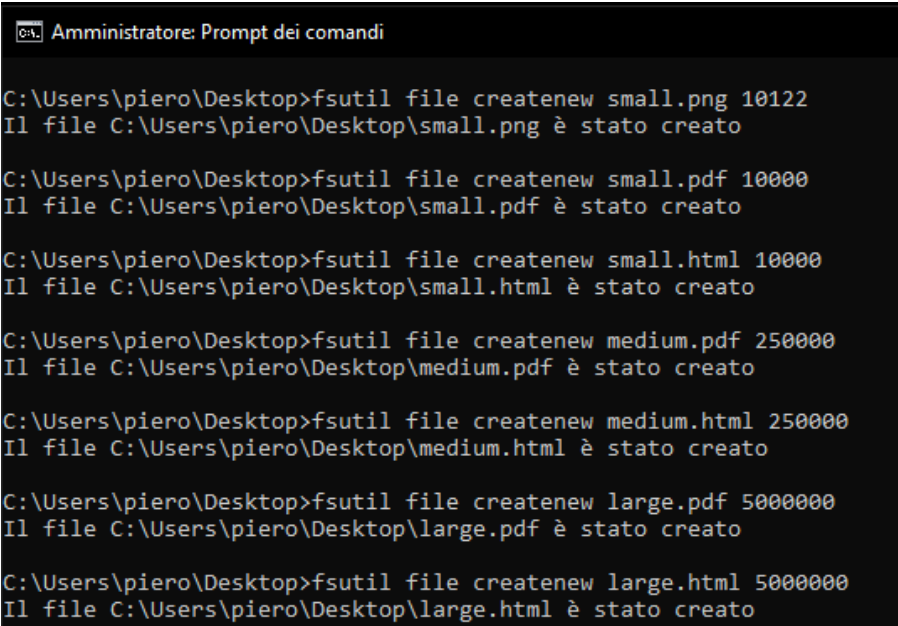
1.3.1 Configurazione Server

Per poter testare il Server, si è deciso di simulare un scenario reale in cui un discreto numero di utenti richiedono risorse al suddetto, che consistono in immagini png a risoluzioni differenti, file PDF, e pagine web in HTML.

Di conseguenza, le dimensioni delle risorse presenti e richieste al Server sono¹:

- small.png: 10 kB
- small.pdf: 10 kB
- small.html: 10 kB
- medium.png: 236 kB
- medium.pdf: 244 kB
- medium.html: 244 kB
- large.png: 4,8 MB
- large.pdf: 4,8 MB
- large.html: 4,8 MB

I file utilizzati per le prove di workload sono *dummy files* ovvero dei file binari vuoti creati ad-hoc con un tool open source su Windows che permettere la creazione di file dando come input la dimensione (in byte) e l'estensione.



```
Amministratore: Prompt dei comandi

C:\Users\piro\Desktop>fsutil file createnew small.png 10122
Il file C:\Users\piro\Desktop\small.png è stato creato

C:\Users\piro\Desktop>fsutil file createnew small.pdf 10000
Il file C:\Users\piro\Desktop\small.pdf è stato creato

C:\Users\piro\Desktop>fsutil file createnew small.html 10000
Il file C:\Users\piro\Desktop\small.html è stato creato

C:\Users\piro\Desktop>fsutil file createnew medium.pdf 250000
Il file C:\Users\piro\Desktop\medium.pdf è stato creato

C:\Users\piro\Desktop>fsutil file createnew medium.html 250000
Il file C:\Users\piro\Desktop\medium.html è stato creato

C:\Users\piro\Desktop>fsutil file createnew large.pdf 5000000
Il file C:\Users\piro\Desktop\large.pdf è stato creato

C:\Users\piro\Desktop>fsutil file createnew large.html 5000000
Il file C:\Users\piro\Desktop\large.html è stato creato
```

Figura 1.1: Creazione dei file

¹disponibili alla pagine https://drive.google.com/drive/folders/1KBy4hcaNzc_Z23InvBxS-7g_qRJMjhbF?usp=sharing

1.3.2 Configurazione JMeter

Come conseguenza delle scelte fatte in termini di scenario da simulare, si è deciso di creare 1 Thread Group, composto da 30 Thread (utenti) che inviano richieste per 300 secondi (5 minuti) con un tasso totale (Constant Throughput Timer) di 3000 richieste/minuto. In entrambi i casi il tempo di RampUp è stato posto nullo ed è stato inserito un Random Controller, in modo da generare casualmente la sequenza di richieste da fare. Sono stati utilizzati il Summary report e il Simple Data Writer per collezionare e salvare i risultati ottenuti dalle varie simulazioni. In figura 1.2 è riportato il test plan utilizzato.

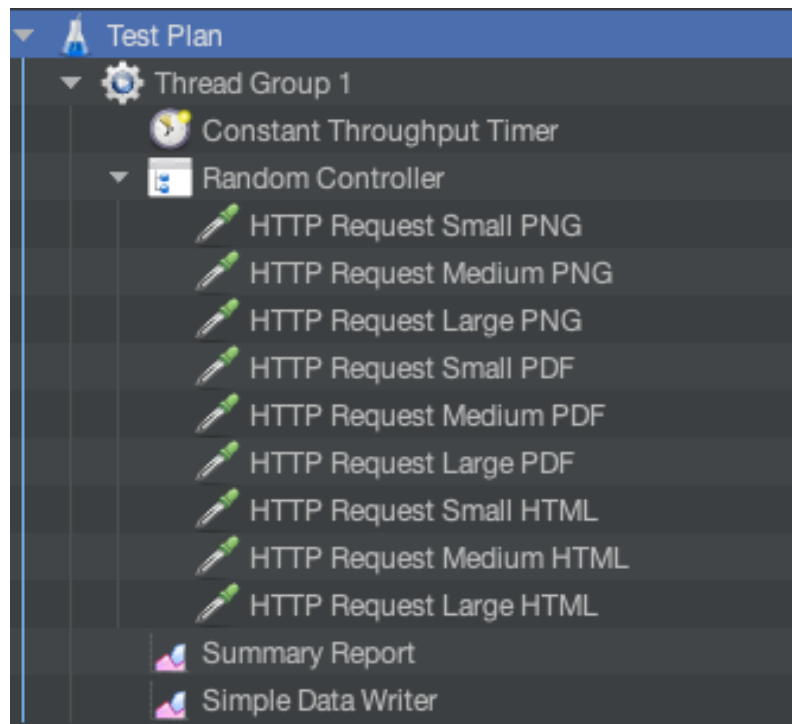


Figura 1.2: Test Plan

Figura 1.3: Configurazione JMeter per la Workload Characterization

1.4 Risultati

L'obiettivo di questo elaborato consiste nella valutazione di alcuni parametri al variare del carico di richieste. Tali parametri corrispondono al **throughput**, ovvero il numero di richieste al secondo, l'**elapsed time**, che consiste nel tempo trascorso dall'invio della richiesta alla ricezione della risposta, e la **potenza**, che equivale al rapporto tra il throughput e la mediana dei valori identificati come elapsed time per tutte le richieste eseguite in un determinato test. La variazione del carico corrisponde alla variazione del CTT. Inoltre, per ogni valore di CTT sono stati eseguiti tre ripetizioni, in modo da eliminare eventuali outliers. In seguito a ciascuna ripetizione sono stati calcolati i valori riportati di seguito, dopodiché, per ogni carico sono state calcolate le medie di tali valori.

	100		
	TEST1	TEST2	TEST3
ELAPSED	33.6549	34.9227	37.7048
THR	50.0765	50.0800	50.0025
STDEV ELAPSED	36.2689	37.8460	40.4435
STDEV/MEAN (ELAPSED)	1.0777	1.0837	1.0726
MEDIAN	14.0000	14.0000	15.0000
POWER	1487.9379	1434.0245	1326.1591

Figura 1.4: Valori per CTT pari a 100.

In particolare, dai valori ottenuti si è osservato che essendo il rapporto tra la media e la deviazione standard maggiore di 0.5, si è optato per l'utilizzo di una metrica basata sulla mediana non sulla media.

Riproducendo il test nelle diverse configurazioni di CTT si ottengono i seguenti grafici della potenza, elapsed time e throughput.

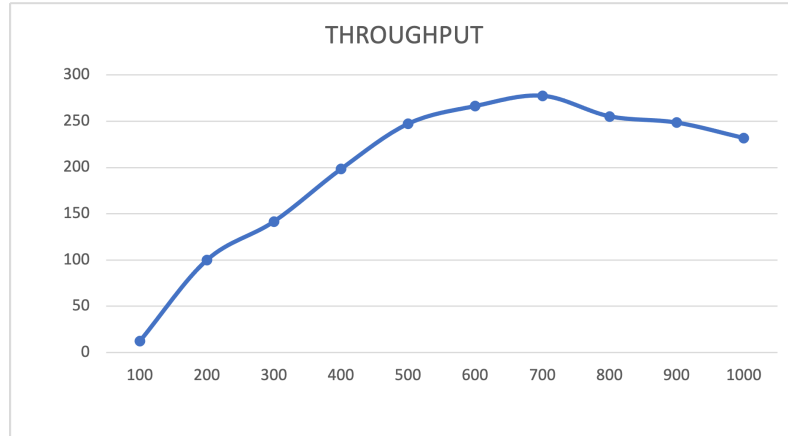


Figura 1.5: Throughput al variare del CTT

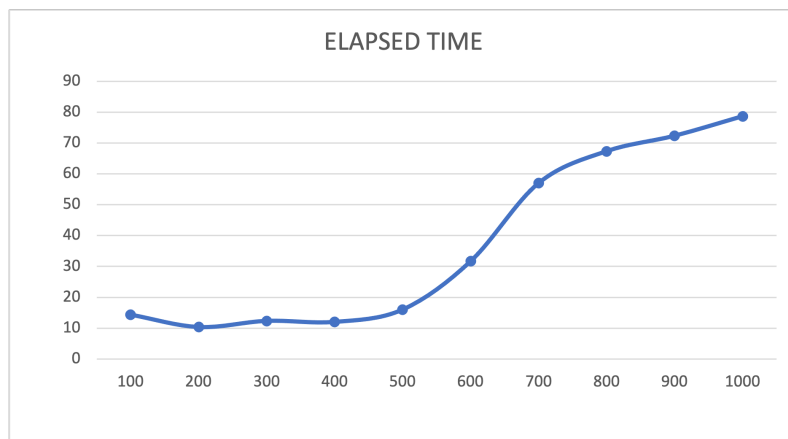


Figura 1.6: Elapsed Time al variare del CTT

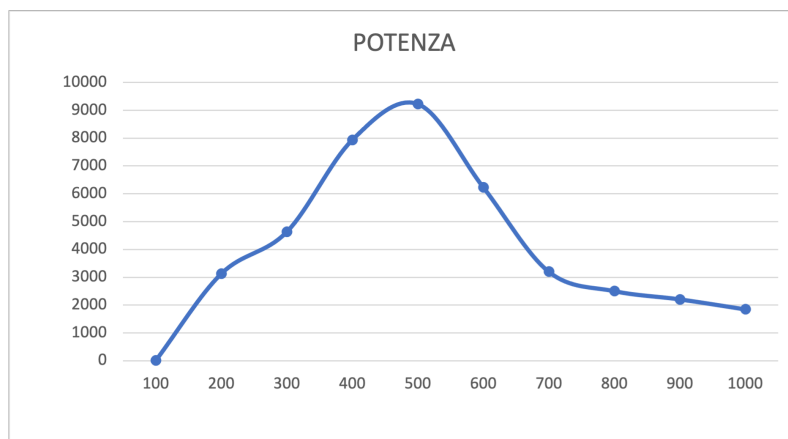


Figura 1.7: Potenza al variare del CTT

1.5 Considerazioni finali

I grafici ottenuti sono stati utilizzati per cercare i punti di **Knee Capacity** e di **Usable Capacity**, i quali rappresentano rispettivamente il punto di lavoro ideale per il server, al quale si ha un throughput abbastanza elevato con tempi di attesa ridotti, e il punto di lavoro al quale si ha un throughput massimo, ma con elapsed time maggiore. Per lavorare al meglio, sarebbe opportuno mantenere un carico quanto più vicino possibile al punto di knee, in modo da avere prestazioni elevate ed un buon margine dal punto di usable, oltre il quale le prestazioni iniziano a calare ed il server potrebbe non riuscire a gestire le richieste.

Nel caso in esame, il punto di usable è facilmente visibile nel grafico dedicato all'andamento del throughput, poiché corrisponde al punto in cui il numero di richieste al minuto è massimo. Tale punto viene individuato, quindi, ad un valore di CTT pari a **700**.

