

Progetto PMCSN
Modellazione percorso di entrata per il parco
giochi DisneyWorld di Orlando

Enrico D'Alessandro 0306424 & Alessandro De Angelis 0317176

A.A. 2021/2022

Indice

1	Introduzione	2
1.1	Caso di studio	2
1.2	Obiettivi dello studio	2
2	Modello base	3
2.1	Modello concettuale	3
2.1.1	Descrizione dei centri	3
2.1.2	Eventi del sistema e variabili di stato	4
2.2	Modello delle specifiche	4
2.2.1	Periodo di osservazione	4
2.2.2	Utenti	4
2.2.3	Tempi di servizio	5
2.2.4	Costi	5
2.2.5	Guadagni	5
2.2.6	Percentuali di routing	6
2.3	Modello analitico	6
2.3.1	Modelli analitici corrispondenti ai modelli concettuali	6
2.4	Modello computazionale	6
2.4.1	Simulazione	6
2.4.2	Arrivi dall'esterno e completamenti	6
2.5	Verifica	7
2.6	Validazione	9
2.7	Simulazione ad orizzonte infinito	11
2.8	Simulazione ad orizzonte finito	14
2.9	Analisi dei costi	16
2.9.1	Costi	16
2.9.2	Guadagni	16
3	Modello migliorativo	17
3.1	Miglioramento controlli di sicurezza	17
3.2	Modello concettuale	17
3.3	Modello analitico	17
3.3.1	Modelli analitici corrispondenti ai modelli concettuali	17
3.4	Modello computazionale	18
3.5	Verifica	18
3.6	Validazione	18
3.7	Simulazione ad orizzonte infinito	21
3.8	Simulazione ad orizzonte finito	22
3.9	Analisi dei costi	23

Capitolo 1

Introduzione

1.1 Caso di studio

Lo studio prende in esame il parco giochi DisneyWorld di Orlando. In particolare, si vuole realizzare una simulazione degli ingressi al parco nell'arco di un'intera giornata di apertura (dalle 8:00 alle 24:00). I dati utilizzati per lo studio sono stati raccolti dai canali ufficiali del parco e sono stati ridimensionati per favorire una simulazione della realtà più accurata possibile.

1.2 Obiettivi dello studio

Gli obiettivi di tale studio sono principalmente i seguenti:

1. Limitare il tempo di risposta medio dell'intero sistema a 10 minuti.
2. Limitare il tempo di risposta per il controllo di sicurezza a 5 minuti.
3. Fa sperimentare il minimo tempo in coda possibile a persone con disabilità nel centro dei controlli di sicurezza.

Altro obiettivo dello studio è quello di minimizzare i costi di gestione di tale percorso d'ingresso.

Capitolo 2

Modello base

2.1 Modello concettuale

2.1.1 Descrizione dei centri

I centri modellati sono i seguenti:

- Biglietteria (blocco 1)
- Tornelli (disabili) (blocco 2)
- Tornelli (blocco 3)
- Controlli di sicurezza (blocco 4)
- Deposito oggetti (blocco 5)

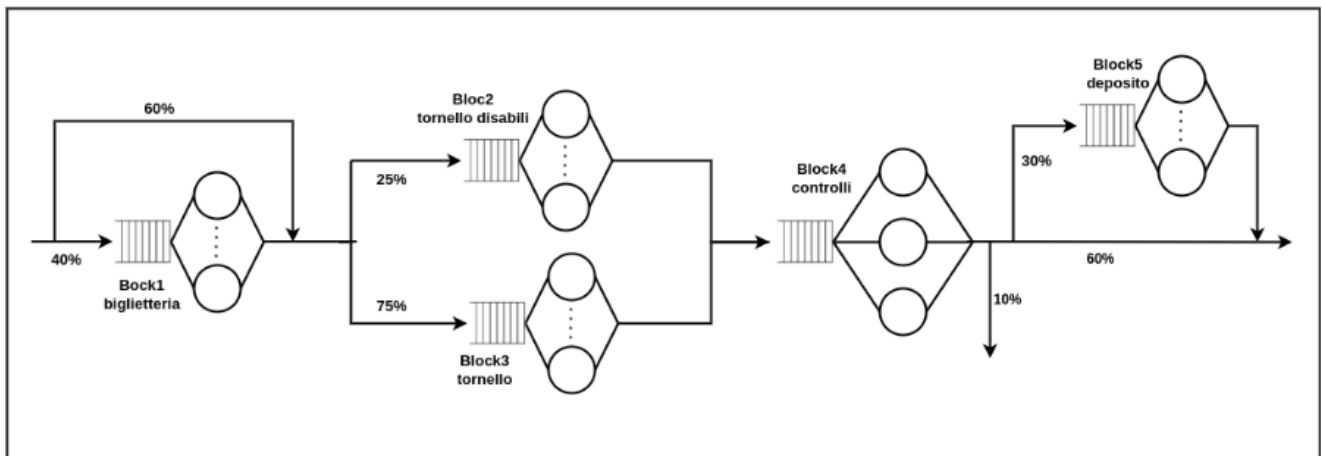


Figura 2.1: Modello concettuale per la definizione del sistema in esame

Tutti i centri sono stati modellati con una M/M/m.

Biglietteria

Al blocco 1 arrivano soltanto le persone che non hanno acquistato un biglietto online.

Tornelli (disabili)

Al blocco 2 arrivano soltanto le persone con disabilità.

Tornelli

Al blocco 3 arrivano soltanto le persone senza disabilità.

Controlli di sicurezza

Al blocco 4 arriva tutto il flusso in ingresso al sistema in quanto tutte le persone dovranno passare i controlli di sicurezza.

Deposito oggetti

Al blocco 5 arrivano soltanto le persone che debbono depositare degli oggetti.

2.1.2 Eventi del sistema e variabili di stato

Gli eventi del sistema possono essere arrivi dall'esterno o completamenti. Per quanto riguarda le variabili di stato considerate abbiamo:

- numero di serventi nelle due fasce orarie
- numero di utenti per ogni centro
- numero di utenti in servizio per ogni centro

2.2 Modello delle specifiche

2.2.1 Periodo di osservazione

Il periodo di osservazione è quello dell'intera giornata lavorativa del parco, formata da 16 ore, ed è stato diviso in due fasce orarie:

- Fascia 1: 8:00 - 18:00 (ingresso giornaliero)
- Fascia 2: 18:00 - 24:00 (ingresso serale)

2.2.2 Utenti

I dati utilizzati per lo studio sono stati raccolti dai canali ufficiali del parco e sono stati ridimensionati per favorire una simulazione della realtà più accurata possibile. Il numero di visitatori medi giornalieri del parco è di 20000 i quali sono stati suddivisi tra le due fasce lavorative nel seguente modo:

- Fascia 1: 15000 ($\lambda = 0.416667$ p/s)
- Fascia 2: 5000 ($\lambda = 0.23148$ p/s)

Gli arrivi sono stati considerati esponenziali.

