

# Relazione PMCSN

Daniele Ferrarelli - Marco Ferri - Lorenzo Valeriani

<https://github.com/ThetaRangers/PMCSN>

## Introduzione

Il sistema di riferimento di questo progetto è quello di un nodo aeroportuale durante l'emergenza COVID-19. Sono prese in considerazione le fasi per entrare nell'area sterile dell'aeroporto (l'area dopo i controlli di sicurezza).

## Obiettivi

Gli introiti di un aeroporto sono per il 40% derivati dai duty free presenti nell'area sterile<sup>[1]</sup>. L'obiettivo dello studio è quello di analizzare il tempo necessario ai passeggeri per accedere ad essa. In questo modo si possono valutare soluzioni per aumentare il tempo che il passeggero può passare all'interno di ristoranti e duty free, incrementando quindi i profitti dell'aeroporto.

Nello studio viene considerata la tipologia del passeggero, che può essere di prima o seconda classe, questo perché si differenzia quanto un passeggero spenderà all'interno dei duty free.

Gli introiti dell'aeroporto sono stati calcolati utilizzando questa formula:

$$\begin{aligned} \text{Income} = & \sum_{\text{passeggeri } 1^{\text{a}} \text{ classe}} \left( \frac{\text{tempo rimanente}_k}{\text{tempo in aeroporto}} \times \text{spesa}_{\text{prima classe}} \right) + \\ & + \sum_{\text{passeggeri } 2^{\text{a}} \text{ classe}} \left( \frac{\text{tempo rimanente}_k}{\text{tempo in aeroporto}} \times \text{spesa}_{\text{seconda classe}} \right) + \\ & - N_{\text{serventi}} \times \text{Costo}_{\text{serventi}} \times \text{tempo}_{\text{simulazione}} \end{aligned}$$

Le spese per la prima e la seconda classe sono costanti con valori rispettivamente di 50€ e 20€. Per il costo dei serventi si è considerato lo stipendio mensile di 2,000 €/mese (0.046 €/min). Il tempo in aeroporto è l'intervallo che trascorre tra l'istante in cui il passeggero arriva in aeroporto e l'istante in cui questo si imbarca sull'aereo. Il tempo rimanente è il  $\text{tempo in aeroporto} - \text{tempo di risposta}$ . Ciò indica quanto tempo il passeggero può trascorrere all'interno dell'area sterile.

## Modello concettuale

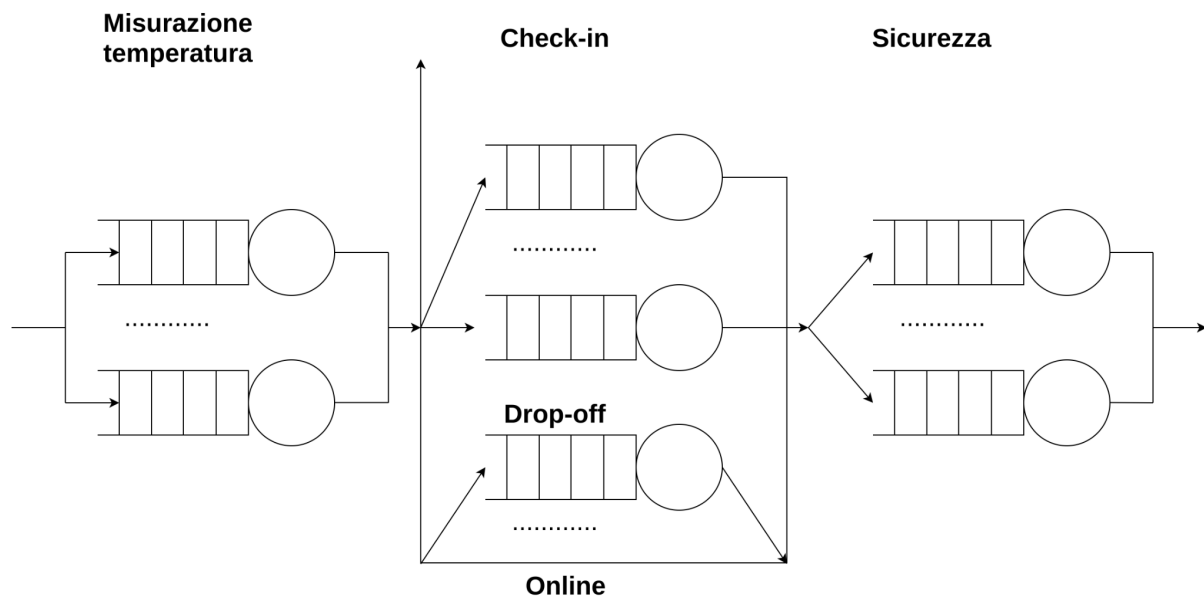
Nella creazione del modello sono state considerate diverse fasi per l'ingresso nell'area sterile. Si inizia con il controllo della temperatura all'entrata dell'aeroporto. Se il passeggero non supera il controllo esce dall'aeroporto (non viene conteggiato nel calcolo del guadagno) altrimenti va al blocco del check-in. In questo secondo blocco i passeggeri possono seguire diverse strade. Nel caso in cui non sia stato eseguito il check-in online, il passeggero deve andare ai banchi del check-in, in caso contrario può dirigersi direttamente verso i controlli di sicurezza o, se deve imbarcare un bagaglio in stiva si dirige verso i banchi di drop-off. Infine

si ha il blocco della sicurezza dove sono presenti diverse code per i controlli dei passeggeri e dei bagagli a mano.

Le code vengono considerate infinite poiché in un caso realistico non si verifica che un passeggero non venga ammesso in aeroporto a causa delle code piene.

Sono considerate variabili di stato del sistema:

- Il numero di passeggeri ad ogni servente
- La tipologia di ogni passeggero
- Il guadagno dell'aeroporto



## Modello delle specifiche

La distribuzione degli arrivi è stata modellata come una distribuzione esponenziale con media 0.2 minuti (5 passeggeri/minuto). Questo dato è stato deciso basandosi sui dati per il mese di maggio 2019 dell'aeroporto di Roma Fiumicino, proporzionati ad un sistema con un numero minore di banchi per il check-in<sup>[2]</sup>. L'aeroporto di Fiumicino ha 325 banchi di check-in per i due terminal passeggeri (Terminal 1, Terminal 3)<sup>[3]</sup>. Si è scelto di modellare un sistema con 20 banchi di check-in.

$$325:20 = 86:x \quad x = \frac{20 \times 86}{325} = 5.29 \sim 5 \frac{\text{pass}}{\text{min}}$$

La percentuale di passeggeri di prima classe è del 30% modellata tramite una Bernoulliana.