Questa scelta è confermata dall'andamento dell'elapsed time, il quale in corrispondenza del valore di CTT scelto, inizia ad aumentare in maniera considerevole.

Per quanto riguarda il punto di knee, invece, analizzando l'andamento del throughput non sono visibili variazioni di pendenza, ma è possibile estrarre tale informazione dagli altri due grafici. Infatti, nel grafico della potenza viene riscontrato un valore di picco massimo, con un CTT pari a 500. Verificando tale valore nel grafico dell'elapsed time, si nota un incremento della pendenza che conferma l'ipotesi del punto di knee corrispondente a **500** richieste al minuto.

2 Experimental Design and Analysis

L'esperimento è un processo di valutazione ed osservazione delle variabili di output del sistema al variare dell'input fornito. Lo scopo principale è identificare le motivazioni del cambiamento osservato, individuando quali sono i fattori *controllabili* che incidono maggiormente sull'uscita e che, dunque, necessitano di una maggior precisione nella scelta del valore da assegnarvi. L'esperimento viene ripetuto più volte per eliminare valori *outliers* - valori anomali, chiaramente distanti da altre osservazioni disponibili - che potrebbero pregiudicare i risultati ottenuti nei test.

2.1 Configurazione dell'esperimento

Il sistema utilizzato in questo secondo esperimento risulta essere lo stesso del *Capacity Test*, già menzionato nel capitolo precedente, con alcune modifiche: sono state utilizzate solo due tipi di risorse - small.pdf e large.pdf - ed effettuata una sola richiesta HTTP per risorsa. Inoltre Constant Throughput Timer è stato settato al 25% e 75% del CTT individuato al punto di Usable - che risultava avere valore pari a 700 richieste/min -, calcolato nel capitolo precedente.

Riassumendo otteniamo le seguenti configurazioni:

- CTT: 175 | Risorsa: small.pdf - 10kB
- CTT: 175 | Risorsa: large.pdf - 4.8MB
- CTT: 525 | Risorsa: small.pdf - 10kB
- CTT: 525 | Risorsa: large.pdf - 4.8MB

Come nel caso precedente, il test plan viene eseguito per trecento secondi (cinque minuti) ed ogni simulazione ripetuta tre volte. Ne risulta che la tipologia di esperimento proposto è $2^2 * 3$, dove sono presenti 2 fattori, CTT e dimensione della risorsa, due livelli per fattore e tre ripetizioni. Il modello che descrive questa tipologia di esperimento è il seguente:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_j + \beta_i + \gamma_{ij} + e_{ijk}$$

dove:

- y_{ijk} corrisponde all'osservazione della k -esima ripetizione, con il fattore CTT al livello i , mentre il fattore che rappresenta la dimensione delle risorse, si trova al livello j ;
- μ corrisponde alla media;
- α_j corrisponde all'effetto del fattore A a livello j ;
- β_i corrisponde all'effetto del fattore B a livello i ;
- γ_{ij} identifica l'effetto dell'interazione tra il fattore A al livello j e il fattore B al livello i ;
- e_{ijk} rappresenta l'errore sperimentale;

Effettuati i test si ottengono i seguenti valori:

	175(25% USABLE)					
RISORSA	Risorsa piccola(small.pdf)			Risorsa grande(large.pdf)		
TEST	TEST 1	TEST 2	TEST 3	TEST 1	TEST 2	TEST 3
Media elapsed (s)	0,00175	0,00152	0,00122	0,30696	0,29817	0,29194
Throughput (req/min)	75,71894	87,56012	87,55837	78,69106	78,52418	78,54575
Deviazione standard (s)	0,00105	0,00056	0,00053	0,19019	0,19347	0,21603
Dev.std/media	0,59958	0,36945	0,43594	0,61960	0,64888	0,73998
Mediana Elaps (s)	0,00200	0,00100	0,00100	0,34700	0,34700	0,27200
Potenza	43164,13688	57766,04464	72018,77585	256,35540	263,35667	269,04384

(a) Valori ottenuti con CTT pari a 175.

	525(75% USABLE)					
RISORSA	Risorsa piccola(small.pdf)			Risorsa grande(large.pdf)		
TEST	TEST 1	TEST 2	TEST 3	TEST 1	TEST 2	TEST 3
Media elapsed (s)	0,00180	0,00179	0,00154	0,41934	0,37865	0,38652
Throughput (req/min)	174,42174	263,24738	263,24475	71,49398	79,17263	77,57346
Deviazione standard (s)	0,00103	0,00114	0,00097	0,33518	0,30671	0,29926
Dev.std/media	0,57086	0,63746	0,63288	0,79931	0,81001	0,77425
Mediana Elaps (s)	0,00200	0,00200	0,00100	0,36000	0,33500	0,34300
Potenza	96847,81648	146696,49473	171494,38517	170,49252	209,09075	200,69974

(b) Valori ottenuti con CTT pari a 525.

2.2 Design per *Elapsed Time*

Si prenda in considerazione l'osservazione della variabile *tempo di Elapsed*, ovvero il tempo che intercorre tra l'invio della richiesta e la ricezione della risposta elaborata dal server. I valori, espressi in **secondi**, risultano essere i seguenti:

Average Elapsed Time		
CTT	SMALL	LARGE
175	$y_{111} = 0,002$	$y_{121} = 0,347$
	$y_{112} = 0,001$	$y_{122} = 0,347$
	$y_{113} = 0,001$	$y_{123} = 0,272$
525	$y_{211} = 0,002$	$y_{221} = 0,360$
	$y_{212} = 0,002$	$y_{222} = 0,335$
	$y_{213} = 0,001$	$y_{223} = 0,343$

Calcolo delle medie

A partire dai valori delle simulazioni si è proceduto con il calcolo delle medie:

$$\mu = \frac{1}{12} \sum_{i,j=1}^2 \sum_{k=1}^3 y_{ijk} = 0,16775$$

con *i* indice CTT, *j* indice dimensione della risorsa e *k* indice della ripetizione.

Successivamente, è stata calcolata la media dapprima in funzione del CTT e poi in funzione della dimensione della risorsa richiesta.

$$\text{CTT} = 175 \rightarrow \bar{y}_{1..} = \frac{1}{6} \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^3 y_{1jk} = 0,16167$$

$$\text{CTT} = 525 \rightarrow \bar{y}_{2..} = \frac{1}{6} \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^3 y_{2jk} = 0,17383$$

$$\text{Risorsa: small} \rightarrow \bar{y}_{.1.} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^3 y_{i1k} = 0,00150$$

$$\text{Risorsa: large} \rightarrow \bar{y}_{.2.} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^3 y_{i2k} = 0,33400$$

$$\text{CTT} = 175 \mid \text{Risorsa: small} \rightarrow \bar{y}_{11.} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 y_{11k} = 0,00133$$

$$\text{CTT} = 175 \mid \text{Risorsa: large} \rightarrow \bar{y}_{12.} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 y_{12k} = 0,32200$$

$$\text{CTT} = 525 \mid \text{Risorsa: small} \rightarrow \bar{y}_{21.} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 y_{21k} = 0,00167$$

$$\text{CTT} = 525 \mid \text{Risorsa: large} \rightarrow \bar{y}_{22.} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 y_{22k} = 0,340$$

Si è proseguito con il calcolo degli effetti.

Calcolo degli effetti

$$\alpha_1 = \bar{y}_{1.} - \mu = -0,16625$$

$$\alpha_2 = \bar{y}_{2.} - \mu = 0,16625$$

$$\beta_1 = \bar{y}_{1..} - \mu = -0,00608$$

$$\beta_2 = \bar{y}_{2..} - \mu = 0,00602$$

Per completare il calcolo degli effetti, bisogna valutare anche l'effetto delle interazioni tra i vari livelli

$$\gamma_{11} = \bar{y}_{11.} - \alpha_1 - \beta_1 - \mu = 0,00592$$

$$\gamma_{12} = \bar{y}_{12.} - \alpha_2 - \beta_1 - \mu = -0,00592$$

$$\gamma_{21} = \bar{y}_{21.} - \alpha_1 - \beta_2 - \mu = -0,00592$$

$$\gamma_{22} = \bar{y}_{22.} - \alpha_2 - \beta_2 - \mu = 0,00592$$

Infine si procede con il calcolo degli errori.

Calcolo degli errori

$$e_{111} = y_{111} - \bar{y}_{11.} = 0,00067$$

$$e_{112} = y_{112} - \bar{y}_{11.} = -0,00033$$

$$e_{113} = y_{113} - \bar{y}_{11.} = -0,00033$$

$$e_{121} = y_{121} - \bar{y}_{12.} = 0,02500$$

$$e_{122} = y_{122} - \bar{y}_{12.} = 0,02500$$

$$e_{123} = y_{123} - \bar{y}_{12.} = -0,05000$$

$$e_{211} = y_{211} - \bar{y}_{21.} = 0,00033$$

$$e_{212} = y_{212} - \bar{y}_{21.} = 0,00033$$

$$e_{213} = y_{213} - \bar{y}_{21.} = -0,00067$$

$$e_{221} = y_{221} - \bar{y}_{22.} = -0,01400$$

$$e_{222} = y_{222} - \bar{y}_{22} = -0,01100$$

$$e_{223} = y_{223} - \bar{y}_{22} = -0,00300$$

Calcolo delle somme quadratiche

$$SS0 = abr\mu^2 = 0,33768$$

$$SSA = br(\alpha_1^2 + \alpha_2^2) = 0,33167$$

$$SSB = ar(\beta_1^2 + \beta_2^2) = 0,00044$$

$$SSAB = r(\gamma_{11}^2 + \gamma_{12}^2 + \gamma_{21}^2 + \gamma_{22}^2) = 0,00042$$

$$SSE = \sum_{i,j,k} e_{ijk}^2 = 0,00408$$

$$SST = SSA + SSB + SSAB + SSE = 0,33661$$

Calcolo Importanza - Allocation Of Variation

Stimati i valori delle somme quadratiche, possiamo andare definire l'*importanza* di ogni fattore dell'esperimento. Tale fattore risulta essere il rapporto della somma quadratica relativa al fattore considerato (SSx) rispetto alla somma quadratica del totale (SST). Si conclude che l'importanza dei due fattori considerati nell'esperimento - **CTT** e **dimensione risorsa** - siano le seguenti:

$$Importance_CTT = \frac{SSA}{SST} = 0,98532 \rightarrow 98,532\%$$

$$Importance_Res = \frac{SSB}{SST} = 0,00132 \rightarrow 0,132\%$$

Dai risultati ottenuti si desume che il fattore CTT (*Constant Throughput Timer*) risulta essere più importante rispetto al fattore relativo alla dimensione della risorsa richiesta. Successivamente, si è calcolata l'importanza anche dell'interazione tra i fattori e dell'errore.

$$Importance_CTT_Res = \frac{SSAB}{SST} = 0,00125 \rightarrow 0,125\%$$

$$Importance_Error = \frac{SSE}{SST} = 0,01211 \rightarrow 1,211\%$$

Calcolo Significatività - Analysis of Variance

La *significatività* rappresenta la variazione del fattore considerato rispetto non alla variazione totale - la SST (*Sum Square Total*) - ma comparata rispetto all'errore. Esso è un concetto statistico ed è calcolata con l'utilizzo della tecnica **ANOVA** (*ANalysis Of VAriance*). Propedeutico al calcolo della significatività è la determinazione dei *gradi di libertà*, ovvero il numero di variabili indipendenti per calcolare il valore di quell'elemento. Il numero totale di gradi di libertà equivale alla somma dei gradi di libertà dei singoli elementi considerati, ovvero di $SS0$, SSA , SSB , $SSAB$, ed SSE

$$abr = 1 + (a - 1) + (b - 1) + (a - 1)(b - 1) + ab(r - 1)$$

Determinati i gradi di libertà dei singoli componenti si procede con il calcolo delle medie quadratiche per ogni elemento dell'esperimento.

$$MSA = \frac{SSA}{a-1} = 0,33167$$

$$MSB = \frac{SSB}{b-1} = 0,00044$$

$$MSAB = \frac{SSAB}{(a-1)(b-1)} = 0,00042$$

$$MSE = \frac{SSE}{ab(r-1)} = 0,00051$$

Successivamente si valuta l'**F-value** utilizzando le medie quadratiche, da paragonare con l'F-value statistico presente nelle tabelle di *Fisher*.

$$F - valueA = \frac{MSA}{MSE} = 650,75621$$

$$F - valueB = \frac{MSB}{MSE} = 0,87132$$

$$F - valueAB = \frac{MSAB}{MSE} = 0,82423$$

Per interpretare il risultato bisogna confrontare l'F-value calcolato con un F-value *statistico*, ottenibile analizzando le tabelle di Fisher. Pertanto, fissando l'intervallo di confidenza al 95% ed al 99% ed avendo a disposizione i gradi di libertà del numeratore e denominatore dell' F-value calcolato, è possibile ottenere l'F-statistico ad un certo intervallo di significatività.