2.2.3 Tempi di servizio

I tempi di servizio sono stati considerati esponenziali, in quanto rappresentano meglio lo scenario analizzato. I tempi di servizio per i vari centri sono:

- acquisto biglietto: 120s
- tornelli disabili: 20s
- tornelli: 10s
- controlli di sicurezza: 75s
- deposito oggetti: 60s

2.2.4 Costi

I costi che vengono riportati di seguito sono stati ottenuti tramite delle ricerche sui salari medi degli Stati Uniti e costi di vario genere:

- Personale: 10\$/h
- Personale controlli di sicurezza: 15\$/h
- Affitto tornelli automatici: 60\$/d
- Metal detector: 100\$/d

2.2.5 Guadagni

Fascia 1 (8:00-18:00):

- Biglietto online intero: 110\$
- Biglietto online ridotto (bambini sotto i 12 anni): 90\$
- Biglietto intero in cassa: 125\$
- Biglietto ridotto in cassa (bambini sotto i 12 anni): 110\$
- Deposito: 7\$

Fascia 2 (18:00-24:00):

- Biglietto online intero: 75\$
- Biglietto online ridotto (bambini sotto i 12 anni): 60\$
- Biglietto intero in cassa: 90\$
- Biglietto ridotto in cassa (bambini sotto i 12 anni): 70\$
- Deposito: 7\$

2.2.6 Percentuali di routing

Le percentuali di routing considerate sono:

- Biglietti acquistati online: 60%
- Acquisti in cassa: 40%
- Persone disabili: 25%
- Persone senza disabilità: 75%
- Controlli di sicurezza superati, ma con deposito necessario: 30%
- Controlli di sicurezza superati senza necessità di deposito: 60%
- Controlli di sicurezza non superati: 10%

2.3 Modello analitico

2.3.1 Modelli analitici corrispondenti ai modelli concettuali

Di seguito sono rappresentate le formule utilizzate per l'analisi teorica del sistema. In particolare, tutti i centri sono stati modellati come M/M/m per i quali si hanno le seguenti formule teoriche:

- $P_Q = \frac{(m\rho)^m}{m!(1-\rho)}p(0)$
- $E(T_Q) = \frac{P_Q E(S)}{1-\rho}$
- $E(T_S) = E(T_Q) + E(S_i)$
- $E(N_Q)_{Erlang} = P_Q \frac{\rho}{1-\rho}$
- $E(N_S) = E(N_Q) + m\rho$

2.4 Modello computazionale

2.4.1 Simulazione

L'approccio utilizzato per la realizzazione del modello computazione è quello della next-event simulation. Per l'inizializzazione degli stream utili per la generazione degli eventi è stata utilizzata la funzione *PlantSeeds*. La distribuzione utilizzata sia per i tempi di interarrivo che per i tempi di servizio è la *Exponential*. In particolare, gli arrivi dall'esterno vengono generati mediante la funzione *GetArrival*, mentre i tempi di servizio con la funzione *GetService*. Per quanto riguarda i centri multi-servente, in essi viene utilizzato l'approccio *Equity*, in modo tale che ogni servente venga utilizzato in maniera equa: si affida il servizio al servente libero da più tempo. Per la generazione delle probabilità di routing è stata utilizzata una *Uniform(0,1)*.

2.4.2 Arrivi dall'esterno e completamenti

Per quanto riguarda gli eventi questi sono arrivi dall'esterno o i completamenti dei vari centri. In particolare, sempre considerando le probabilità di routing, i completamenti del blocco 1 corrispondono ad arrivi per i blocchi 2 o 3, i completamenti dei blocchi 2 e 3 corrispondono ad arrivi per il blocco 4, ed infine, i completamenti del blocco 4 corrispondono ad arrivi per il blocco 5.

2.5 Verifica

Nella fase di verifica sono stati confrontati i risultati della simulazione con le varie formule teoriche. Tale fase serve a verificare il corretto funzionamento del simulatore. La verifica è stata effettuata in particolare sul numero di utenti del centro e sul tempo di risposta del centro.

Biglietteria

$$E(N_S) = E(N_Q) + m * \rho = 1.586436 + 24 * 0.830275 = 21.513025$$

$$E(T_S) = E(T_Q) + E(S_i) = 9.535467 + 24 * 4.992129 = 129.306644$$

```
for 52407 jobs
  avg interarrivals .. = 6.001453
  avg wait ..... = 129.306644
  avg # in node ..... = 21.513025
  avg delay ..... = 9.535467
  avg # in queue ..... = 1.586436
  avg service ..... = 4.992129
  avg utilization .... = 0.830275
```

Tornelli disabili

$$E(N_S) = E(N_Q) + m * \rho = 2.04 + 4 * 0.781209 = 5.16$$

$$E(T_S) = E(T_Q) + E(S_i) = 16.54 + 4 * 2.502772 = 6.53$$

```
for 98324 jobs
  avg interarrivals .. = 3.20
  avg wait ..... = 16.54
  avg # in node ..... = 5.16
  avg delay ..... = 6.53
  avg # in queue ..... = 2.04
  avg service ..... = 2.502772
  avg utilization .... = 0.781209
```


Tornelli non disabili

$$E(N_S) = E(N_Q) + m * \rho = 1.07 + 3 * 0.685747 = 3.13$$

$$E(T_S) = E(T_Q) + E(S_i) = 10.30 + 3 * 6.590556 = 30.07$$

```
for 32748 jobs
  avg interarrivals .. = 9.61
  avg wait ..... = 30.07
  avg # in node ..... = 3.13
  avg delay ..... = 10.30
  avg # in queue ..... = 1.07
  avg service ..... = 6.590556
  avg utilization .... = 0.685747
```

Controlli di sicurezza

$$E(N_S) = E(N_Q) + m * \rho = 12.59 + 33 * 0.946282 = 43.82$$

$$E(T_S) = E(T_Q) + E(S_i) = 30.27 + 33 * 2.275081 = 105.33$$

```
for 131072 jobs, lost 13169, pushed
to exit 78642
  avg interarrivals .. = 2.40
  avg wait ..... = 105.33
  avg # in node ..... = 43.82
  avg delay ..... = 30.27
  avg # in queue ..... = 12.59
  avg service ..... = 2.275081
  avg utilization .... = 0.946282
```

Deposito oggetti

$$E(N_S) = E(N_Q) + m * \rho = 10.11 + 8 * 0.929270 = 17.54$$

$$E(T_S) = E(T_Q) + E(S_i) = 81.11 + 8 * 7.458824 = 140.77$$

```
for 39261 jobs
  avg interarrivals .. = 8.02
  avg wait ..... = 140.77
  avg # in node ..... = 17.54
  avg delay ..... = 81.11
  avg # in queue ..... = 10.11
  avg service ..... = 7.458824
  avg utilization .... = 0.929270
```

Dai risultati mostrati è possibile osservare la bontà del simulatore.

