

# Assistenza Clienti Telefonica

Progetto di Modellistica, simulazione e valutazione delle prestazioni

SANTURRO PIERALDO  
0353517

FACOLTÀ DI INGEGERIA INFORMATICA, UNIVERSITÀ DI ROMA TOR VERGATA  
ROMA, SETTEMBRE 2024  
SANTURRO.PIERALDO99@GMAIL.COM



# Sommario

<b>Introduzione .....</b>	<b>2</b>
<b>Obiettivo .....</b>	<b>2</b>
<b>Modello Concettuale .....</b>	<b>3</b>
<b>Modello delle Specifiche .....</b>	<b>4</b>
<b>Modello Computazionale .....</b>	<b>5</b>
<b>Verifica.....</b>	<b>5</b>
.....	7
<b>Validazione.....</b>	<b>8</b>
<b>Simulazione .....</b>	<b>9</b>
<b>Analisi del comportamento transiente .....</b>	<b>9</b>
<i>Fascia oraria 08:00-12:00 .....</i>	<b>9</b>
<i>Fascia oraria 12:00-17:00 .....</i>	<b>11</b>
<i>Fascia oraria 17:00-22:00 .....</i>	<b>12</b>
<i>Fascia oraria: 22:00-8:00.....</i>	<b>14</b>
<b>Analisi del comportamento stazionario.....</b>	<b>17</b>
<i>Fascia oraria: 08:00-12:00 .....</i>	<b>17</b>
<i>Fascia oraria: 12:00-17:00 .....</i>	<b>20</b>
<i>Fascia oraria: 17:00-22:00 .....</i>	<b>23</b>
<i>Fascia oraria: 22:00-08:00 .....</i>	<b>26</b>
<b>Analisi del costo .....</b>	<b>29</b>
<i>Configurazione minima: .....</i>	<b>29</b>
<i>Configurazione ottima: .....</i>	<b>31</b>
<i>Configurazione massima: .....</i>	<b>33</b>
<b>Conclusioni.....</b>	<b>36</b>
<b>References .....</b>	<b>36</b>

# Introduzione

Lo studio ha lo scopo di analizzare un sistema a code dinamico e stocastico che simula lo scenario di un'assistenza clienti telefonica. Il caso di studio viene trattato secondo le linee guida viste all'interno del corso, descrivendone le caratteristiche ed i limiti, mediante la modellazione, simulazione ed analisi dei risultati delle statistiche di output. Il modello base si riferisce al comportamento di un'assistenza clienti telefonica, attiva ventiquattro ore su ventiquattro, sette giorni su sette, divisa in fasce orarie, basata sull'utilizzo di un bot unico che fungerà da unico accesso per i jobs, e sull'istanziazione di più risorse umane, cioè operatori telefonici, adibite all'esecuzione dei jobs.

- L'accesso alla struttura avviene univocamente mediante il bot
- L'uscita dalla struttura avviene attraverso il bot, per i jobs che richiederanno un tempo di servizio inferiore, e attraverso gli operatori telefonici, per quei jobs che richiederanno un servizio superiore.

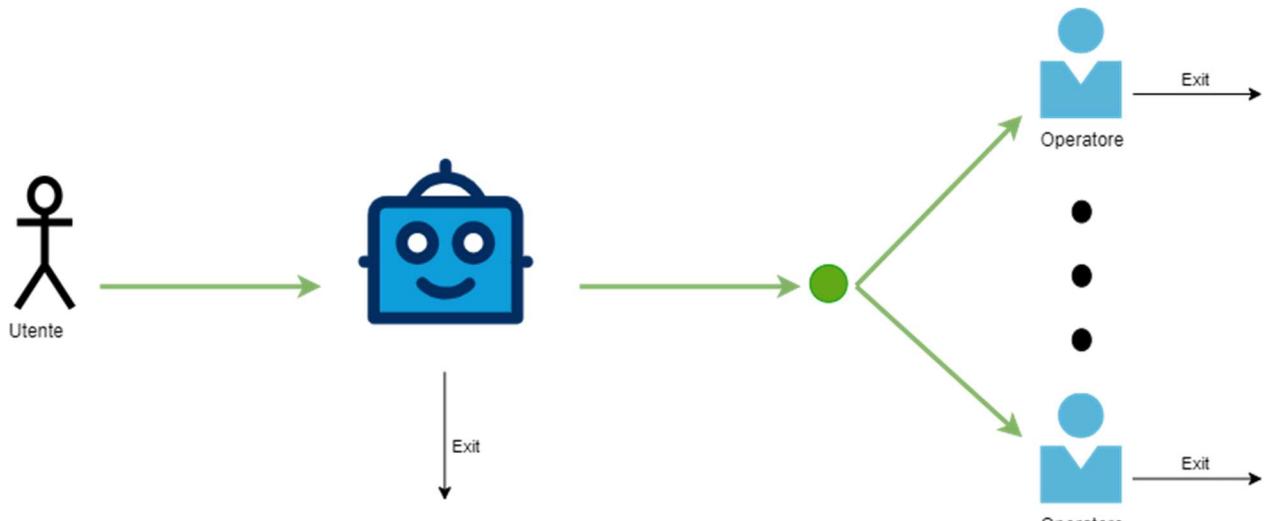


Figure 1 - Modello Base

# Obiettivo

L'obiettivo dello studio è minimizzare i costi di gestione del sistema agendo sul numero degli operatori telefonici, garantendo un tempo di servizio del sistema inferiore ai quindici minuti. A tal fine, si sono raccolte informazioni riguardo gli stipendi medi degli operatori telefonici, simulando il costo in simulazioni giornaliere, settimanali e annuali:

- Costo medio orario per operatore telefonico base: 6.73 €/h

- Aumento del 30% dal costo base, per turni notturni
- Aumento del 30% dal costo base per turni nel Sabato e nella Domenica
- Aumento del 50% dal costo base per i giorni festivi

Nel calcolo del costo annuale, sono considerate le festività del calendario 2024, partendo dal giorno 01/01/2024.

# Modello Concettuale

La struttura dell'assistenza clienti è modellata attraverso una rete aperta composta da N nodi rappresentanti gli operatori telefonici e da un nodo rappresentante il Bot. Ogni nodo si compone di un servente e di una coda infinita. Come già accennato, la struttura è aperta ventiquattro ore su ventiquattro, sette giorni su sette, divisa in fasce orarie:

- 08:00-12:00
- 12:00-17:00
- 17:00-22:00
- 22:00-08:00

Le variabili considerate nell'analisi del sistema sono:

- Numero di clienti in ogni nodo
- Numero di nodi attivi
- Tipologia di cliente

Il numero di nodi attivi sarà ovviamente variabile in base al traffico misurato in una determinata fascia di servizio. La tipologia di cliente sarà diversa in base al servizio richiesto, decisa aleatoriamente al suo arrivo. Gli eventi considerati sono:

- Arrivo di un cliente
- Completamento di un servizio
- Cambio di fascia oraria

L'arrivo di un cliente causa l'aumento della popolazione in un nodo e nel sistema. Il completamento di un servizio causa il passaggio di un cliente da un nodo ad un altro o la sua uscita dal sistema. Il cambio di fascia oraria può causare l'attivazione o lo spegnimento dei nodi relativi agli operatori telefonici. Se un operatore telefonico viene spento quando ha ancora un cliente in servizio, questo continuerà a processarlo, pur non ricevendo altri arrivi, mentre i clienti in coda vengono distribuiti uniformemente tra i nodi rimasti operativi. Il tempo in cui un operatore telefonico è idle, ma acceso, viene considerato nel calcolo dei costi. Di seguito il modello concettuale:

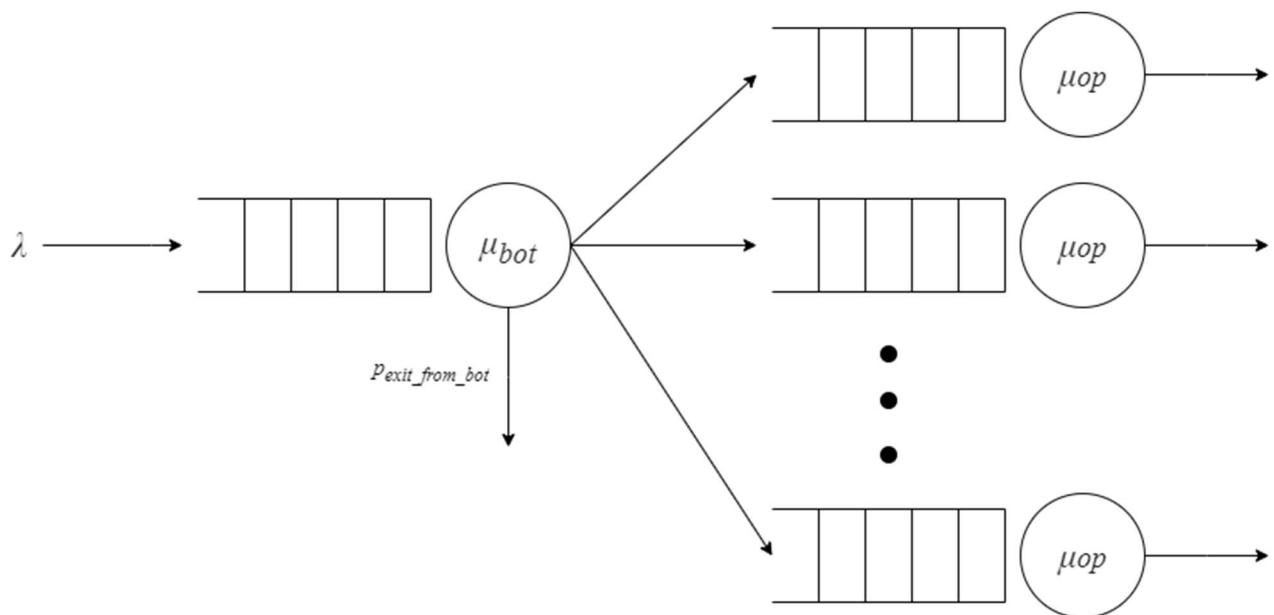


Figure 2 - Modello Concettuale

## Modello delle Specifiche

Gli arrivi sono modellati mediante una distribuzione esponenziale, variabile a seconda della fascia oraria considerata:

Fascia Oraria	Mean Interarrival Time (minuti)	$\lambda$
08:00-12:00	3.8	0,2631578947368421
12:00-17:00	4.8	0,2083333333333333
17:00-22:00	6.3	0,1587301587301587
22:00-8:00	11.0	0,0909090909090909

Per i tempi di servizio, e di conseguenza per i valori di  $\mu$  è stata utilizzata una distribuzione Normale. I jobs in entrata nel nodo iniziale, risentiranno di una probabilità  $p_{longer\_service}$ , fissata per il resto delle simulazioni al 60%, che aumenterà il tempo di servizio necessario al nodo bot per l'esecuzione del job. Di seguito i valori utilizzati per la modellazione del tempo di servizio:

Bot ( $1 - p_{longer\_service}$ )	Bot ( $p_{longer\_service}$ )	Operatore
Normal ( $m = 1.5$ , $s = 0.25$ )	Normal ( $m = 4.0$ , $s = 1.0$ )	Normal ( $m = 7.5$ , $s = 2.0$ )

Con:

- m: media
- s: deviazione standard

La probabilità di uscita dal nodo bot è fissata al 10%. La probabilità che un job vada in un nodo operatore piuttosto che in un altro è modellata mediante una distribuzione Uniforme, in modo che ciascun servente abbia la stessa probabilità di essere scelto.

# Modello Computazionale

L'approccio di simulazione è quello *Next-Event*. Il linguaggio di programmazione utilizzato è *Python* aggiornato alla versione *3.10.12*, su ambiente virtuale *WSL2* su macchina con sistema operativo *Windows 11 Home*, versione *23H2*. Per l'utilizzo delle funzioni relative all'ottenimento dei tempi di servizio Normali e dei tempi di arrivo Esponenziali, sono state usate le funzioni del creatore del libro di testo, così come le suddette funzioni, sono state utilizzate per le analisi successive. Sono state utilizzate numerose funzioni ausiliarie e di graficazione basate sull'analisi raccolta in apposite strutture dati forniteci dalla programmazione del codice Python. I risultati di ciascuna analisi vengono raccolti in formato *csv* e salvati nelle cartelle delle relative simulazioni. I grafici di ciascuna analisi vengono salvati in formato *png* nelle cartelle delle relative simulazioni.

## Verifica

Vediamo nelle numerose run effettuate che il modello creato è effettivamente conforme al modello delle specifiche; quindi, l'implementazione del modello computazionale risulta effettivamente corretta. È possibile vedere questo risultato sia nella fase di validazione teorica del modello che nelle successive run di simulazione eseguite ad orizzonte finito e ad orizzonte infinito. Di seguito vediamo un esempio di run:

```
Average system stats
Network topology: Single entry queue with 3 parallel processing nodes.
Total jobs processed across all nodes: 815947.0

for 815947.0 jobs
    average interarrival time ..... = 6.353340 minutes
    average wait time ..... = 18.828450 minutes
    average delay time ..... = 13.708773 minutes
    average # in the node ..... = 2.963545
    average # in the queue ..... = 2.157722
    utilization ..... = 0.805823
    last arrival time ..... = 5183988.860368723 minutes
```

Figure 3 - Verify for all System

### Node 1 (Bot)

```
for 815947.0 jobs
  average interarrival time ..... = 6.353340 minutes
  average wait time ..... = 4.154231 minutes
  average delay time ..... = 1.653125 minutes
  average # in the node ..... = 0.653864
  average # in the queue ..... = 0.260197
  utilization ..... = 0.393667
  last arrival time ..... = 5183988.860368723 minutes
```

Figure 4 - Statistiche Nodo Bot

### Node 2

```
for 367155.0 jobs
  average interarrival time ..... = 14.119314 minutes
  average wait time ..... = 16.306830 minutes
  average delay time ..... = 8.806440 minutes
  average # in the node ..... = 1.154925
  average # in the queue ..... = 0.623713
  utilization ..... = 0.531212
  last arrival time ..... = 5183976.610465488 minutes
```

Figure 5 - Statistiche Nodo operatore

### Node 3

```
for 367424.0 jobs
  average interarrival time ..... = 14.109014 minutes
  average wait time ..... = 16.292489 minutes
  average delay time ..... = 8.798958 minutes
  average # in the node ..... = 1.154755
  average # in the queue ..... = 0.623640
  utilization ..... = 0.531115
  last arrival time ..... = 5183990.428846874 minutes
```

Figure 6 - Statistiche Nodo Operatore

## ANALISI:

$\lambda_{\text{interarrival\_time}} = 6.353340 \text{ minutes}$   
 $\lambda_{\text{sys}} = \lambda_{\text{bot}} = 1/\lambda_{\text{interarrival\_time}} = 0,1574844 \text{ job/minuto}$

$\mu_{\text{bot}} = 0,6*(1/4,0) + 0,4*(1/1,5) = 0,4166667 \text{ job/minuto}$   
 $\mu_{\text{op}} = 1/7,5 = 0,1333333 \text{ job/minuto}$

$\rho_{\text{bot}} = \lambda_{\text{bot}}/\mu_{\text{bot}} = 0,1574844/0,4166667 = 0,377962557$   
 $\rho_{\text{bot\_misurata}} = 0,393667 \quad \pm 0,2$

$\lambda_{\text{op}} = (0,9*\lambda_{\text{bot}})/2 = 0,07086978 \text{ job/minuto}$   
 $\rho_{\text{op}} = \lambda_{\text{op}}/\mu_{\text{op}} = 0,07086978/0,1333333 = 0,5315246$   
 $\rho_{\text{op\_misurata}} = 0,531212 \quad \pm 0,0003$

Figure 7 - Analisi Teorica dei Risultati

## LEGGE DI LITTLE:

### BOT:

$\lambda_{\text{sys}} = \lambda_{\text{bot}} = 1/\lambda_{\text{interarrival\_time}} = 0,1574844 \text{ job/minuto}$   
 $E(T_s) = 4.154231 \text{ minutes}$