Ricavando questi valori si ottiene che solo il fattore A - che si ricordi essere il carico di richieste per minuto - risulta essere significativo per ambedue intervalli di confidenza. Il fattore B - rappresentante la dimensione della risorsa considerata - e l'interazione tra i due fattori non risulta significativa per ambedue intervalli di confidenza.

$F - Value_{[n,d]}$	
$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,01$
53.177	11.259

2.3 Design per *Throughput*

Si prenda in considerazione l'osservazione della variabile *tempo di Elapsed*, ovvero il tempo che intercorre tra l'invio della richiesta e la ricezione della risposta elaborata dal server. I valori, espressi in **secondi**, risultano essere i seguenti:

Throughput		
CTT	SMALL	LARGE
175	$y_{111} = 75,71894$	$y_{121} = 78,69106$
	$y_{112} = 87,56012$	$y_{122} = 78,52418$
	$y_{113} = 87,55837$	$y_{123} = 78,54565$
525	$y_{211} = 174,42174$	$y_{221} = 71,49398$
	$y_{212} = 263,24738$	$y_{222} = 79,17263$
	$y_{213} = 263,24475$	$y_{223} = 77,57346$

Calcolo delle medie

A partire dai valori delle simulazioni si è proceduto con il calcolo delle medie:

$$\mu = \frac{1}{12} \sum_{i,j=1}^2 \sum_{k=1}^3 y_{ijk} = 117,97936$$

con *i* indice CTT, *j* indice dimensione della risorsa e *k* indice della ripetizione.

Successivamente, è stata calcolata la media dapprima in funzione del CTT e poi in funzione della dimensione della risorsa richiesta.

$$\text{CTT} = 175 \rightarrow \bar{y}_{1..} = \frac{1}{6} \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^3 y_{1jk} = 81,09974$$

$$\text{CTT} = 525 \rightarrow \bar{y}_{2..} = \frac{1}{6} \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^3 y_{2jk} = 154,85899$$

$$\text{Risorsa: small} \rightarrow \bar{y}_{.1.} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^3 y_{i1k} = 158,62522$$

$$\text{Risorsa: large} \rightarrow \bar{y}_{.2.} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^3 y_{i2k} = 77,33351$$

$$\text{CTT} = 175 \mid \text{Risorsa: small} \rightarrow \bar{y}_{11.} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 y_{11k} = 83,61248$$

$$\text{CTT} = 175 \mid \text{Risorsa: large} \rightarrow \bar{y}_{12.} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 y_{12k} = 78,58700$$

$$\text{CTT} = 525 \mid \text{Risorsa: small} \rightarrow \bar{y}_{21.} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 y_{21k} = 233,63796$$

$$\text{CTT} = 525 \mid \text{Risorsa: large} \rightarrow \bar{y}_{22.} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 y_{22k} = 76,08002$$

Si è proseguito con il calcolo degli effetti.

Calcolo degli effetti

$$\alpha_1 = \bar{y}_{1.} - \mu = 40,64585$$

$$\alpha_2 = \bar{y}_{2.} - \mu = -40,64585$$

$$\beta_1 = \bar{y}_{1..} - \mu = -36,87963$$

$$\beta_2 = \bar{y}_{2..} - \mu = 36,87963$$

Per completare il calcolo degli effetti, bisogna valutare anche l'effetto delle interazioni tra i vari livelli

$$\gamma_{11} = \bar{y}_{11.} - \alpha_1 - \beta_1 - \mu = -38,13311$$

$$\gamma_{12} = \bar{y}_{12.} - \alpha_2 - \beta_1 - \mu = 38,13311$$

$$\gamma_{21} = \bar{y}_{21.} - \alpha_1 - \beta_2 - \mu = -38,13311$$

$$\gamma_{22} = \bar{y}_{22.} - \alpha_2 - \beta_2 - \mu = -38,13311$$

Infine si procede con il calcolo degli errori.

Calcolo degli errori

$$e_{111} = y_{111} - \bar{y}_{11.} = -7,89354$$

$$e_{112} = y_{112} - \bar{y}_{11.} = 3,94764$$

$$e_{113} = y_{113} - \bar{y}_{11.} = 3,94589$$

$$e_{121} = y_{121} - \bar{y}_{12.} = 0,10406$$

$$e_{122} = y_{122} - \bar{y}_{12.} = -0,06282$$

$$e_{123} = y_{123} - \bar{y}_{12.} = -0,04125$$

$$e_{211} = y_{211} - \bar{y}_{21.} = -59,21622$$

$$e_{212} = y_{212} - \bar{y}_{21.} = 29,60942$$

$$e_{213} = y_{213} - \bar{y}_{21.} = 29,60679$$

$$e_{221} = y_{221} - \bar{y}_{22.} = -4,58604$$

$$e_{222} = y_{222} - \bar{y}_{22} = 3,09261$$

$$e_{223} = y_{223} - \bar{y}_{22} = 1,49344$$

Calcolo delle somme quadratiche

$$SS0 = abr\mu^2 = 167029,56207$$

$$SSA = br(\alpha_1^2 + \alpha_2^2) = 19825,02472$$

$$SSB = ar(\beta_1^2 + \beta_2^2) = 16321,28236$$

$$SSAB = r(\gamma_{11}^2 + \gamma_{12}^2 + \gamma_{21}^2 + \gamma_{22}^2) = 17449,61199$$

$$SSE = \sum_{i,j,k} e_{ijk}^2 = 5386,14520$$

$$SST = SSA + SSB + SSAB + SSE = 58982,06427$$

Calcolo Importanza - Allocation Of Variation

Stimati i valori delle somme quadratiche, possiamo andare definire l'*importanza* di ogni fattore dell'esperimento. Tale fattore risulta essere il rapporto della somma quadratica relativa al fattore considerato (SSx) rispetto alla somma quadratica del totale (SST). Si conclude che l'importanza dei due fattori considerati nell'esperimento - **CTT** e **dimesione risorsa** - siano le seguenti:

$$Importance_CTT = \frac{SSA}{SST} = 0,33612 \rightarrow 33,612\%$$

$$Importance_Res = \frac{SSB}{SST} = 0,27672 \rightarrow 27,672\%$$

Come nel caso precedente, risulta più importante il fattore A - CTT - rispetto al fattore B che caratterizza la dimensione della risorsa richiesta. Successivamente, si è calcolata l'importanza dell'interazione tra i fattori, che risulta avere un valore molto simile all'importanza del fattore B, e dell'errore.

$$Importance_CTT_Res = \frac{SSAB}{SST} = 0,29585 \rightarrow 29,585\%$$

$$Importance_error = \frac{SSE}{SST} = 0,09132 \rightarrow 9,132\%$$

Calcolo Significatività - Analysis of Variance

La *significatività* rappresenta la variazione del fattore considerato rispetto non alla variazione totale - la SST (*Sum Square Total*) - ma comparata rispetto all'errore. Esso è un concetto statistico ed è calcolata con l'utilizzo della tecnica **ANOVA** (*ANalysis Of VAriance*). Propedeutico al calcolo della significatività è la determinazione dei *gradi di libertà*, ovvero il numero di variabili indipendenti per calcolare il valore di quell'elemento. Il numero totale di gradi di libertà equivale alla somma dei gradi di libertà dei singoli elementi considerati, ovvero di SSA , SSB , $SSAB$, ed SSE

$$abr = 1 + (a - 1) + (b - 1) + (a - 1)(b - 1) + ab(r - 1)$$

Determinati i gradi di libertà dei singoli componenti si procede con il calcolo delle medie quadratiche per ogni elemento dell'esperimento.

$$MSA = \frac{SSA}{a-1} = 19825,02472$$

$$MSB = \frac{SSB}{b-1} = 16321,28236$$

$$MSAB = \frac{SSAB}{(a-1)(b-1)} = 17449,61199$$

$$MSE = \frac{SSE}{ab(r-1)} = 673,26815$$

Successivamente si valuta l'**F-value** utilizzando le medie quadratiche, da paragonare con l'F-value statistico presente nelle tabelle di *Fisher*.

$$F - value_A = \frac{MSA}{MSE} = 29,44596$$

$$F - value_B = \frac{MSB}{MSE} = 24,24187$$

$$F - value_AB = \frac{MSAB}{MSE} = 25,91777$$

Ugualmente al design precedente, si è proseguito con l'interpretazione dei risultati individuando i valori dell'F-Value statistico dalle tabelle di Fisher, utilizzando gli stessi intervalli della sezione precedente.

$F - Value_{[n,d]}$	
$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,01$
53.177	11.259

Dai valori ricavati, risulta che entrambi i fattori e le loro interazioni non sono statisticamente significativi nel primo intervallo di significatività considerato. L'opposto si realizza nel secondo intervallo di significatività, nel quale tutti sono significativi.

3 FFDA

3.1 Introduzione

In questo capitolo è stata effettuata la **FFDA** sui log di errore di due sistemi, Mercury e BlueGene/L.

I passi eseguiti sono i seguenti:

- Selezione di una finestra di coalescenza CWIN e raggruppamento delle tuple;
- Reliability Modeling empirica ed esecuzione del fitting;
- Analisi dei risultati tramite il test Kolmogorov-Smirnov;
- Confronto dei risultati dei due sistemi.

3.2 Datacenter Mercury

Il sistema Mercury è un datacenter che ha un'architettura 3-layered, dove in ognuno dei quali troviamo dei nodi che svolgono funzioni analoghe, più un nodo di management (**tg-master**). Al primo livello troviamo i nodi di login al sistema (**tg-loginX**), al secondo livello troviamo nodi computazionali (**tg-cX**) e al terzo livello nodi di archiviazione (**tg-sX**). Le entries del log relativo al sistema in esame sono tutte relative ad errori fatali, per ognuna di esse vengono riportati: il timestamp, il nodo generatore, il sottosistema a cui fa riferimento (DEV-MEM-NET-I/O-PRO).

3.2.1 Reliability Modeling

Per la determinazione della finestra di coalescenza è stato utilizzato lo script *tupleCount_func_CWIN.sh*. Questo script analizza come varia il tuple count al crescere dei valori della finestra di coalescenza.

Esso vuole come primo parametro il file di log utilizzato e come secondo parametro un altro file ("tentative-Cwin.txt") all'interno del quale si inserisce una serie di valori che corrispondono alla dimensione della finestra di coalescenza. In output si ottiene un file "tupleCount-MercuryErrorLog.txt" che presenta due colonne. La prima corrisponde alla dimensione della finestra, la seconda rappresenta il numero di tuple associato alla CWIN size corrispondente.

```
→ ffdtoolset git:(master) X cat tupleCount-MercuryErrorLog.txt
10 4283
50 1646
150 613
180 556
200 508
220 493
230 485
240 476
250 469
290 454
390 434
800 396
```

Figura 3.1: Output dello script *tupleCount_func_CWIN.sh*.

Si è proseguito plottando, tramite matlab, il risultato dello script.