2.6 Validazione

Per la validazione sono state effettuate 128 ripetizioni della simulazione ad orizzonte finito. I risultati di entrambe le fasce orarie sono stati mediati con un intervallo di confidenza del 95%. Le configurazioni dei server sono state scelte, effettuando una serie di simulazioni, cercando di avere un'utilizzazione dei server accettabile:

Configurazione fascia 1

- Biglietteria: 24 server
- Tornelli (disabili): 3 server
- Tornelli: 4 server
- Controlli: 33 server
- Deposito: 8 server

Configurazione fascia 2

- Biglietteria: 12 server
- Tornelli (disabili): 2 server
- Tornelli: 3 server
- Controlli: 19 server
- Deposito: 5 server

I risultati teorici e quelli sperimentali sono confrontati nelle seguenti tabelle:

Fascia 1

	Risultato Analitico	Risultato Sperimentale
$E(T_{Q1})$	8.099490494226822	8.99 +/- 1.00
$E(T_{Q2})$	10.564933718664284	11.32 +/- 0.80
$E(T_{Q3})$	6.4354356188089	6.59 +/- 0.17
$E(T_{Q4})$	28.930057691276232	28.81 +/- 0.53
$E(T_{Q5})$	96.83468575335313	93.62 +/- 3.24
$E(T_s)$	435.8646032763294	431.58 +/- 4.63

Fascia 2

	Risultato Analitico	Risultato Sperimentale
$E(T_{Q1})$	85.99136206240678	87.67 +/- 1.87
$E(T_{Q2})$	10.070380778675817	10.09 +/- 0.05
$E(T_{Q3})$	2.5943046551612707	3.33 +/- 0.90
$E(T_{Q4})$	27.996671206732373	27.97 +/- 0.34
$E(T_{Q5})$	44.64148302079933	44.68 +/- 0.46
$E(T_s)$	467.2942017237756	468.73 +/- 1.22

2.7 Simulazione ad orizzonte infinito

Il sistema viene simulato per un tempo molto lungo ed ogni fascia viene simulata singolarmente ed inoltre il sistema si assume statico. Per ricavare la media campionaria del tempo di risposta si è utilizzato il metodo Batch Means con $k=128$ batch ognuno da $b=1024$ job. La scelta di k e b è stata effettuata in modo da rendere l'indice di autocorrelazione minore di 0.2 per lag $j = 1$. Si calcolano le statistiche per ogni batch ottenendo così 128 batch indipendenti su cui valutare la media campionaria. L'utilità di tale simulazione è data dalla sua capacità di:

- Trovare la configurazione migliore
- Facilitare l'analisi dei tempi di risposta a steady state
- Facilitare l'analisi delle popolazioni

I risultati analizzati sono: il tempo di risposta globale del sistema, le popolazioni nelle code e le popolazioni nei centri. Per quanto riguarda il tempo di risposta globale, con la configurazione dei server mostrata in precedenza, come si vede dalla figura seguente il sistema risulta stabile e rispetta ampiamente il QoS di 10 minuti. Inoltre, il suo valore tende ad assestarsi sul valore teorico. Questo vale per entrambe le fasce orarie.

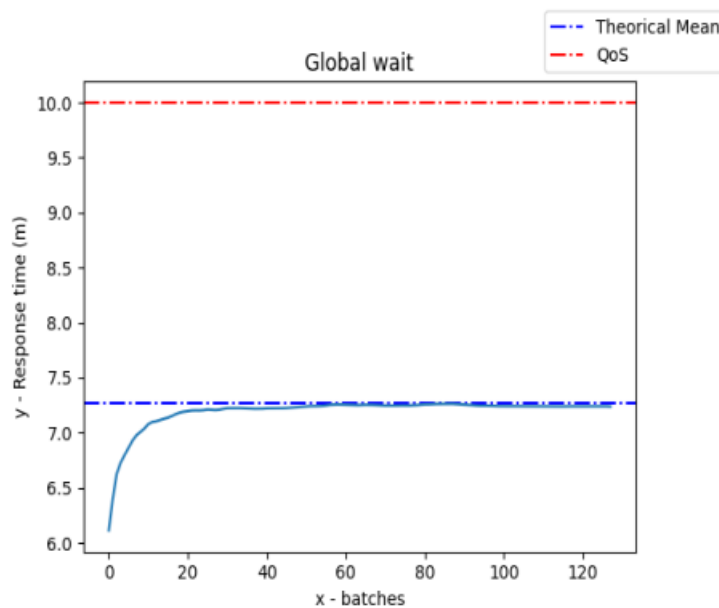


Figura 2.2: Tempi di risposta globali fascia 1

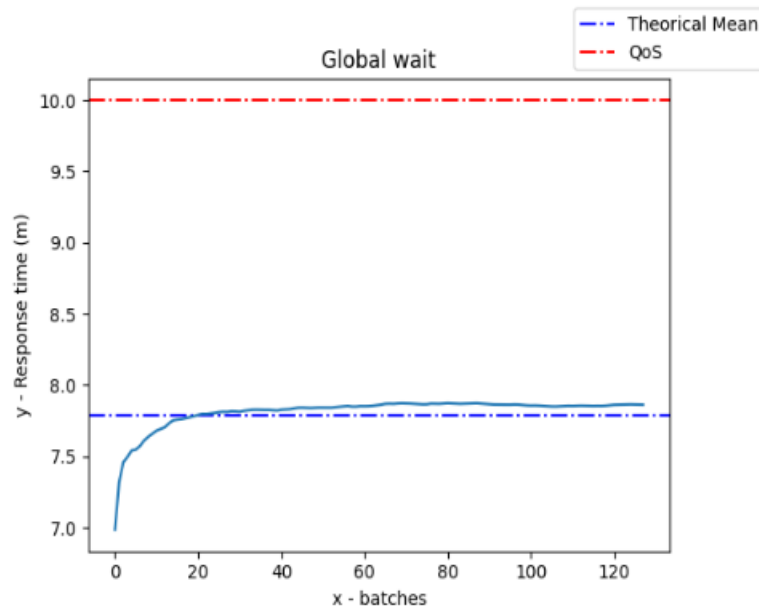


Figura 2.3: Tempi di risposta globali fascia 2

Anche per le popolazioni può essere fatta la stessa osservazione, ovvero che i valori della simulazione tendono ad assestarsi sui valori teorici. Questo è quindi un altro indice della stabilità del sistema.