La distribuzione del tempo di servizio per il controllo della temperatura è stata modellata come una distribuzione esponenziale con media 0.2 minuti (5 passeggeri/minuto). È stata scelta questa media poiché il controllo della temperatura è un'operazione veloce.

La distribuzione del tempo di servizio dei banchi di check-in è stata modellata come una distribuzione esponenziale con media 5 minuti (0.2 passeggeri/minuto). È stata scelta questa media poiché il check-in necessita di diversi controlli (controllo documenti, etc.).

La distribuzione del tempo di servizio dei banchi di drop-off è stata modellata come una distribuzione esponenziale con media 1 minuto (1 passeggeri/minuto). È stata scelta questa media poiché ai banchi di drop-off si consegna solamente il bagaglio da mettere in stiva.

La distribuzione del tempo di servizio della sicurezza è stata modellata come una distribuzione esponenziale con media 3 minuti<sup>[4]</sup> (0.3333 passeggeri/minuto).

Tali eventi sono schematizzati con distribuzioni esponenziali sia perché non mostrano qualità che facciano pensare immediatamente ad altre distribuzioni sia perché i processi di Poisson esibiscono fenomeni di clustering che sono compatibili con il caso in studio<sup>[5]</sup>.

Il tempo in aeroporto è dato da una Gaussiana con media di 3 ore e varianza di 20 minuti. È stata scelta questa media poiché molte delle compagnie aeree consigliano di arrivare in aeroporto almeno 3 ore prima del volo. Si prevede quindi che i tempi in aeroporto siano possibilmente vicini a questo valore, fatto apprezzabile tramite la campana della Gaussiana.

La percentuale di passeggeri che ha effettuato il check-in online è 60%<sup>[6]</sup>. Di questi il 40% deve fare il drop-off del bagaglio.

La percentuale di passeggeri che al controllo della temperatura esce dall'aeroporto è del 10%.

Le probabilità di routing per la scelta del servente di una specifica fase è stata modellata tramite una distribuzione Equiprobabile in modo che ciascun servente abbia la stessa probabilità di essere selezionato. Questa scelta permette di mantenere circa la stessa utilizzazione per tutti i serventi dato che hanno lo stesso tasso di servizio.

Il numero di serventi per il controllo della temperatura è di 5, per il check-in, per la sicurezza è di 20 e per il drop-off è di 3. Questi risultati sono frutto di prove iterative che mantenessero le utilizzazioni entro valori accettabili (<70%).

## **Modello computazionale**

L'approccio di simulazione utilizzato è stato quello Next-Event Simulation. Al fine di modellare delle code infinite e per tenere traccia della tipologia di ogni passeggero, le code sono state implementate come liste collegate. È stata posta particolare attenzione nel rendere le operazioni di enqueue e dequeue di complessità computazionale costante e indipendente dal numero di elementi in coda. Per rendere gli eventi aleatori quanto più indipendenti possibile sono stati usati diversi stream di generazione. Ad ogni coda, a prescindere dalla posizione di questa nel sistema, corrisponde un indice, tale indice identifica lo stream utilizzato per generare il tempo di servizio del servente corrispondente. Per gli altri eventi, come arrivi nel sistema e fenomeni di routing, vengono utilizzati gli stream compresi tra 248 e 255. Il vantaggio principale di questa scelta sta nella possibilità di modificare il numero di serventi per ogni fase avendo sempre uno stream parametrico a loro dedicato. L'unica limitazione è il numero massimo di serventi totali nel sistema che non deve superare 248.

Dal momento che si è fatto largo uso di chiamate a malloc, l'eseguitibile è stato più volte testato con il tool di analisi dinamica valgrind, per essere quanto più sicuri che non fossero presenti memory leaks.

## Analisi Transiente

L'analisi transiente si focalizza sul periodo di apertura dell'aeroporto.

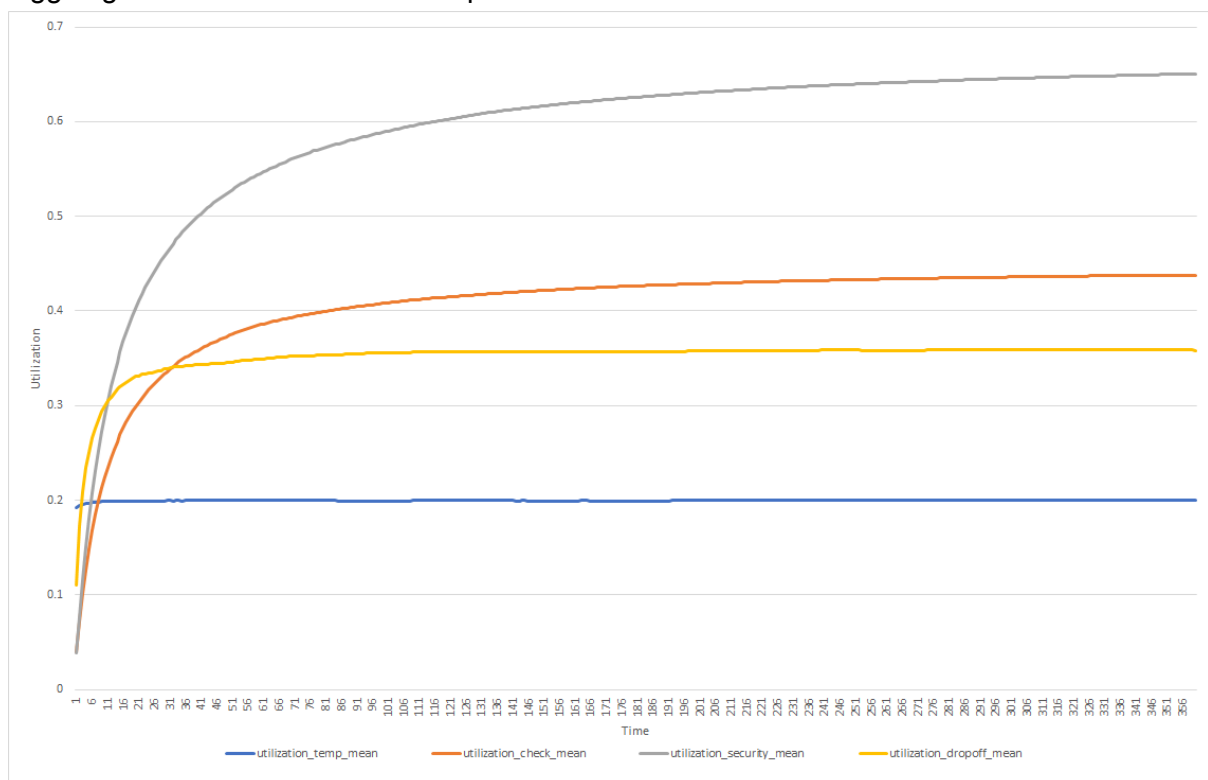
$$\lambda_{\text{arrivi}} = 5 \frac{\text{pass}}{\text{min}} \quad N_{\text{temperatura}} = 5 \quad N_{\text{check-in}} = 20$$