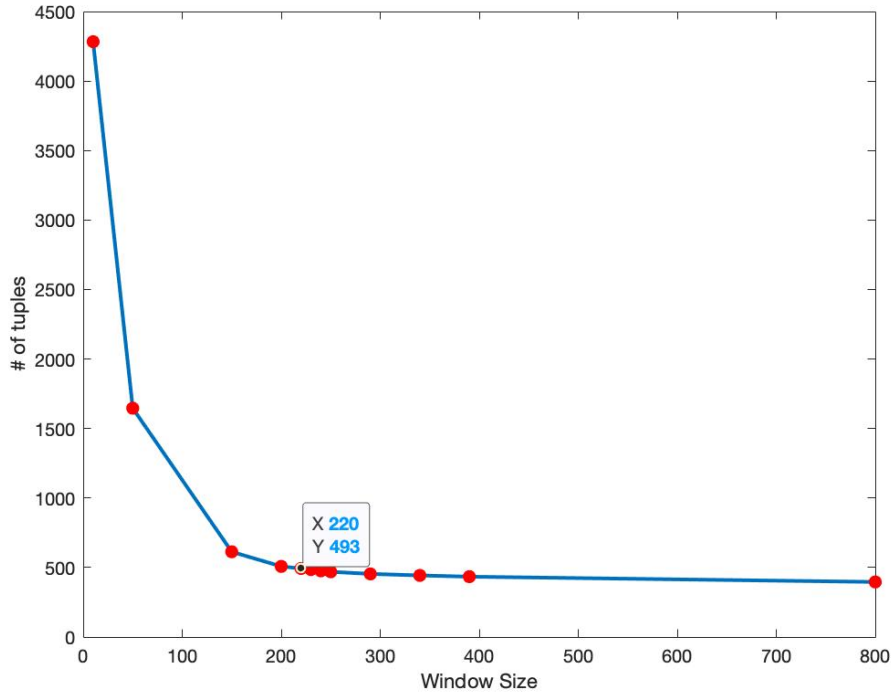


Figura 3.2: Reliability Mercury System

Dal grafico, utilizzando l'*Elbow method*, è stato individuato il valore ottimale della finestra di coalescenza che risulta essere 220ms. Per il valore della CWIN scelto è stato eseguito lo script *tupling_with_CWIN.sh* che raggruppa le entries con il CWIN selezionato, lo script genera tre file:

- **Lenghts.txt:** contiene la lunghezza temporale di ogni singola tupla, quindi la differenza tra l'ultima entry della tupla e la prima della stessa tupla
- **Interarrivals.txt:** rappresenta il tempo che intercorre tra la prima entry della tupla i -esima e la prima entry della tupla $i+1$ -esima
- **StartingPoints.txt:** rappresenta il timestamp della prima entry di ciascuna tupla.

Di questi tre file, *interarrivals.txt* è stato importato in Matlab per ricavare la CDF empirica della TTF del sistema, che rappresenta la unreliability empirica del sistema; analogamente, se consideriamo la CDF di $(1 - TTF)$, andiamo a ricavare la reliability empirica del sistema.

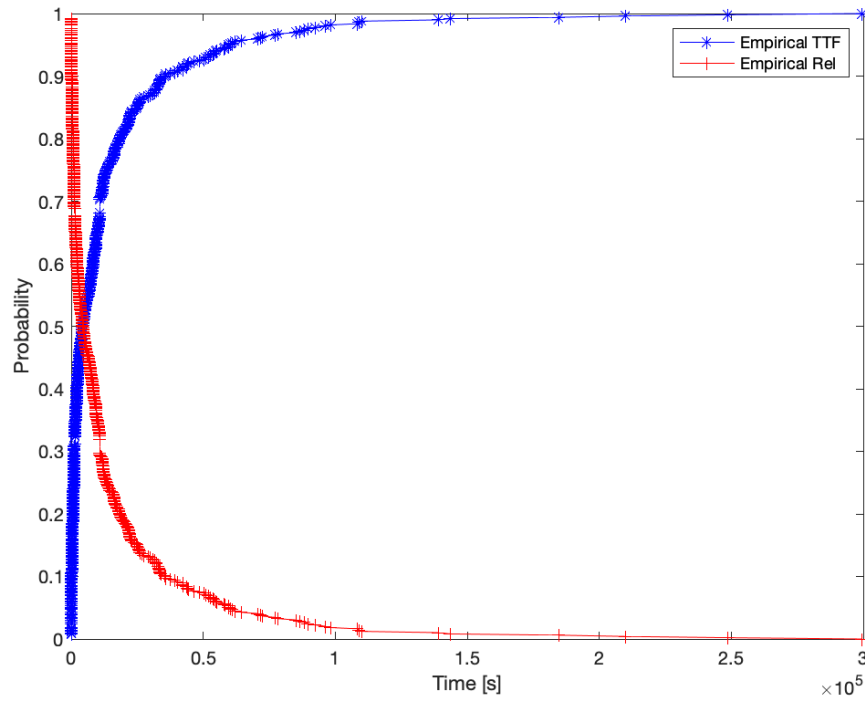
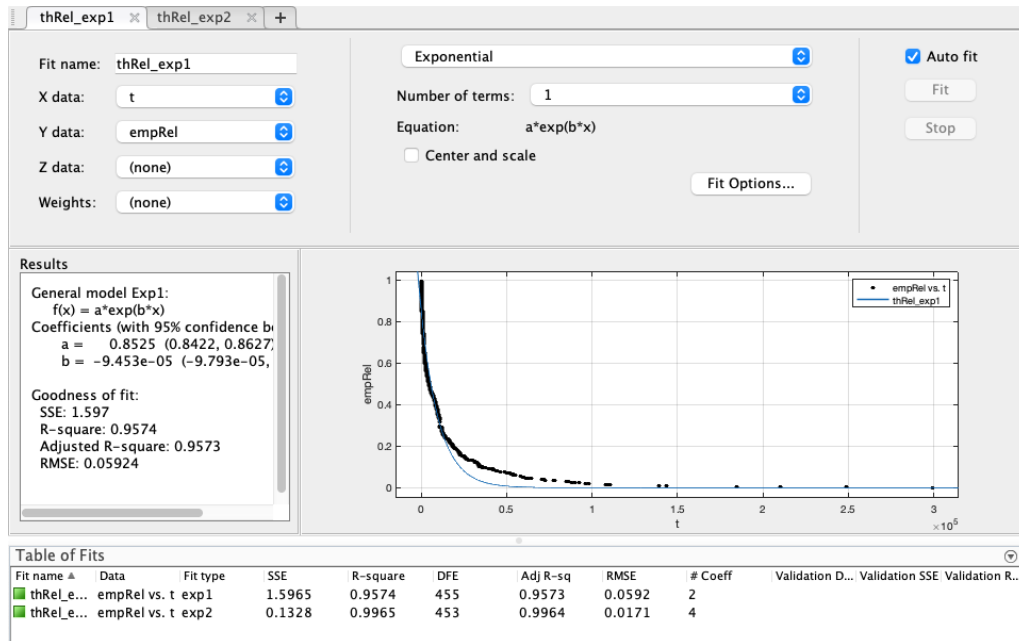
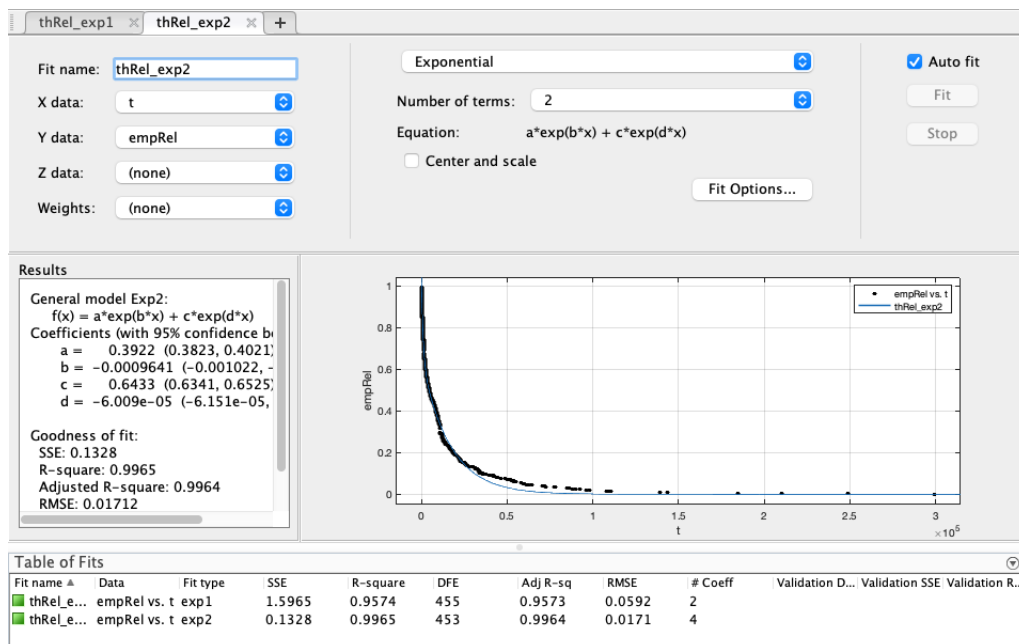


Figura 3.3: Reliability Mercury System

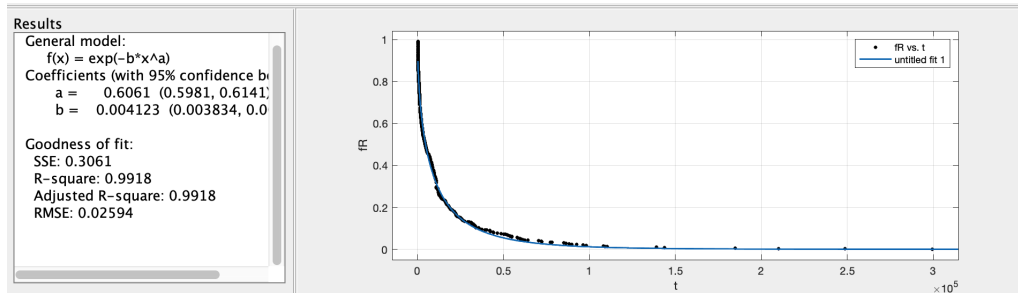
Tracciata la curva empirica è stato eseguito il fitting della reliability per cercare la distribuzione teorica della reliability. A tale scopo è stato usato **Curve Fitting Tool** di Matlab con il quale è stata modellata l'affidabilità del sistema attraverso una distribuzione nota. La distribuzione prese in considerazione sono: l'**esponenziale**, sia con uno che con due termini, la **Weibull** e la **lognormale**.



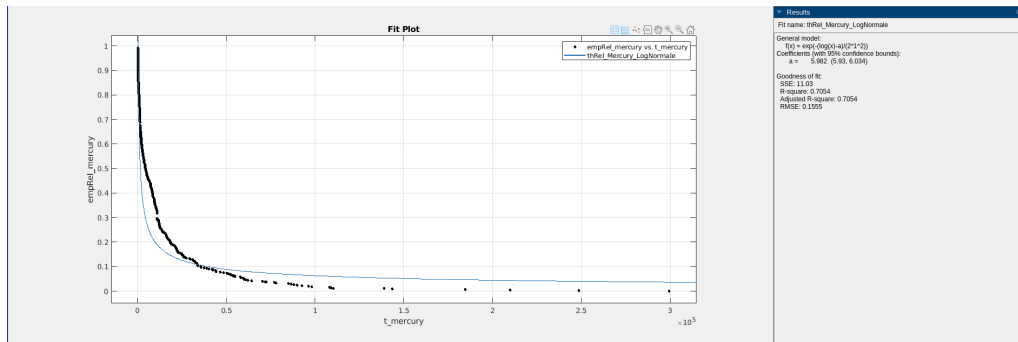
(a) Reliability - Distribuzione Esponenziale - Mercury System



(b) Reliability - Distribuzione Esponenziale con 2 termini - Mercury System



(a) Reliability - Distribuzione Weibull - Mercury System



(b) Reliability - Distribuzione Lognormale - Mercury System

Figura 3.5: Fitting della reliability empirica.

Per verificare se sono presenti differenze statistiche tra la reliability teorica e quella empirica - e quindi per verificare la *goodness-of-fit* - si è utilizzato il test non parametrico di Kolmogorov-Smirnov il quale opera con un livello di significatività del 5% e restituisce due valore:

- **h**: se pari a 0, l'ipotesi nulla H_0 non viene rigettata, quindi le due funzioni sono statisticamente equivalenti; se pari a 1, l'ipotesi nulla H_0 viene rigettata quindi le due funzioni non sono statisticamente equivalenti
- **p**: (p-value) probabilità, per l'ipotesi nulla, di ottenere risultati ugualmente o meno compatibili, di quelli osservati durante il test, con la suddetta ipotesi: in particolare, se il p-value risulta essere maggiore del livello di significatività, l'ipotesi nulla viene accettata.

Applicando il test tra la funzione empirica della reliability e la funzione approssimata utilizzando due termini esponenziali, si ottengono i seguenti risultati:

```
>> [h, p] = kstest2(thRel_Mercury(:), empRel)
h =
    logical
    0
p =
    0.0975
```

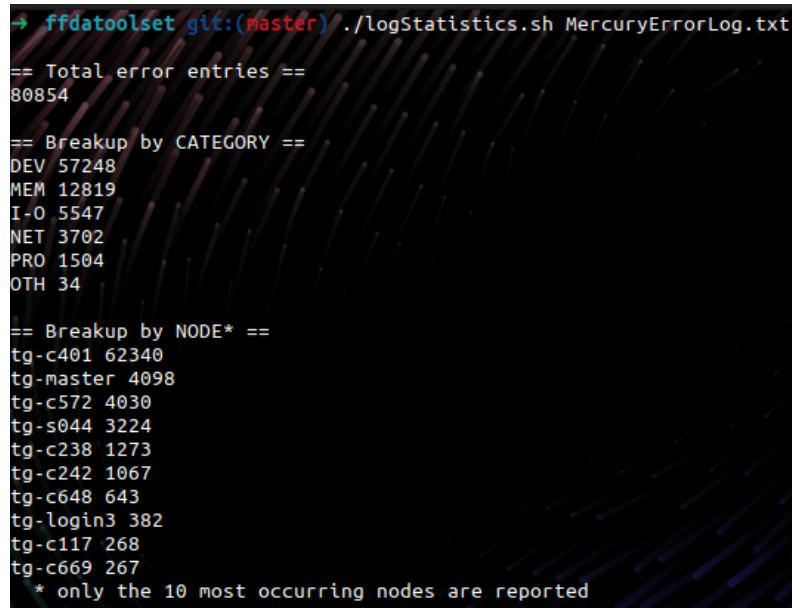
Figura 3.6: Applicazione *kstest2*

certificando l'assenza di differenze statistiche tra le due funzioni.