$N = E(T_s)*\lambda_{\text{bot}} = 0,1574844*4.154231 = 0,655720438$   
 $N_{\text{misurato}} = 0,653864 \text{ job}$

### OPERATORI:

$\lambda_{\text{op}} = 0,07086978 \text{ job/minuto}$   
 $E(T_s) = 16.306830 \text{ minutes}$

$N = 1,155661455$   
 $N_{\text{misurato}} = 1,154925$

Figure 8 - Analisi Teorica dei Risultati Legge di Little

## TEMPI DI SERVIZIO

Supponendo variabili esponenziali:

$$E(T_s) = E(T_q) + E(S) = \rho/(\mu(1-\rho)) + 1/\mu$$

BOT

$$E(T_s)_{bot} = \rho_{bot}/(\mu_{bot}(1-\rho_{bot})) + 1/\mu_{bot} = \\ = 0,377962557/(0,4166667(1-0,377962557)) + 1/0,4166667 = 3,8582879 \text{ minutes}$$

$$E(T_s)_{bot\_misurato} = 4.154231 \text{ minutes} \quad +/- 0.3$$

OPERATORI:

$$E(T_s)_{op} = \rho_{op}/(\mu_{op}(1-\rho_{op})) + 1/\mu_{op} = \\ = 0,5315246/(0,1333333(1-0,5315246)) + 1/0,1333333 = 16,00941 \text{ minutes}$$

$$E(T_s)_{op\_misurato} = 16.306830 \text{ minutes} \quad +/- 0.3$$

Figure 9 - Analisi Teorica Tempi di Servizio

# Validazione

Al fine di validare il modello implementato sono state eseguite diverse run di simulazione con parametri variabili, vediamo di seguito dei risultati teorici:

Table 1 -  $\lambda = \frac{1}{6.3} \frac{\text{job}}{\text{min}}$ , jobs = 815947

# Nodi operatore	Avg interarrival time	Avg Wait	Avg # node
2	6.353340	18.828450	2.963545
4	6.353340	12.452599	1.960005
8	6.353340	11.499144	1.809933

Vediamo nella tabella successiva altre statistiche misurate:

Table 2 -  $\lambda = \frac{1}{6.3} \frac{\text{job}}{\text{min}}$ , jobs = 815947

# Nodi operatore	Avg interarrival time	Avg Wait	Avg delay	Avg # node	Avg # queue	$\rho$
2	14.119314	16.306830	8.806440	1.154925	0.623713	0.531212
4	28.258353	9.243771	1.747702	0.327102	0.061845	0.265257
8	56.508697	8.168463	0.670926	0.144546	0.011872	0.132673

Vediamo dalla seconda tabella come la relazione di Little, che risulta applicabile in quanto il modello soddisfa le condizioni necessarie e sufficienti, sia soddisfatta. Vediamo inoltre come l'utilizzazione decresca

all'aumentare dei nodi operatore, ed il tempo di interarrivo cresca. Tale comportamento è facilmente intuibile dal fatto che i jobs vengono distribuiti tra i nodi arcade con eguale probabilità. Inoltre, vediamo come il numero dei jobs presenti nei serventi e nelle code, diminuisca all'aumentare dei nodi operatore, così come diminuiscono i valori del tempo di servizio e del delay.

# Simulazione

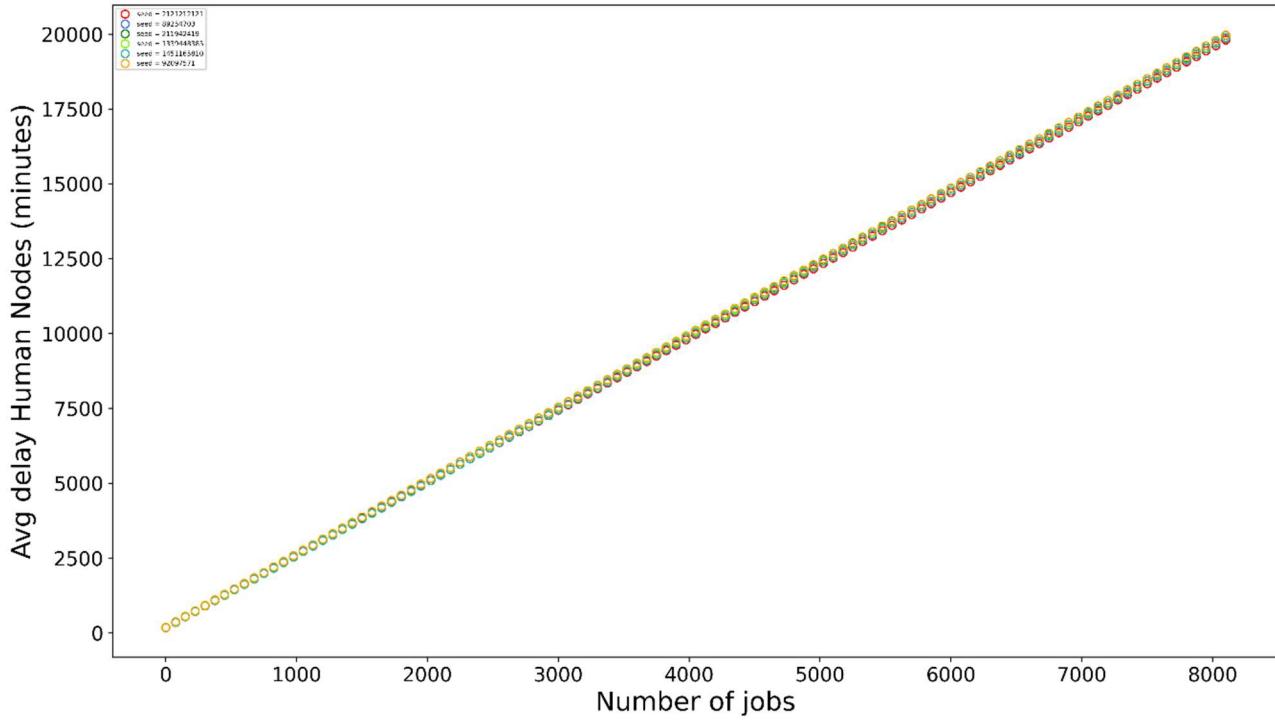
Per raggiungere gli obiettivi prefissati, è utile dedurre il minimo numero di nodi che permette al sistema di raggiungere la stazionarietà e, in seguito, ricavare la configurazione ottimale del sistema. Il raggiungimento della stazionarietà o meno viene studiato attraverso l'impiego dell'analisi a orizzonte finito, mentre quella a orizzonte infinito permette di confrontare le configurazioni del sistema a partire dai risultati ottenuti dal comportamento transiente.

## Analisi del comportamento transiente

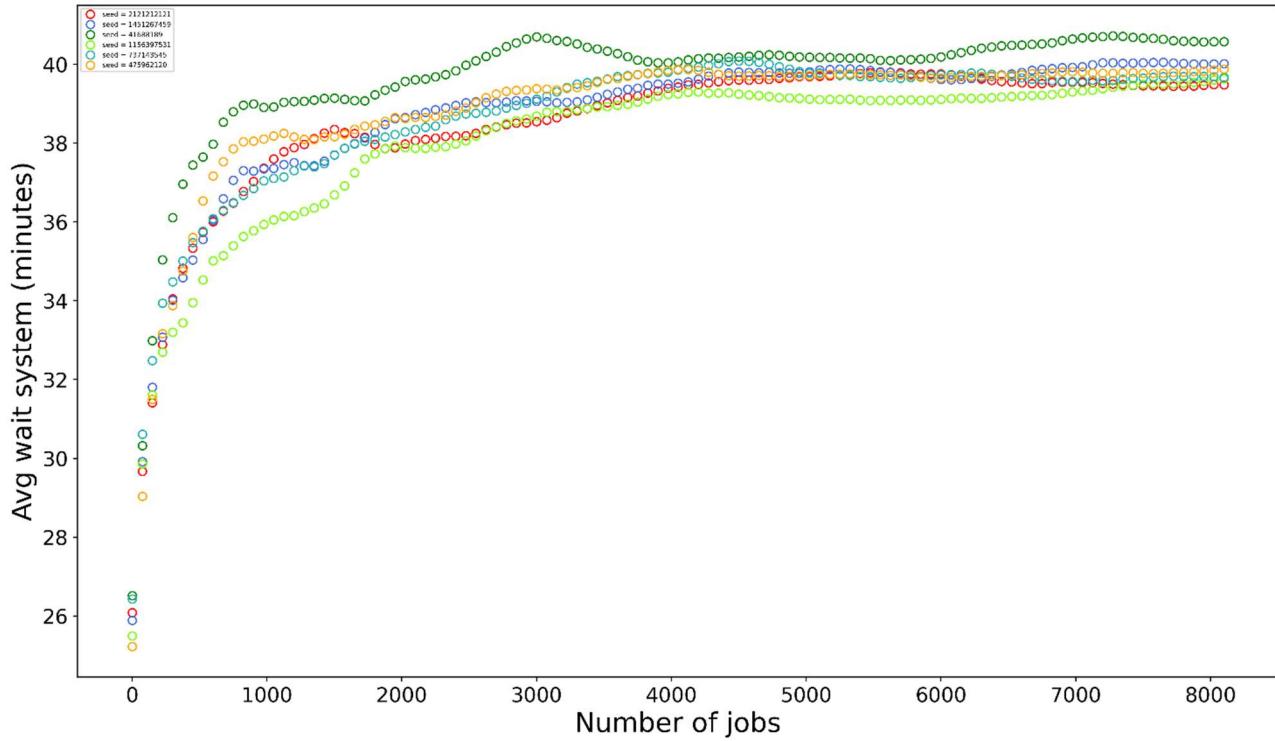
Attraverso l'analisi del comportamento transiente, viene studiato il tempo medio di risposta del sistema, per ogni tempo di arrivo relativo alla fascia oraria in esame. Ne consegue che, ci saranno in tutto quattro configurazioni da trovare, uno per ogni fascia oraria con relativo tempo di servizio. La simulazione, effettuata per orizzonte finito, serve allo scopo di individuare il numero minimo di operatori telefonici che rende il sistema stabile. Sotto il profilo della simulazione vera e propria, viene utilizzato il metodo delle repliche, secondo le linee guida stabilite dal libro di testo nella Definizione 8.3.3<sup>[1]</sup>, vengono quindi effettuati run di simulazione consecutivi, utilizzando ogni volta come punto di partenza lo stato del sistema raggiunto dalla replica precedente. Il seed viene settato infatti all'esterno della simulazione. Sono stati ottenuti, per questa analisi, degli ensemble di dati per sei seed differenti dove ognuno è stato simulato per un valore di 128 repliche. In linea generale, dalla modellazione del sistema è stato misurato che per un valore molto basso di  $\lambda$  non è possibile stabilizzare il sistema. Si tratta di un risultato atteso, dato dall'unica coda di ingresso relativa al nodo Bot, che risulta unica per modellazione; quindi, il collo di bottiglia risulta essere effettivamente la coda Bot iniziale. Per i motivi sopracitati, l'analisi viene effettuata variando il numero di nodi operatori telefonici al fine di raggiungere l'obiettivo preposto. Per ciascuna fascia oraria, verrà creato un grafico che ha lo scopo di mostrare l'andamento del tempo medio di risposta del sistema:

### Fascia oraria 08:00-12:00

- $arrival\_time\_morning = 3.8$
- $seeds = [2121212121, 89254703, 21194419, 1339448385, 1451165810, 92097571]$



Tabel 1 - # Operator Node = 1

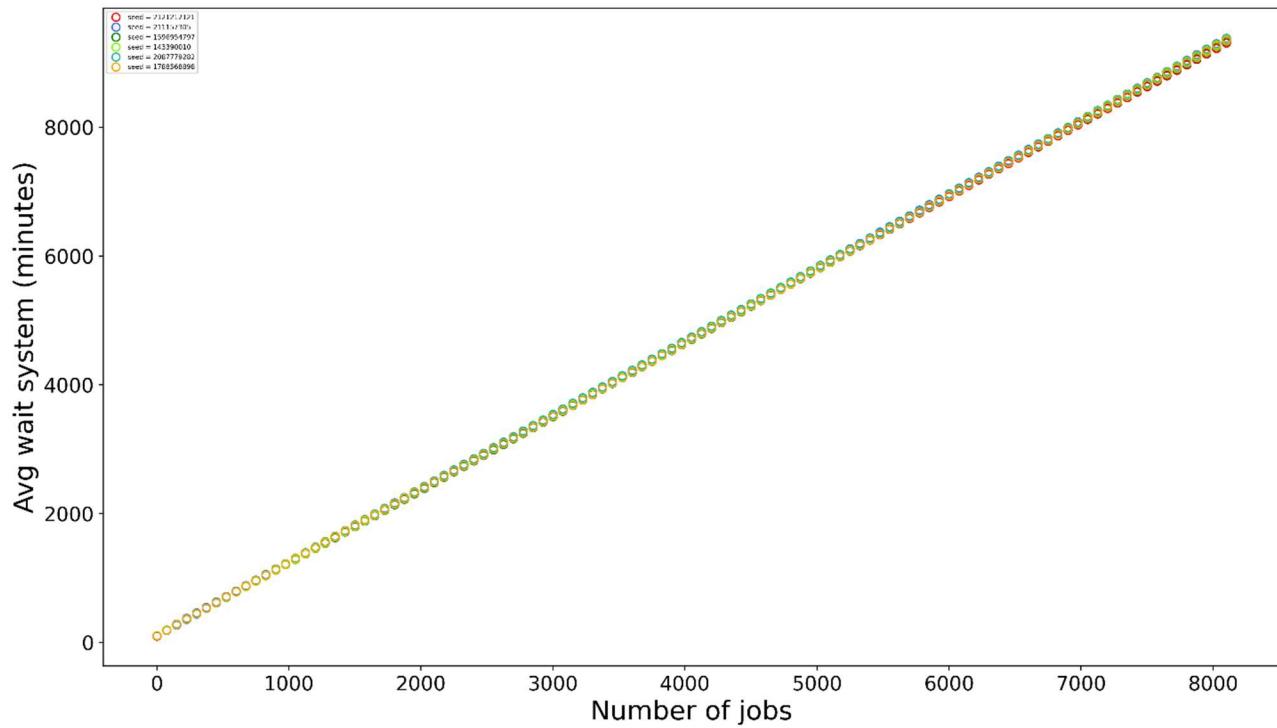


Tabel 2 - # Operatore Node = 2

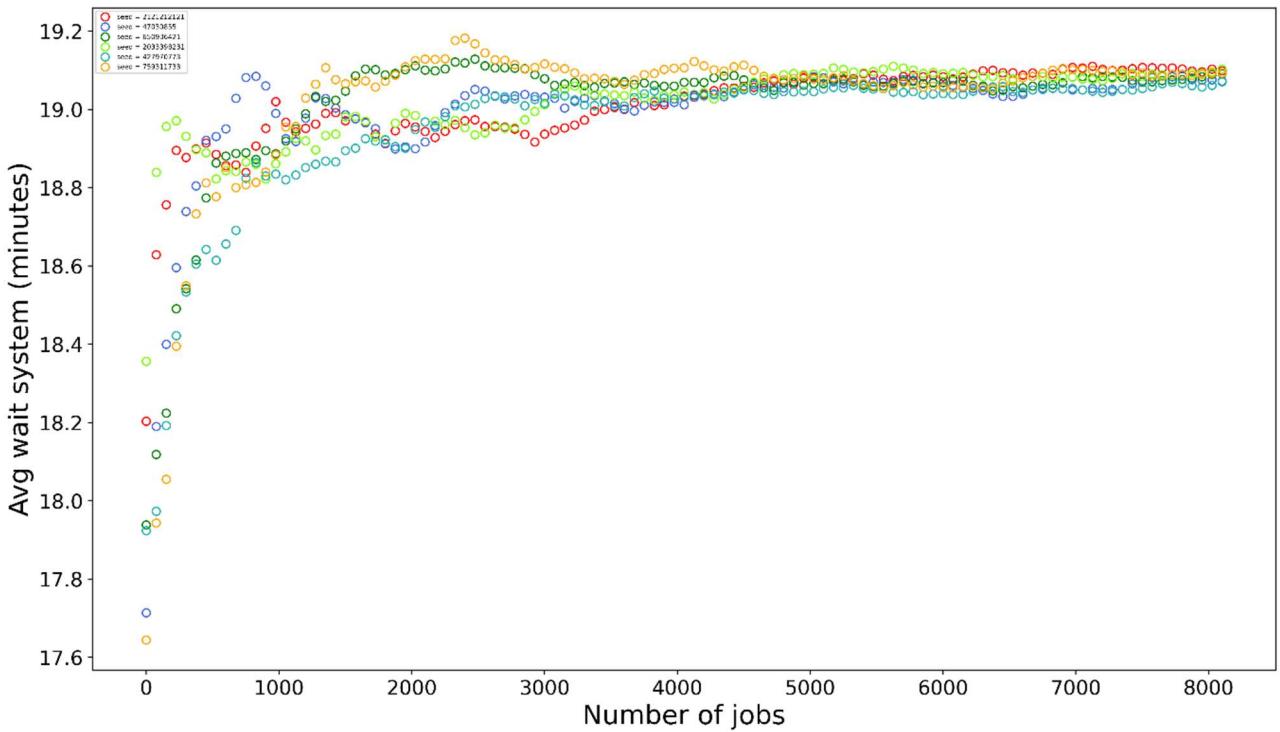
Vediamo come un solo nodo operatore telefonico non basta a stabilizzare il sistema, mentre con due nodi operatore il sistema risulta stabilizzabile.

