

Relazione Progetto Simulazione di Sistemi

Corso di Laurea in
Informatica Magistrale

Anno Accademico
2023-2024

Loretti Andrea [0001097539]

Indice

1	Introduzione	3
2	Modello Analizzato	4
2.1	Politiche di Servizio	4
2.1.1	Politica Exact-N	4
2.1.2	Politica N-Limited	4
3	Descrizione implementazione	4
3.1	Codice Sorgente	5
3.1.1	Modifiche nel File <code>PassiveQueue.cc</code>	5
3.1.2	Modifiche nel File <code>Server.h</code>	5
3.1.3	Modifiche nel File <code>Server.cc</code>	5
4	Parametri della Simulazione	6
5	Analisi transiente iniziale	7
6	Misure di Prestazione	13
7	Metodo di Simulazione	14
8	Risultati	14
9	Analisi dei Risultati	14
9.1	Analisi Generale	14
9.2	Analisi rispetto λ	15
9.3	Analisi rispetto m_1	17
9.4	Analisi rispetto m_2	19
9.5	Analisi rispetto N	21
10	Convalida del Modello	23
10.1	Verifica del Teorema di Little per $\lambda = 1.25$ con tolleranza 3%	23
10.2	Verifica del Teorema di Little per $\lambda = 2$ con tolleranza 3%	24
11	Conclusioni	24
11.1	Performance del Sistema	25
11.2	Dinamiche di Comportamento Strategico	25
11.3	Validazione del Modello	26
11.4	Considerazioni Finali	26

1 Introduzione

Questa relazione riguarda l'analisi di un modello di simulazione basato su una variante del comportamento strategico in una coda tandem con server alternato, come descritto nell'articolo di riferimento [DHY20]. Il modello di simulazione è stato realizzato considerando specifici parametri di interarrivo, tempi di servizio e politiche di gestione.

2 Modello Analizzato

Il modello può essere descritto come una coda tandem con server alternato.

2.1 Politiche di Servizio

Nell'articolo di riferimento vengono descritte due politiche di gestione utilizzate nelle simulazioni:

2.1.1 Politica Exact-N

Sotto la politica Exact-N, il server completa il servizio di esattamente N clienti nella prima coda (Q1) prima di passare alla seconda coda (Q2) e servire quei N clienti, per poi ritornare a Q1 per iniziare un nuovo ciclo. Questa politica porta a un comportamento misto dei clienti, che possono decidere di seguire o evitare la folla.

2.1.2 Politica N-Limited

Nella politica N-Limited, il server passa da Q1 a Q2 quando la prima coda è vuota o quando è stato raggiunto il numero massimo di N clienti serviti. Questo rende il sistema conservativo nel lavoro, poiché il server non rimane mai inattivo quando ci sono clienti in attesa, portando a un comportamento dei clienti che tende ad evitare la folla.

3 Descrizione implementazione

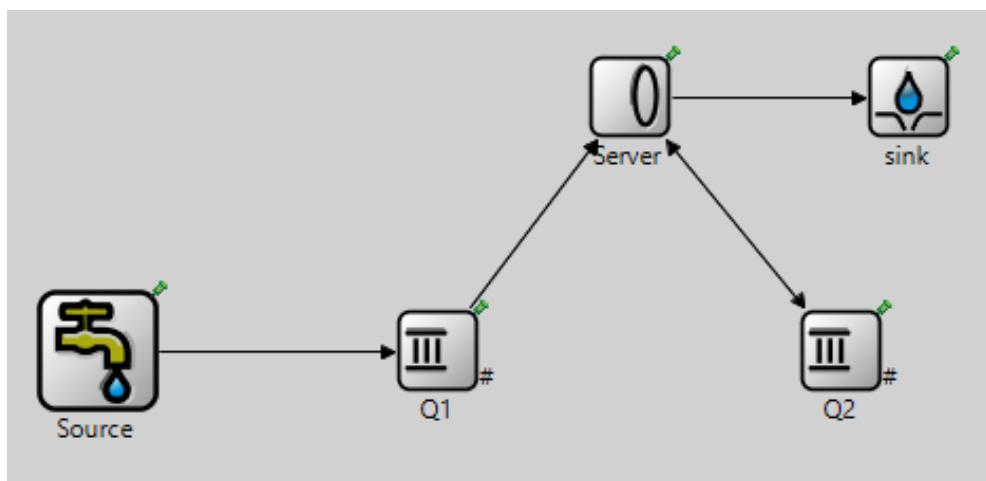


Figura 3.1: Rapresentazione in OMNeT++ del modello simulato

3.1 Codice Sorgente

3.1.1 Modifiche nel File `PassiveQueue.cc`

Per migliorare l'efficienza del sistema, sono state apportate diverse modifiche significative nel file `PassiveQueue.cc`. In particolare, è stata aggiunta la logica per identificare se il server è associato alla coda Q1 e per gestire lo stato di allocazione del server in base a questa informazione. Questa modifica permette al sistema di deallocare il server se è libero e di allocarlo se è occupato, migliorando così l'efficienza nella gestione dei job. Inoltre, la gestione dello stato della coda è stata ottimizzata per evitare sprechi di risorse e garantire un'allocazione più dinamica dei job ai server.

3.1.2 Modifiche nel File `Server.h`

Nel file `Server.h`, sono state aggiunte variabili per tenere traccia del numero di clienti serviti nelle code Q1 e Q2, nonché flag per indicare se il server sta attualmente servendo Q1 o Q2 e se le code sono vuote. Queste variabili includono `customersServedQ1`, `customersServedQ2`, `fromQueue1`, `isQ1Empty` e `isQ2Empty`. Queste modifiche sono state necessarie per implementare le nuove strategie di servizio e per monitorare meglio lo stato del sistema. Inoltre, sono state aggiunte variabili per gestire la strategia di servizio (Exact-N o N-Limited) e la distribuzione delle probabilità, come `N`, `pDistribution` e `vDistribution`. Queste modifiche permettono di modellare meglio scenari reali in cui i server possono avere regole specifiche per cambiare coda, migliorando la precisione delle simulazioni.

3.1.3 Modifiche nel File `Server.cc`

Il file `Server.cc` ha subito modifiche significative per implementare le politiche di servizio Exact-N e N-Limited. È stata aggiunta logica per cambiare la coda servita in base alla politica di servizio selezionata e al numero di clienti serviti. Ad esempio, sono state implementate le funzioni `Exact_N` e `N_Limited` per gestire queste politiche di servizio. La funzione `Exact_N` gestisce il passaggio tra le code dopo aver servito esattamente N clienti, mentre la funzione `N_Limited` gestisce il passaggio quando la coda è vuota o quando è stato raggiunto il numero massimo di N clienti serviti. Inoltre, sono stati inclusi controlli per verificare se le code Q1 e Q2 sono vuote e per allocare o deallocare il server di conseguenza.

Queste modifiche migliorano l'efficienza del server e garantiscono una gestione più dinamica e reattiva dei job. La verifica dello stato delle code prima di effettuare transizioni tra le code serve a evitare sprechi di risorse e a garantire che il server serva sempre la coda con job in attesa, aumentando l'efficienza complessiva del sistema.

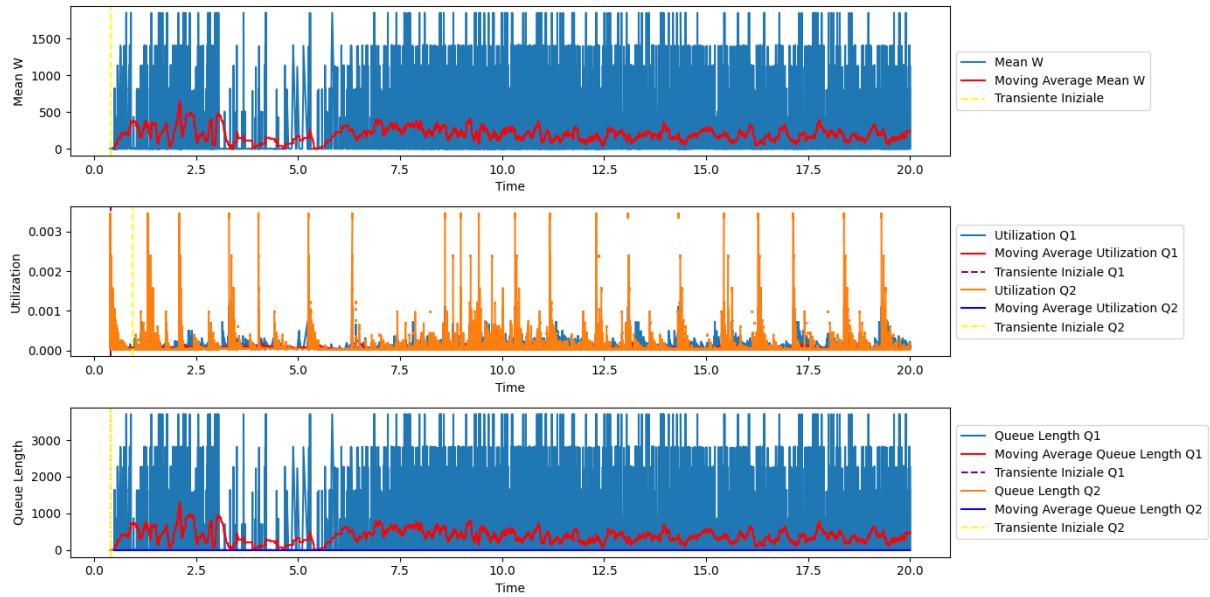
Queste modifiche rendono il modello di simulazione più robusto e realistico, permettendo una migliore analisi del comportamento strategico in sistemi di code tandem con server alternato.