$$N_{\text{drop-off}} = 3 \quad N_{\text{sicurezza}} = 20$$

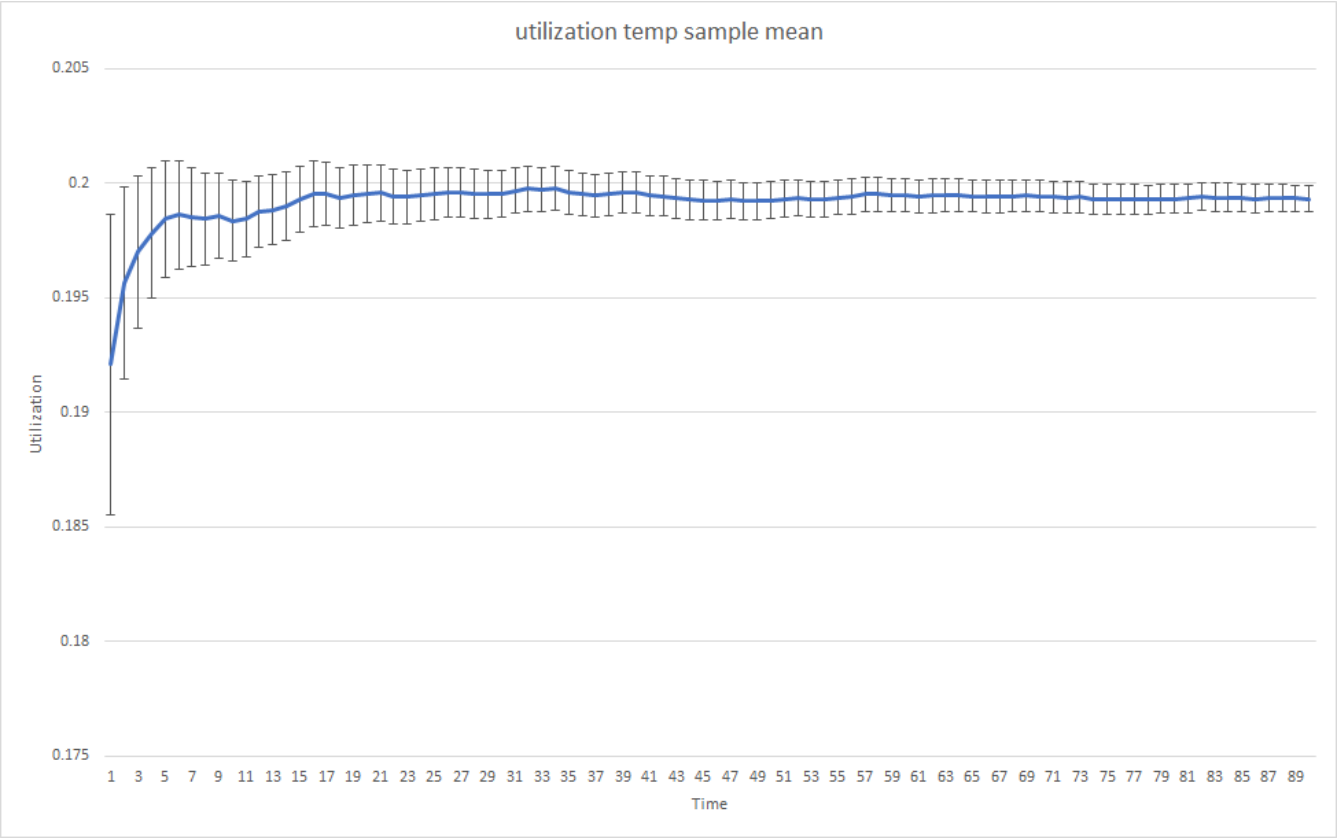
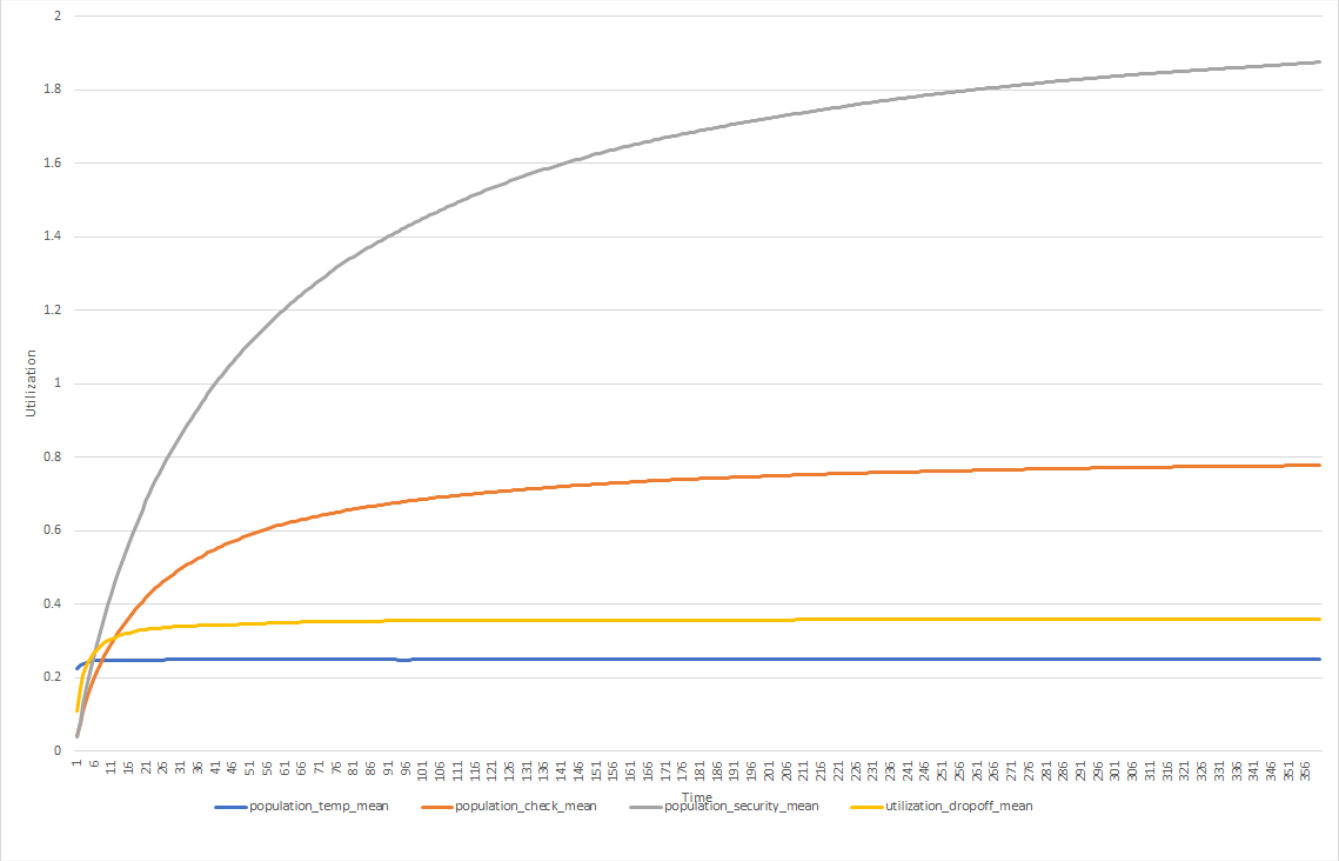
L'utilizzazione e la popolazione dei vari blocchi del sistema sono stati stimati utilizzando la media campionaria di 1,000 ripetizioni. Il tempo di simulazione è di 360 minuti. Il sistema nello stato iniziale di tutte le ripetizioni ha code vuote. Il seed viene impostato solo per la prima ripetizione, per le ripetizioni successive si usa lo stato di terminazione della ripetizione precedente.