### **Fascia oraria 12:00-17:00**

- $arrival\_time\_afternoon = 4.8$
- $seeds = [212121212121, 211157305, 1596954797, 143390010, 2087779282, 1788568898]$



Tabel 3 - # Operator Node = 1

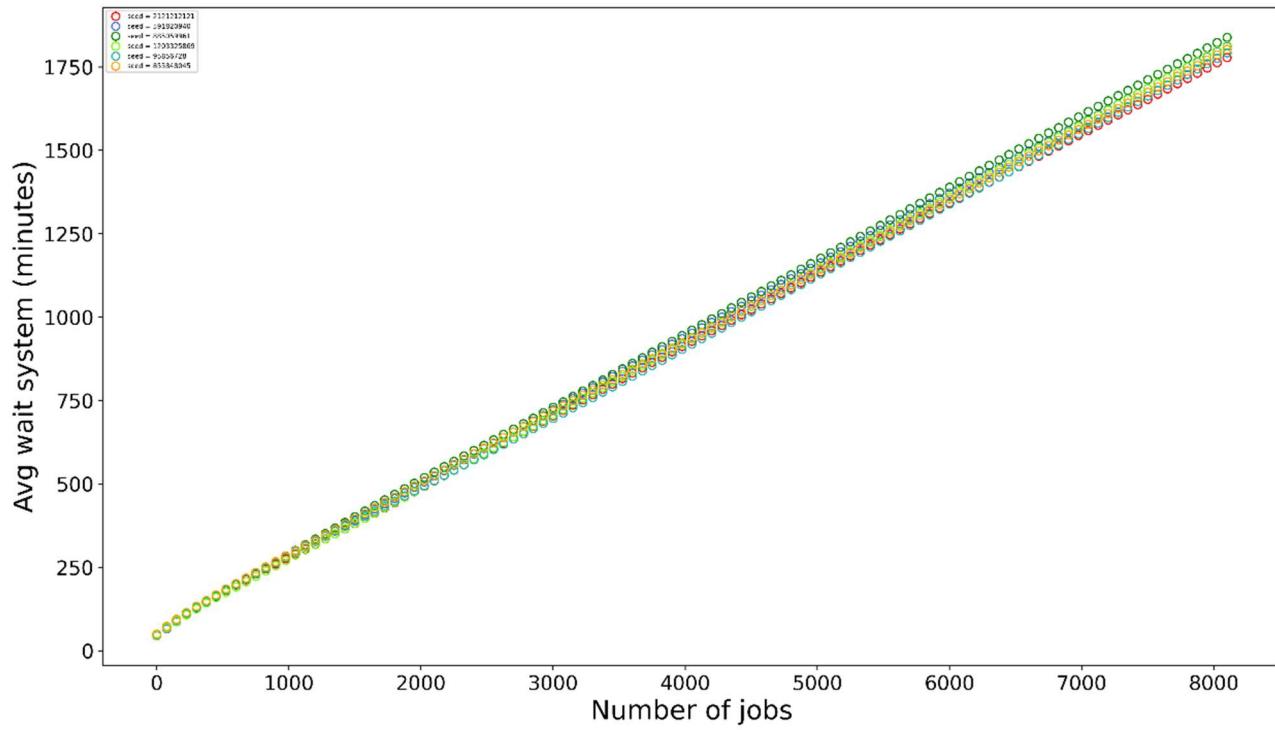


Tabel 4 - # Operator Node = 2

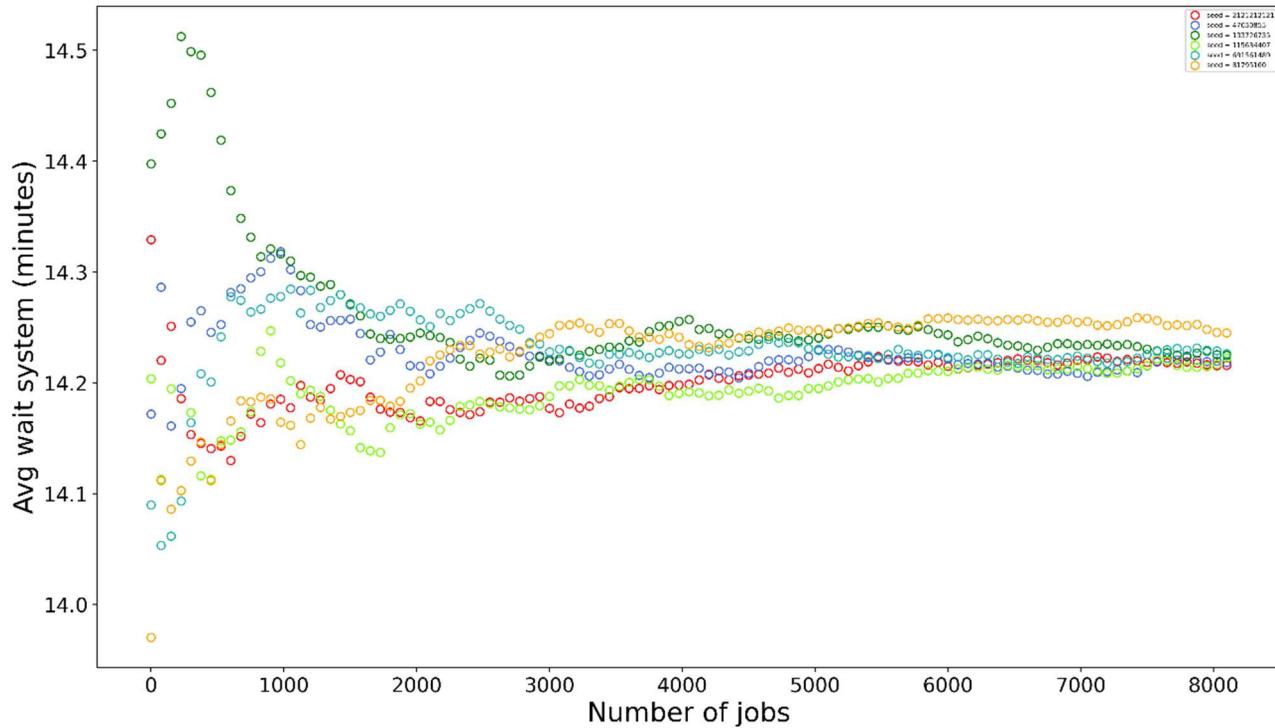
Vediamo come anche in questa fascia oraria, un solo nodo operatore telefonico non basta a stabilizzare il sistema, mentre l'utilizzo di due operatori sì.

#### Fascia oraria 17:00-22:00

- $arrival\_time\_evening = 6.3$
- $seeds = [212121212121, 591820940, 885059961, 1203325869, 95856728, 855848045]$



Tabel 5 - # Operator Node = 1

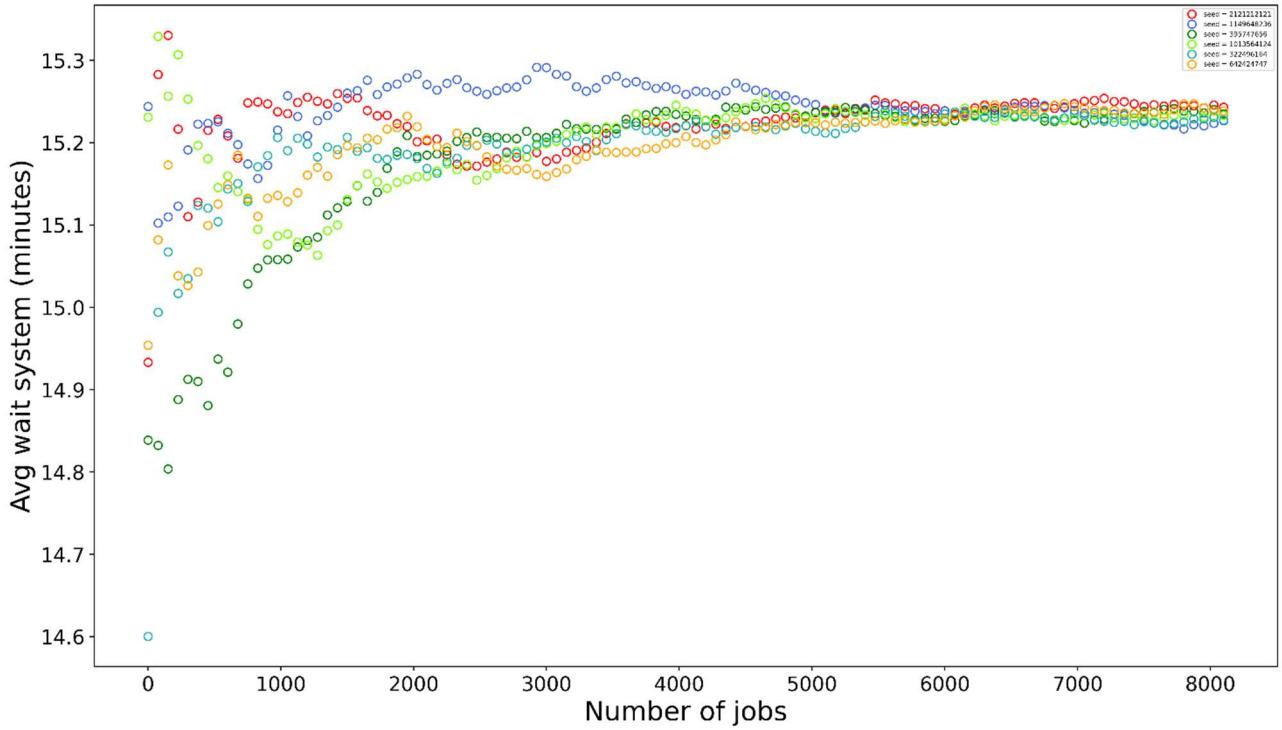


Tabel 6 - # Operator Node = 2

Anche in questa fascia oraria, come le due precedenti, è possibile stabilizzare il sistema con soli due nodi.

#### Fascia oraria: 22:00-8:00

- $arrival\_time\_night = 11.0$
- $seeds = [212121212121, 1149648236, 395747656, 1013564124, 322496164, 642424747]$



Tabel 7 - # Operator Node = 1

Vediamo che in questa fascia oraria è possibile stabilizzare il sistema anche con un solo node operatore telefonico.

Di seguito, invece, sono proposti i grafici relativi all'evoluzione dell'intervallo di confidenza per il numero di repliche calcolate, per le sole configurazioni che rendono stabile il sistema, quindi due nodi operatore telefonico per ogni fascia oraria, meno l'ultima:

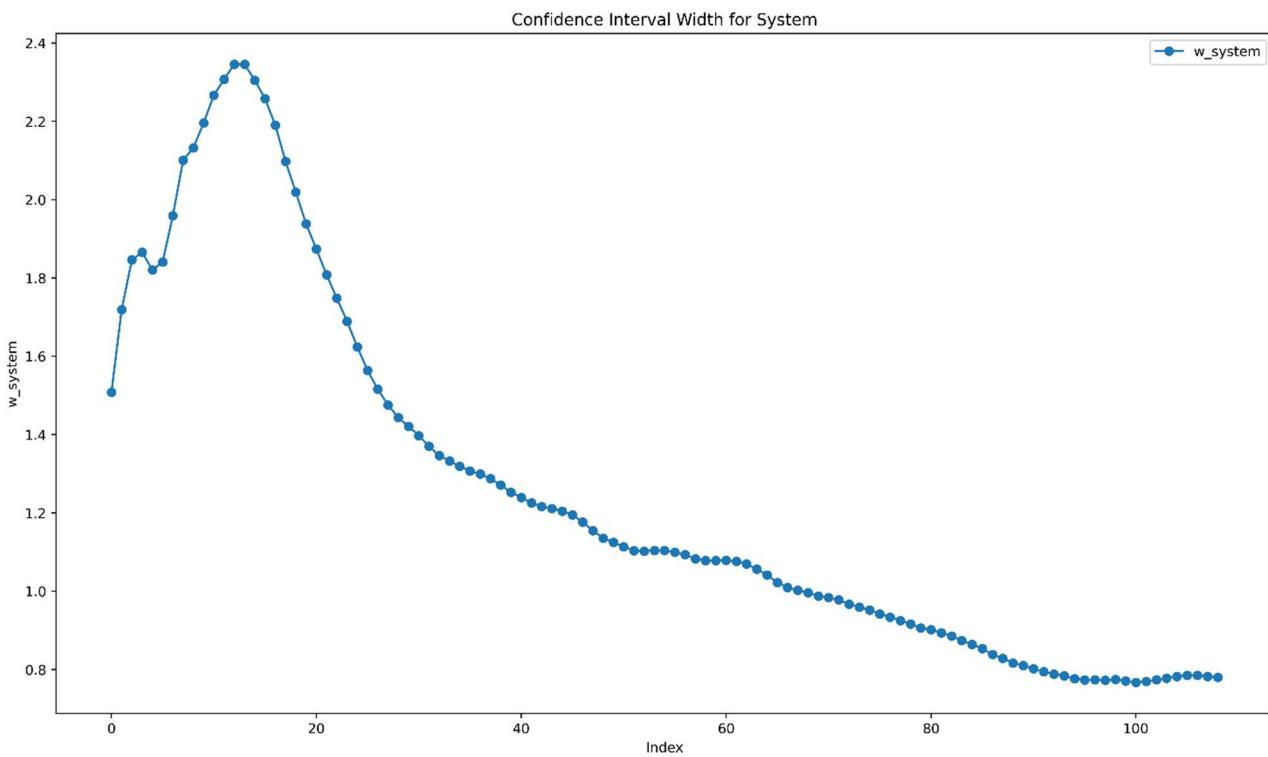


Table 8 - 08:00-12:00,  $\lambda = \frac{1}{3.8}$ , # Operator Node = 2

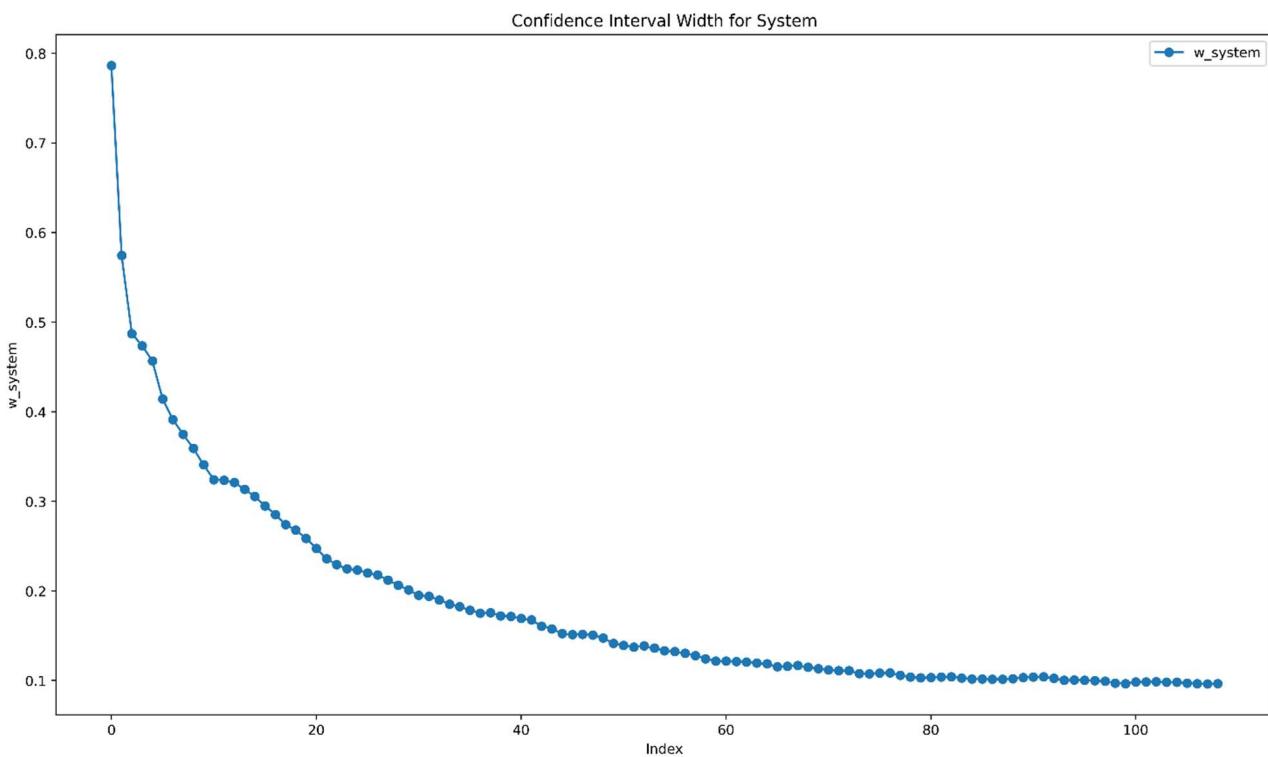
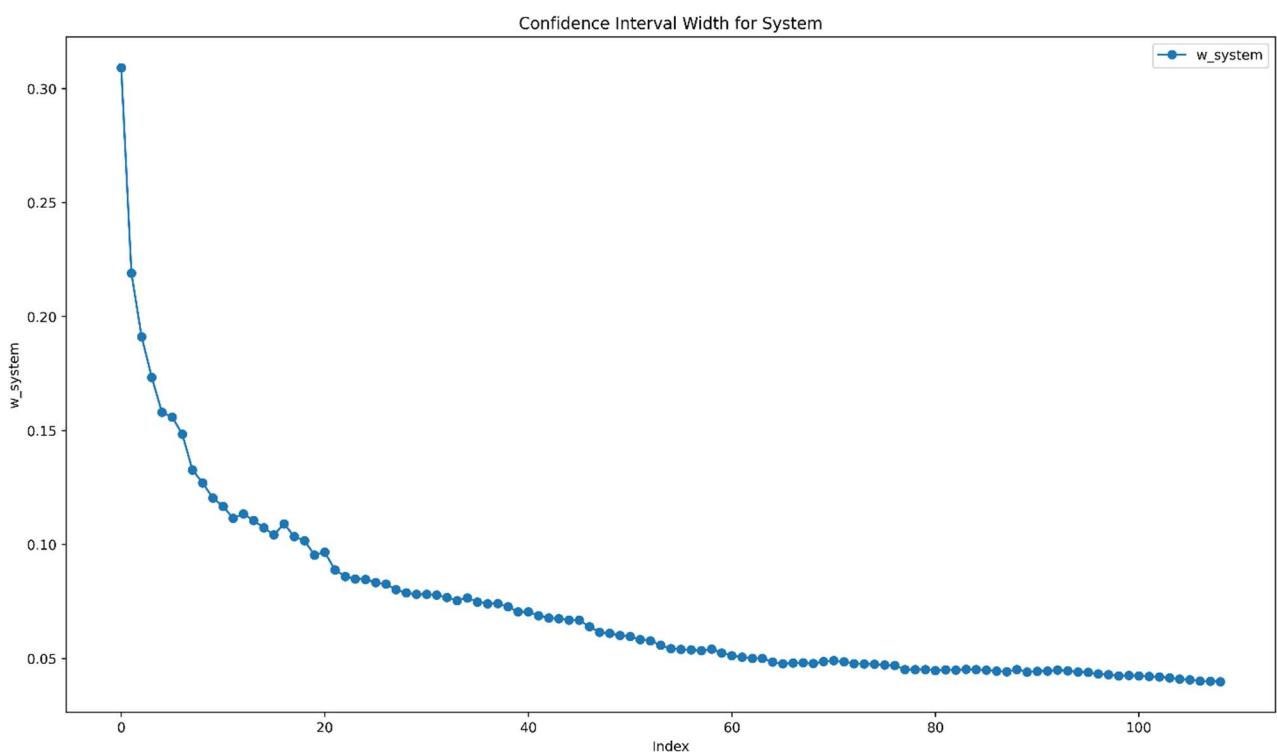
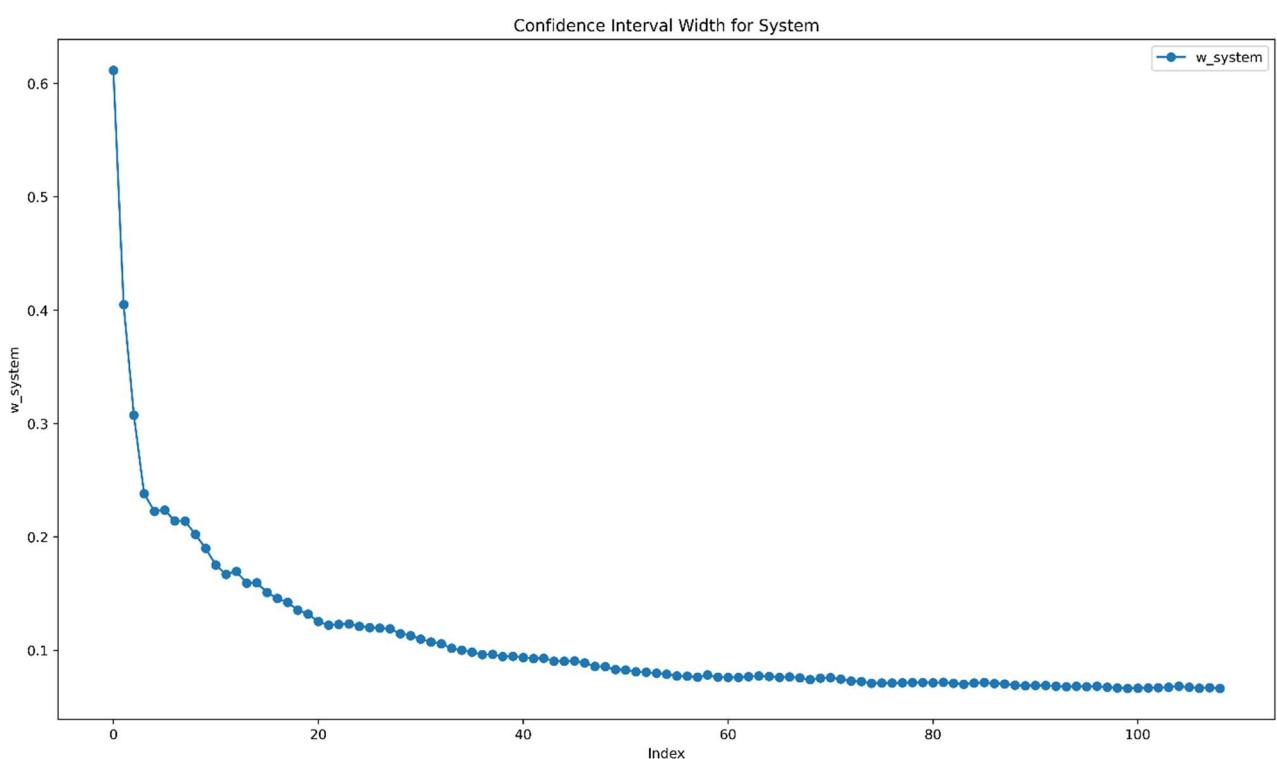


Table 9 - 12:00-17:00,  $\lambda = \frac{1}{4.8}$ , # Operator Node = 2



Tabel 10 - 17:00-22:00, ,  $\lambda = \frac{1}{6,3}$ , # Operator Node = 2



Tabel 11 - 22:00-08:00,  $\lambda = \frac{1}{11,0}$ , # Operator Node = 1

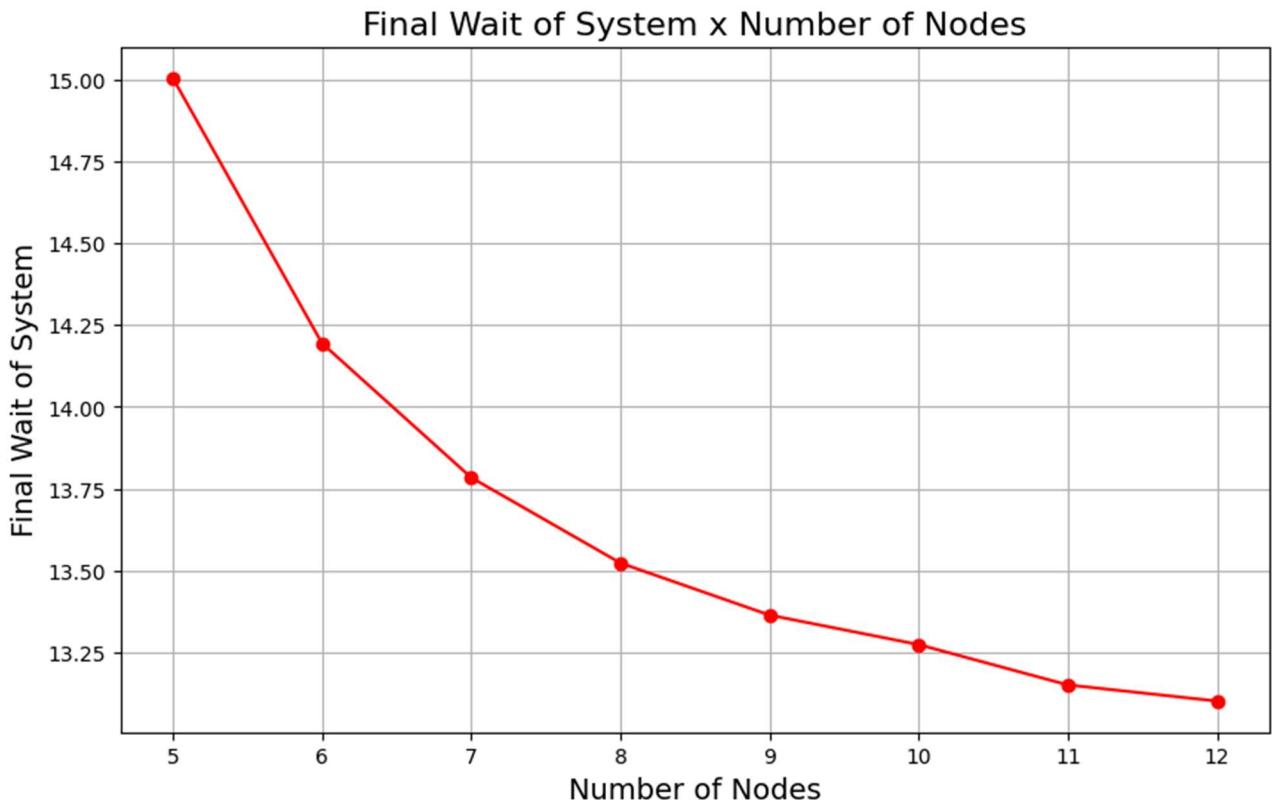
Come si può osservare, i valori dell'intervallo di confidenza tendono sempre a decrescere con il numero delle repliche. Nel caso della prima fascia oraria, avremo una decrescita meno accentuata derivante dalla configurazione non ottimale del sistema e dall'alto numero di jobs in arrivo. Negli altri casi invece noteremo una decrescita più marcata.

## Analisi del comportamento stazionario

Considerati i risultati dell'analisi transiente, è possibile procedere allo studio del comportamento stazionario. Attraverso l'analisi del comportamento stazionario si vuole trovare la configurazione ottima di nodi arcade, per ogni fascia oraria, partendo dai risultati ottenuti dallo studio precedente. In questa fase sono state effettuate simulazioni con tempi d'osservazione molto lunghi, quindi tramite simulazione ad orizzonte infinito, utilizzando la tecnica batch-means per ottenere delle stime degli indici di prestazione in regime stazionario, evitando la problematica del bias dovuto alle condizioni iniziali del sistema. Cruciale in questa fase la scelta di due parametri:  $b$  e  $k$ , rispettivamente la grandezza del batch e il numero di batch in cui si divide la simulazione. Nel nostro caso, si sono utilizzati i valori di  $b$  e  $k$  pari rispettivamente a 256 e 64, come consigliato dalle linee guida. Per ogni fascia oraria viene visualizzato il tempo medio di risposta. A tal fine, sono stati eseguiti molteplici run con diversi seed, indicando anche deviazione standard ed intervallo di confidenza, calcolato con la funzione `idtStudent()` fornita con il libro di testo. Di seguito vedremo i confronti tra le statistiche misurate per i diversi numeri di nodi operatore telefonico.