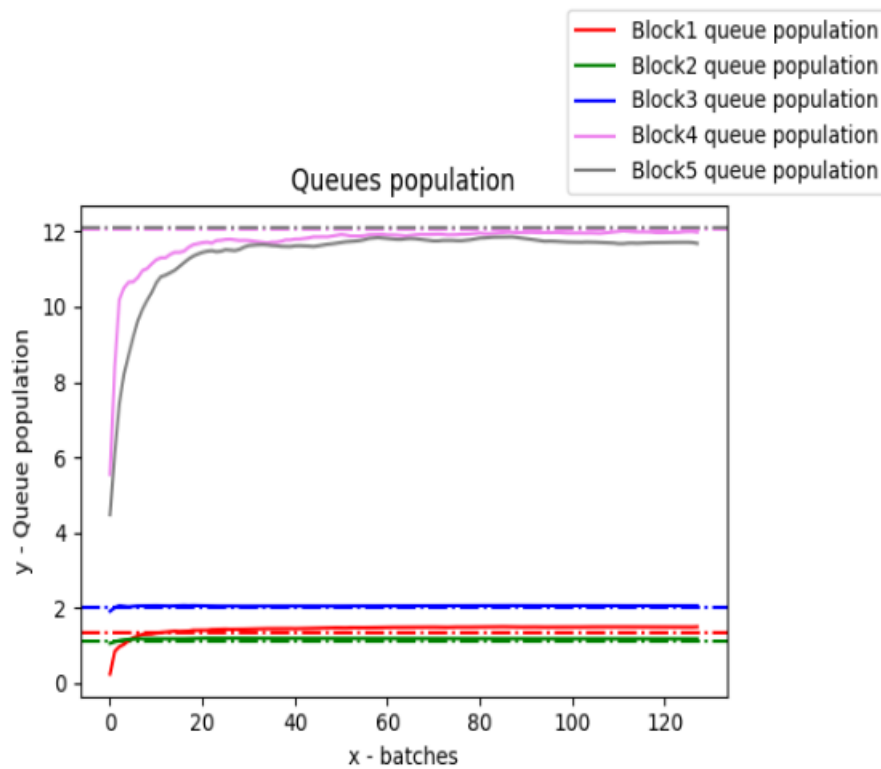


Figura 2.4: Popolazioni in coda fascia 1

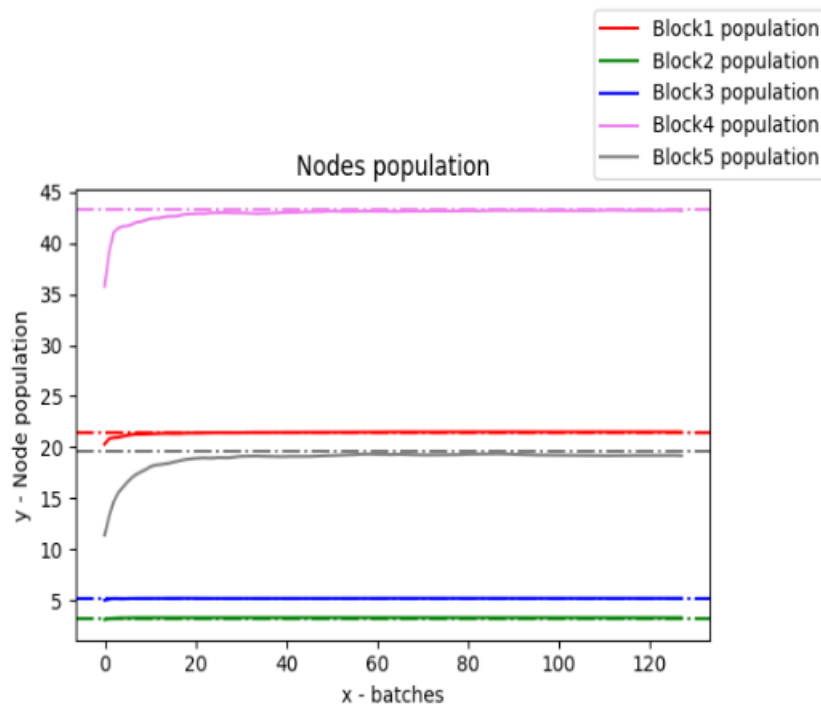


Figura 2.5: Popolazioni nel sistema fascia 1

Per quanto riguarda la fascia 2 non si può dire lo stesso sulle popolazioni. E' evidente infatti che c'è un certo distacco rispetto ai valori teorici del primo blocco (Biglietteria). Questo può essere dovuto ad un sottodimensionamento del numero di server.

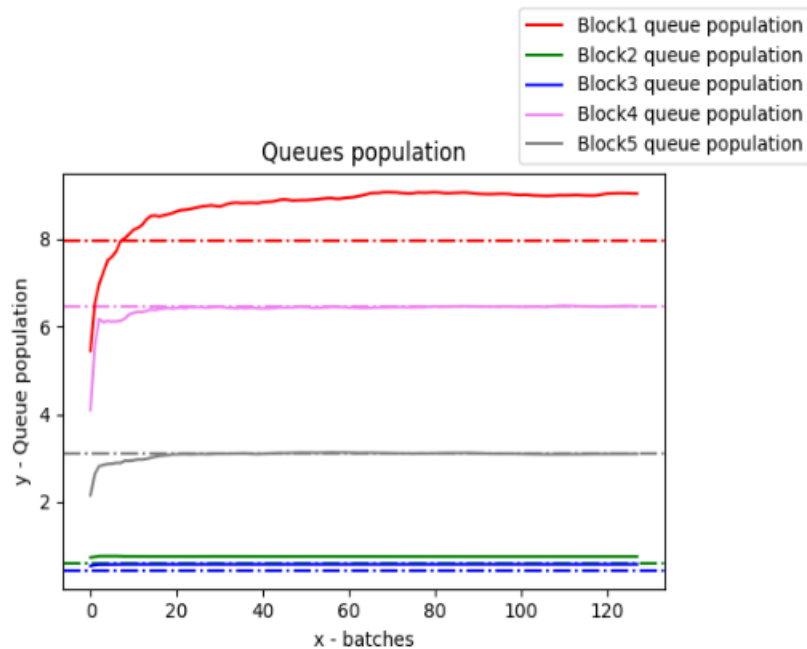


Figura 2.6: Popolazioni in coda fascia 2

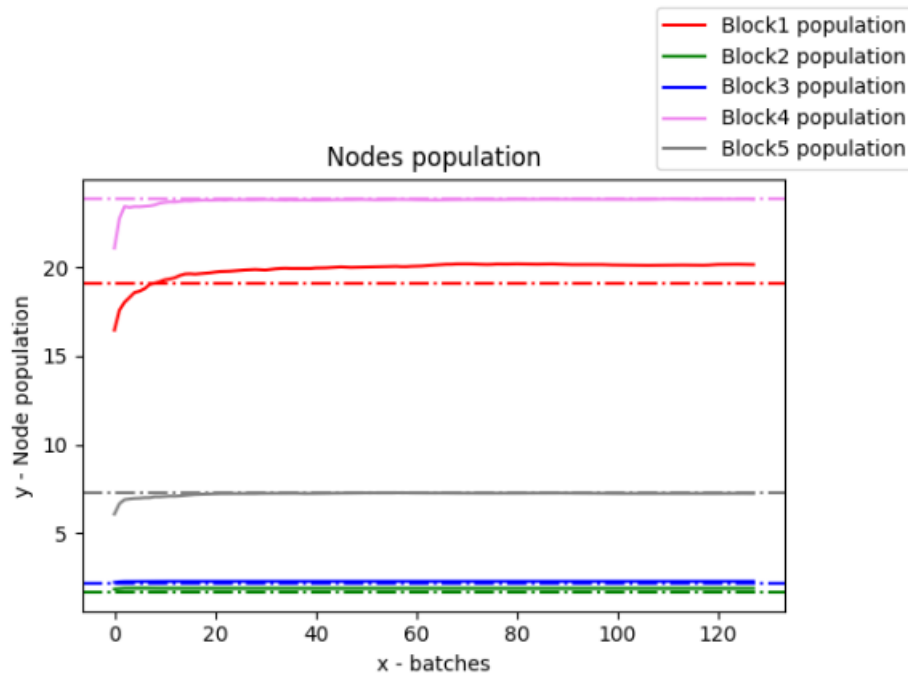


Figura 2.7: Popolazioni nel sistema fascia 2

2.8 Simulazione ad orizzonte finito

Con tal metodo il sistema viene simulato per il tempo effettivo di ore lavorative (16 ore). Il sistema viene assunto dinamico e si considera quindi il cambio del flusso al cambio di fascia oraria. Il sistema deve essere vuoto sia all'inizio che al termine della simulazione. All'interno di una simulazione ad orizzonte finito (57600 s), sono state campionate le statistiche ogni 100 secondi. Tali misurazioni sono state ripetute per 256 volte. Con tale simulazione si può analizzare il comportamento del sistema al cambio fascia e verificare che la configurazione ottenuta tramite l'infinita sia buona. Inoltre, la configurazione risultante è stata utilizzata per analizzare i costi dell'intera giornata. Durante l'analisi ad orizzonte finito si è notato che utilizzando la configurazione usata per l'infinita, il sistema non risultava stabile in seguito al cambio fascia. Il motivo supposto è che il traffico in coda della fascia precedente non riusciva ad essere smaltita con la nuova configurazione di server. Osservando le popolazioni nei centri al cambio fascia è stato possibile trovare la configurazione migliore.