3.2.2 Analisi livello nodo

In questa seconda analisi abbiamo ricercato e analizzato, sempre con la tecnica della coalescenza temporale, i nodi con maggior numero di occorrenze nei log di entrambi i sistemi per definire, se la finestra di coalescenza CWIN scelta può essere uguale rispetto ai nodi per ciascun datacenter, ed inoltre verificare quale nodo rappresenta il bottleneck della dependability.

A tal fine è stato usato lo script *logStatistics.sh*, di seguito si mostra l'output (errori per categoria e per nodo) applicato al log di Mercury:



```
→ ffdataoolset git:(master) ./logStatistics.sh MercuryErrorLog.txt
== Total error entries ==
80854

== Breakup by CATEGORY ==
DEV 57248
MEM 12819
I-O 5547
NET 3702
PRO 1504
OTH 34

== Breakup by NODE* ==
tg-c401 62340
tg-master 4098
tg-c572 4030
tg-s044 3224
tg-c238 1273
tg-c242 1067
tg-c648 643
tg-login3 382
tg-c117 268
tg-c669 267
* only the 10 most occurring nodes are reported
```

Figura 3.7: Mercury Statistics

Si è deciso di osservare 3 nodi ossia: tg-c401 che ha il numero massimo di occorrenza tra tutti gli altri nodi, il nodo tg-master che rappresenta il nodo di gestione totale del sistema, ed il nodo tg-c-238. Risulta, evidente dalla figura 3.7 che il nodo tg-c401 è il collo di bottiglia (*bottleneck*) per il sistema analizzato, poiché è il nodo dove si concentrano la maggior parte dei fallimenti. Analogamente all'analisi sul Reliability Modeling già presentata nel paragrafo precedente, si è proceduto analizzando il variare del numero di tuple in funzione della CWIN. Tramite lo script *filter.sh* è stata eseguita anche l'analisi per i nodi scelti: questo script restituisce per ogni nodo le categorie di errore con descrizione. Per ognuno di essi è stata determinata la CWIN e il numero di tuple attraverso gli script usati in precedenza:

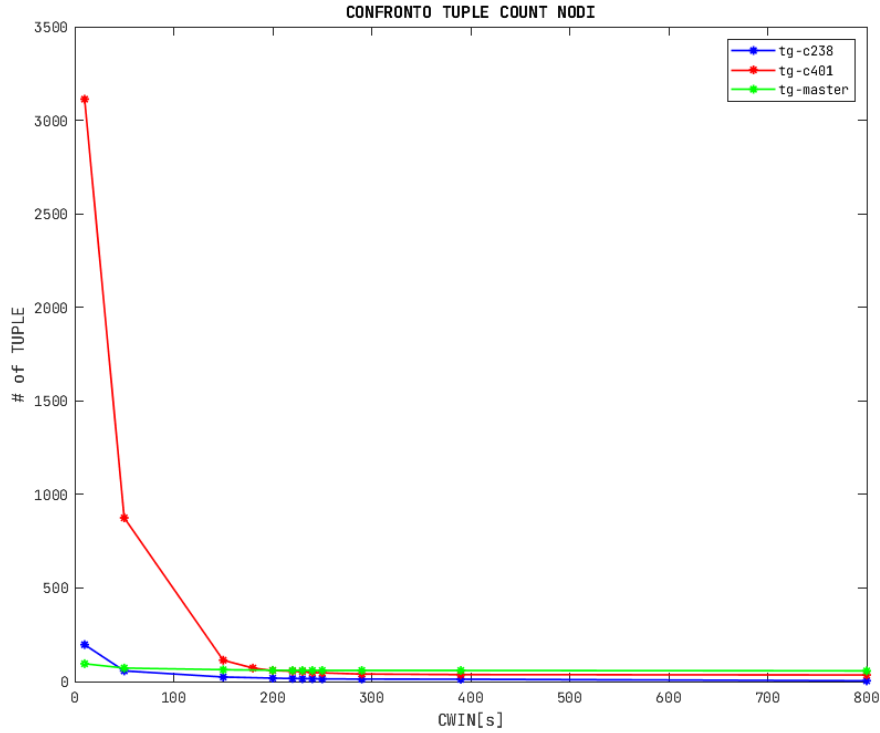


Figura 3.8: Confronto tra il numero di tuple dei nodi analizzati.

Dalla figura 3.8 è possibile notare che il punto di **gomito** differisce per le diverse curve. In particolare sono stati scelti i seguenti punti di ottimo:

Nodo	CWIN[ms]
tg-master	220
tg-c401	150
tg-c238	150

Si conviene che nonostante sia possibile utilizzare la stessa finestra di coalescenza per i tre nodi presi in esame, quella ottimale per i due nodi tg-c238 e tg-401 risulta essere $150ms$ mentre per il nodo master l'ampiezza ottimale della è di $220ms$; ciò significa che l'approssimazione ottima si ha quando tali valori vanno pesati ad-hoc per ogni nodo, quindi utilizzando valori diversi per ogni nodo del sistema che genera log di errori. Tali valori sono frutto dell'applicazione dell'*Elbow Method*.

Analogamente al caso precedente, scelte le finestre di coalescenza per ogni nodo, è stata applicata la tecnica del *tupling* dalla quale si è ricavato il file *interarrivals_nodo_scelto.txt* e, grazie ad esso, si è ricostruita la reliability empirica. Utilizzando, poi, il **Curve Fitter Tool** di Matlab, si è ottenuta la reliability teorica per ogni nodo scelto. Vengono confrontate le reliability dei nodi del sistema Mercury con quella dell'intero sistema:

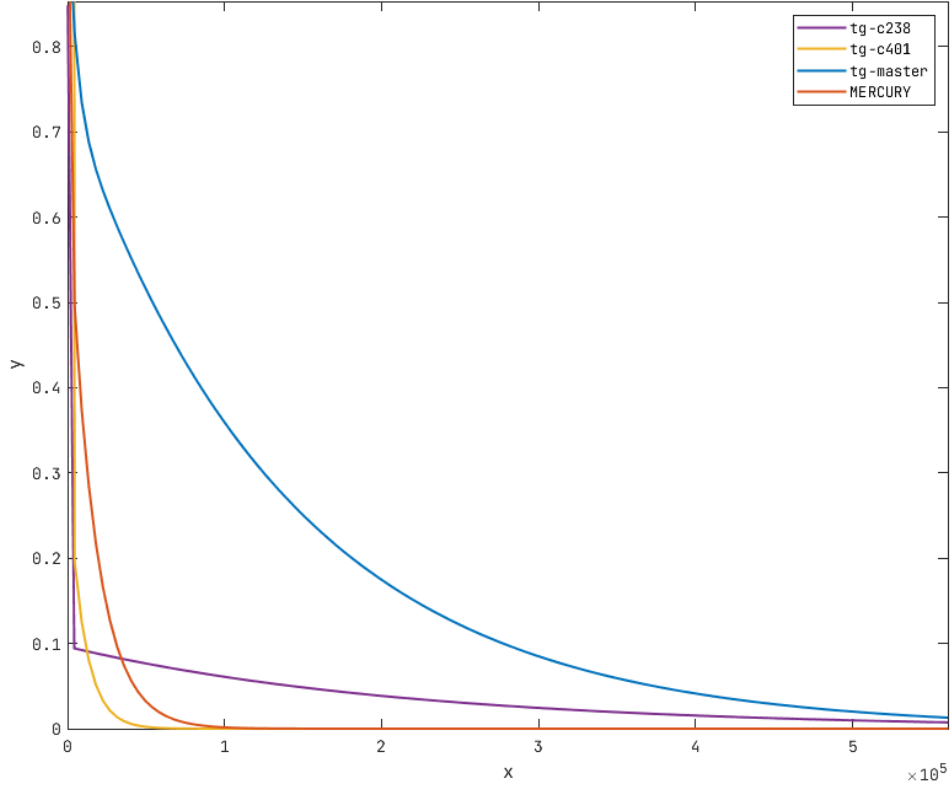


Figura 3.9: Reliability dei nodi scelti a confronto

Dalla figura 3.9, è possibile notare che la reliability dell'intero sistema Mercury segue l'andamento della reliability del nodo tg-c401, il quale presenta il maggior numero di occorrenze d'errore. Questo conferma che tale nodo risulta essere il **bottleneck** del sistema. Gli altri due nodi analizzati - tg-c238 e tg-master - risultano meno impatto sulla reliability del sistema. Il nodo master, invece presenta un numero inferiore di occorrenze (e quindi di fallimenti) all'interno del file di log per cui si discosta maggiormente dalla reliability totale.

3.2.3 Analisi livello categoria

Successivamente è stata eseguita un'analisi a livello categoria. Sono state considerate le tre categorie che occorrono più frequentemente, come possibile dedurre dalla figura 3.7, utilizzando gli script già visti in precedenza abbiamo ricavato il valore delle CWIN di ciascuna categoria ossia DEV, MEM e I/O.

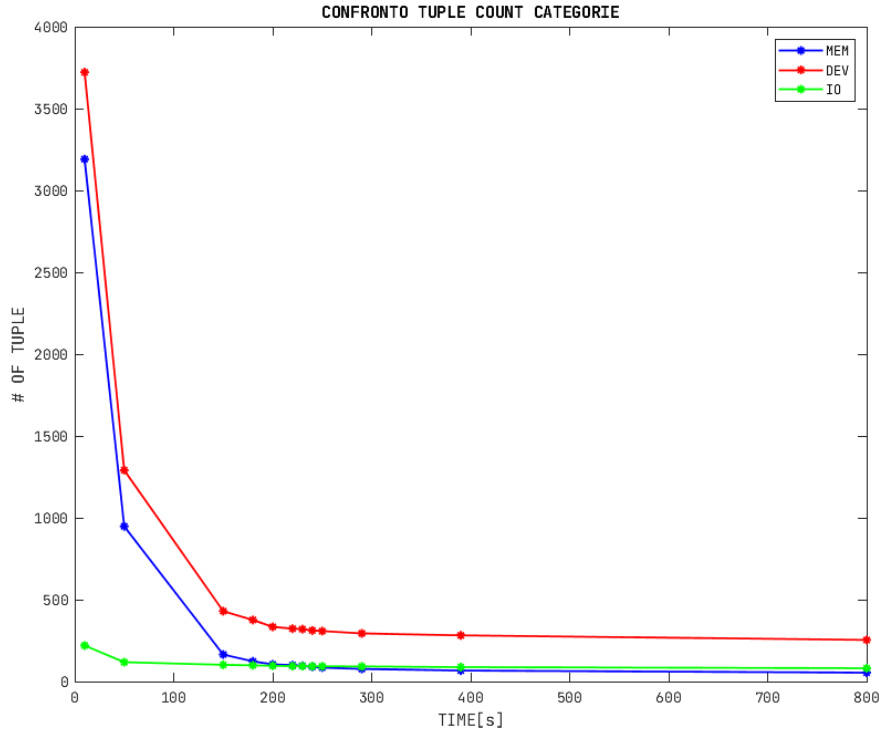


Figura 3.10: Confronto tra le categorie

Dalla figura 3.10 è possibile notare che il punto di **gomito** risulta uguale per le diverse curve, dunque, l'ampiezza ideale della finestra di coalescenza per le tre categorie analizzate risulta essere

Nodo	CWIN[ms]
DEV	150
MEM	150
I-O	150

Dalle figure sulla finestra di coalescenza per il sistema Mercury si nota che la finestra di coalescenza ha un'ampiezza ottima pari a 150 ms per tutte le categorie analizzate. Analogamente a quanto fatto per l'analisi nodale, tramite l'utilizzo degli script forniti ed attraverso il cftool, si è ottenuta la reliability teorica per ogni categoria. Esse sono illustrate nella seguente figura