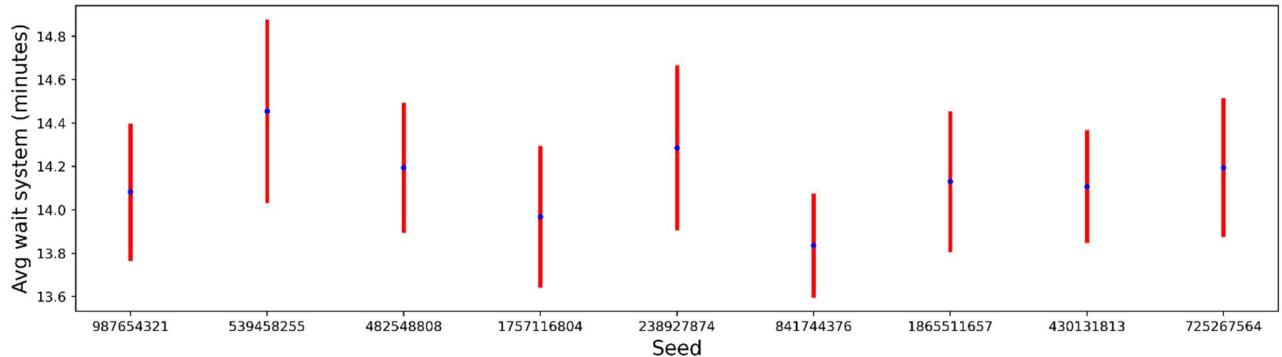
### Fascia oraria: 08:00-12:00

- $\text{arrival\_time\_morning} = 3.8$

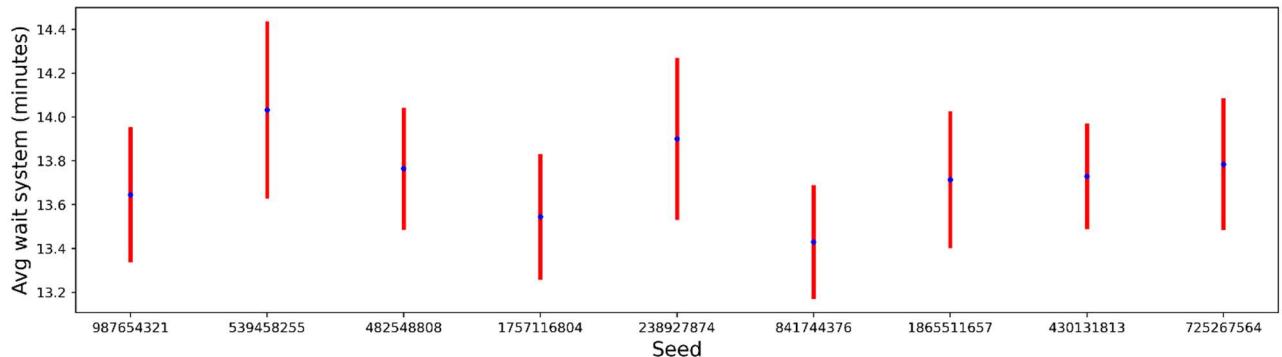


Tabel 12 – Confronto tra nodi totali del sistema

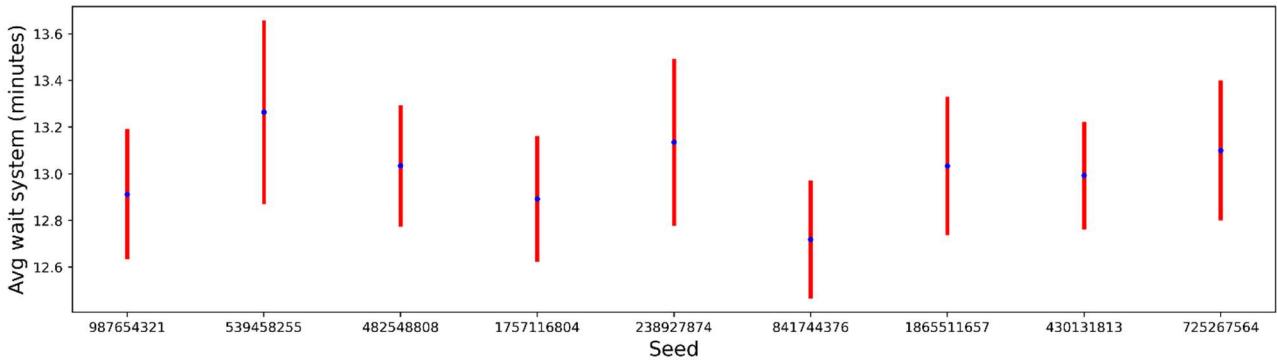
Vediamo che a partire da un numero di nodi totali, cioè compreso il nodo Bot, pari a 5 il sistema si stabilizza sotto i 15 minuti di tempo di servizio, di conseguenza sceglieremo un numero di nodi adatto per cercare una configurazione minima, una configurazione ottima ed una configurazione massima:



Tabel 13 - Configurazione minima, 5 nodi operatore telefonico



Tabel 14 - Configurazione ottima, 6 nodi operatore telefonico



seed	media	deviazione standard	intervallo di confidenza	confidence level
987654321	12.912574867948939	1.0730610077276093	±0.27954034298299857	95%
539458255	13.264384042901698	1.5101233987331684	±0.39339833410075736	95%
482548808	13.034839135897098	0.9982339540625773	±0.2600473410983937	95%
1757116804	12.892762587168857	1.0317676429422462	±0.2687831155076782	95%
238927874	13.135664946741556	1.3748097715398897	±0.3581481316579485	95%
841744376	12.718659355909256	0.9697035608287914	±0.2526149622750297	95%
1865511657	13.034069160369702	1.1374636428199747	±0.29631770659334306	95%
482548808	13.034839135897098	0.9982339540625773	±0.2600473410983937	95%
430131813	12.992896880280636	0.8851223931531305	±0.23058094142096225	95%
725267564	13.100852701711279	1.1508901843347936	±0.2998154201372133	95%

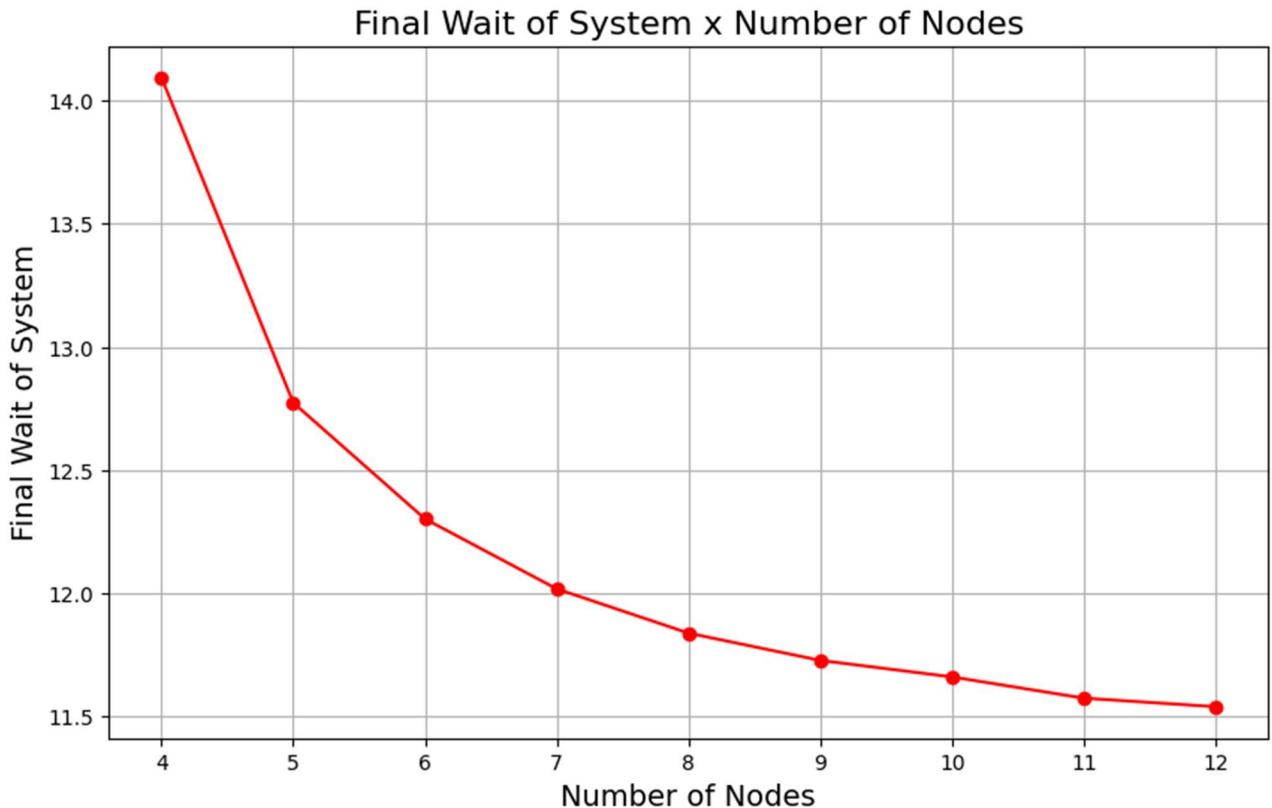
Tabel 15 - Configurazione massima, 11 nodi operatore telefonico

Quindi, per la fascia oraria mattutina avremo:

- *Configurazione minima:* 5 nodi operatore telefonico
- *Configurazione ottima:* 6 nodi operatore telefonico
- *Configurazione massima:* 11 nodi operatore telefonico

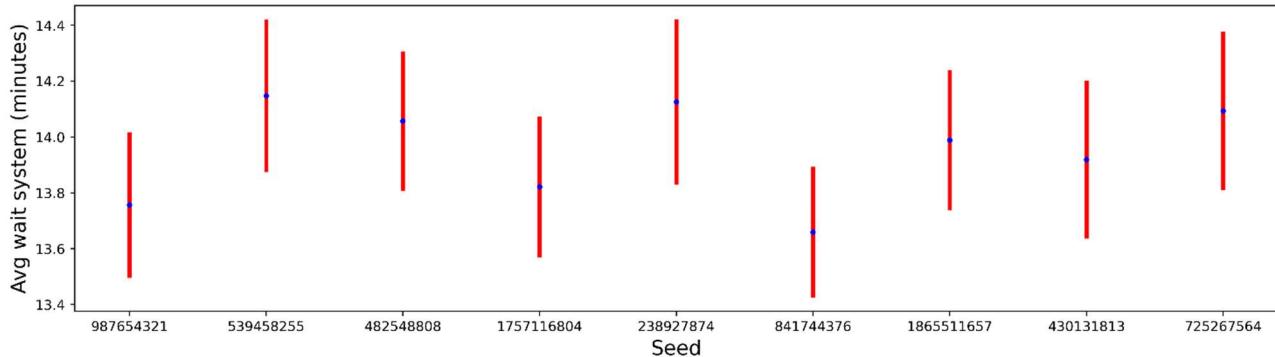
**Fascia oraria: 12:00-17:00**

- $arrival\_time\_afternoon = 4.8$



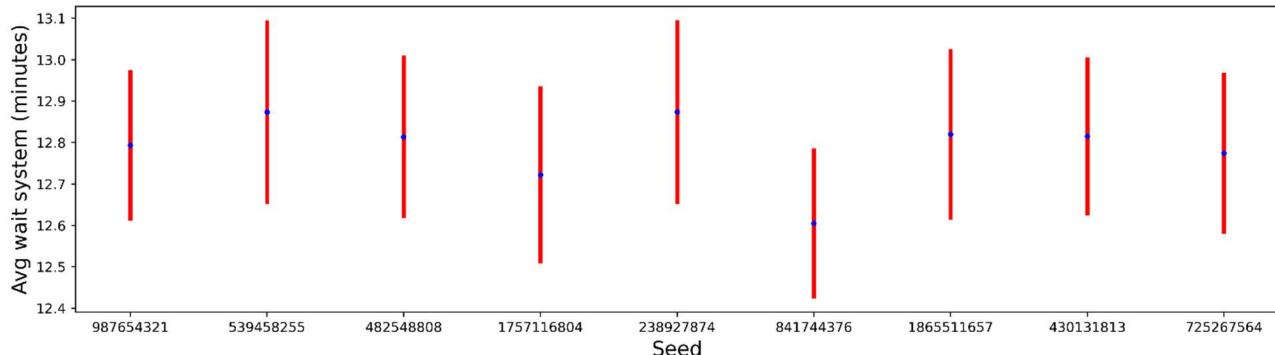
Tabel 16 – Confronto tra i nodi totali del sistema

Vediamo che a partire da un numero di nodi totali, pari a 4 il sistema si stabilizza sotto i 15 minuti di tempo di servizio, l'analisi proseguirà come per la fascia oraria precedente, cercando una configurazione ottimale, una configurazione massima ed una minima:



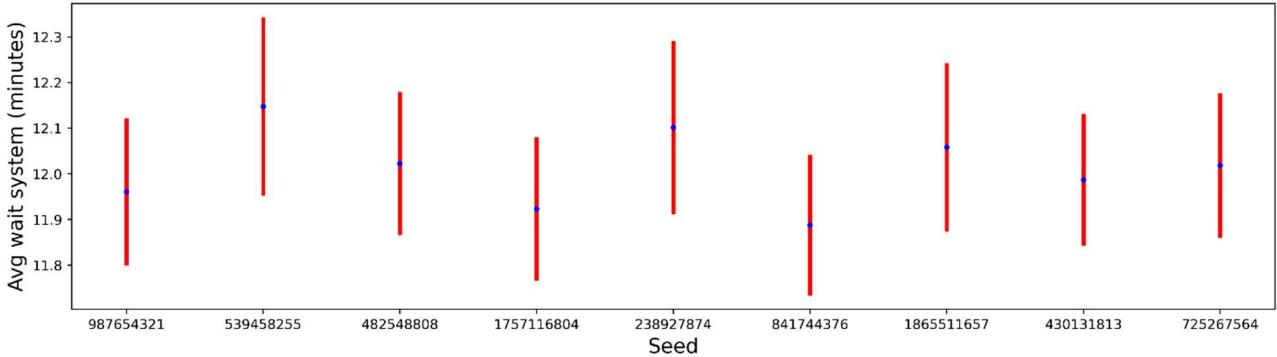
seed	media	deviazione standard	intervallo di confidenza	confidence level
987654321	13.756014871499891	0.999868825907419	$\pm 0.2604732373252463$	95%
539458255	14.147450165415721	1.0461484325092105	$\pm 0.27252941773929923$	95%
482548808	14.056782717274167	0.9571091609542398	$\pm 0.24933402779391128$	95%
1757116804	13.821368645762291	0.9665151912120571	$\pm 0.2517843683667617$	95%
238927874	14.125417433197276	1.1344521506398446	$\pm 0.2955331905678219$	95%
841744376	13.65950827633153	0.8978816889167018	$\pm 0.2339048325029087$	95%
1865511657	13.988537731574654	0.9646188731872427	$\pm 0.2512903634711929$	95%
482548808	14.056782717274167	0.9571091609542398	$\pm 0.24933402779391128$	95%
430131813	13.919012007842618	1.0852375058601824	$\pm 0.2827124109640349$	95%
725267564	14.09343209921493	1.091387731286118	$\pm 0.28431459025543376$	95%

Tabel 17 - Configurazione minima, 3 nodi operatore telefonico



seed	media	deviazione standard	intervallo di confidenza	confidence level
987654321	12.793367556347755	0.696667497029554	$\pm 0.18148704469017857$	95%
539458255	12.873211334612927	0.8506195225815908	$\pm 0.22159268800013296$	95%
482548808	12.813802078047507	0.7515407094039889	$\pm 0.19578192307757983$	95%
1757116804	12.722246416782841	0.819606027722048	$\pm 0.21351344280562776$	95%
238927874	12.873630395187167	0.8502752754312509	$\pm 0.22150300906689066$	95%
841744376	12.605208804868592	0.6950795932195856	$\pm 0.1810733839826643$	95%
1865511657	12.819934337625613	0.7920650200451098	$\pm 0.20633880625028772$	95%
482548808	12.813802078047507	0.7515407094039889	$\pm 0.19578192307757983$	95%
430131813	12.815037357713072	0.731168777445192	$\pm 0.19047488386361378$	95%
725267564	12.774027867374716	0.7458378061510988	$\pm 0.19429627452653642$	95%

Tabel 18 - Configurazione ottima, 4 nodi operatore telefonico



seed	media	deviazione standard	intervallo di confidenza	confidence level
987654321	11.960550344725364	0.6186566106546787	$\pm 0.16116463079516544$	95%
539458255	12.147660649013897	0.749614600197365	$\pm 0.19528015735842233$	95%
482548808	12.022545264030107	0.6004016789825152	$\pm 0.15640908584104$	95%
1757116804	11.923397305540774	0.6032573494009201	$\pm 0.15715300914312494$	95%
238927874	12.101541203357208	0.729446755593421	$\pm 0.19002574254822038$	95%
841744376	11.887570263353597	0.5915218541178917	$\pm 0.15409582567185123$	95%
1865511657	12.058185434011417	0.7086116777239108	$\pm 0.18459859225728478$	95%
482548808	12.022545264030107	0.6004016789825152	$\pm 0.15640908584104$	95%
430131813	11.986915267954311	0.5538529025374307	$\pm 0.14428278469022887$	95%
725267564	12.018354443549883	0.6098907269380206	$\pm 0.15888105313922873$	95%