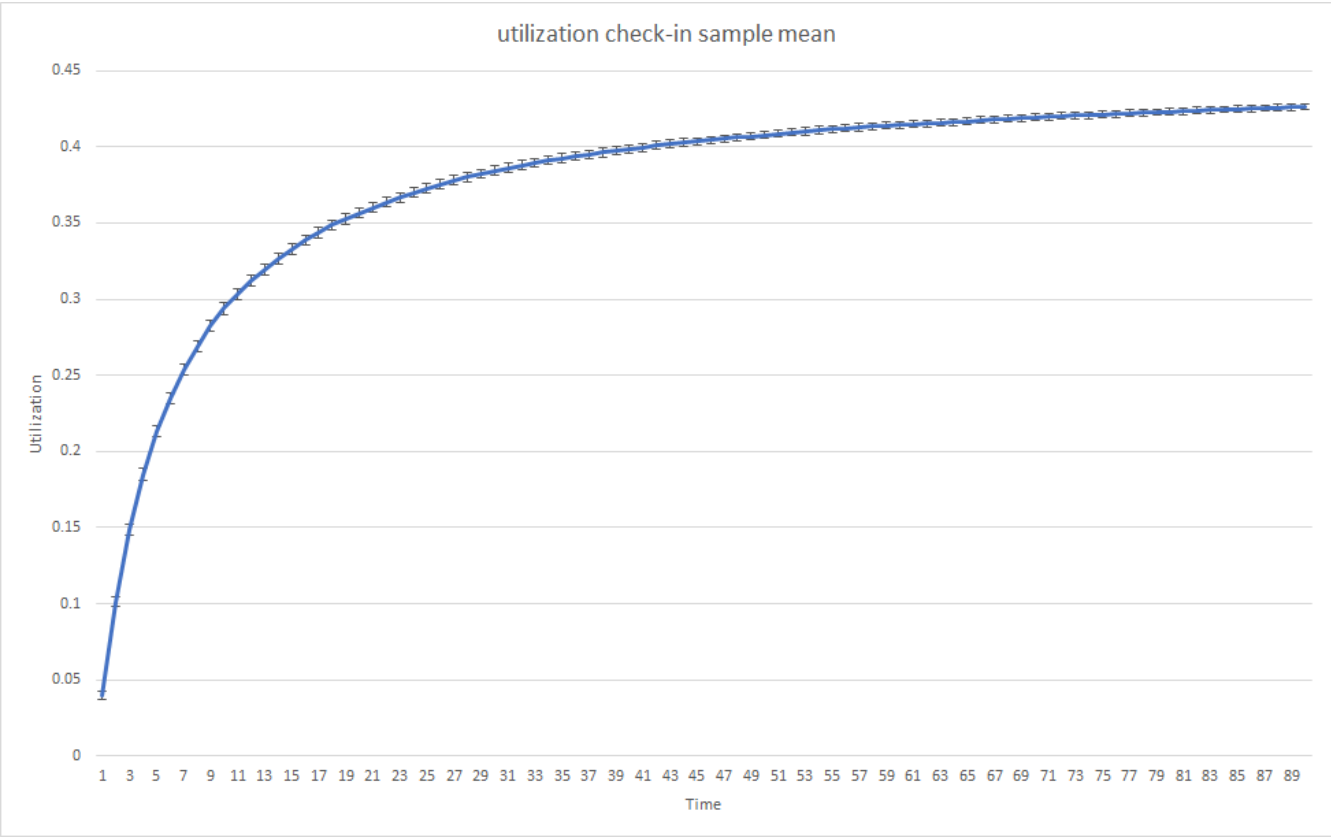
L'analisi transiente del riempimento iniziale dell'aeroporto permette la possibilità di attuare piani che riducano il numero di serventi a seconda delle fasce orarie, con associata riduzione delle spese dell'aeroporto.