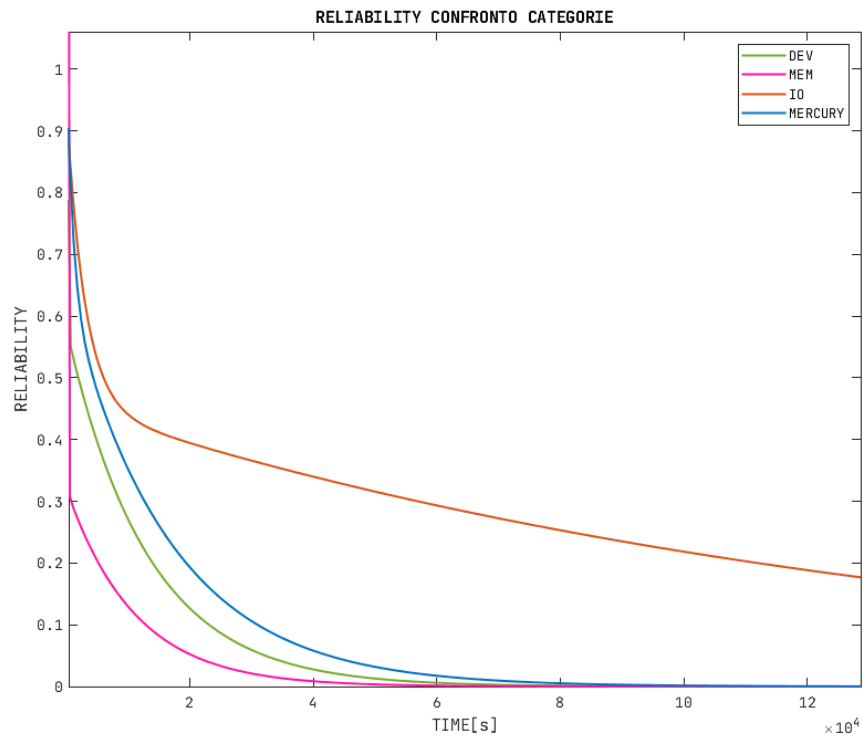


Figura 3.11: Reliability categorie a confronto

Dal confronto tra le reliability è possibile osservare che la categoria che fallisce maggiormente (DEV) impatta di più sulla reliability totale che quindi presenta un andamento simile a quest'ultima.

Infine, sono riportati nel seguente grafico i risultati dell'applicazione degli script precedenti, estraendo le percentuali relative alle categorie e quelle relative, per ogni categoria, ai nodi.

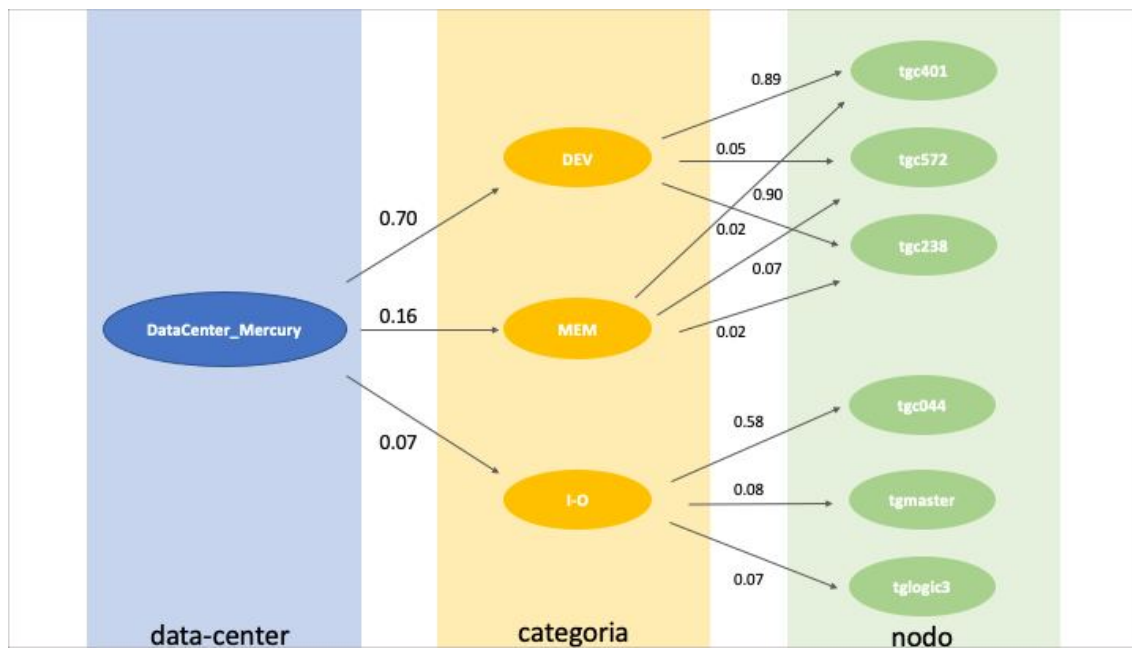


Figura 3.12: Analisi per categoria del sistema Mercury.

3.3 Datacenter BlueGene/L

Il sistema BlueGene/L è un datacenter con struttura gerarchica. In dettaglio, la struttura è composta da rack (R) che contengono una serie di ripiani (midplane M), i quali sono composti da 16 nodi (e uno in più per l'I/O ogni multiplo di 4 nodi); ciascun nodo è composto da 2 processori (U) su una compute card (J). Per ognuna delle entry del log relativo al sistema in esame vengono riportati: il timestamp, il nodo e la card, in più vi è una descrizione dell'errore.

Analogamente al caso precedente, applicando lo script *tuple_count_Cwin.sh*, si ottiene il numero di tuple al variare della finestra di coalescenza.

In output si ottiene un file *tupleCount - BGLErrorLog.txt* che nel caso BG/L presenta due colonne. La prima corrisponde alla dimensione della finestra, la seconda rappresenta il numero di tuple associato alla Cwin size corrispondente.

L'obiettivo è determinare l'ottimo della finestra di coalescenza, plottando un grafico che presenta sull'asse delle x la dimensione della finestra e sull'asse delle y il tuple count. Un buon metodo per determinare l'ottimo è quello di considerare il punto successivo al punto di *knee* della curva ottenuta.

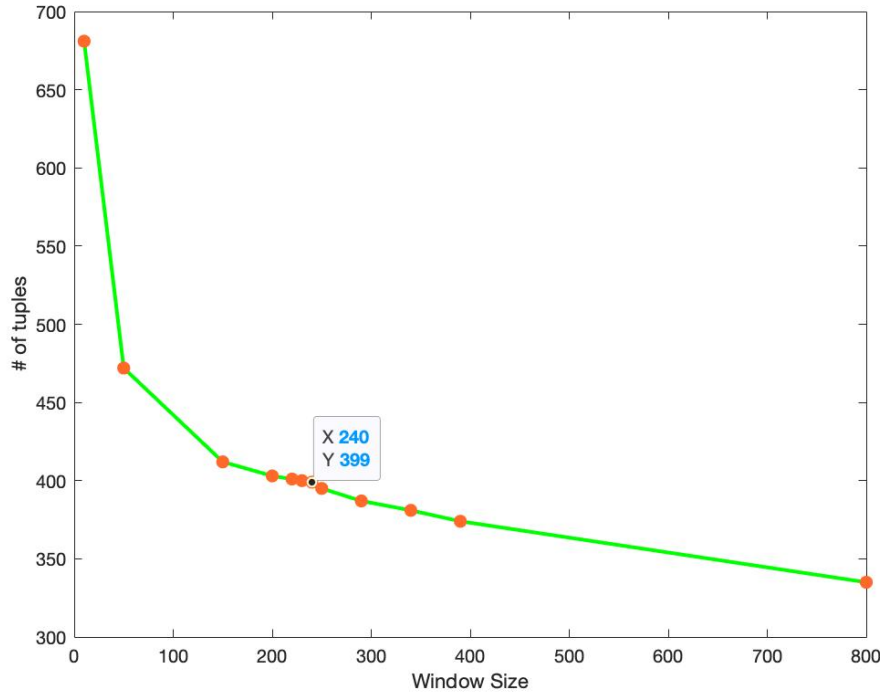


Figura 3.13: CWIN BlueGene System

3.3.1 Reliability Modeling

Dal grafico si evince che il valore ottimo per la finestra di coalescenza è di 240 ms. Per il valore della CWIN scelto è stato eseguito lo script *tupling_with_CWIN.sh* che raggruppa le entries con il CWIN selezionato. In uscita lo script ci restituisce il file *interarrivals.txt* che viene importato in Matlab per ricavare la CDF empirica della TTF del sistema, che rappresenta la unreliability

empirica del sistema; analogamente, se consideriamo la CDF di $(1 - \text{TTF})$, andiamo a ricavare la reliability empirica del sistema.

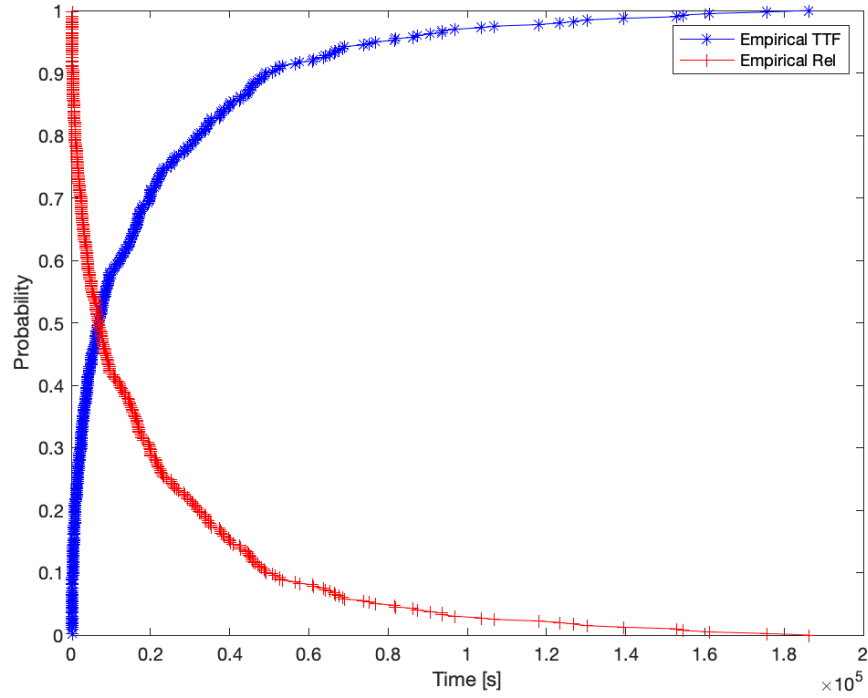
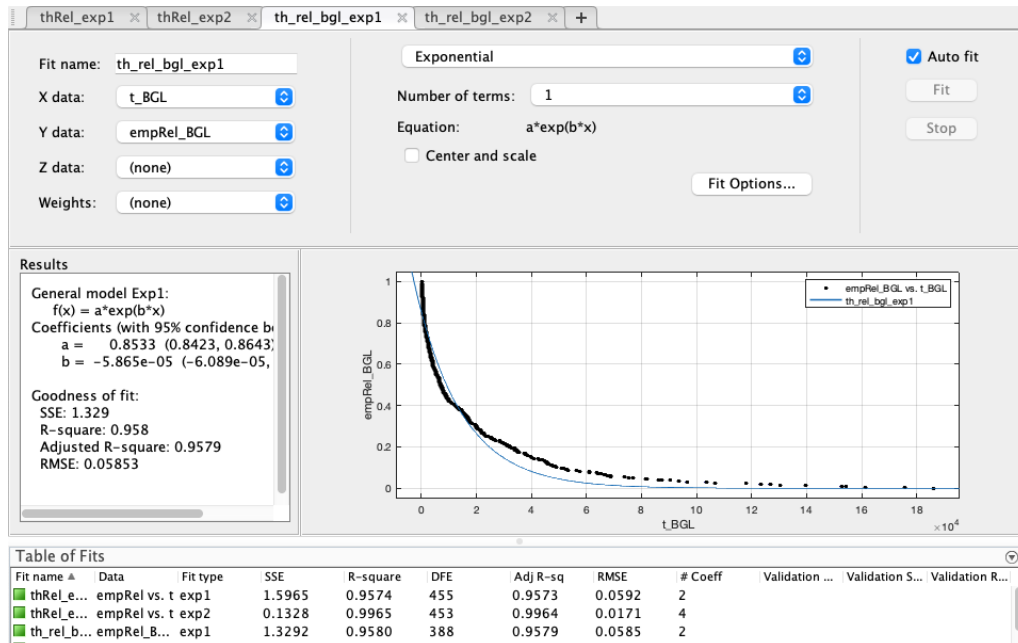
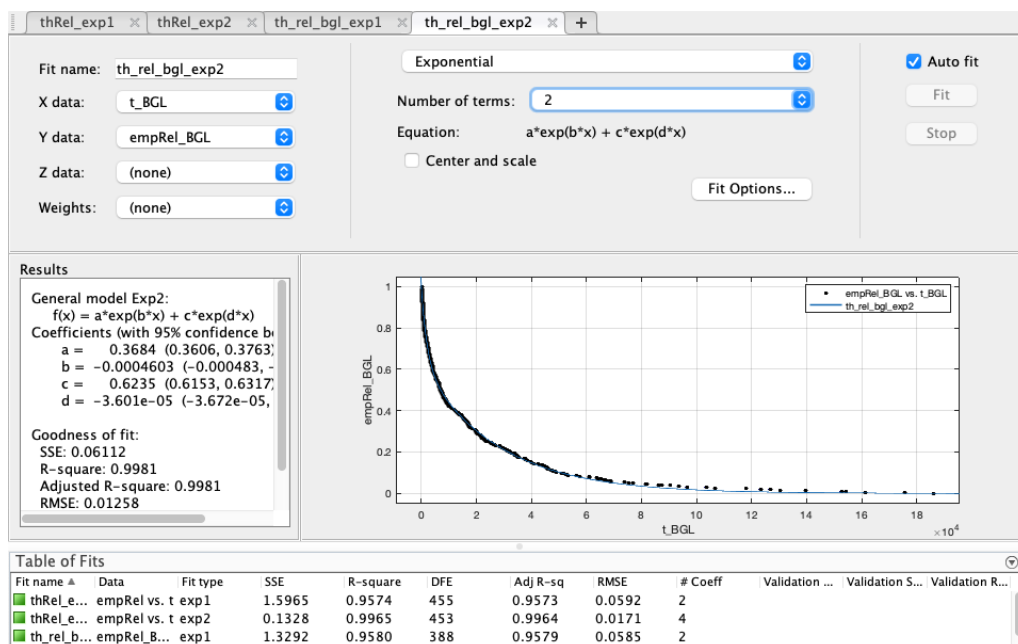