Le configurazioni testate sono state:

- {12, 3, 2, 21, 5}
- {16, 3, 2, 21, 5}
- {16, 3, 2, 23, 5}
- {16, 3, 3, 23, 6}

Di seguito si riportano le varie evoluzioni del sistema con le quattro differenti configurazioni riportate sopra:

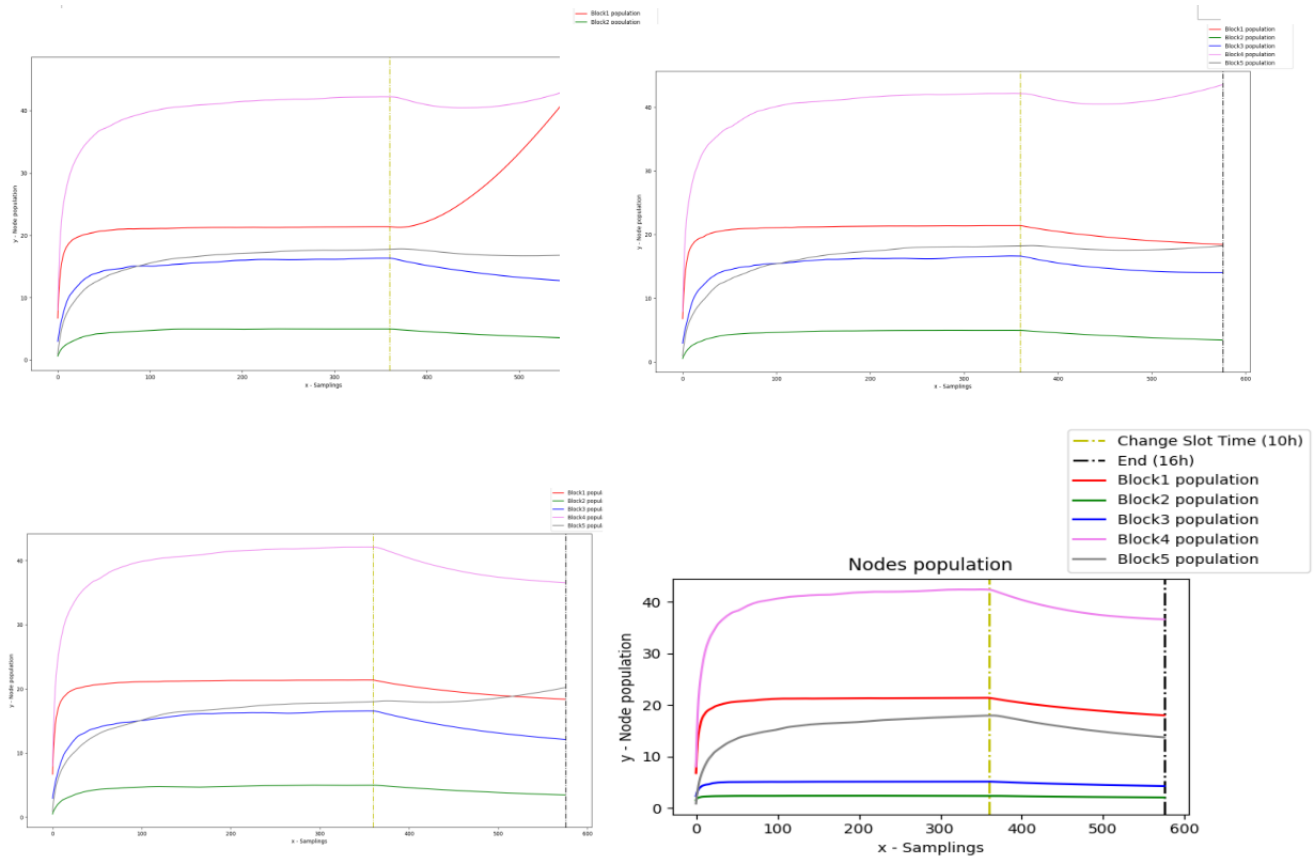


Figura 2.8: Analisi delle popolazioni nel sistema ad orizzonte finito

Dalle figure è possibile vedere l'evoluzione fatta dalle popolazioni nel sistema tra le varie configurazioni. In particolare, l'ultima configurazione è quella che rende i centri stabili anche nella seconda fascia.

2.9 Analisi dei costi

2.9.1 Costi

COSTI	
Personale	\$10,00 per h
Pers. Controlli	\$15,00 per h
Aff. Tornelli	\$60,00 per day
Metal Detector	\$100,00 per day

Fascia 1	Serventi	Costi pers.	Altri	Tot. F1
Blocco 1	24	\$2.400,00		\$2.580,00
Blocco 2	3	\$300,00	\$180,00	\$480,00
Blocco 3	4	\$400,00	\$240,00	\$640,00
Blocco 4	33	\$4.950,00		\$4.950,00
Blocco 5	8	\$800,00		\$800,00
				\$9.450,00

Fascia 2	Serventi	Costi pers.	Altri	Tot. F2
Blocco 1	16	\$1.600,00		\$1.780,00
Blocco 2	3	\$300,00	\$180,00	\$480,00
Blocco 3	3	\$300,00	\$180,00	\$480,00
Blocco 4	23	\$3.450,00		\$3.450,00
Blocco 5	6	\$600,00		\$600,00
				\$6.790,00

Costo Metal detector	\$3.300,00
Costo Elettricità	\$680.000,00

Totale giornaliero	\$699.540,00
---------------------------	---------------------

2.9.2 Guadagni

GUADAGNI			
Fascia 1	Visitatori		
Biglietto online intero	\$110,00	6300	\$693.000,00
Biglietto online ridotto	\$90,00	2700	\$243.000,00
Biglietto intero	\$125,00	4200	\$525.000,00
Biglietto intero ridotto	\$110,00	1800	\$198.000,00
Deposito	\$7,00	4500	\$31.500,00
Tot. Fascia			\$1.690.500,00

Fascia 2	Visitatori		
Biglietto online intero	\$75,00	2100	\$157.500,00
Biglietto online ridotto	\$60,00	900	\$54.000,00
Biglietto intero	\$90,00	1400	\$126.000,00
Biglietto intero ridotto	\$70,00	600	\$42.000,00
Deposito	\$7,00	1500	\$10.500,00
Tot. Fascia			\$390.000,00

Totale Giornaliero	\$2.080.500,00
---------------------------	-----------------------

Capitolo 3

Modello migliorativo

3.1 Miglioramento controlli di sicurezza

Nel modello migliorativo è stato modificato il centro relativo ai controlli di sicurezza (blocco 4). In particolare, per minimizzare ulteriormente il tempo di attesa da parte dei visitatori con disabilità, si è deciso di utilizzare un multiservente con due classi di priorità senza prelazione. Gli obiettivi restano quelli del modello base e si assumono le stesse specifiche presentate per il modello base.