4 Parametri della Simulazione

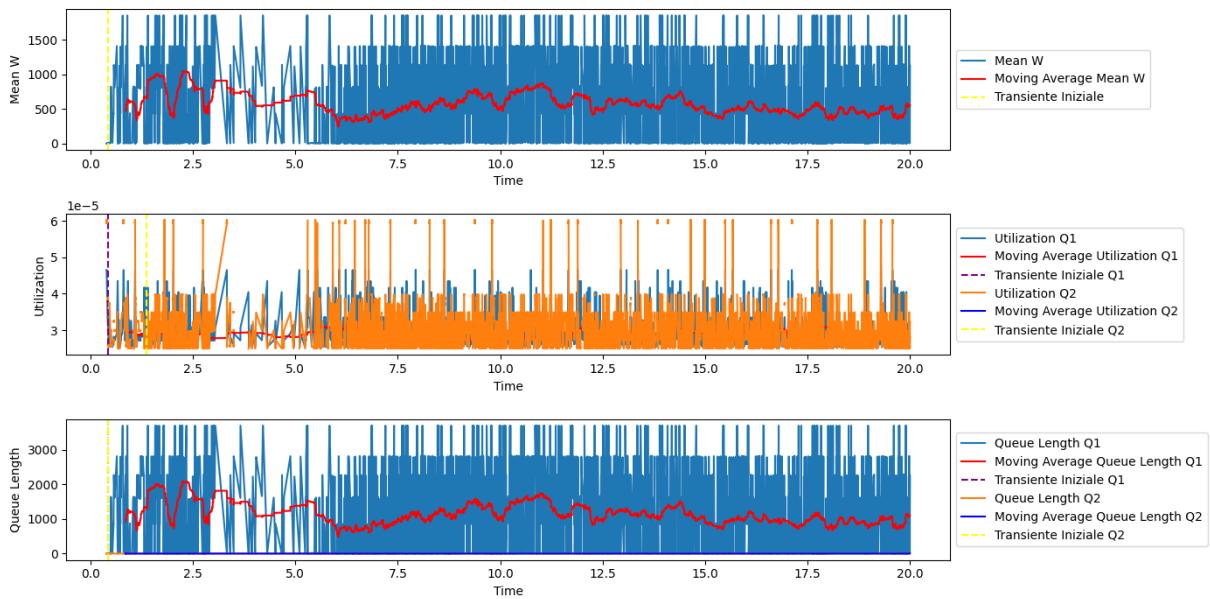
- **Tempo di interarrivo degli utenti:** Distribuzione esponenziale con media $\frac{1}{\lambda}$
- **Tempi di servizio dei serventi Q_i :** Distribuzione esponenziale con media m_i
- **Costo di switch:** Pari a zero
- **Politiche di servizio:** Exact-N, N-Limited
- **Parametri specifici:**
 - λ : 2.0, 1.4, 1.2, 1.0
 - m_1, m_2 : 0.4, 0.3, 0.25, 0.20
 - p : Uniformemente distribuito in [a, b]
 - V : Uniformemente distribuito in [c, b]
 - $[a, b]$: [1, 3], [4, 6], [8, 10]
 - $[c, b]$: [14, 16], [18, 20], [20, 22]
- **CW:** 1.0
- **N:** 1, 2, 3, 4, 5

5 Analisi transiente iniziale

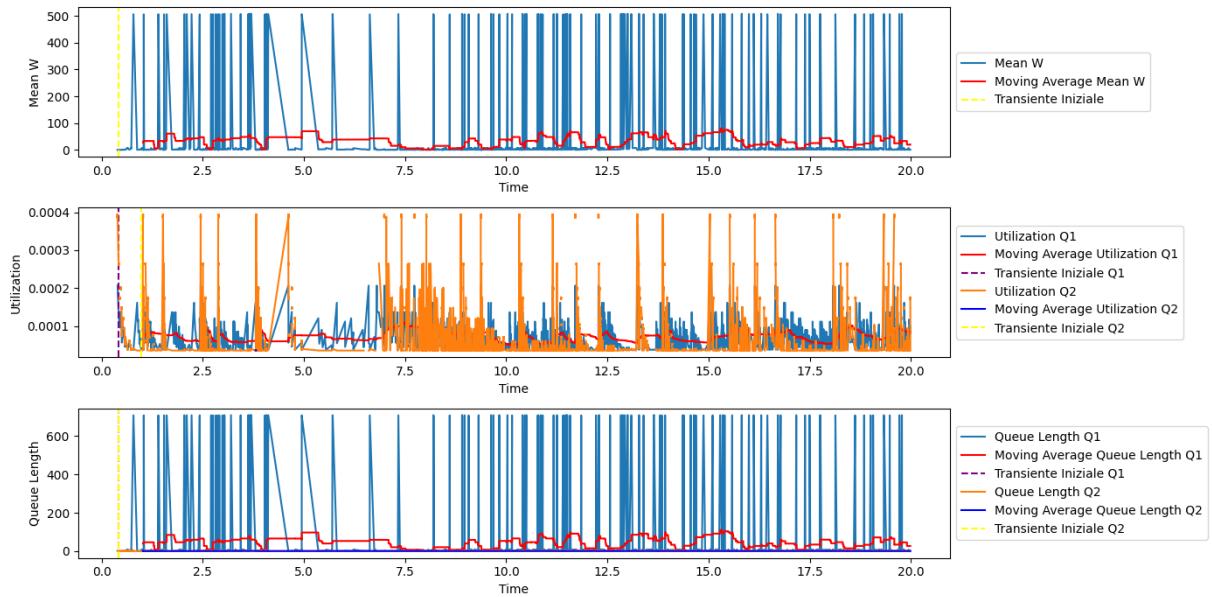
Parametri in funzione del tempo (All Configurations) - Simulazioni analizzate: 5760



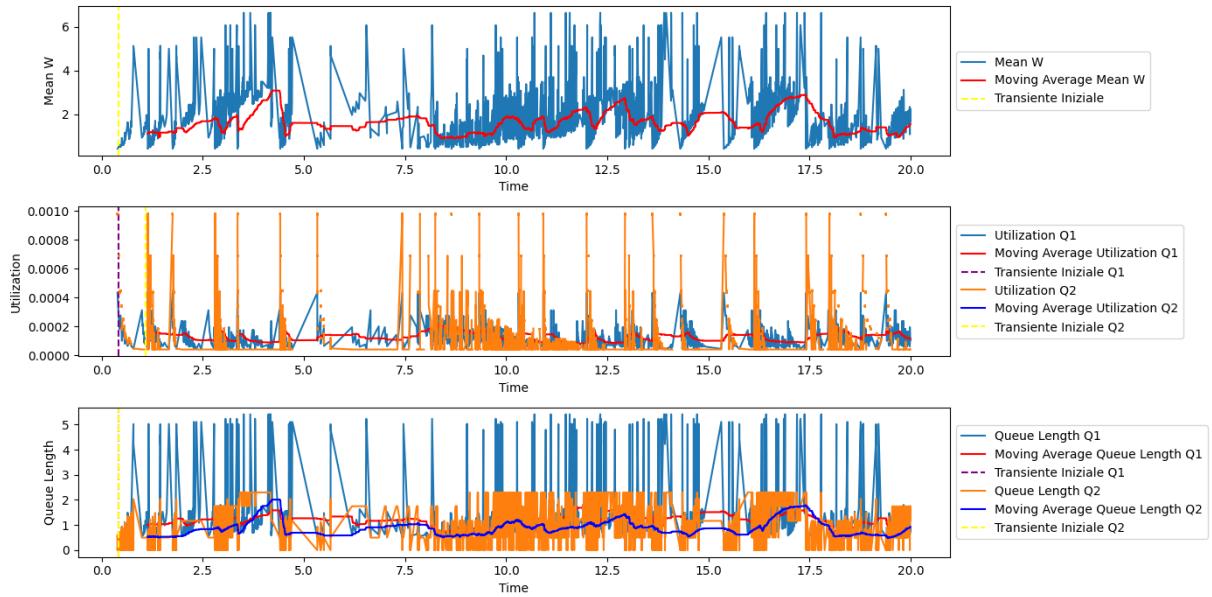
Parametri in funzione del tempo (lambda=2.0) - Simulazioni analizzate: 1440



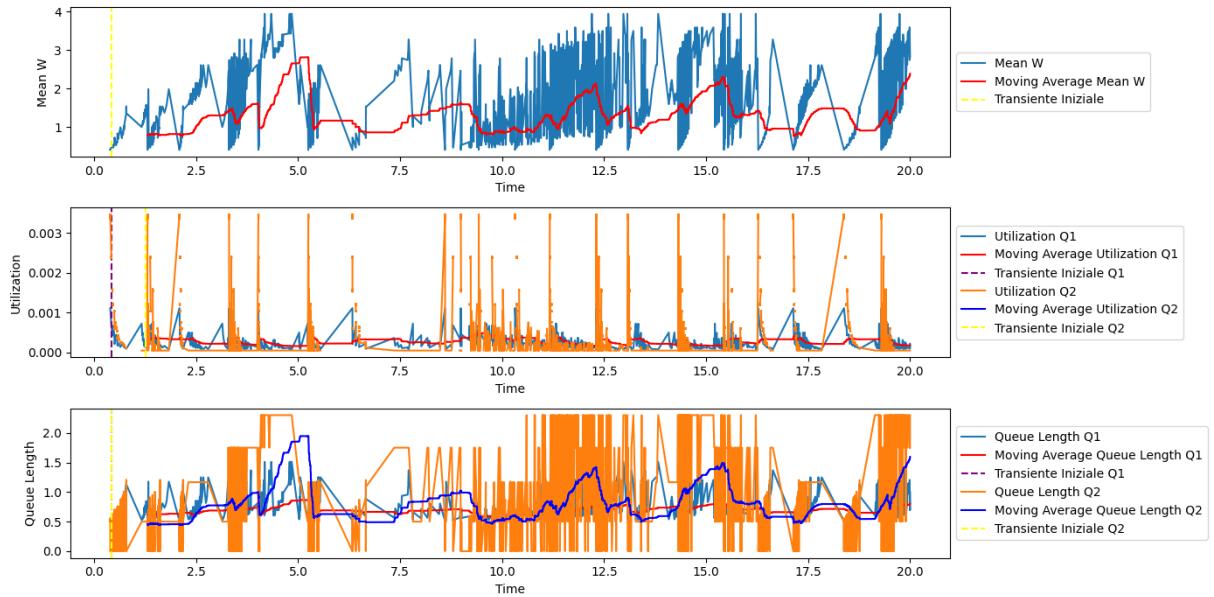
Parametri in funzione del tempo ($\lambda=1.4$) - Simulazioni analizzate: 1440



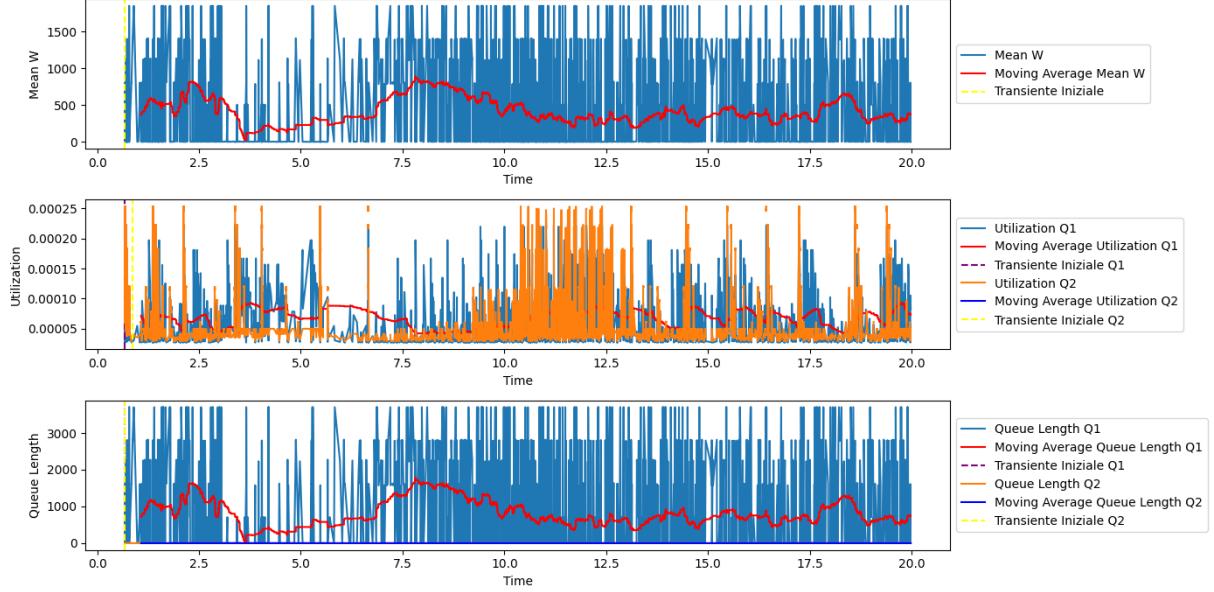
Parametri in funzione del tempo ($\lambda=1.2$) - Simulazioni analizzate: 1440