Figura 3.14: Reliability BlueGene System

Come nel caso del datacenter Mercury, alla fase di reliability modeling segue la fase di fitting per cercare la distribuzione teorica della reliability.

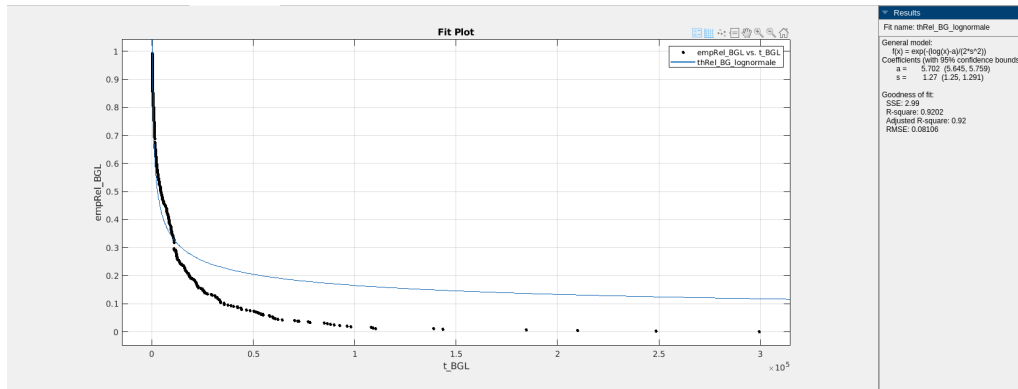


(a) Reliability - Distribuzione Esponenziale - BG/L System.

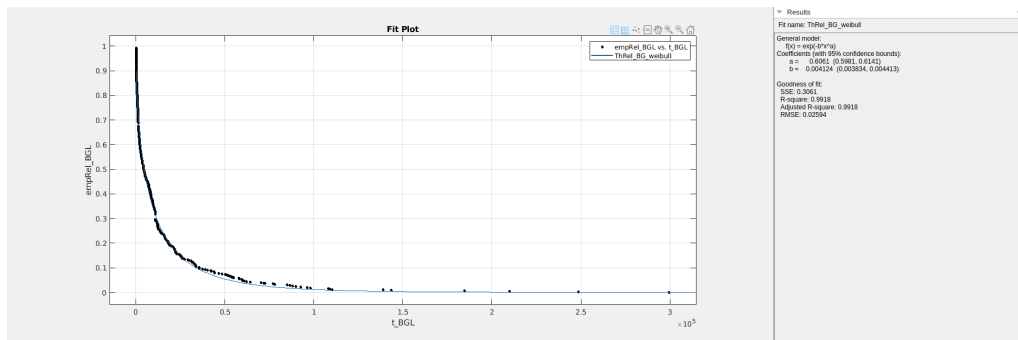


(b) Reliability - Distribuzione Esponenziale con due termini - BG/L System.

Figura 3.15: Fitting della reliability empirica con esponenziale.



(a) Reliability - Distribuzione lognormale - BG/L System.



(b) Reliability - Distribuzione Weibull - BG/L System

Successivamente, si è analizzata la presenza di differenze statistiche tra la reliability empirica e la teorica ricavata utilizzando il *Curve Fitting Tool* di matlab. Come nel caso precedente del datacenter Mercury, si è utilizzato il test Kolmogorov-Smirnov. I risultati sono illustrati nella seguente figura.

```
>> [h, p] = kstest2(th_rel_bgl_exp2(:), empRel_BGL)
h =
    logical
    0
p =
    0.1054
```

Figura 3.17: Applicazione *kstest2*

Il test restituisce H_0 , quindi non ci sono differenze statistiche tra le funzioni esaminate.

3.3.2 Analisi livello nodo

Siamo quindi passati all'analisi sui nodi, dove utilizzando lo script *logStatistics.sh*, è stato possibile osservare una statistica del file di log in questione, mettendo alla luce quale categorie e quali nodo appaiono più frequentemente.

```

== Total error entries ==
125624

== Breakup by CATEGORY ==
J18-U11 50055
J18-U01 49932
J14-U01 2257
J12-U01 1877
J07-U01 1780
J10-U11 1333
J03-U11 1020
J16-U11 973
J06-U11 960
J11-U11 888
J17-U11 824
J09-U01 808
J16-U01 753
J09-U11 746
J08-U01 741
J03-U01 701
J11-U01 700
J05-U11 670
J04-U01 655
J13-U01 647
J15-U01 633
J17-U01 602
J12-U11 596
J04-U11 593
J13-U11 563
J08-U11 560
J10-U01 554
J02-U01 524
J05-U01 456
J15-U11 454
J02-U11 449
J14-U11 445
J07-U11 445
J06-U01 430

== Breakup by NODE* ==
R71-M0-N4 1716
R12-M0-N0 1563
R63-M0-N2 976
R03-M1-NF 960
R63-M0-N0 791
R36-M1-N0 788
R62-M0-N4 515
R63-M0-NC 460
R63-M0-N8 454
R63-M0-N4 452
* only the 10 most occurring nodes are reported

```

Figura 3.18: Reliability dei nodi scelti a confronto

In questo caso sono stati scelti i primi tre nodi quelli che presentano il maggior numero di occorrenze ossia R71-M0-N4, R12-M0-N0 e R63-M0-N2.

Per ogni nodo è stata determinata la CWIN e il numero di tuple attraverso gli script usati in precedenza:

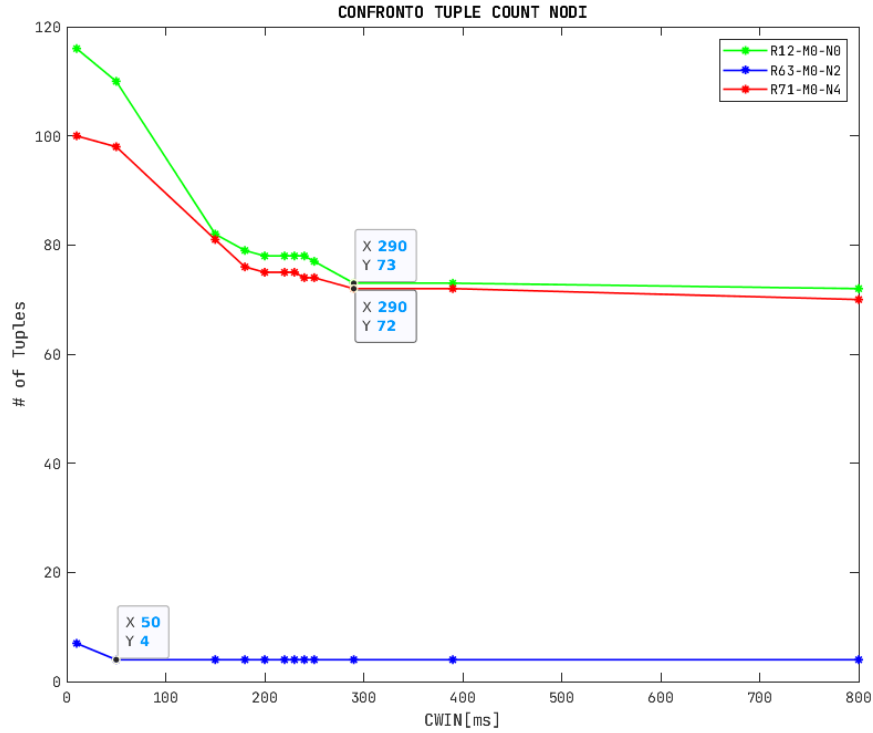


Figura 3.19: Confronto

E' possibile estendere il discorso illustrato nel paragrafo 3.2.2 per il dataset degli errori del sistema **Mercury** al sistema **Blue Gene**: in questo caso, si è scelto di utilizzare come ampiezze delle finestre di coalescenza i seguenti valori:

- 290ms per il nodo R71-M0-N4
- 290ms per il nodo R12-M0-N0
- 50ms per il nodo R63-M0-N2

Dei tre nodi presi in considerazione, è stata approfondita l'analisi andando a studiare le categorie che falliscono tramite lo script *logStatistics.sh*. Vengono ora riportati i risultati ottenuti. Analizzando i risultati si nota che il nodo **R17-N0-B0** è quello che ha il numero di entry di errore superiore agli altri, quindi potrebbe essere un ottimo indiziato per il collo di bottiglia del sistema.

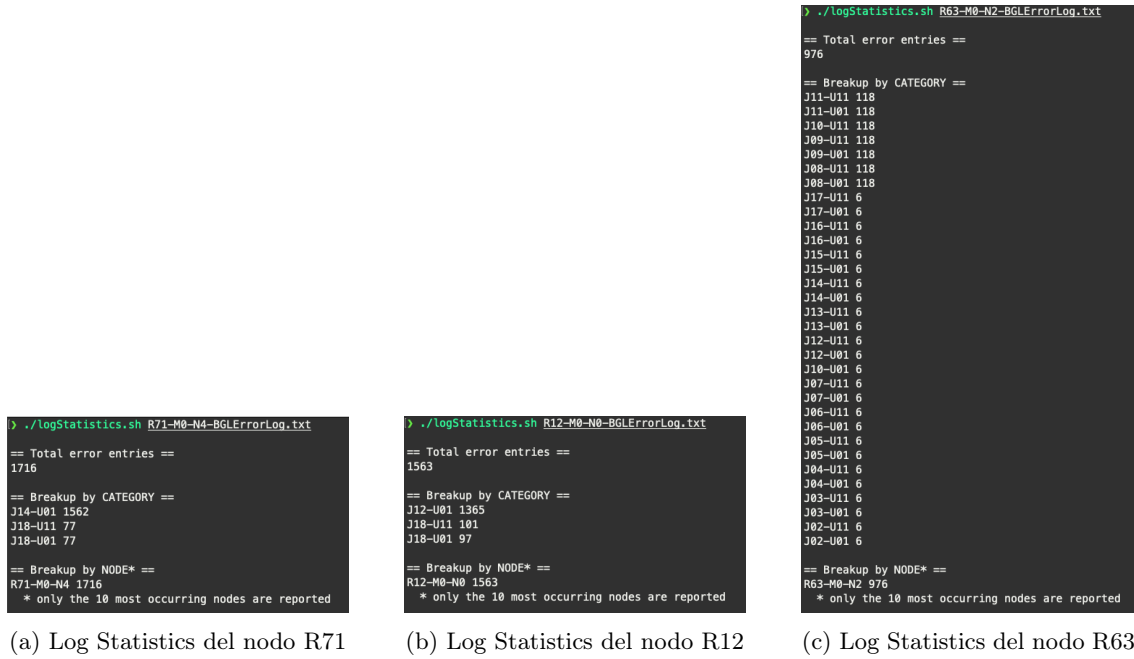


Figura 3.20: Log Statistics dei nodi del sistema BlueGene.