3.2 Modello concettuale

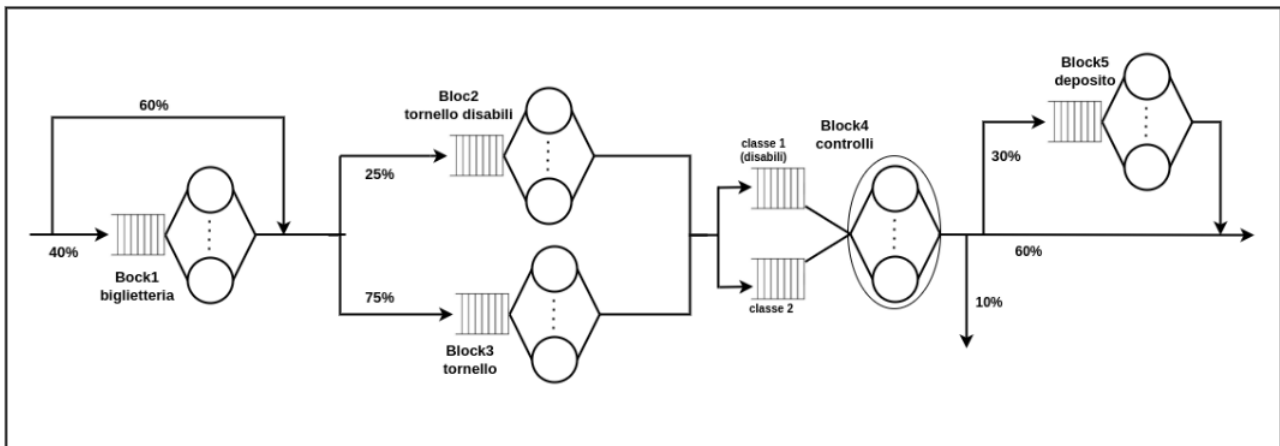


Figura 3.1: Modello concettuale migliorativo per la definizione del sistema in esame

E' possibile osservare la presenza di due classi di priorità: classe 1 persone con disabilità, classe 2 persone senza disabilità.

3.3 Modello analitico

3.3.1 Modelli analitici corrispondenti ai modelli concettuali

Per quanto riguarda il nuovo blocco la formula teorica utilizzata per le singole classi è la seguente:

$$E(T_{Q_k}) = \frac{P_Q \cdot E(S)}{(1 - \sum_{i=1}^k \rho_i)(1 - \sum_{i=1}^{k-1} \rho_i)}$$

3.4 Modello computazionale

Per quanto riguarda la simulazione, quello che è stato fatto è stato introdurre due code (una per le persone disabili ed una per le persone non disabili). In seguito ad ogni completamento da parte di un servente del blocco 4, si controlla prima nella coda delle persone disabili se c'è qualcuno da servire, e soltanto dopo nella coda a priorità più bassa.

3.5 Verifica

Nella fase di verifica sono stati confrontati i risultati della simulazione con le varie formule teoriche. Tale fase serve a verificare il corretto funzionamento del simulatore. La verifica è stata effettuata in particolare sul numero di utenti del blocco 4, sul tempo di risposta del blocco 4 e sulle popolazioni per singola classe.

$$E(N_S) = E(N_Q) + m * \rho = 11.54 + 33 * 0.944920 = 42.72$$

$$E(N_{S1}) = E(N_{Q1}) + m * \rho_1 = 0.20 + 0.944920 * (32697/131072) * 33 = 7.98$$

$$E(N_{S2}) = E(N_{Q2}) + m * \rho_2 = 11.36 + 0.944920 * (98375/131072) * 33 = 34.77$$

$$E(T_S) = E(T_Q) + E(S_i) = 27.85 + 33 * 2.281693 = 103.14$$

```
for 131072 jobs, lost 12978, pushed to exit 78660
for 131072 jobs, disabled 32697, non disabled 98375
avg interarrivals .. = 2.41
avg wait ..... = 103.14
avg wait class 1 ..... = 77.21
avg wait class 2 ..... = 111.84
avg # in node ..... = 42.72
avg # in node class 1 ..... = 7.98
avg # in node class 2 ..... = 34.77
avg service ..... = 2.281693
avg delay ..... = 27.85
avg delay class 1 ..... = 1.92
avg delay class 2 ..... = 36.55
avg # in queue ..... = 11.54
avg # in queue class 1 ..... = 0.20
avg # in queue class 2 ..... = 11.36
avg utilization .... = 0.944920
```

3.6 Validazione

Per la validazione sono state effettuate 128 ripetizioni della simulazione ad orizzonte finito. I risultati di entrambe le fasce orarie sono stati mediati con un intervallo di confidenza del 95%. Le configurazioni dei server sono state scelte, effettuando una serie di simulazioni, cercando di avere un'utilizzazione dei serventi accettabile:

Configurazione fascia 1

- Biglietteria: 24 server
- Tornelli (disabili): 3 server
- Tornelli: 4 server

- Controlli: 33 server
- Deposito: 8 server

Configurazione fascia 2

- Biglietteria: 12 server
- Tornelli (disabili): 2 server
- Tornelli: 3 server
- Controlli: 19 server
- Deposito: 5 server

I risultati teorici e quelli sperimentali sono confrontati nelle seguenti tabelle:

Fascia 1

	Risultato Analitico	Risultato Sperimentale
$E(T_{Q1})$	8.099490494226822	8.99 +/- 1.00
$E(T_{Q2})$	10.564933718664284	11.32 +/- 0.80
$E(T_{Q3})$	6.4354356188089	6.59 +/- 0.17
$E(T_{Q4})$	28.930057691276232	28.81 +/- 0.53
$E(T_{Q5})$	96.83468575335313	93.62 +/- 3.24
$E(T_S)$	435.864603276	433.73 +/- 2.44