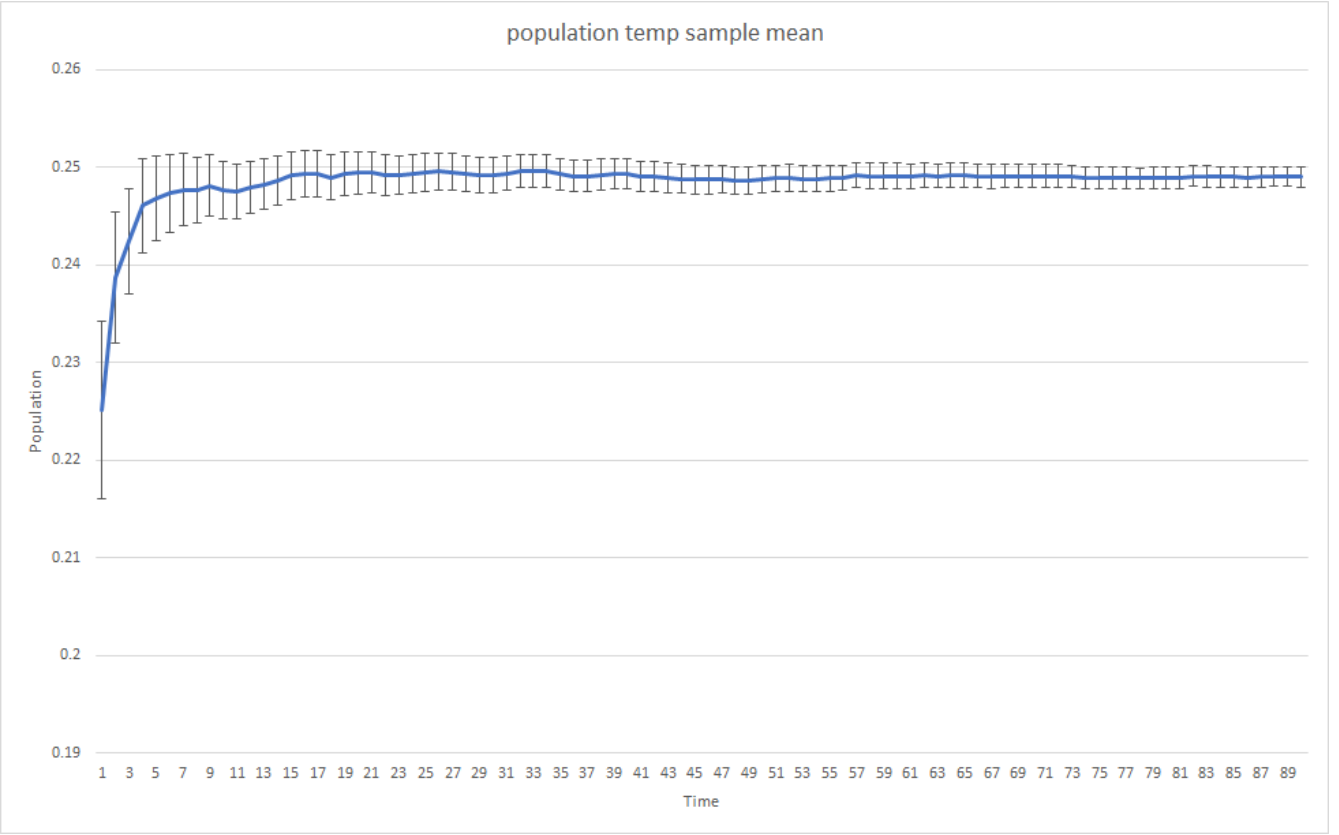
Si può vedere come i serventi della temperatura raggiungano il valore stazionario dell'utilizzazione dopo pochi minuti. I serventi del check-in lo raggiungono dopo 60 minuti. I serventi del drop-off lo raggiungono dopo 20 minuti, mentre i serventi della sicurezza raggiungono il valore stazionario dopo 360 minuti di simulazione.