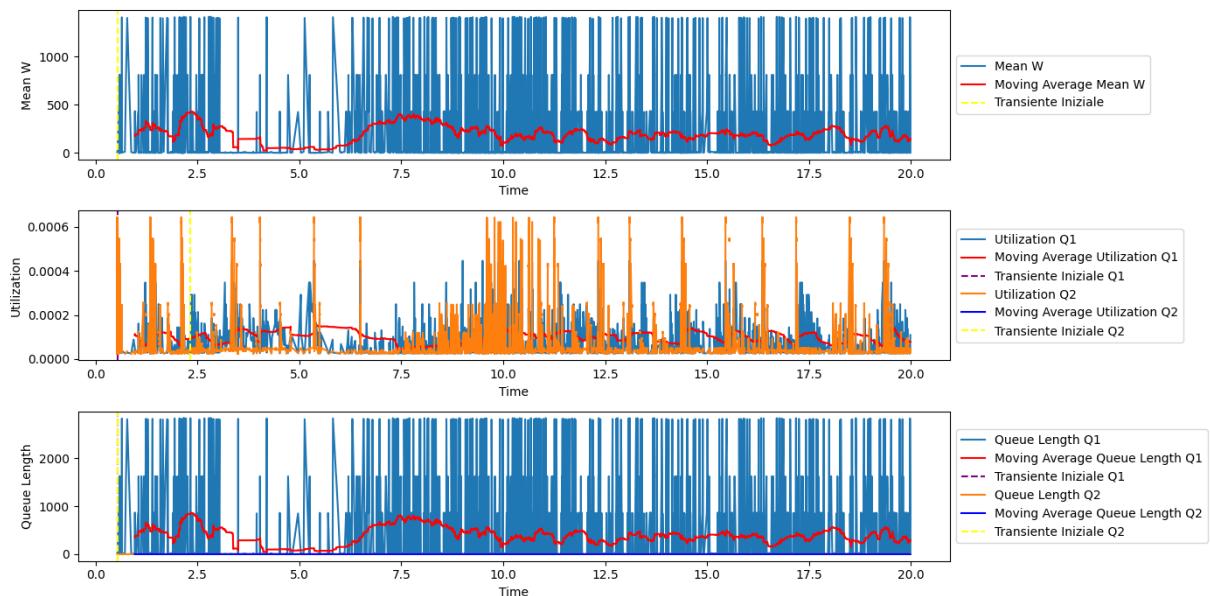
Parametri in funzione del tempo ($\lambda=1.0$) - Simulazioni analizzate: 1440



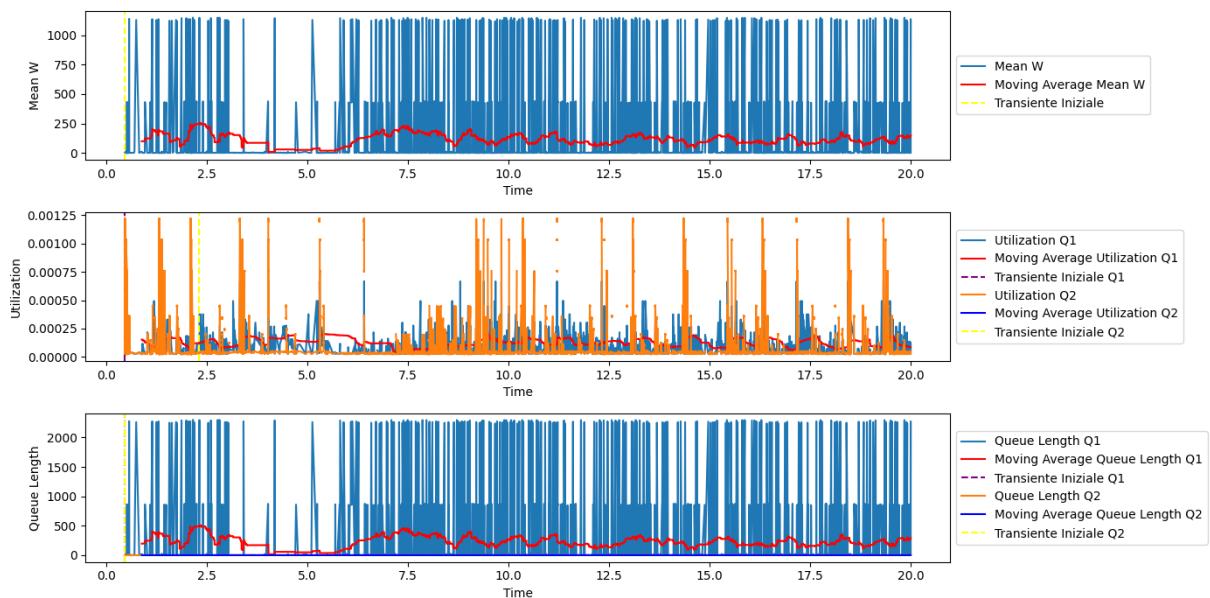
Parametri in funzione del tempo ($m_1=0.4$) - Simulazioni analizzate: 1440



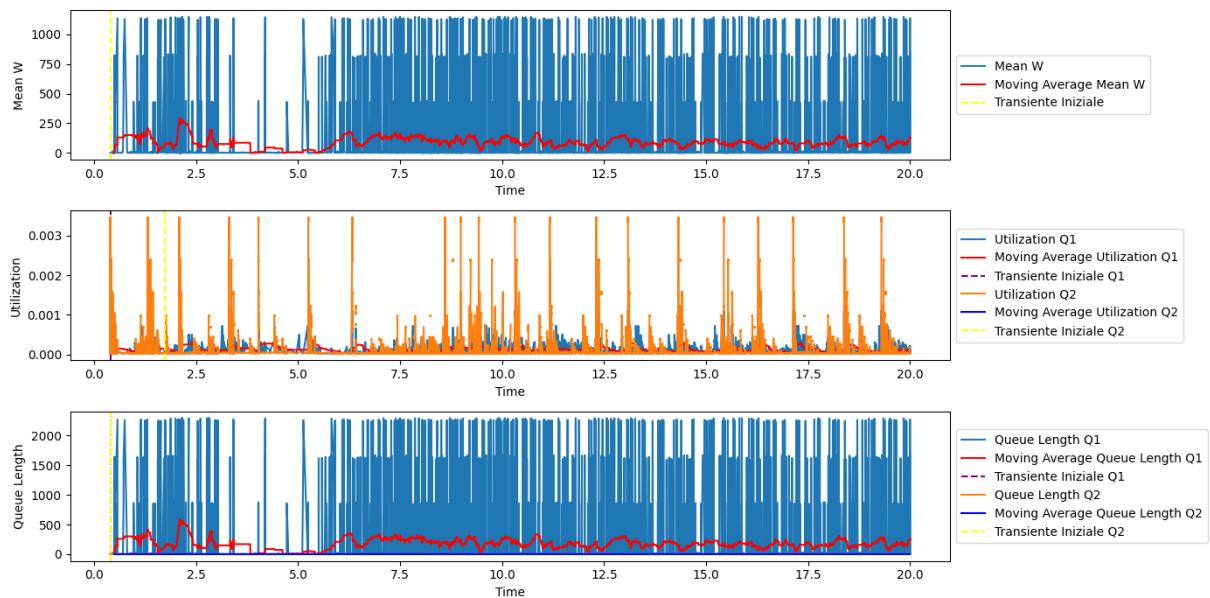
Parametri in funzione del tempo ($m_1=0.3$) - Simulazioni analizzate: 1440



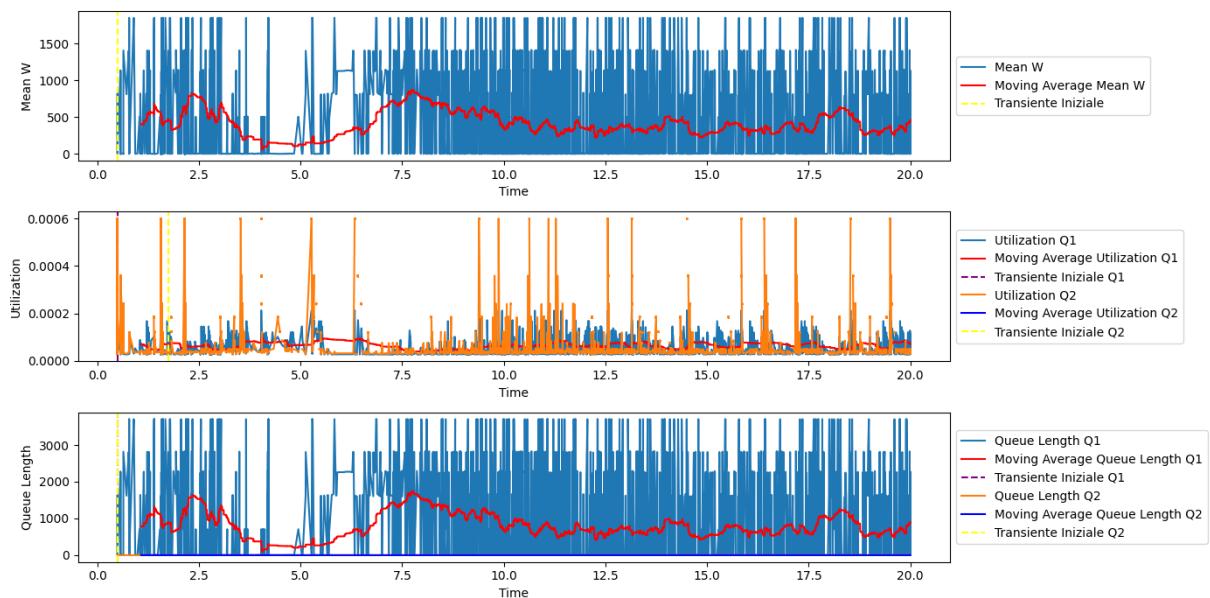
Parametri in funzione del tempo ($m_1=0.25$) - Simulazioni analizzate: 1440