Di seguito viene riportata la reliability a confronto dei nodi e del sistema BlueGene/L:

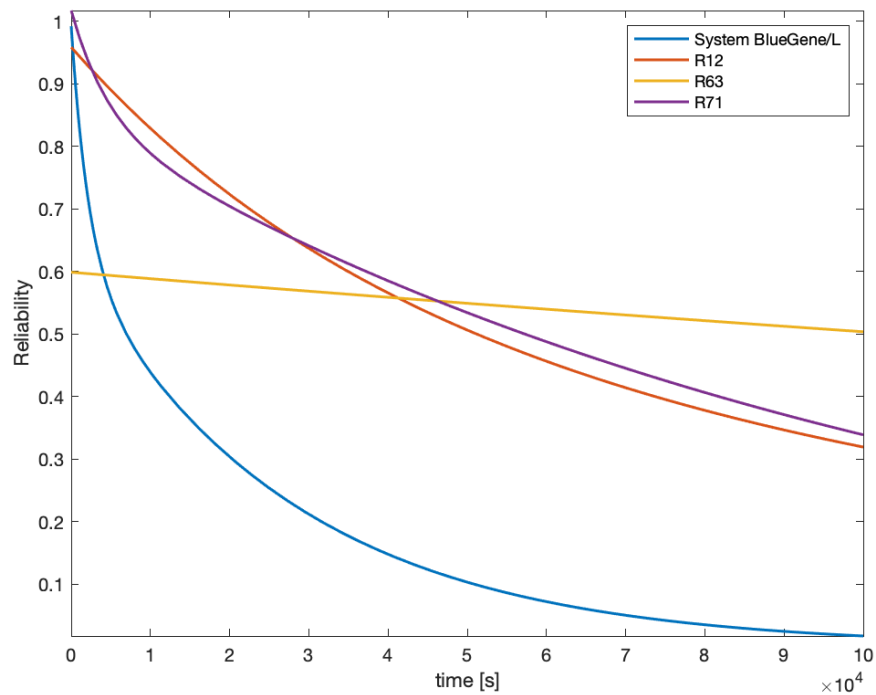


Figura 3.21: Reliability dei nodi scelti a confronto

Dalla figura 3.21 si può vedere che la reliability del sistema è decisamente inferiore rispetto a

quella dei singoli nodi considerati, quindi gli eventuali problemi non sono deducibili da questo tipo di analisi.

3.3.3 Analisi livello categoria

Le categorie scelte per BlueGene/L sono J18-U11, J18-U01, J14-U01 in quanto sono quelli con più occorrenze, come nella visto nella figura 3.17.

Utilizzando lo stesso procedimento applicato per i nodi, utilizzando lo script *tupleCount_func_CWIN.sh*, abbiamo ottenuto le coppie: finestra di coalescenza e numero di tuple di cui di seguito mostriamo graficate.

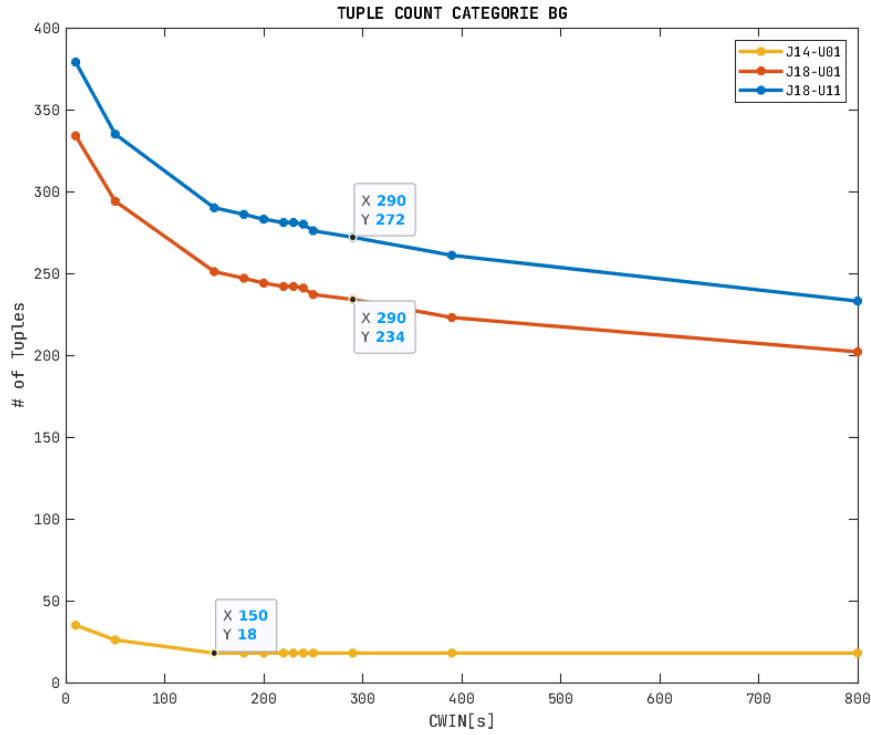


Figura 3.22: Confronto tupleCount per le categorie.

Scegliendo un buon valore di CWIN subito dopo al ginocchio esso varia da categoria a categoria.

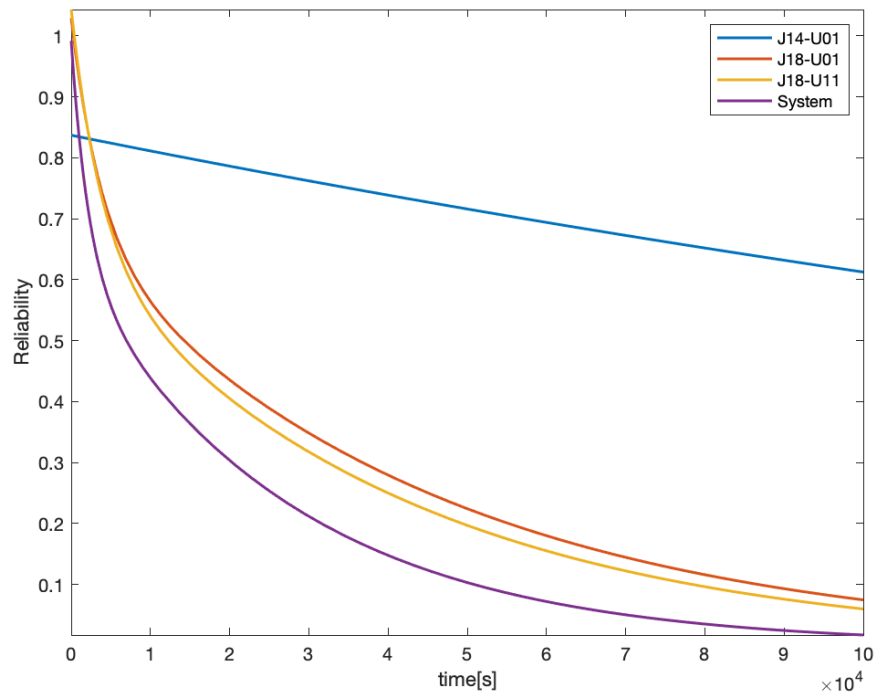


Figura 3.23: Reliability categoria a confronto

Così come è accaduto con l'analisi dei nodi, anche l'analisi relative alle categorie ha mostrato che la pendenza più veloce è proprio quella del sistema pertanto le categorie J14-U01, J18-U01, J18-U11 non hanno influenza negativa su di esso.

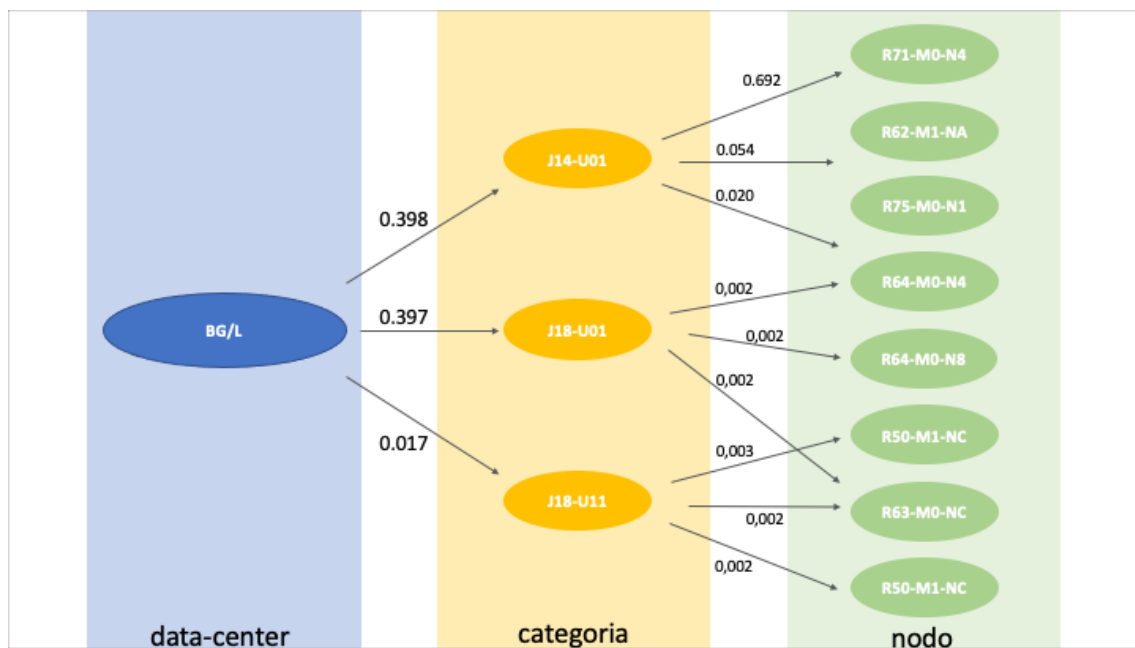


Figura 3.24: Reliability categoria a confronto

3.3.4 Confronto reliability Mercury - BG/L

Si considerino le reliability teoriche del due sistemi analizzati ricavate nei capitoli precedenti:

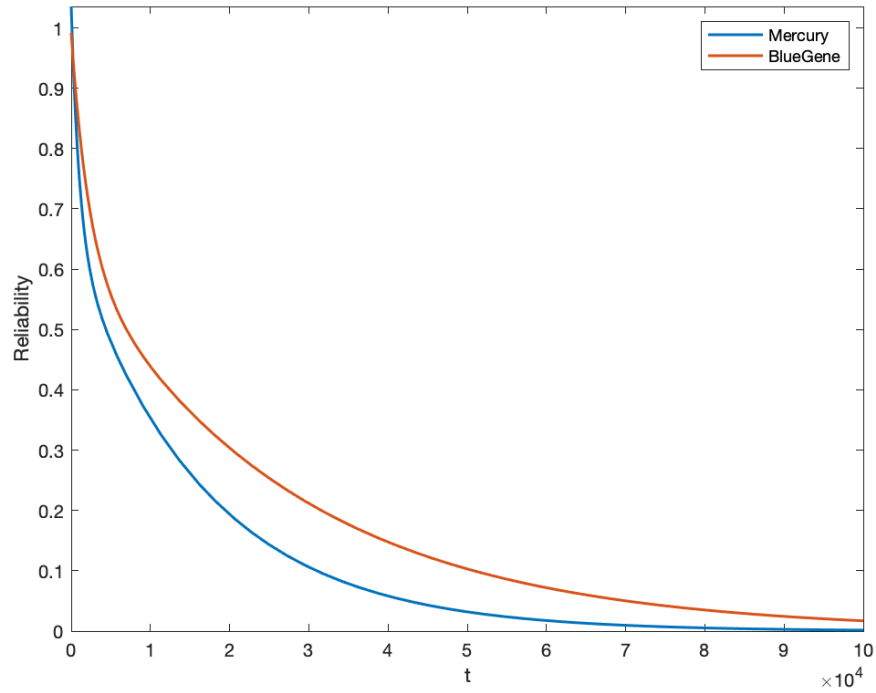


Figura 3.25: Confronto Mercury - BlueGene/L

dal loro confronto, il sistema BlueGene/L risulta essere chiaramente più reliable rispetto al sistema Mercury.