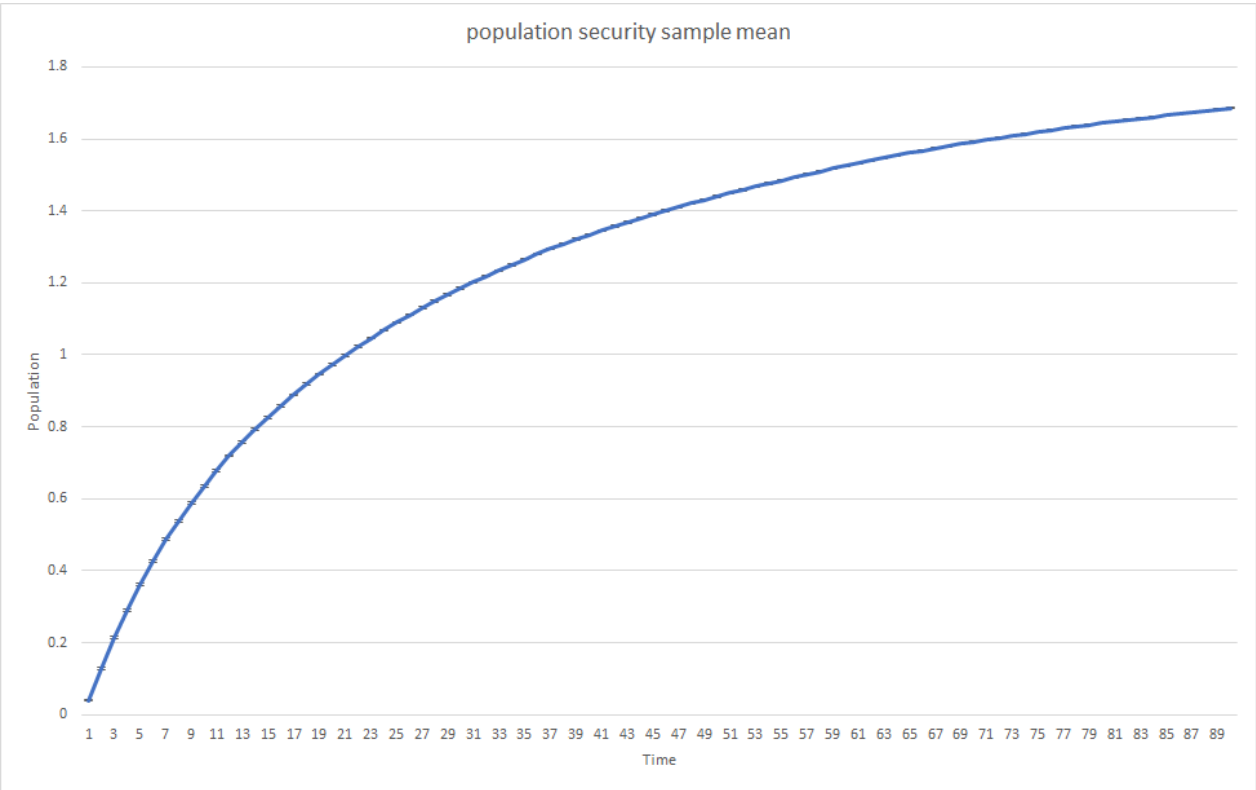


Si hanno tempi simili per raggiungere i valori stazionari anche per la popolazione. Come prima i serventi della sicurezza raggiungono il valore teorico più lentamente.

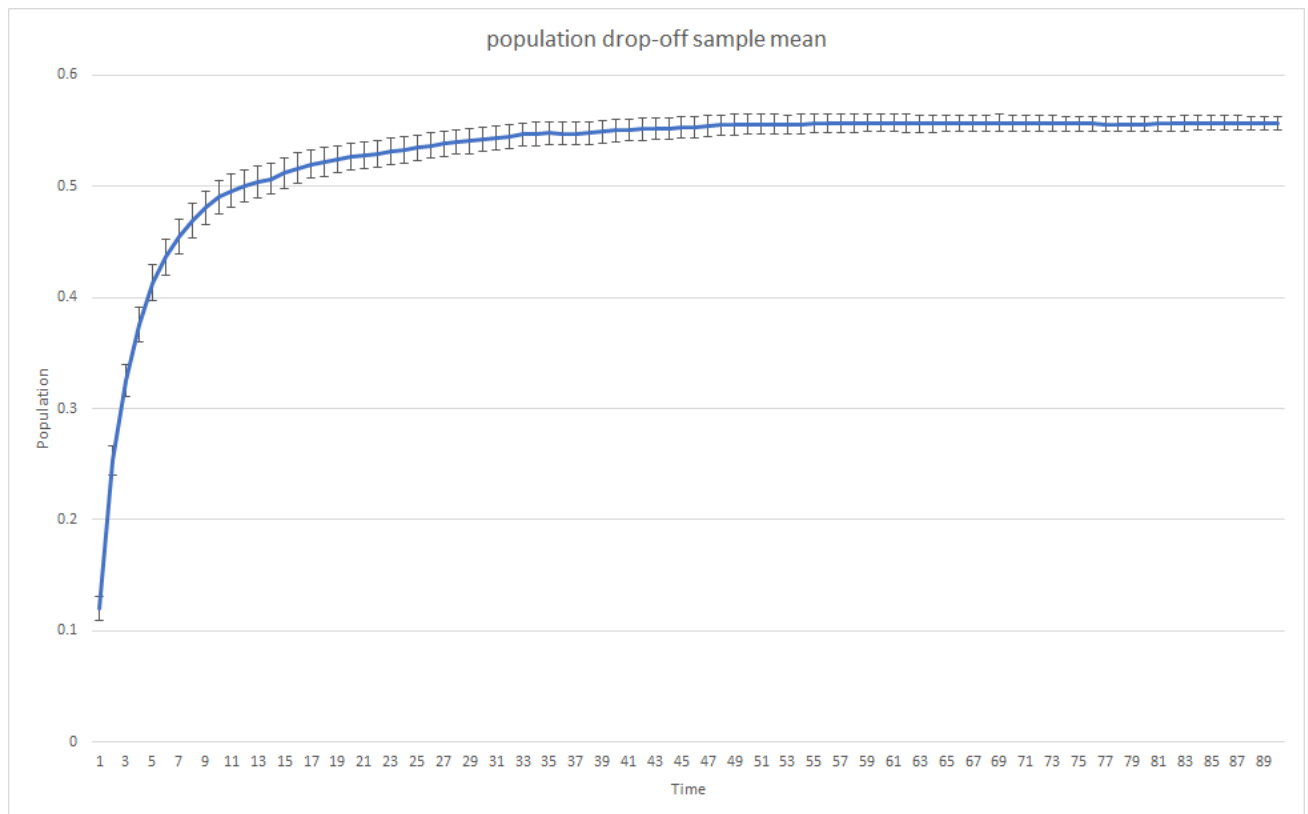












## Analisi Stazionaria

Nella analisi stazionaria è stato applicato il metodo delle Batch Means, è stata scelta una grandezza di batch di 512. Questa scelta porta a 176 batch. È stato scelto di non eliminare i dati presenti nell'ultima batch, che potrebbe non essere di grandezza 512.

La durata della simulazione è di 20,000 minuti (333.33 ore). Al tempo 0 le code del sistema sono vuote.

$$\lambda_{\text{arrivi}} = 5 \frac{\text{pass}}{\text{min}} \quad N_{\text{temperatura}} = 5 \quad N_{\text{check-in}} = 20$$

$$N_{\text{drop-off}} = 3 \quad N_{\text{sicurezza}} = 20$$

Per il calcolo della media e della varianza si è applicato l'algoritmo di Welford. L'intervallo di confidenza è stato ottenuto tramite la distribuzione Student con una confidenza del 95%.