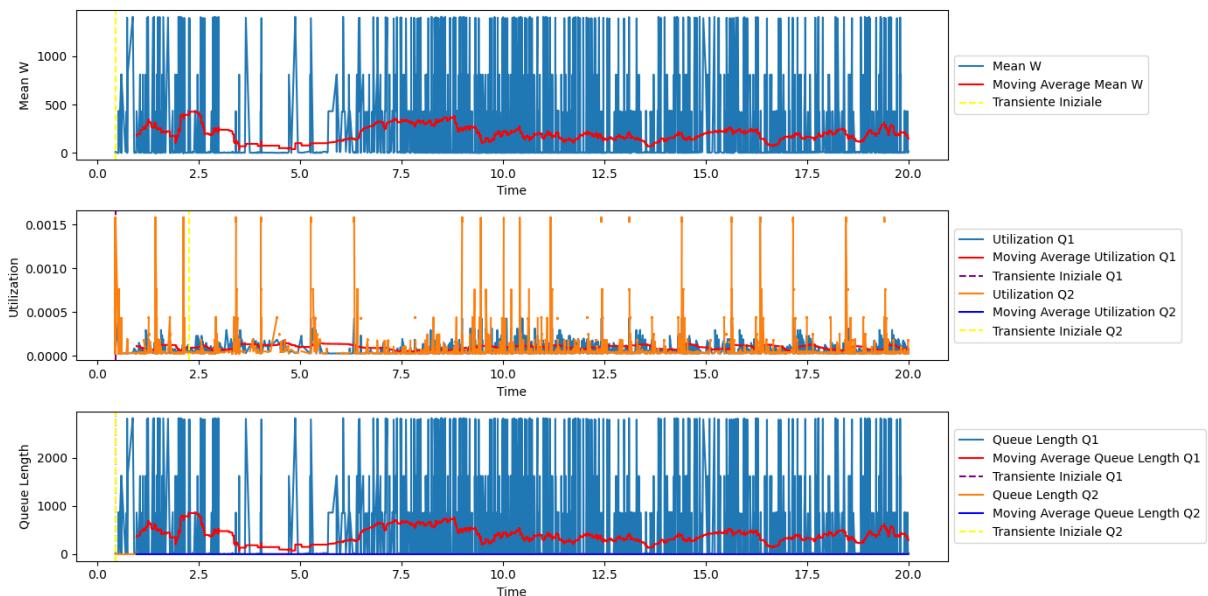
Parametri in funzione del tempo ($m1=0.2$) - Simulazioni analizzate: 2880



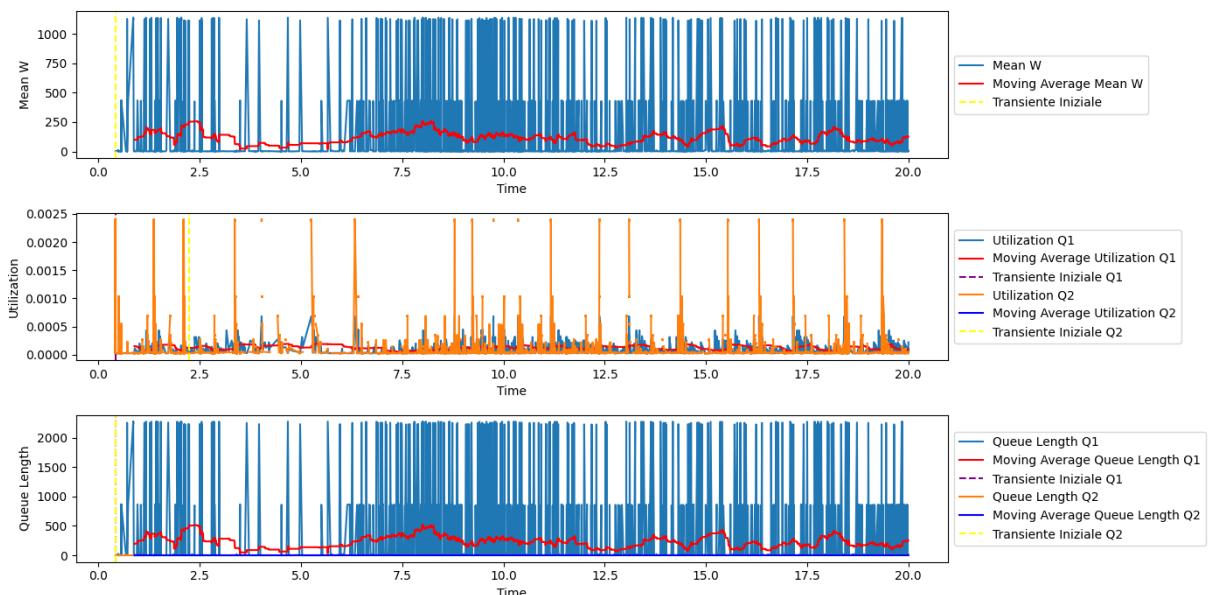
Parametri in funzione del tempo ($m2=0.4$) - Simulazioni analizzate: 1440



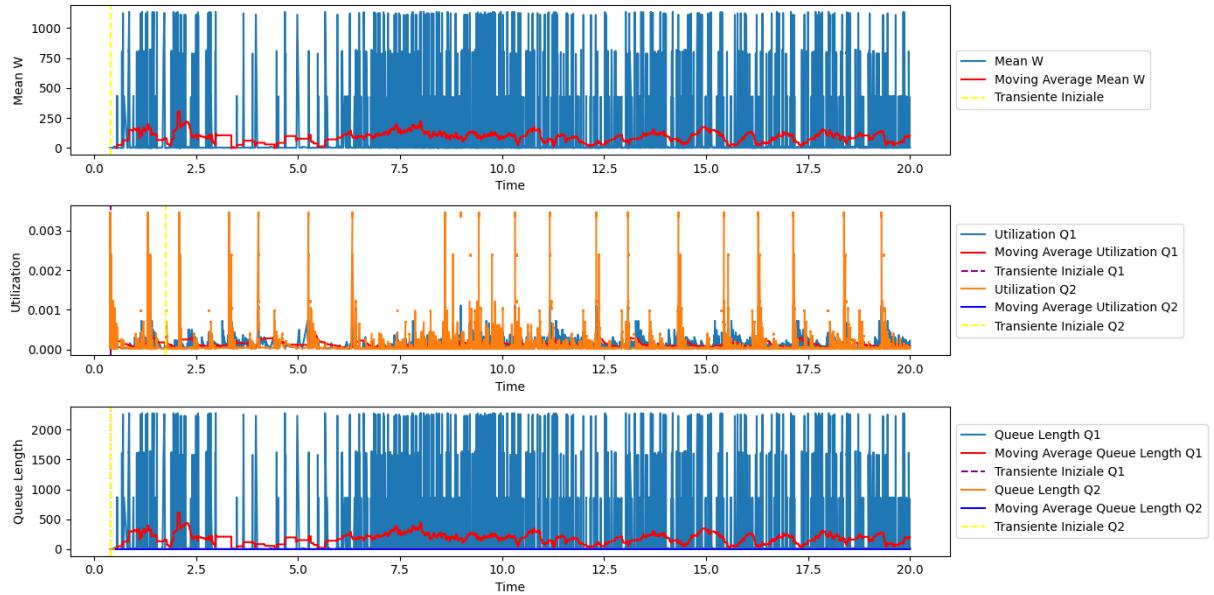
Parametri in funzione del tempo ($m_2=0.3$) - Simulazioni analizzate: 1440



Parametri in funzione del tempo ($m_2=0.25$) - Simulazioni analizzate: 1440



Parametri in funzione del tempo ($m_2=0.2$) - Simulazioni analizzate: 2880



Il transiente è stato calcolato utilizzando una finestra mobile di dimensione 1000s. Come si può vedere dai grafici i valori della simulazione rimangono stabili fin da subito quindi il transiente iniziale spesso si trova al secondo 1 rendendo triviale l'esclusione dei dati antecedenti al transiente per l'analisi dei risultati.

6 Misure di Prestazione

- **Tempo medio di permanenza nel sistema $W(N)$:** Stima puntuale e intervalli di confidenza
- **Guadagno medio $U = V - p - (CW \times W)$:** Stima puntuale e intervalli di confidenza
- **Tempo massimo e minimo di permanenza nel sistema:** Stima puntuale e intervalli di confidenza
- **Fattore di utilizzo dei singoli server:** Stima puntuale e intervalli di confidenza

7 Metodo di Simulazione

Il modello di simulazione è stato implementato utilizzando la piattaforma **Omnet++**. Le componenti sono state modificate dalla libreria **queueinglib**. Sono stati effettuati almeno 20 esperimenti per ogni configurazione del modello per un tempo simulazione di 10000s.

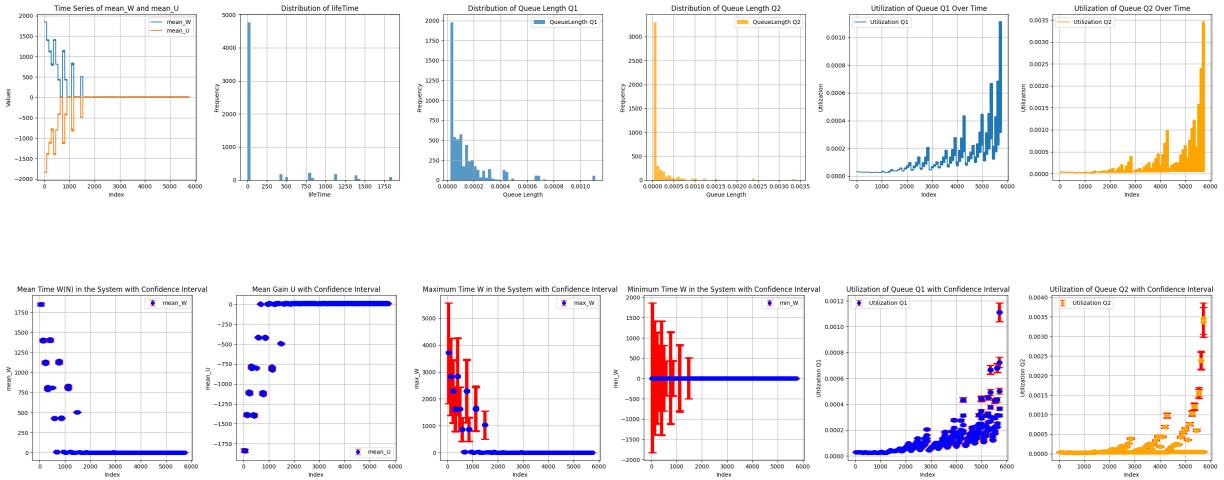
8 Risultati

I risultati delle simulazioni sono stati raccolti nei seguenti file:

- **LittleLaw_general_lambda_results.csv**
- **LittleLaw_results.csv**
- **results_summary.csv**
- **results_summary_convalidation.csv**

9 Analisi dei Risultati

9.1 Analisi Generale



1. Carico del Sistema e Performance

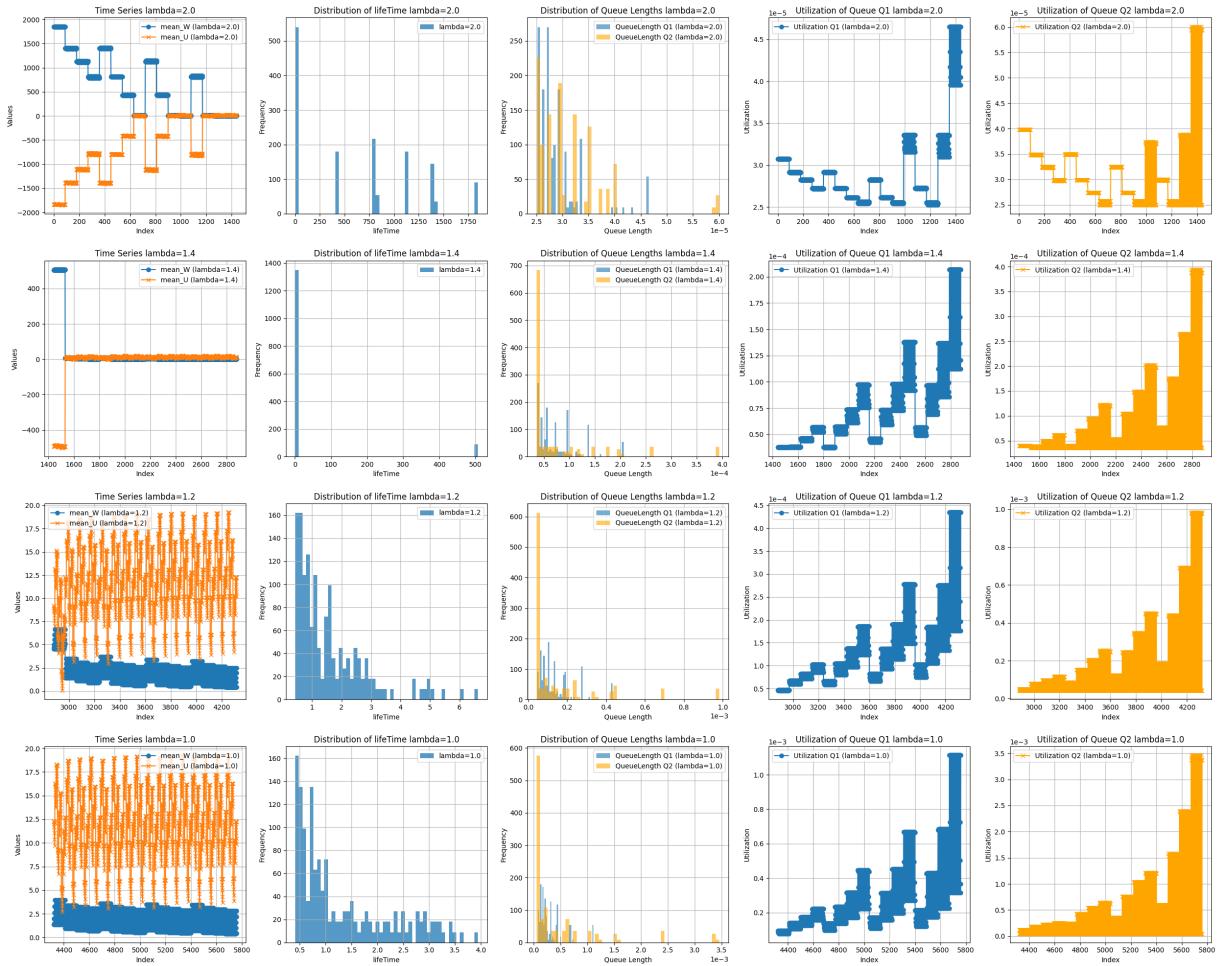
- Il tempo medio e massimo nel sistema varia notevolmente, con occasionali picchi molto alti, indicando che il sistema può essere soggetto a congestioni.

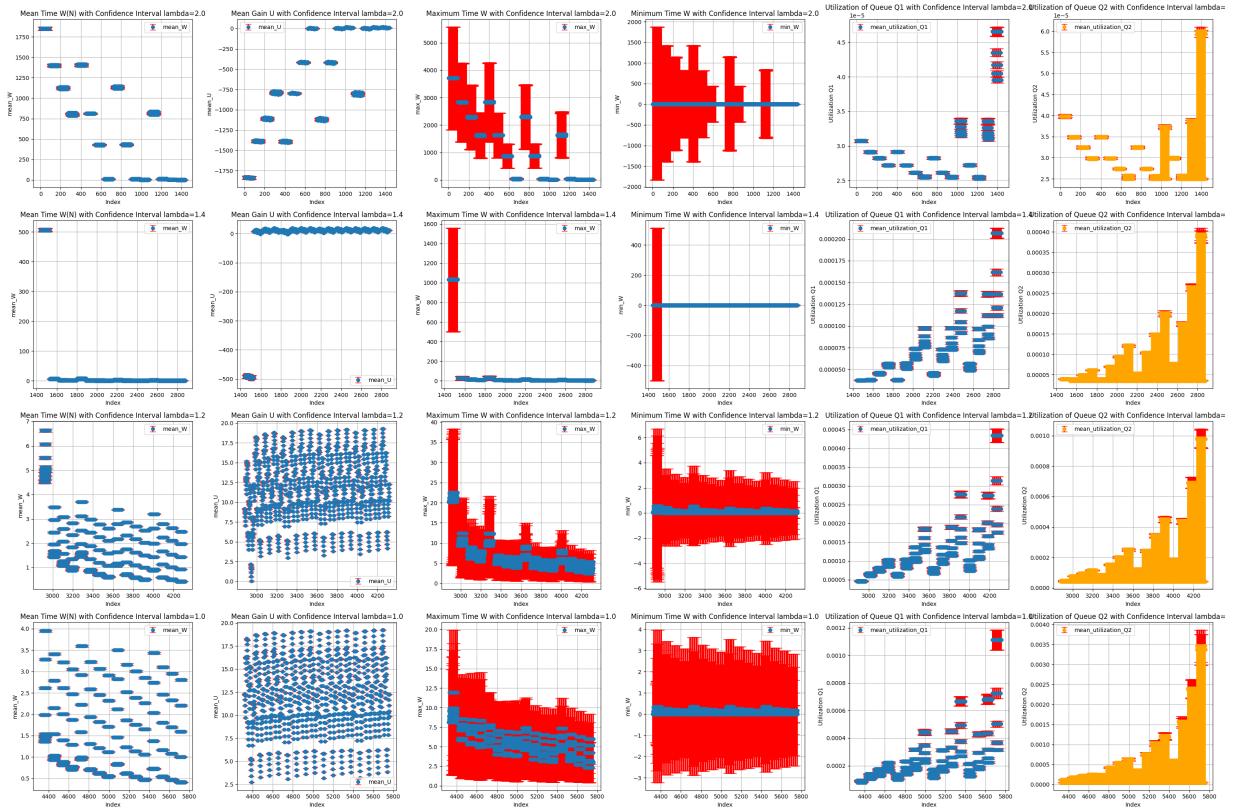
- L'utilizzo delle code è generalmente basso, ma tende ad aumentare nel tempo, specialmente per Q_2 , suggerendo che il sistema potrebbe diventare più congestionato man mano che la simulazione procede.

2. Dinamiche di Comportamento Strategico

- Il comportamento strategico degli elementi nel sistema sembra influenzare significativamente le prestazioni del sistema. I picchi nel tempo massimo nel sistema e l'aumento dell'utilizzo di Q_2 potrebbero essere dovuti a strategie adottate dagli elementi per minimizzare il loro tempo nel sistema.

9.2 Analisi rispetto λ





1. Carico del Sistema e Performance

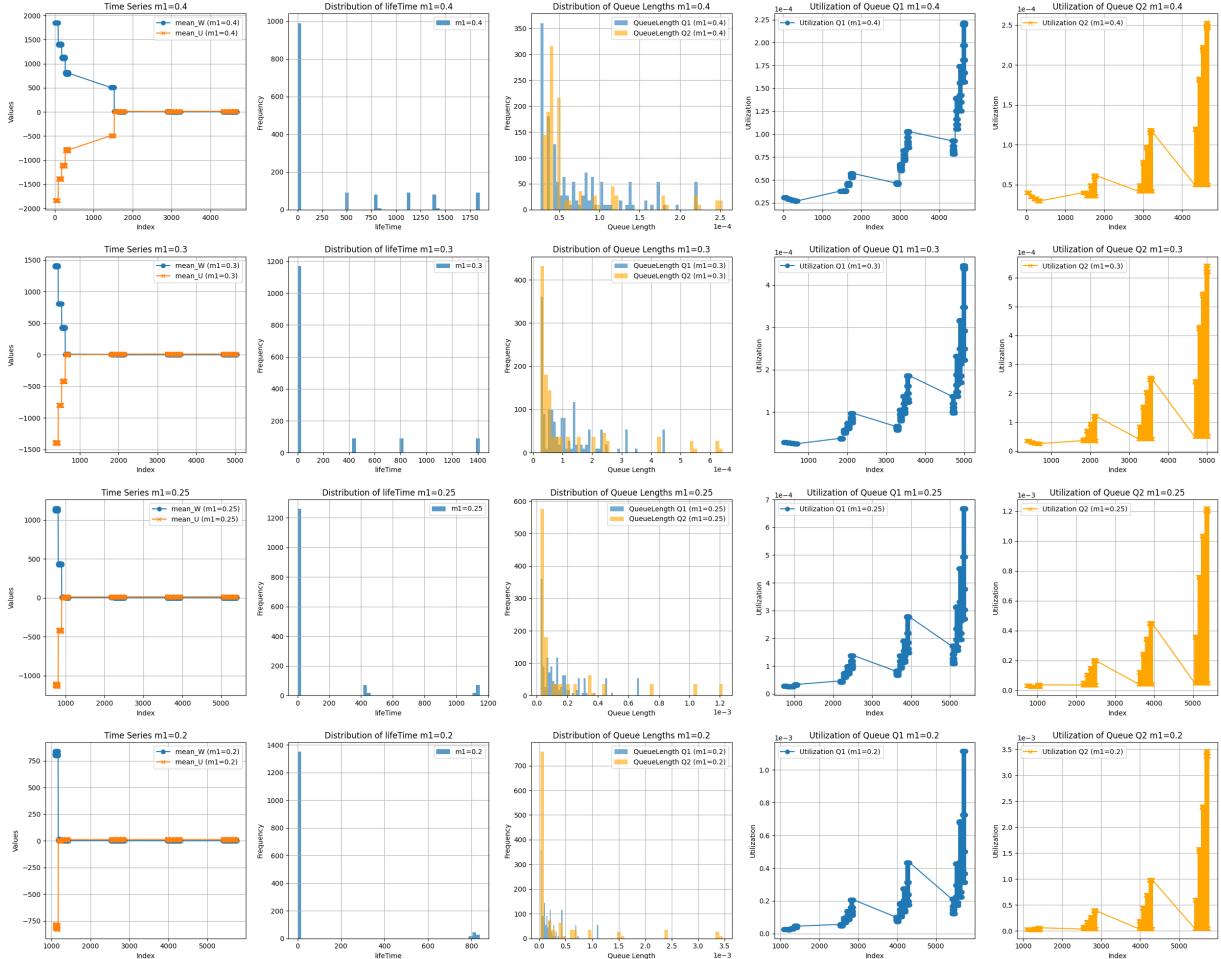
- Con diversi valori di λ (2.0, 1.4, 1.2, 1.0), il tempo medio e massimo nel sistema varia notevolmente. I grafici mostrano che per valori più alti di λ , il tempo massimo nel sistema può essere molto elevato, indicando possibili congestioni nel sistema.
- L'utilizzo delle code $Q1$ e $Q2$ aumenta progressivamente con l'aumentare del tempo di simulazione. Questo suggerisce che, indipendentemente dal valore di λ , il sistema tende a diventare più congestionato man mano che la simulazione procede.