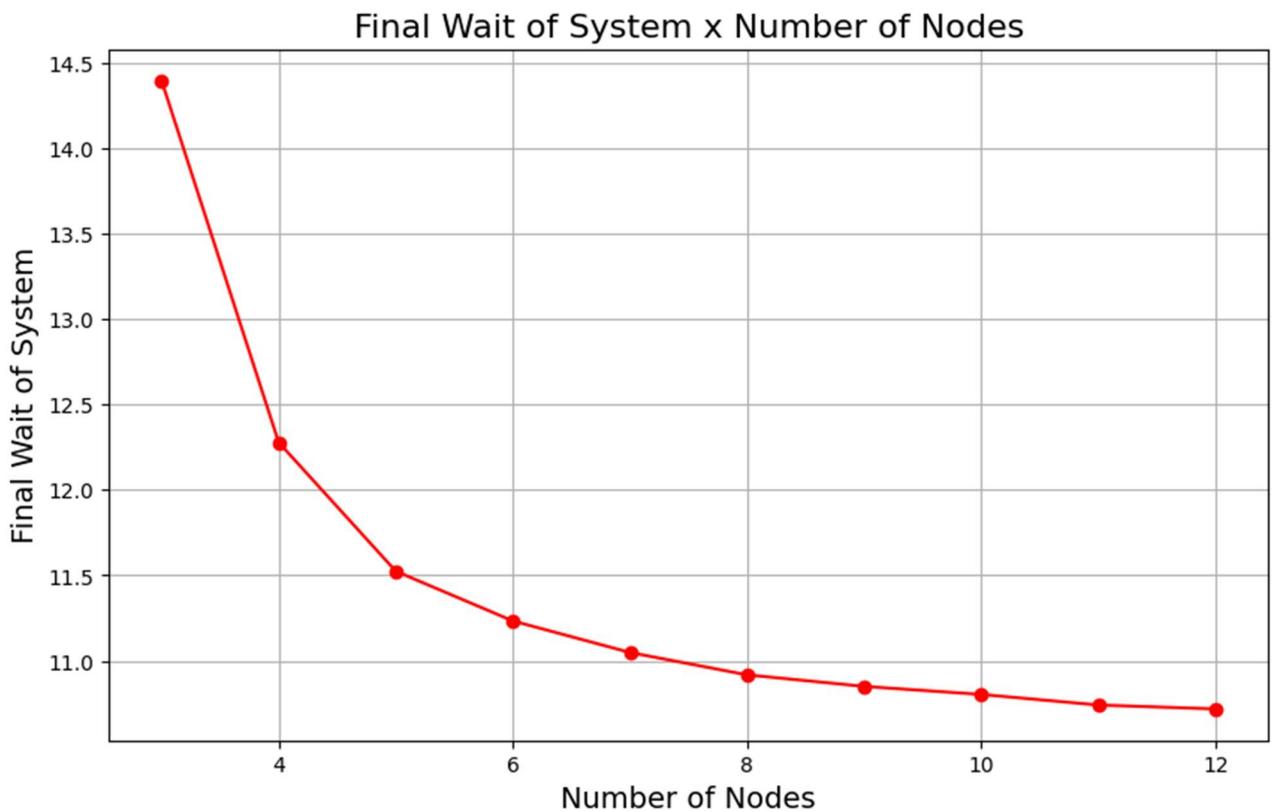
Tabel 19 - Configurazione massima, 6 nodi operatore telefonico

Per la fascia oraria pomeridiana avremo:

- *Configurazione minima*: 3 nodi operatore telefonico
- *Configurazione ottima*: 4 nodi operatore telefonico
- *Configurazione massima*: 6 nodi operatore telefonico

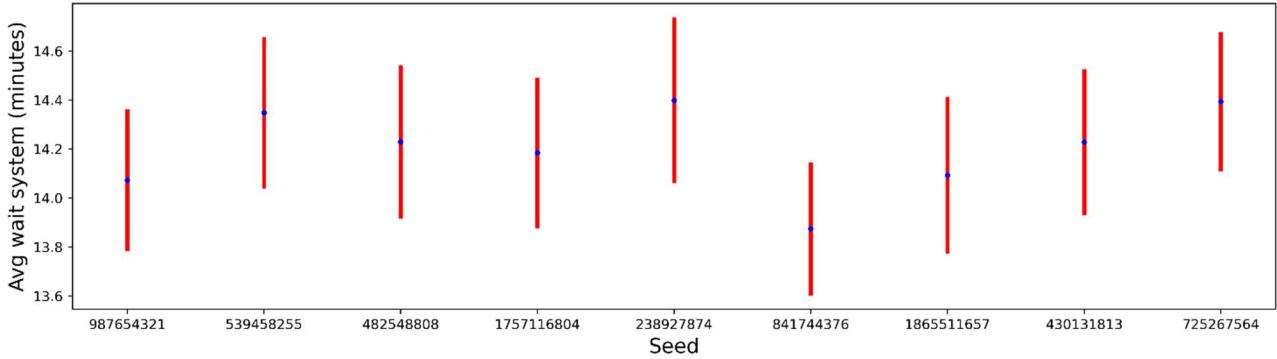
**Fascia oraria: 17:00-22:00**

- $arrival\_time\_evening = 6.3$

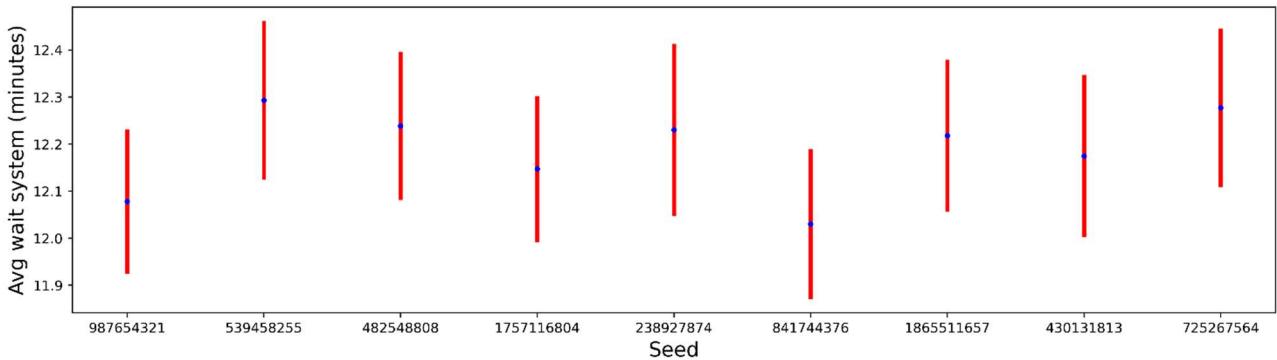


Tabel 20 – Confronto tra i nodi totali del sistema

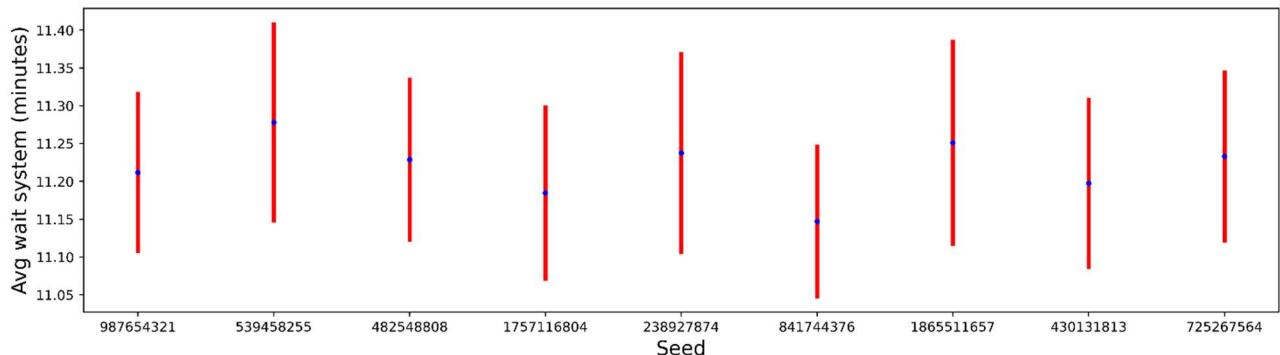
Vediamo che in questa fascia oraria il QoS di quindici minuti viene rispettato per tutti i numeri di nodi.



Tabel 21 - Configurazione minima, 2 nodi operatore telefonico



Tabel 22 - Configurazione ottima, 3 nodi operatore telefonico



seed	media	deviazione standard	intervallo di confidenza	confidence level
987654321	11.211936568244488	0.40892139074493183	$\pm 0.10652705204897353$	95%
539458255	11.278129790751105	0.5076339932801496	$\pm 0.1323241638587603$	95%
482548808	11.22852717970939	0.41611486962674743	$\pm 0.1084010065952505$	95%
1757116804	11.184614690221917	0.44484659124612574	$\pm 0.11588583295473355$	95%
238927874	11.23751384905867	0.5132105897322519	$\pm 0.13369516107948823$	95%
841744376	11.147124577666004	0.3893143543566305	$\pm 0.10141927379834755$	95%
1865511657	11.251337365522296	0.5230846250900907	$\pm 0.1362674204484142$	95%
482548808	11.22852717970939	0.41611486962674743	$\pm 0.1084010065952505$	95%
430131813	11.197330780021918	0.43414478897765907	$\pm 0.11309793417253979$	95%
725267564	11.23041376094592	0.43599845200002296	$\pm 0.11358082712393296$	95%

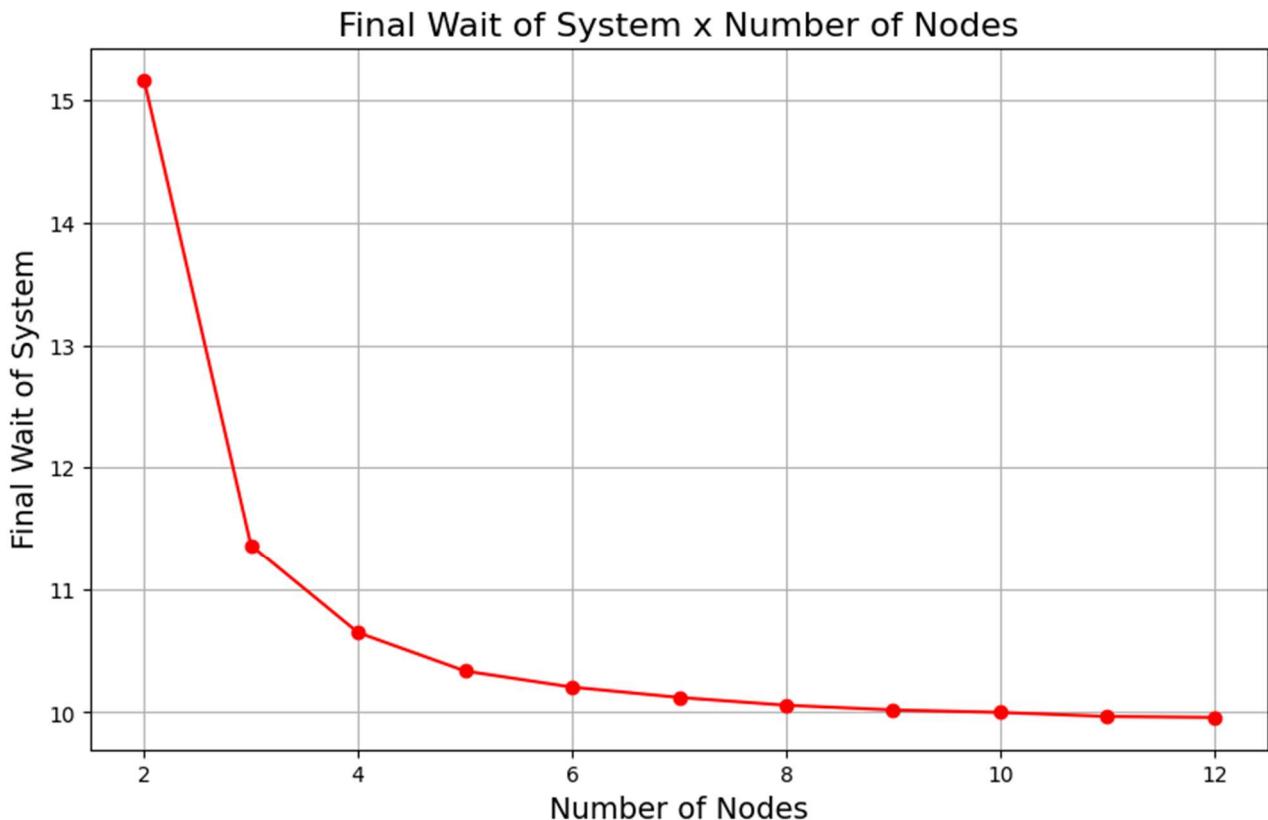
Tabel 23 - Configurazione massima, 5 nodi operatore telefonico

Per la fascia oraria serale avremo:

- *Configurazione minima*: 2 nodi operatore telefonico
- *Configurazione ottima*: 3 nodi operatore telefonico
- *Configurazione massima*: 5 nodi operatore telefonico

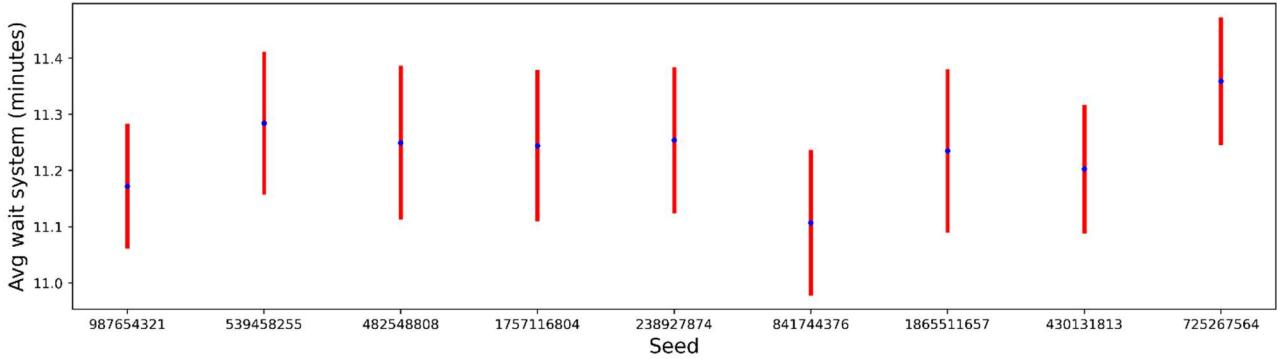
**Fascia oraria: 22:00-08:00**

- $arrival\_time\_night = 11.0$



Tabel 24 – Confronto tra nodi totali del sistema

In questo caso, vediamo che in qualsiasi configurazione il QoS di quindici minuti sarà ampiamente rispettato, di conseguenza sceglieremo la configurazione minima come configurazione ottima. Teniamo conto che una configurazione massima, con un numero di nodi più elevato dell'ottima, sarebbe un inutile spreco di risorse, dato il basso numero di arrivi in questa fascia oraria.



seed	media	deviazione standard	intervallo di confidenza	confidence level
987654321	11.1721117842403	0.42665501404533	±0.11120162582794926	95%
539458255	11.284585397749424	0.48745389582144505	±0.1269853148051454	95%
482548808	11.24954658941942	0.5244249257046637	±0.13661657868899876	95%
1757116804	11.244430513651034	0.5176621281805228	±0.13485481982737885	95%
238927874	11.254053005609606	0.4996609936480987	±0.1301653909085766	95%
841744376	11.107328468600633	0.49698268695321424	±0.12946767217058316	95%
1865511657	11.235076349593818	0.5571118676562355	±0.14513176924983892	95%
430131813	11.202743932785044	0.43921105965041723	±0.11441773521955259	95%
725267564	11.359129570699464	0.43545730602447	±0.1134398545878697	95%

Tabel 25 – Configurazione unica, 2 nodi operatore telefonico

Per la fascia oraria notturna avremo:

- *Configurazione Unica*: 2 nodi operatore telefonico

La configurazione minima di nodi operatore telefonico, che garantisce un tempo di servizio sensibilmente inferiore ai quindici minuti sarà:

# nodi configurazione minima	# nodi operatore telefonico	Fascia Oraria
6	5	08:00-12:00
4	3	12:00-17:00
3	2	17:00-22:00
3	2	22:00-08:00

La configurazione ottima di nodi operatore telefonico, che garantisce un tempo di servizio inferiore ai quindici minuti sarà:

# nodi configurazione ottima	# nodi operatore telefonico	Fascia Oraria
7	6	08:00-12:00
5	4	12:00-17:00
4	3	17:00-22:00
3	2	22:00-08:00

La configurazione massima di nodi operatore telefonico, che garantisce un tempo di servizio molto inferiore ai quindici minuti sarà:

<b># nodi configurazione massima</b>	<b># nodi operatore telefonico</b>	<b>Fascia Oraria</b>
12	11	08:00-12:00
7	6	12:00-17:00
6	5	17:00-22:00
3	2	22:00-08:00

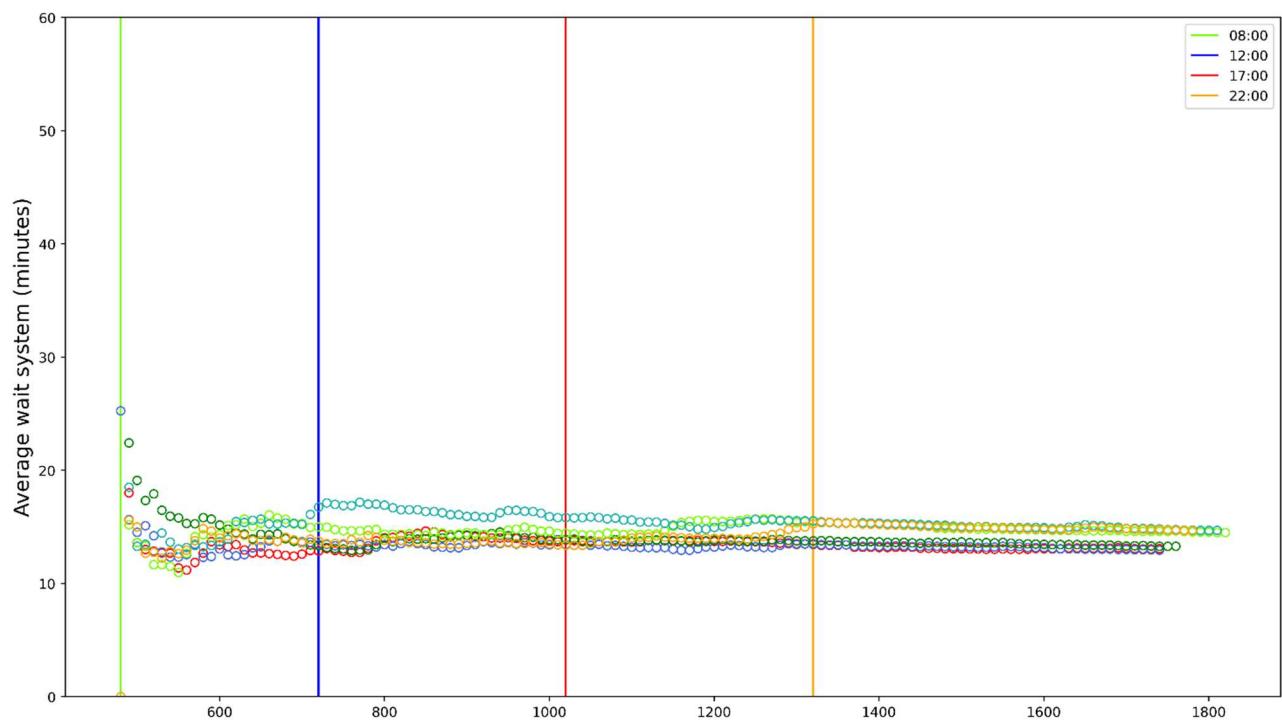
## Analisi del costo

Attraverso questa analisi viene effettuata una simulazione concreta di una giornata lavorativa, di una settimana lavorativa e di un intero anno lavorativo, identificando i costi relativi alle configurazione ottenute con le simulazioni precedenti.

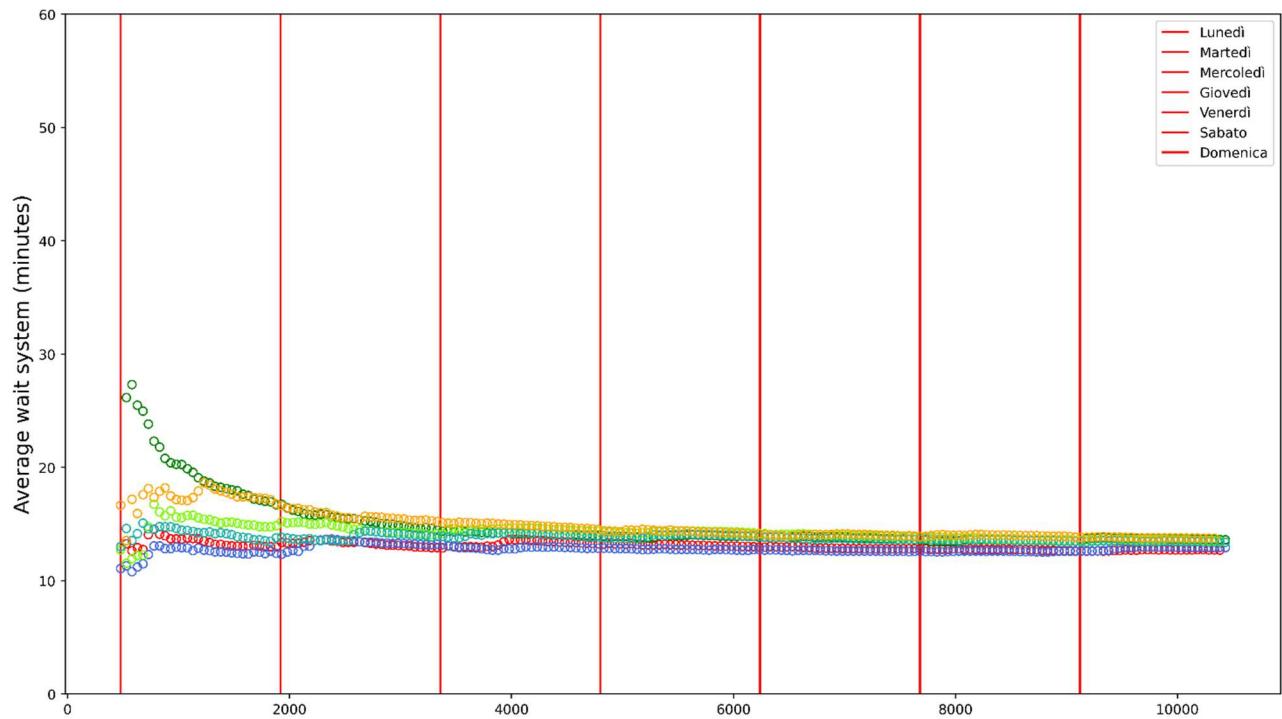
- Per la simulazione giornaliera, viene effettuata l'analisi di un giorno lavorativo comune, quindi non Sabato e Domenica e non un giorno festivo.
- Per la simulazione settimanale, viene effettuata l'analisi di una settimana lavorativa che comprende le giornate di Sabato e Domenica, non considerando una festività.
- Per l'analisi annuale viene effettuata l'analisi per un intero anno lavorativo, considerando anche le festività.

### ***Configurazione minima:***

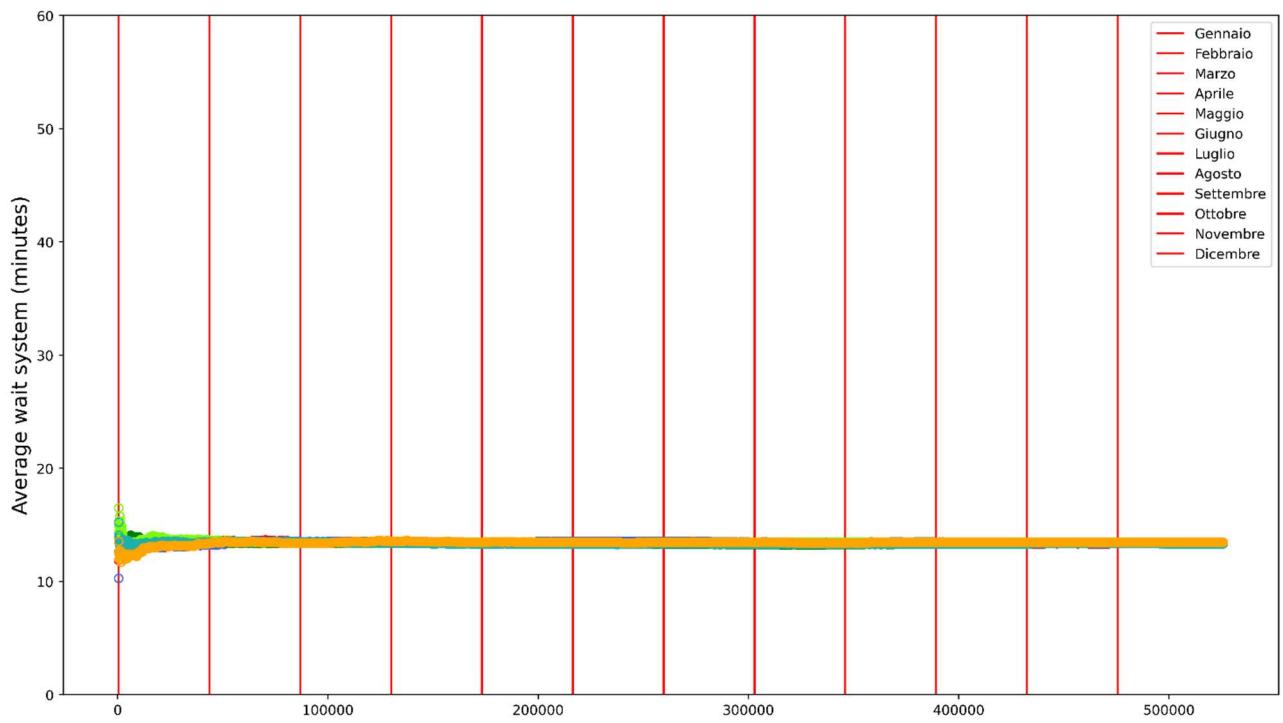
- *Numeri di nodi operatori:* Mattina: 5, Pomeriggio: 3, Sera: 2, Notte: 2
- *Valore medio di avg\_wait\_system:* 14.11 minuti
- *Costo totale per la simulazione giornaliera:* 637.1066666666667 €
- *Costo totale per la simulazione settimanale:* 3631.508 €
- *Costo totale per la simulazione annuale:* 190988.651 €
  - *Costo per il mese di Gennaio:* 16198.44 €
  - *Costo per il mese di Febbraio:* 14526.03 €
  - *Costo per il mese di Marzo:* 16102.87 €
  - *Costo per il mese di Aprile:* 16102.87 €
  - *Costo per il mese di Maggio:* 16198.44 €
  - *Costo per il mese di Giugno:* 15625.04 €
  - *Costo per il mese di Luglio:* 16102.87 €
  - *Costo per il mese di Agosto:* 16198.44 €
  - *Costo per il mese di Settembre:* 15768.39 €
  - *Costo per il mese di Ottobre:* 15959.52 €
  - *Costo per il mese di Novembre:* 15481.69 €
  - *Costo per il mese di Dicembre:* 16724.05 €



Tabel 25 – Simulazione giornaliera configurazione minima



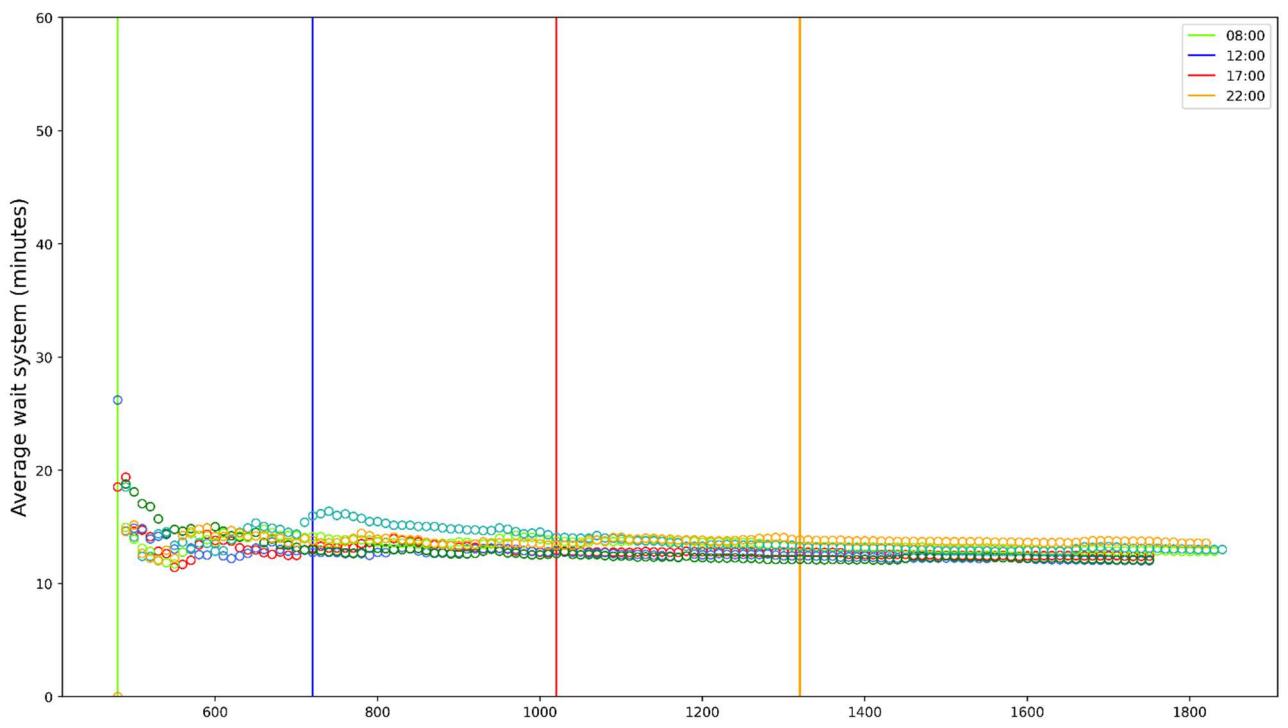
Tabel 26 – Simulazione settimanale configurazione minima



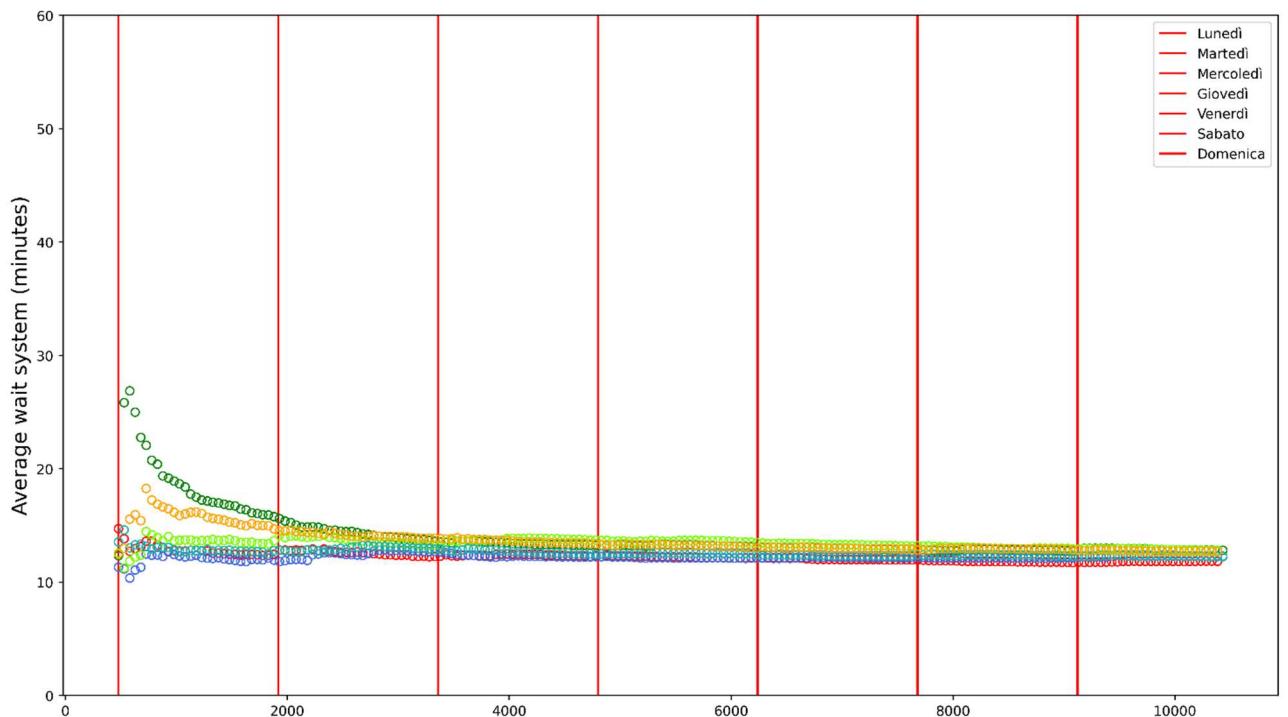
Tabel 27 – Simulazione annuale configurazione minima