Risultati Analisi stazionaria:

Simulazione	Media	Varianza	Deviazione Standard	Intervallo di confidenza media $\alpha=0.05$
Standard	13.640506	3.245548	1.801541	(13.371732, 13.90928)

## Verifica e Validazione

La verifica dei dati ottenuti è affidata all'analisi, semplificata anche dall'utilizzo di uno script Python. Di seguito i ragionamenti seguiti:

### Controllo temperatura

$$N = 5 \text{ serventi} \quad \lambda_{tot} = 5 \frac{\text{pass}}{\text{min}} \quad \lambda_i = \frac{\lambda_{tot}}{N} = 1 \frac{\text{pass}}{\text{min}} \quad \mu = 5 \frac{\text{pass}}{\text{min}}$$

$$\rho_i = \frac{\lambda_i}{\mu} = 0.2 \quad E(T_s)_i = \frac{E(S)_i}{1 - \rho_i} = \frac{0.2}{0.8} = 0.25 \text{ min}$$

Considerando che la somma delle probabilità di routing verso ogni singolo servente incaricato del controllo temperatura è 1:

$$E(T_s) = \sum_{i=0}^{\# \text{ serventi temperatura}} p_i \times E(T_s)_i = 0.25 \text{ min}$$

### Check-in e Drop-off del bagaglio

$$p_{febbre} = 0.1 \text{ da cui } \lambda_{tot} = 4.5 \frac{\text{pass}}{\text{min}} \quad N = 20 \quad p_{online} = 0.6 \quad \mu = 0.2 \frac{\text{pass}}{\text{min}}$$

$$\lambda_i = 0.4 \times \frac{\lambda_{tot}}{N} = 0.09 \frac{\text{pass}}{\text{min}} \quad \rho_i = \frac{\lambda_i}{\mu} = 0.45$$

$$E(T_s)_i = \frac{E(S)_i}{1 - \rho_i} = 9.09 \text{ min}$$

### Online Drop-off del bagaglio

$$\lambda_{online} = 0.6 \times \lambda_{tot} = 2.7 \frac{\text{pass}}{\text{min}} \quad p_{drop-off} = 0.4 \quad \mu_{drop-off} = 1 \frac{\text{pass}}{\text{min}}$$

$$\lambda_{drop-off}_i = \lambda_{online} \times \frac{0.4}{3} = 0.36 \frac{\text{pass}}{\text{min}} \quad \rho_{drop-off}_i = 0.36$$

$$E(T_s)_{drop-off}_i = \frac{E(S)_{drop-off}_i}{1 - \rho_{drop-off}_i} = 1.5625 \text{ min}$$

$$E(T_s) = 0.4 \times E(T_s)_i + 0.6 \times 0.4 \times E(T_s)_{drop-off}_i + 0.6 \times 0.6 \times 0 = 4.1136 \text{ min}$$

### Controllo sicurezza

$$\lambda_{tot} = 4.5 \frac{\text{pass}}{\text{min}} \quad N = 20 \quad \mu = 0.3 \quad \rho_i = \frac{\lambda_{tot}}{N \times \mu} = 0.675$$

$$E(T_s)_i = 9.231 \text{ min}$$

Da un ragionamento analogo a quello per la temperatura:  $E(T_s) = 9.231 \text{ min}$

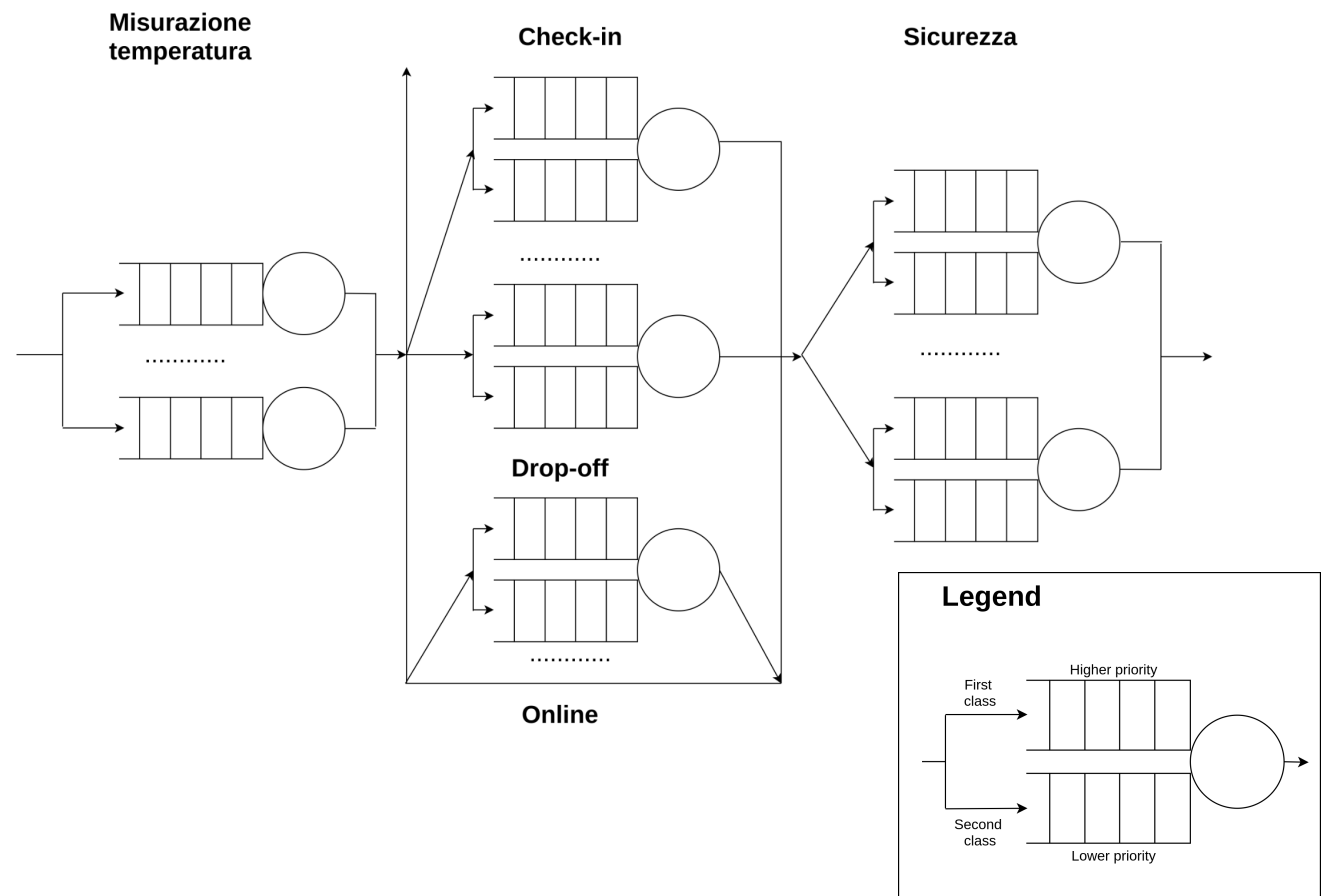
$$E(T_s)_{sistema} = E(T_s)_1 + E(T_s)_2 + E(T_s)_3 = 0.25 + 4.1136 + 9.231 = 13.5946 \text{ min}$$