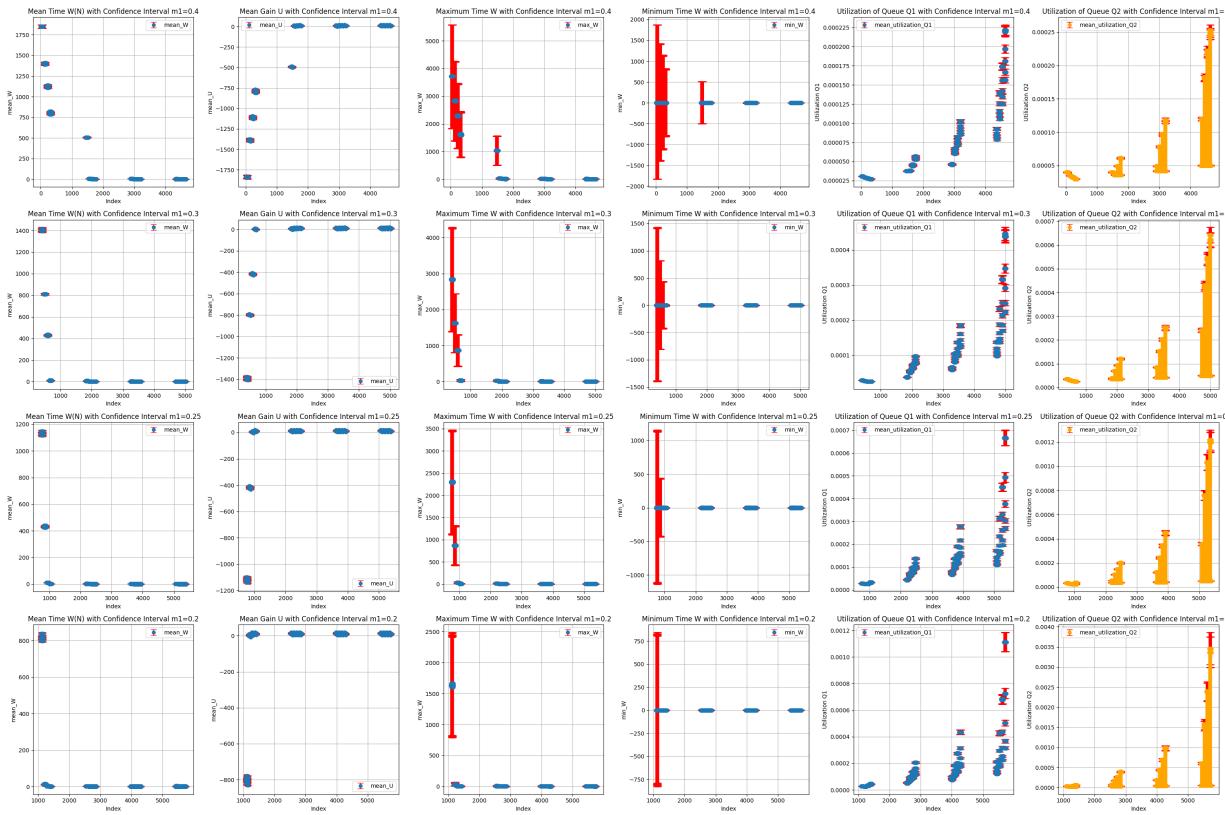
2. Dinamiche di Comportamento Strategico

- L'analisi delle serie temporali per $mean_W$ e $mean_U$ mostra che i valori di W decrescono drasticamente all'inizio e poi si stabilizzano, mentre i valori di U mostrano una diminuzione iniziale e poi rimangono costanti. Questo comportamento è osservato per tutti i valori di λ , indicando che le strategie adottate dagli elementi influenzano in modo simile le prestazioni del sistema indipendentemente dal parametro λ .

- I picchi nel tempo massimo nel sistema e l'aumento dell'utilizzo delle code, soprattutto per Q_2 , suggeriscono che il comportamento strategico degli elementi porta a situazioni di congestione nel sistema. Questo è particolarmente evidente con valori più alti di λ .

9.3 Analisi rispetto m_1





1. Carico del Sistema e Performance

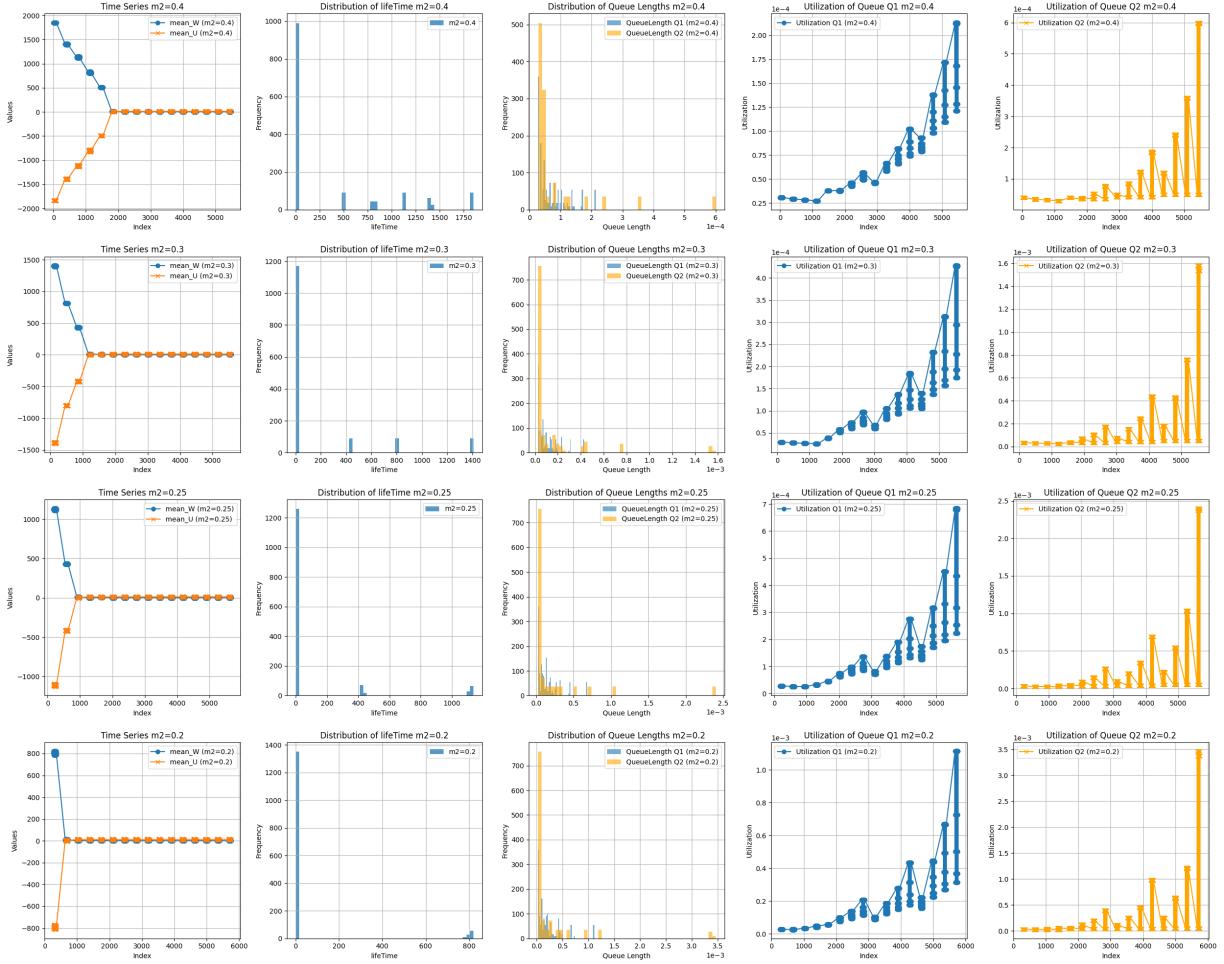
- Con diversi valori di $m1$ (0.4, 0.3, 0.25, 0.2), il tempo medio e massimo nel sistema varia notevolmente. I grafici mostrano che per valori più alti di $m1$, il tempo massimo nel sistema può essere molto elevato, indicando possibili congestioni nel sistema.
- L'utilizzo delle code $Q1$ e $Q2$ aumenta progressivamente con l'aumentare del tempo di simulazione. Questo suggerisce che, indipendentemente dal valore di $m1$, il sistema tende a diventare più congestionato man mano che la simulazione procede.