Fascia 2

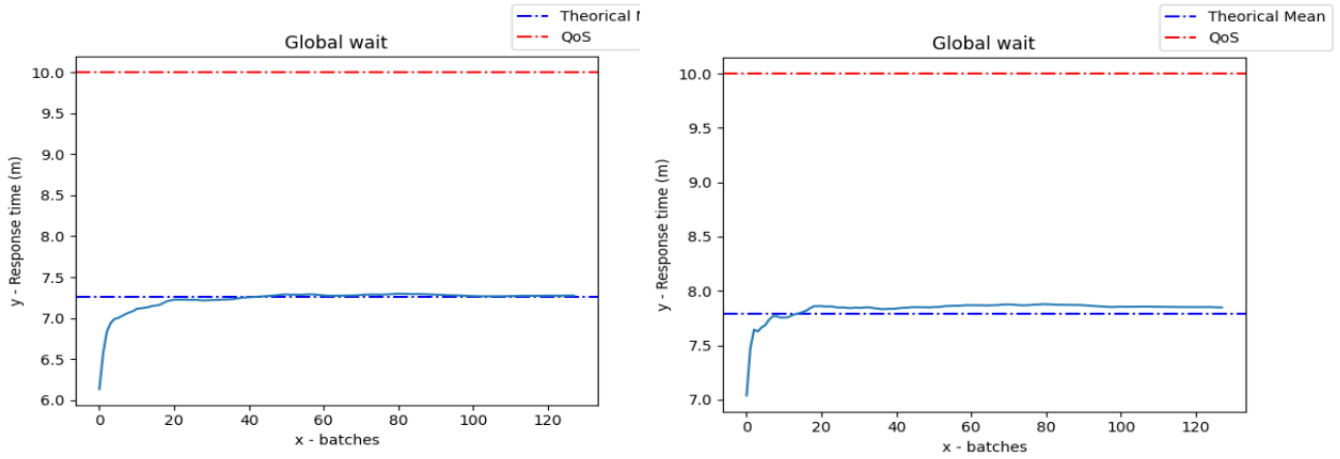
	Risultato Analitico	Risultato Sperimentale
$E(T_{Q1})$	85.99136206240678	87.67 +/- 1.87
$E(T_{Q2})$	10.070380778675817	10.09 +/- 0.05
$E(T_{Q3})$	2.5943046551612707	3.33 +/- 0.90
$E(T_{Q4})$	27.996671206732376	27.97 +/- 0.34
$E(T_{Q5})$	44.64148302079933	44.68 +/- 0.46
$E(T_S)$	456.294201724	460.09 +/- 4.94

Blocco 4:

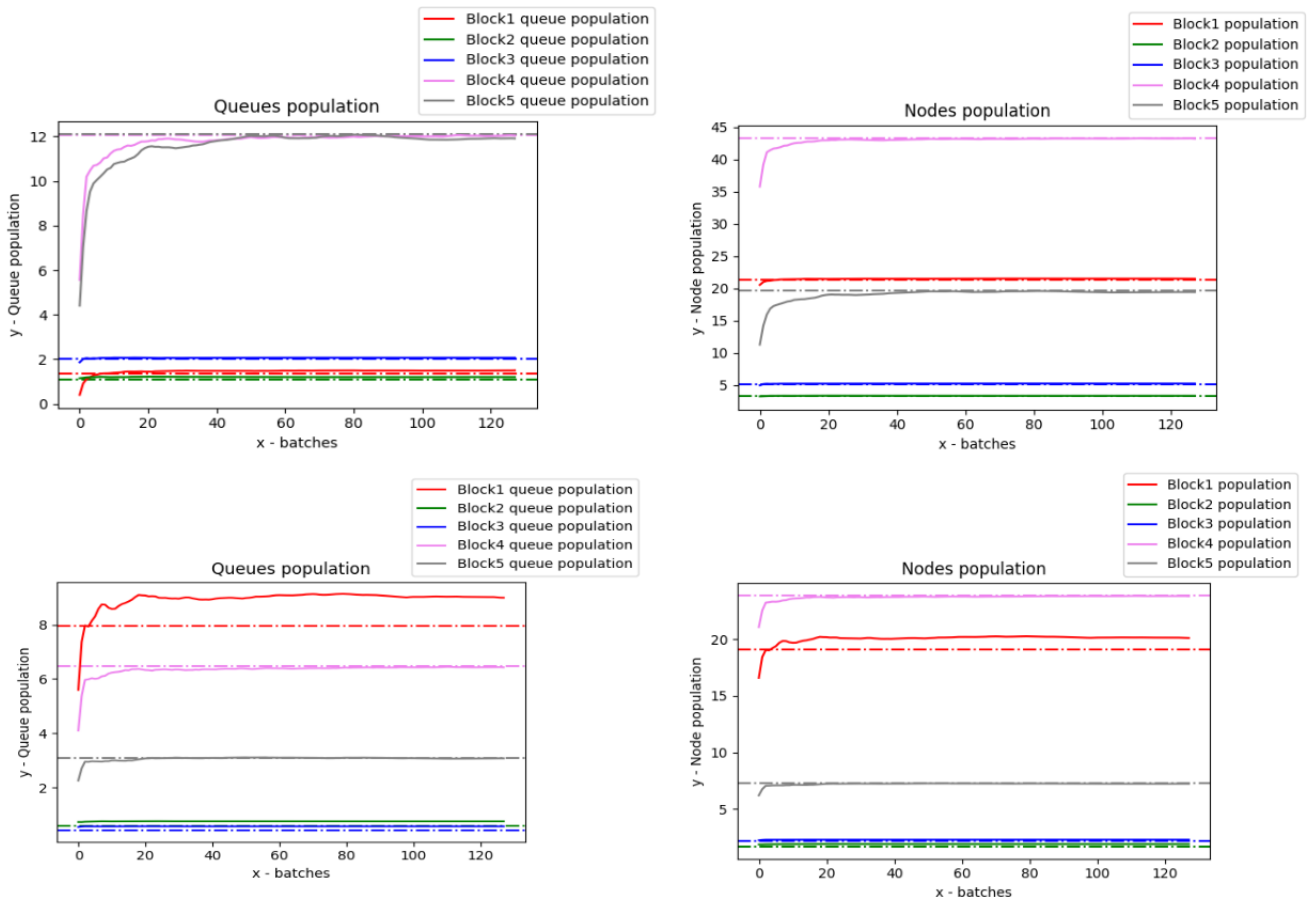
Fascia 1 (8.00 – 18.00)	Risultato Analitico	Risultato Sperimentale
$E(T_{Q4})_1$	2.009937825544866	2.17 +/- 0.20
$E(T_{Q4})_2$	37.903430979853354	37.12 +/- 0.83
Fascia 2 (18.00 – 24.00)	Risultato Analitico	Risultato Sperimentale
$E(T_{Q4})_1$	3.1300235639810543	3.92 +/- 0.71
$E(T_{Q4})_2$	36.28555375431615	35.59 +/- 0.81

3.7 Simulazione ad orizzonte infinito

Anche nel modello migliorativo il sistema è stabile e il QoS relativo al tempo di risposta globale viene rispettato, questo vale per entrambe le fasce (rispettivamente in figura i tempi di risposta globali per la fascia 1 e per la fascia 2).