### **Configurazione ottima:**

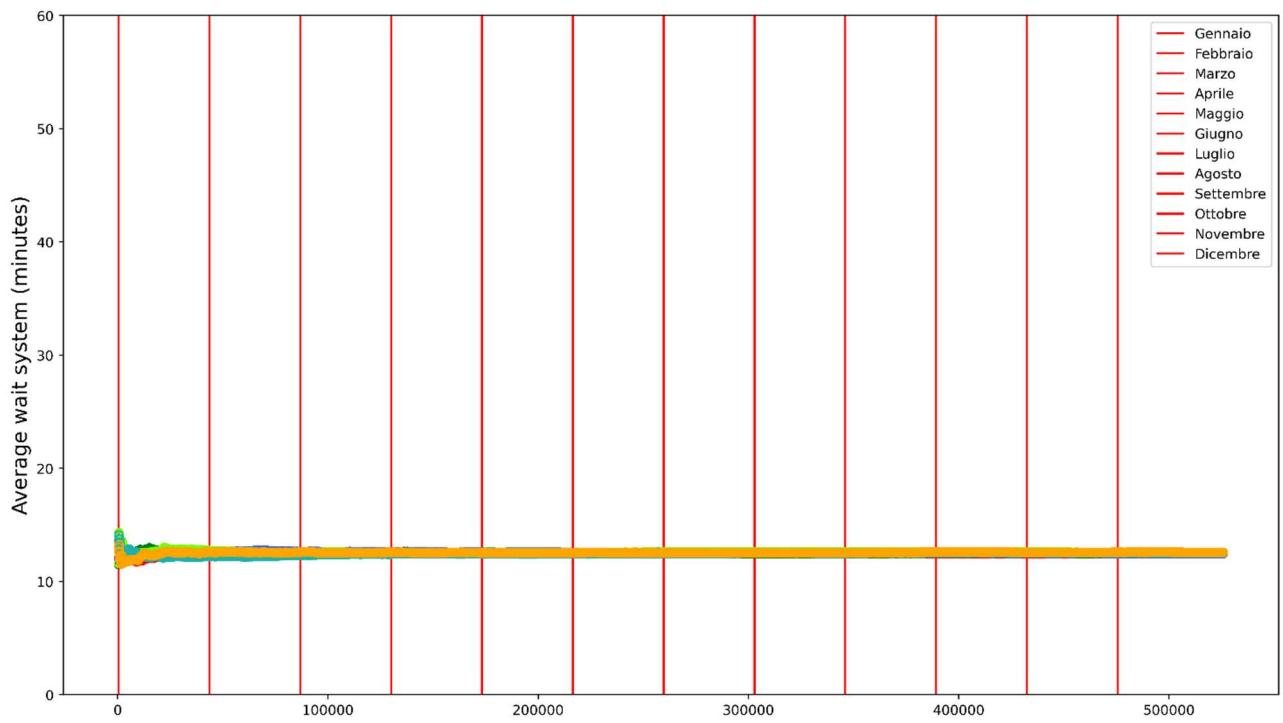
- *Numero di nodi operatori:* Mattina: 6, Pomeriggio: 4, Sera: 3, Notte: 2
- *Valore medio di avg\_wait\_system:* 13.21 minuti
- *Costo totale per la simulazione giornaliera:* 762.733333333333 €
- *Costo totale per la simulazione settimanale:* 4347.580000000001 €
- *Costo totale per la simulazione annuale:* 228648.38499999995 €
  - *Costo per il mese di Gennaio:* 19392.49 €
  - *Costo per il mese di Febbraio:* 17390.32€
  - *Costo per il mese di Marzo:* 19278.08 €
  - *Costo per il mese di Aprile:* 19278.08 €
  - *Costo per il mese di Maggio:* 19392.49 €
  - *Costo per il mese di Giugno:* 18706.03 €
  - *Costo per il mese di Luglio:* 19278.08 €
  - *Costo per il mese di Agosto:* 19392.49 €
  - *Costo per il mese di Settembre:* 18877.65 €
  - *Costo per il mese di Ottobre:* 19106.47 €
  - *Costo per il mese di Novembre:* 18534.42 €
  - *Costo per il mese di Dicembre:* 20021.75 €



Tabel 28 – Simulazione giornaliera configurazione ottima



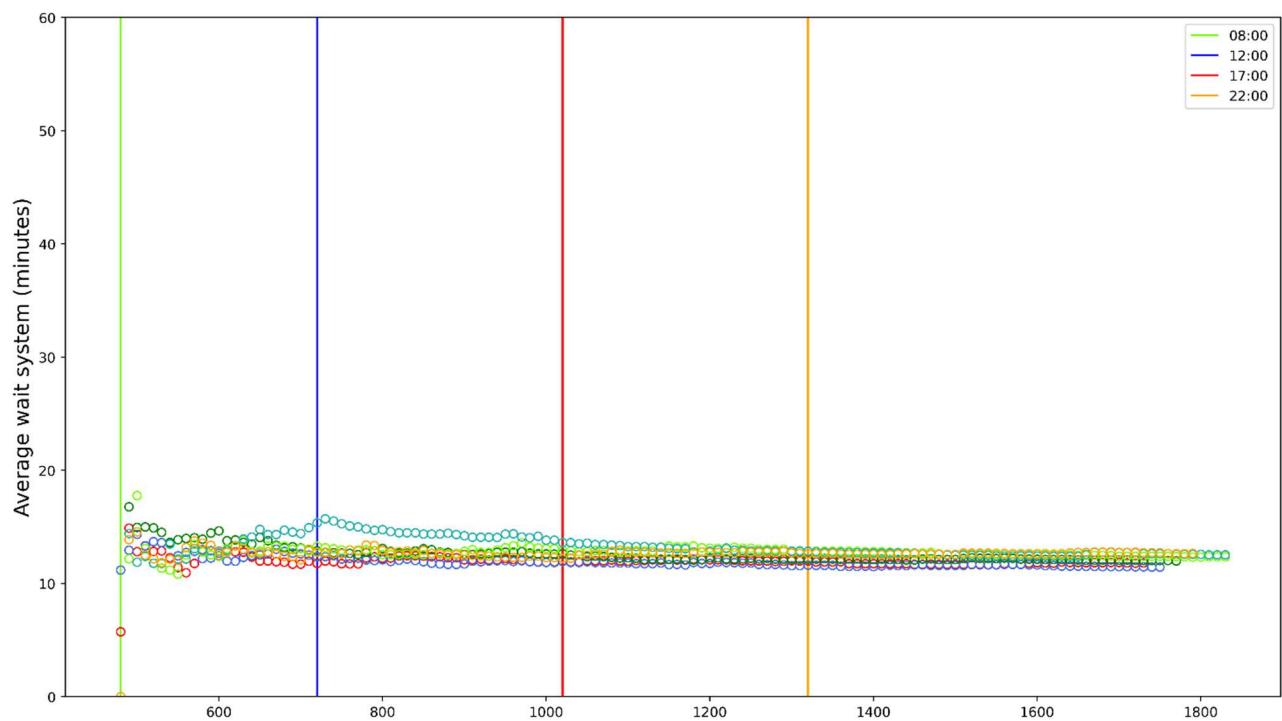
Tabel 29 – Simulazione settimanale configurazione ottima



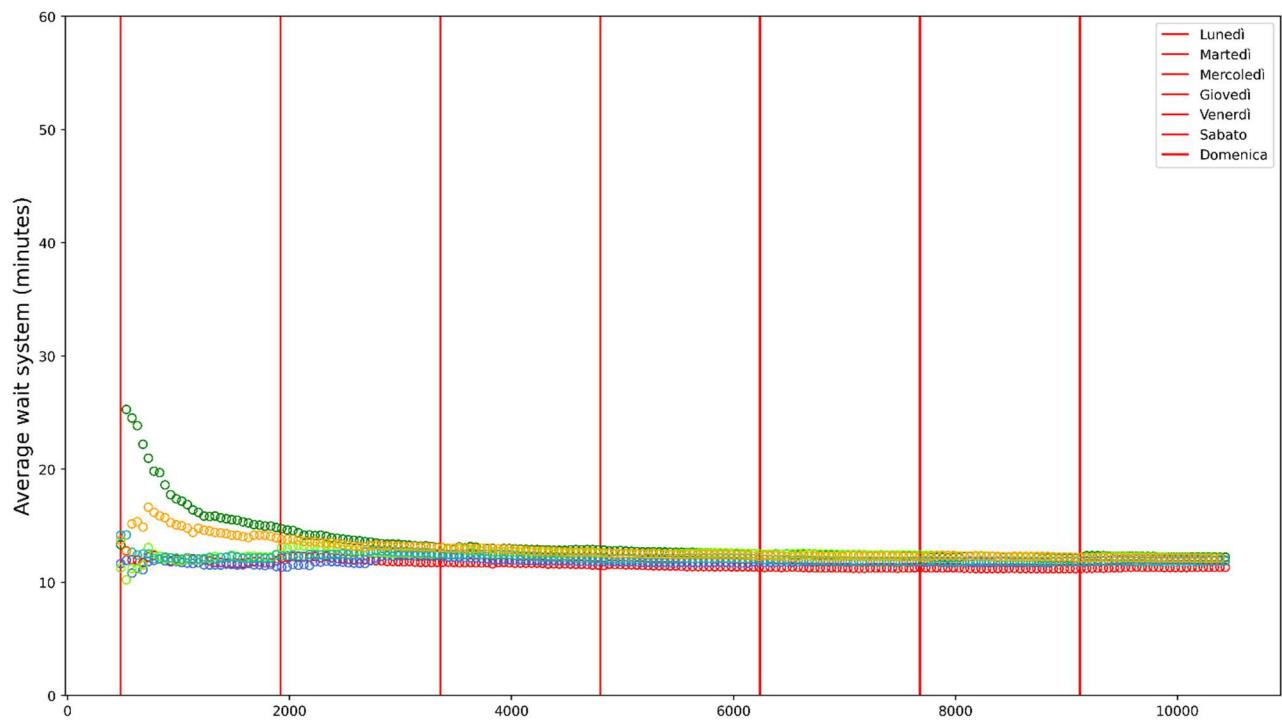
Tabel 30 – Simulazione annuale configurazione ottima

### **Configurazione massima:**

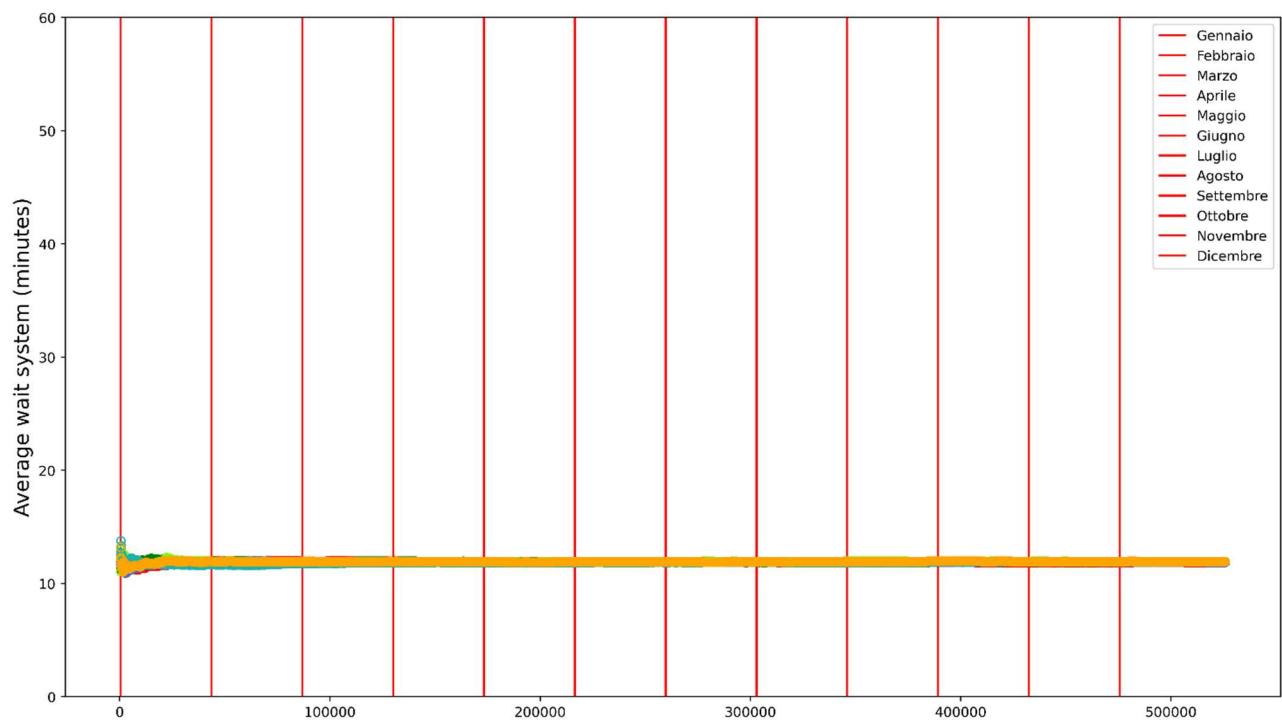
- *Numero di nodi operatori:* Mattina: 11, Pomeriggio: 6, Sera: 5, Notte: 2
- *Valore medio di avg\_wait\_system:* 12.10 minuti
- *Costo totale per la simulazione giornaliera:* 1121.66666666666667 €
- *Costo totale per la simulazione settimanale:* 6393.500000000001 €
- *Costo totale per la simulazione annuale:* 336247.62500000006 €
  - *Costo per il mese di Gennaio:* 28518.38 €
  - *Costo per il mese di Febbraio:* 25574.00 €
  - *Costo per il mese di Marzo:* 28350.13 €
  - *Costo per il mese di Aprile:* 28350.13 €
  - *Costo per il mese di Maggio:* 28518.38 €
  - *Costo per il mese di Giugno:* 27508.88 €
  - *Costo per il mese di Luglio:* 28350.13 €
  - *Costo per il mese di Agosto:* 28518.38 €
  - *Costo per il mese di Settembre:* 27761.25 €
  - *Costo per il mese di Ottobre:* 28097.75 €
  - *Costo per il mese di Novembre:* 27256.50 €
  - *Costo per il mese di Dicembre:* 29443.75 €



Tabel 31 – Simulazione giornaliera configurazione massima



Tabel 32 – Simulazione settimanale configurazione massima



Tabel 33 – Simulazione annuale configurazione massima

# Conclusioni

L'intento principale dell'analisi è quello di individuare una configurazione ottimale che ci consenta di tenere un basso valore di tempo di servizio cercando di minimizzare i costi mediante lo studio in regime transitorio e stazionario e con gli elementi che ci sono stati forniti a lezione.

# References

<sup>[1]</sup> Hill, R. Discrete-Event Simulation: A First Course. J Simulation 1, pag: 371