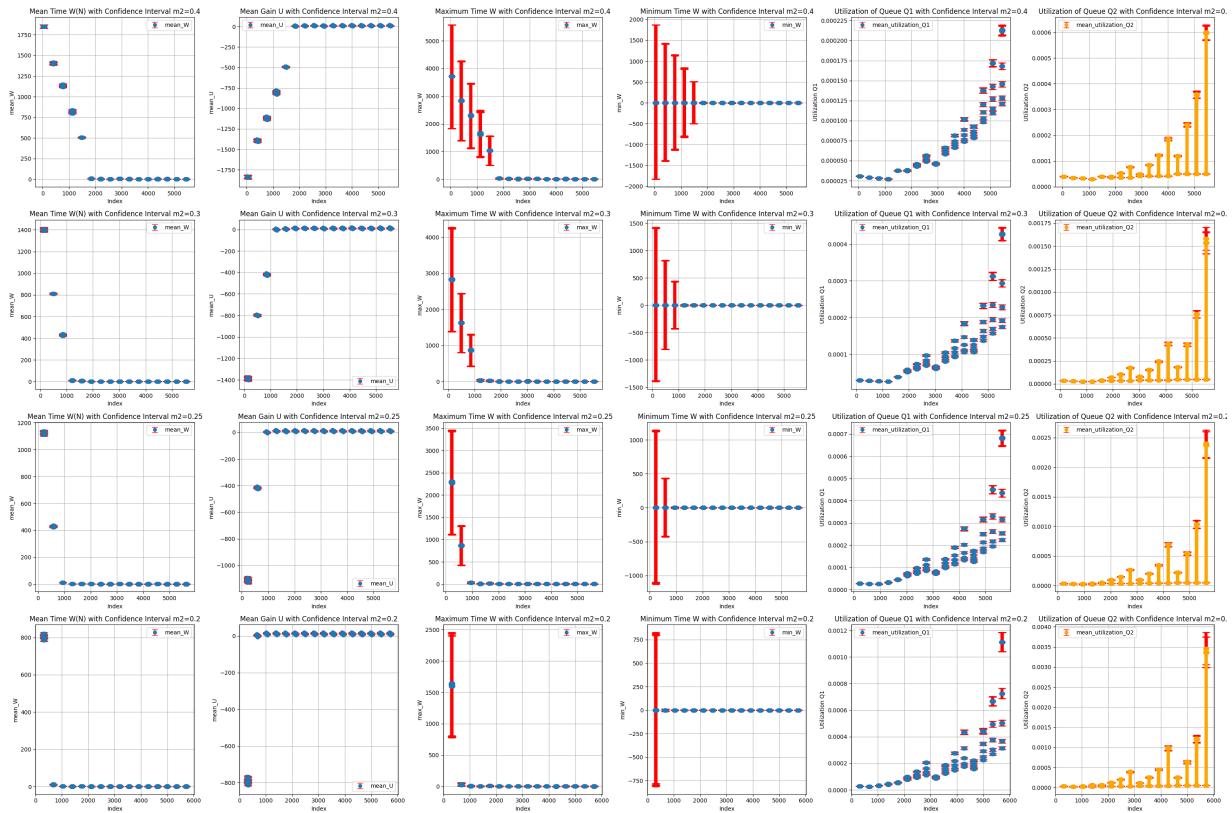
2. Dinamiche di Comportamento Strategico

- L'analisi delle serie temporali per $\text{mean_}W$ e $\text{mean_}U$ mostra che i valori di W decrescono drasticamente all'inizio e poi si stabilizzano, mentre i valori di U mostrano una diminuzione iniziale e poi rimangono costanti. Questo comportamento è osservato per tutti i valori di $m1$, indicando che le strategie adottate dagli elementi influenzano in modo simile le prestazioni del sistema indipendentemente dal parametro $m1$.

- I picchi nel tempo massimo nel sistema e l'aumento dell'utilizzo delle code, soprattutto per Q_2 , suggeriscono che il comportamento strategico degli elementi porta a situazioni di congestione nel sistema. Questo è particolarmente evidente con valori più alti di m_1 .

9.4 Analisi rispetto m_2





1. Carico del Sistema e Performance

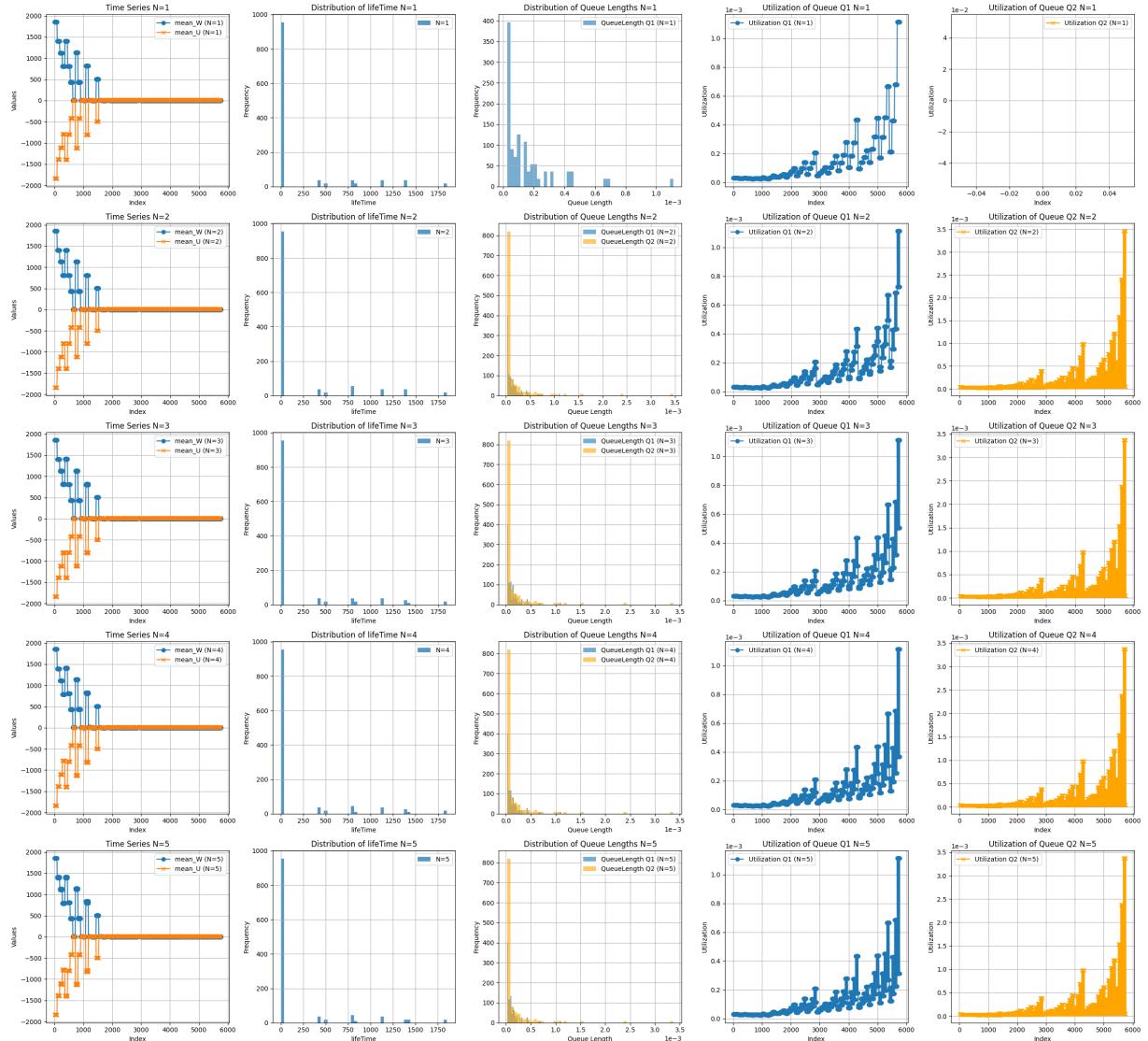
- Con diversi valori di $m2$ (0.4, 0.3, 0.25, 0.2), il tempo medio e massimo nel sistema varia notevolmente. I grafici mostrano che per valori più alti di $m2$, il tempo massimo nel sistema può essere molto elevato, indicando possibili congestioni nel sistema.
- L'utilizzo delle code $Q1$ e $Q2$ aumenta progressivamente con l'aumentare del tempo di simulazione. Questo suggerisce che, indipendentemente dal valore di $m2$, il sistema tende a diventare più congestionato man mano che la simulazione procede.

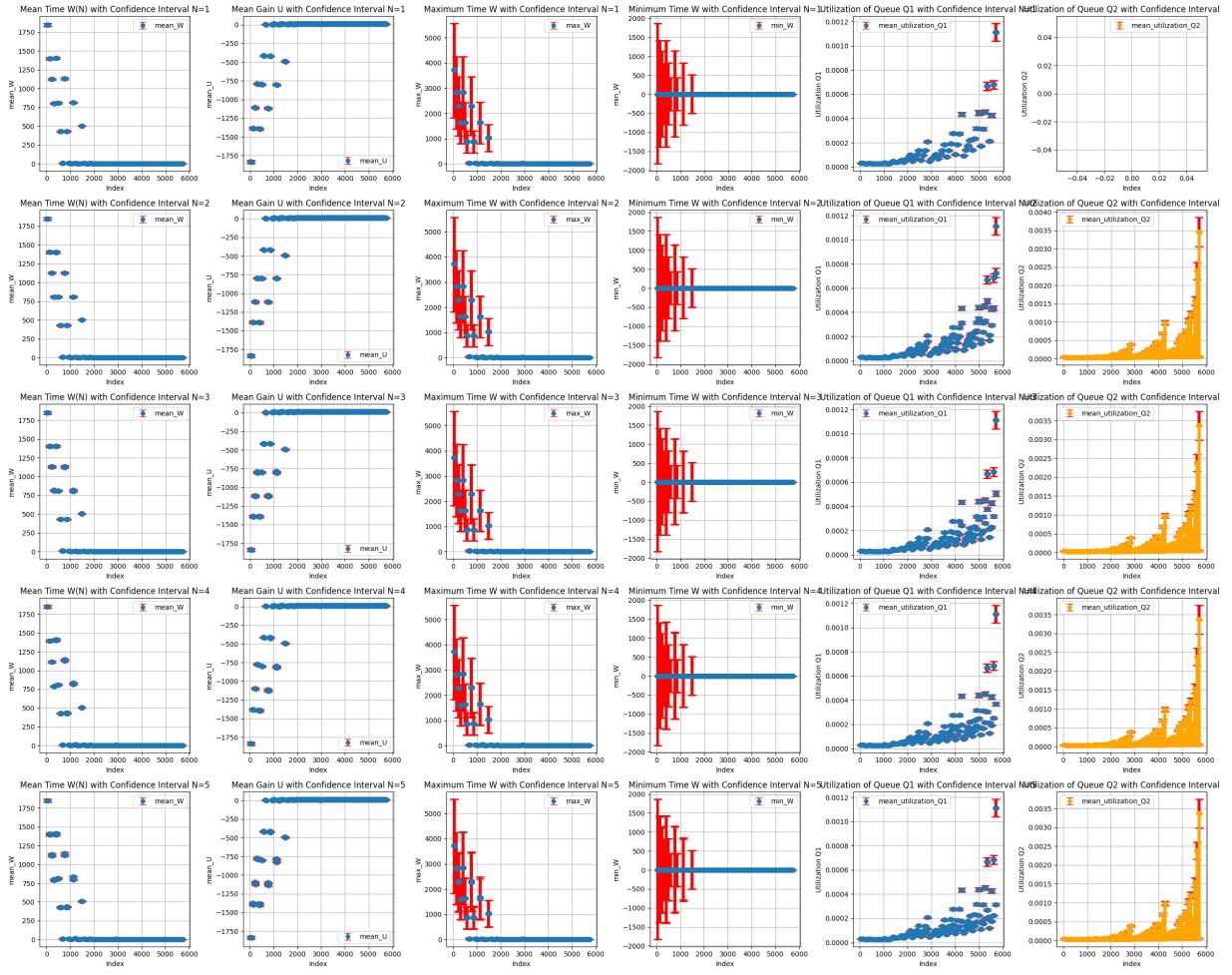
2. Dinamiche di Comportamento Strategico

- L'analisi delle serie temporali per $mean_W$ e $mean_U$ mostra che i valori di W decrescono drasticamente all'inizio e poi si stabilizzano, mentre i valori di U mostrano una diminuzione iniziale e poi rimangono costanti. Questo comportamento è osservato per tutti i valori di $m2$, indicando che le strategie adottate dagli elementi influenzano in modo simile le prestazioni del sistema indipendentemente dal parametro $m2$.