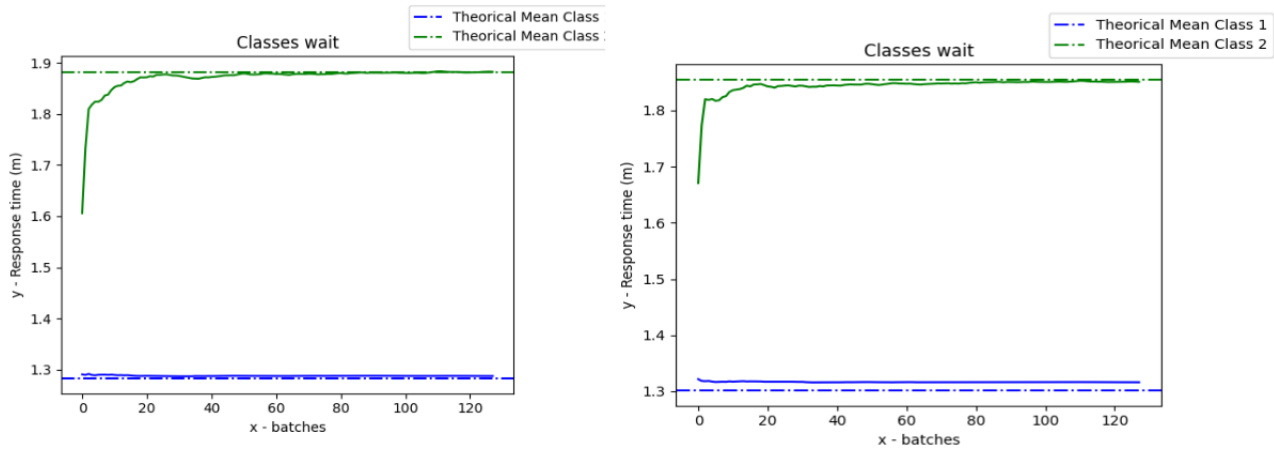


Analizzando le popolazioni si può verificare che tutte rispettano i valori teorici proprio come per il modello base. Anche in questo scenario il nodo 1 sembrerebbe sottodimensionato, ciò comporta la necessità di un aumento del numero di server nel primo blocco.



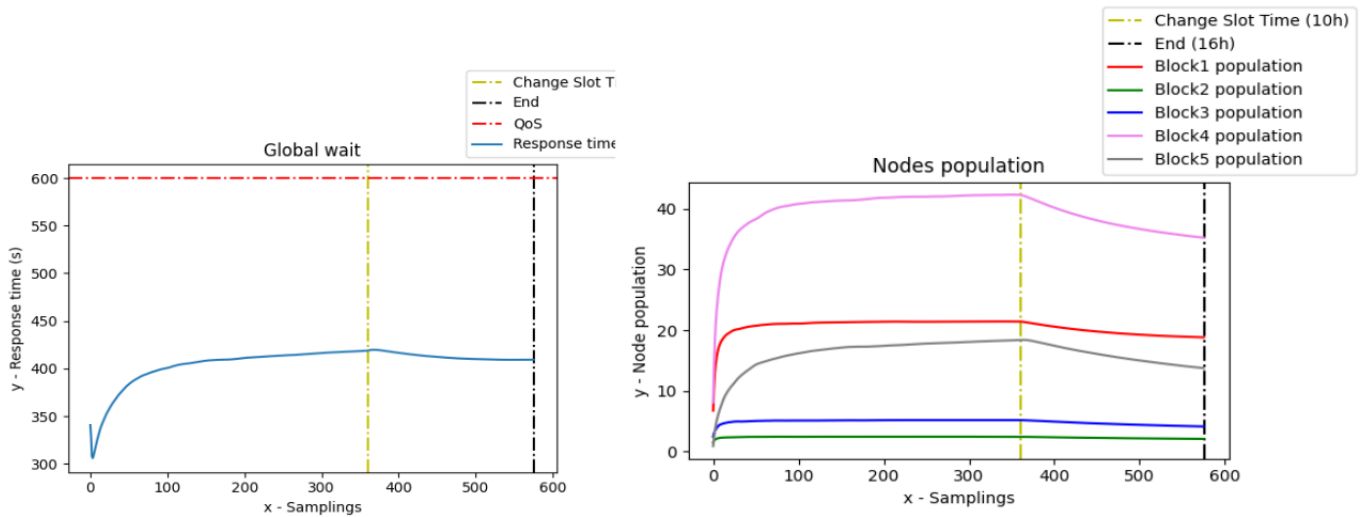
Analizzando in dettaglio il blocco che è stato modificato, rispetto al modello base, si evince che il QoS che chiede il minimo tempo possibile di attesa da parte di persone con disabilità, è ampiamente rispettato. Si ottiene infatti, per la classe 1, un valore del tempo di risposta quasi pari al tempo di

servizio medio, ovvero un tempo di attesa pressoché irrilevante. In figura sono riportati i tempi medi di risposta del centro relativo ai controlli di sicurezza rispettivamente in fascia 1 e in fascia 2:

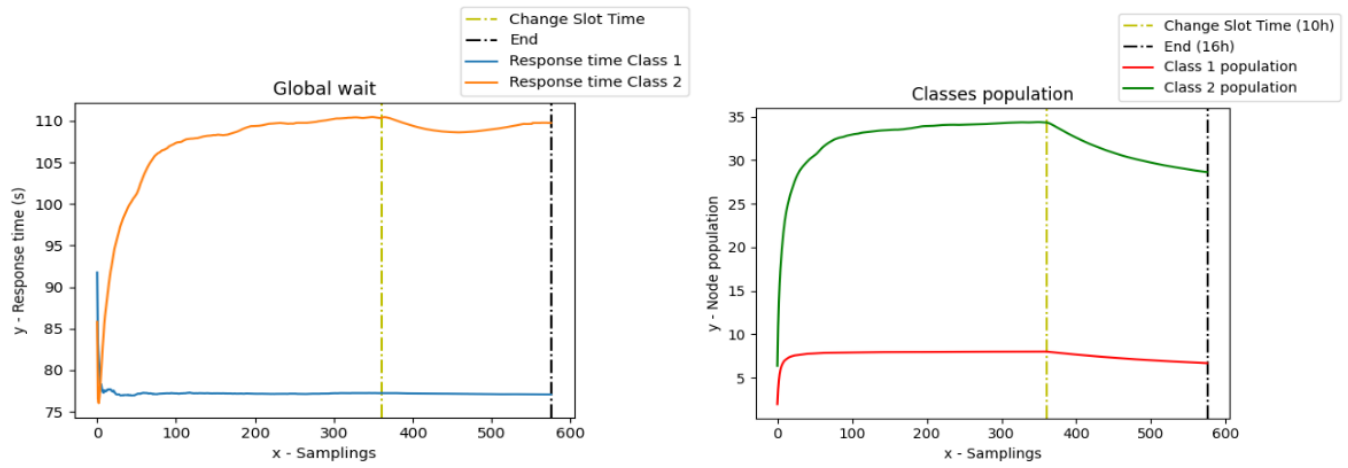


3.8 Simulazione ad orizzonte finito

La configurazione migliore è la stessa utilizzata nel modello base. I risultati ottenuti per il modello migliorativo sono in linea con le aspettative; si ha un tempo di risposta globale che rispetta ampiamente i QoS ed il minimo tempo possibile di attesa nel blocco dei controlli (blocco 4) per le persone con disabilità. Notare inoltre che al cambio fascia, il flusso rimasto nel sistema della fascia precedente viene smaltito correttamente senza incidere in maniera massiva sulla stabilità del sistema. Per quanto riguarda le prestazioni globali del sistema si hanno i seguenti risultati:



Per quanto riguarda il blocco 4 si ottengono i seguenti risultati rispettivamente in figura per i tempi di risposta delle singole classi e le popolazioni nel centro per singola classe:



3.9 Analisi dei costi

Essendo la configurazione migliore dei server uguale a quella del modello base i dati relativi ai costi ed ai guadagni sono identici a quelli del modello base.