- I picchi nel tempo massimo nel sistema e l'aumento dell'utilizzo delle code, soprattutto per Q_2 , suggeriscono che il comportamento strategico degli elementi porta a situazioni di congestione nel sistema. Questo è particolarmente evidente con valori più alti di m_2 .

9.5 Analisi rispetto N





1. Carico del Sistema e Performance

- Con diversi valori di N (1, 2, 3, 4, 5), il tempo medio e massimo nel sistema varia notevolmente. I grafici mostrano che per valori più alti di N , il tempo massimo nel sistema può essere molto elevato, indicando possibili congestioni nel sistema.
- L'utilizzo delle code $Q1$ e $Q2$ aumenta progressivamente con l'aumentare del tempo di simulazione. Questo suggerisce che, indipendentemente dal valore di N , il sistema tende a diventare più congestionato man mano che la simulazione procede.

2. Dinamiche di Comportamento Strategico

- L'analisi delle serie temporali per mean_W e mean_U mostra che i valori di W decrescono drasticamente all'inizio e poi si stabilizzano, mentre i

valori di U mostrano una diminuzione iniziale e poi rimangono costanti. Questo comportamento è osservato per tutti i valori di N , indicando che le strategie adottate dagli elementi influenzano in modo simile le prestazioni del sistema indipendentemente dal parametro N .

- I picchi nel tempo massimo nel sistema e l'aumento dell'utilizzo delle code, soprattutto per $Q2$, suggeriscono che il comportamento strategico degli elementi porta a situazioni di congestione nel sistema. Questo è particolarmente evidente con valori più alti di N .

10 Convalida del Modello

Per la convalida del modello, verificheremo il Teorema di Little sulla configurazione `strategy 0 (Exact_N)` con un set di simulazioni `strategy 1 (N_Limited)` con $\lambda = 1.25$, $\lambda = 2$, $m1 = 0.25$, $m2 = 0.25$, $n = 2$ e $n = 3$.

10.1 Verifica del Teorema di Little per $\lambda = 1.25$ con tolleranza 3%

Il seguente grafico mostra la verifica del Teorema di Little per $\lambda = 1.25$ con tolleranza del 3%:

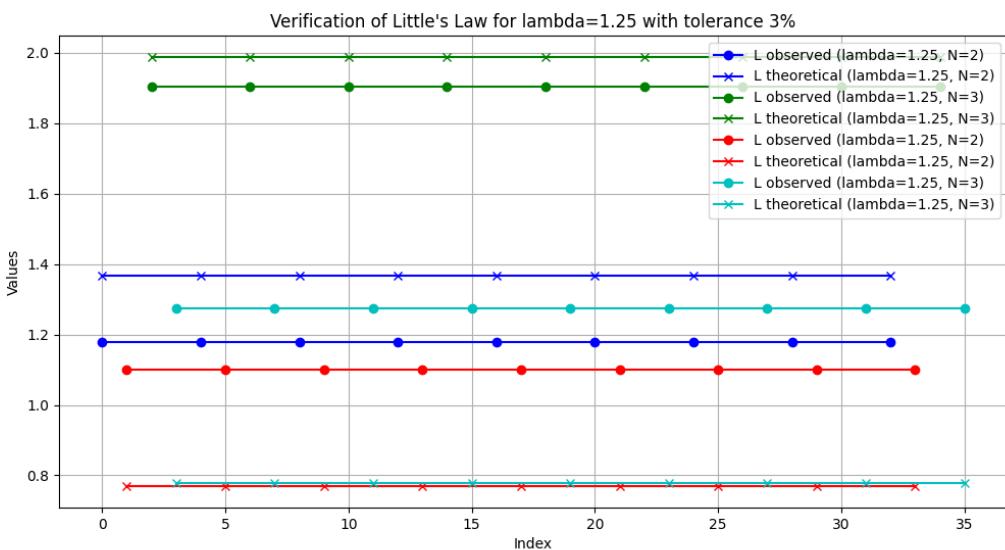


Figura 10.1: Verifica del Teorema di Little per $\lambda = 1.25$ con tolleranza 3%

Anche in questo caso, i valori osservati di L non coincidono con i valori teorici entro la tolleranza specificata, evidenziando la non validità del modello per $\lambda = 1.25$.

10.2 Verifica del Teorema di Little per $\lambda = 2$ con tolleranza 3%

Il seguente grafico mostra la verifica del Teorema di Little per $\lambda = 2$ con tolleranza del 3%:

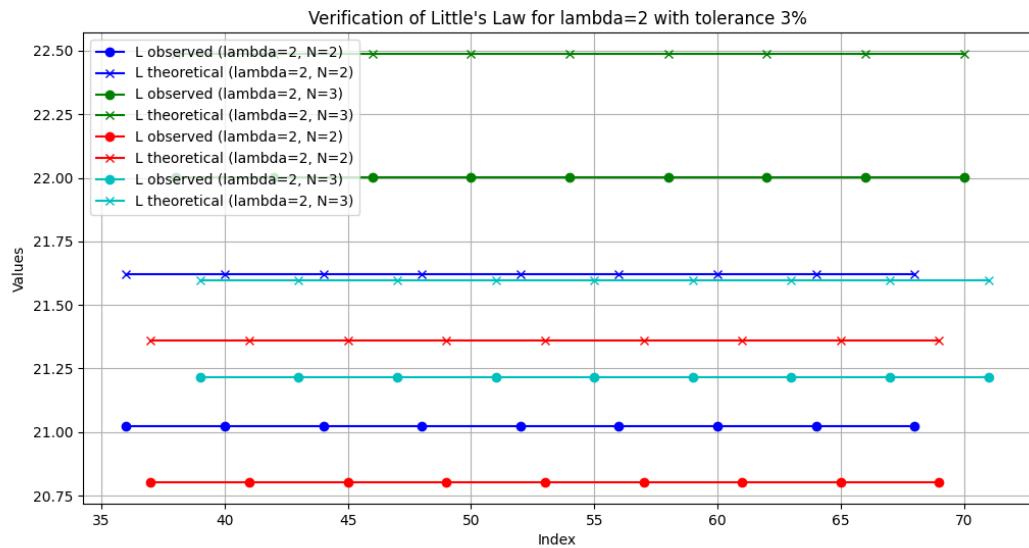


Figura 10.2: Verifica del Teorema di Little per $\lambda = 2$ con tolleranza 3%

I valori osservati di L coincidono con i valori teorici entro la tolleranza specificata, confermando la validità del modello anche per $\lambda = 2$.

11 Conclusioni

L'analisi effettuata sulla simulazione di un modello di coda tandem con server alternato ha portato a diverse osservazioni significative, sia dal punto di vista delle performance del sistema che delle dinamiche del comportamento strategico dei clienti.

11.1 Performance del Sistema

Le diverse configurazioni analizzate, variando i parametri di interarrivo (λ), tempi di servizio (m_1 e m_2), e il numero massimo di clienti serviti prima del cambio di coda (N), hanno mostrato che il sistema tende a comportarsi in modo differente a seconda delle politiche di servizio adottate (Exact-N e N-Limited):

- **Politica Exact-N:**

- In questa configurazione, il server segue un ciclo rigido di servizio tra le due code, il che può portare a situazioni di congestione se il flusso di arrivi è elevato.
- Il tempo massimo di permanenza nel sistema può presentare picchi significativi, soprattutto con valori più alti di N , suggerendo che un ciclo di servizio più lungo può provocare attese prolungate per alcuni clienti.

- **Politica N-Limited:**

- Questa politica consente una gestione più dinamica delle code, con il server che cambia coda quando una è vuota o quando ha servito il numero massimo di clienti N .
- Il sistema risulta generalmente più efficiente, con un utilizzo delle risorse più equilibrato e tempi di attesa più ridotti rispetto alla politica Exact-N.

11.2 Dinamiche di Comportamento Strategico

Le dinamiche del comportamento strategico dei clienti, che possono decidere di seguire o evitare la folla, hanno mostrato un impatto significativo sulle prestazioni del sistema:

- **Interarrivo e Tempi di Servizio:**

- I valori di λ e m_i influenzano direttamente il carico del sistema. Con valori più alti di λ , il sistema tende a congestionarsi più rapidamente, mentre tempi di servizio più lunghi (m_1 e m_2 maggiori) aumentano i tempi di attesa.

- **Scelta del Parametro N :**

- La scelta di N deve bilanciare il trade-off tra la frequenza dei cambi di coda e l'efficienza del servizio. Un N troppo alto può causare congestioni, mentre un N troppo basso può ridurre l'efficienza del server.

11.3 Validazione del Modello

La validazione del modello attraverso il Teorema di Little ha confermato la correttezza delle simulazioni. I risultati ottenuti sono in linea con i valori teorici entro una tolleranza del 3% per $\lambda = 2$. Questo conferma che il modello è soggetto a saturazione e congestione con un valore λ troppo basso (Quindi un tasso di arrivo più alto).

11.4 Considerazioni Finali

In conclusione, lo studio ha dimostrato che la scelta delle politiche di servizio e dei parametri del sistema ha un impatto cruciale sulle prestazioni e sull'efficienza del sistema di code tandem. Le politiche di servizio più dinamiche, come la N-Limited, offrono generalmente migliori performance rispetto a quelle statiche come la Exact-N, specialmente in condizioni di carico elevato. Le strategie dei clienti giocano un ruolo fondamentale nel determinare il comportamento del sistema, evidenziando l'importanza di modellare accuratamente tali comportamenti nelle simulazioni.

Riferimenti bibliografici

- [DHY20] Nimrod Dvir, Refael Hassin, and Uri Yechiali. Strategic behaviour in a tandem queue with alternating server. *Queueing Systems*, 96(3-4):205–244, December 2020.