In accordo con quanto osservato tramite simulazione.

## Algoritmo migliorativo

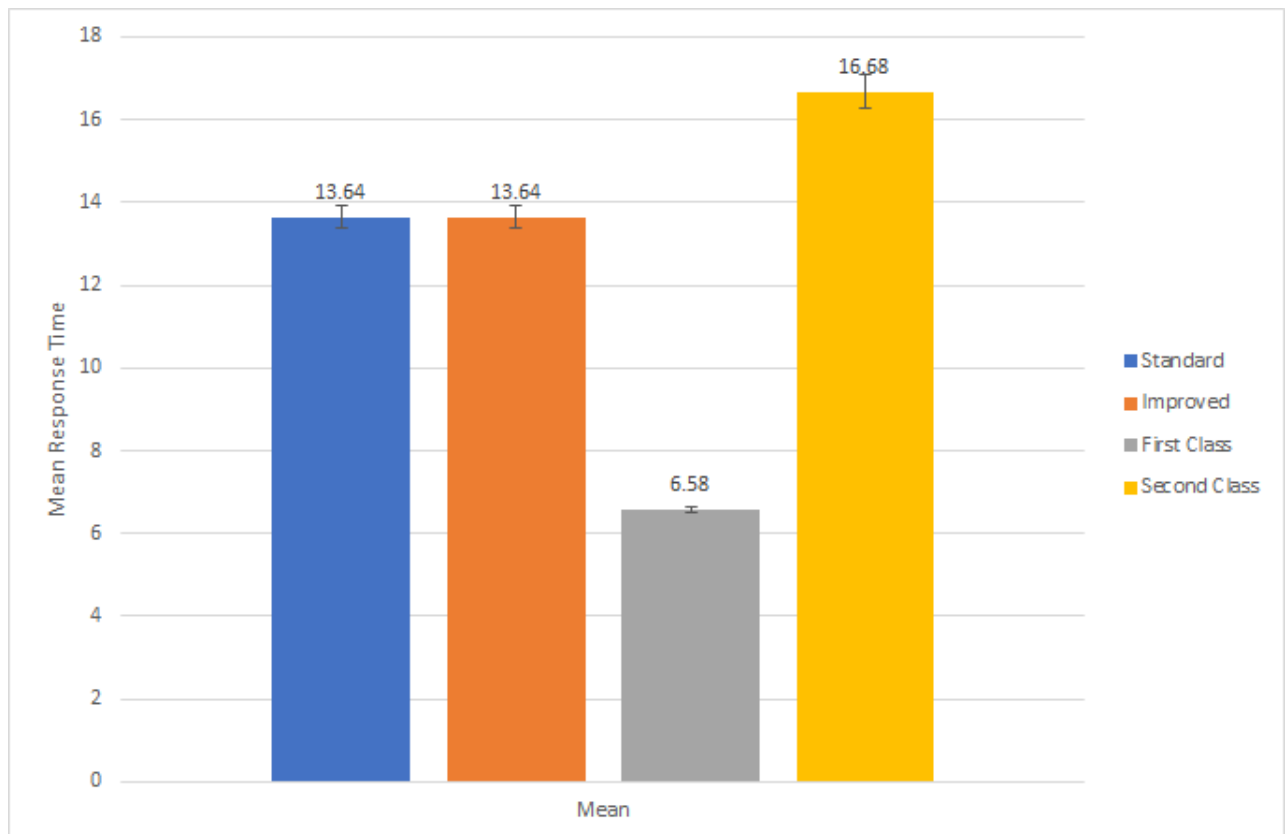
L'obiettivo dell'algoritmo migliorativo è quello di incrementare il guadagno dell'aeroporto. Dai dati emerge che i passeggeri di prima classe spendono somme maggiori nei duty-free rispetto ai passeggeri di seconda classe. Per questo si cerca di ridurre il più possibile il tempo necessario a questi passeggeri per entrare nella area sterile dell'aeroporto. È stata apportata una modifica al modello introducendo code con priorità per i passeggeri di prima

classe nelle fasi di check-in e sicurezza. Non è possibile introdurre code con prelazione o size based poiché non si adattano al sistema che si sta modellando.



### Analisi stazionaria

Simulazione	Media	Varianza	Deviazione Standard	Intervallo di confidenza media $\alpha=0.05$
Standard	13.640506	3.245548	1.801541	(13.371732, 13.90928)
Improved	13.640021	3.376807	1.837609	(13.365867, 13.914176)
First Class	6.577845	0.090299	0.300498	(6.494225, 6.661466)
Second Class	16.675974	5.511893	2.347742	(16.255201, 17.096747)



Dai risultati della simulazione si può vedere come il tempo necessario ai passeggeri di prima classe per entrare nell'aeroporto viene notevolmente ridotto. I passeggeri di seconda classe vedono un incremento del tempo di risposta del sistema, tuttavia si può vedere come questo aumento non sia eccessivo. Un rapido calcolo di verifica sui tempi di risposta delle due classi mostra che i dati ottenuti in simulazione sono coerenti con i risultati analitici:

$$p_{1^{\circ} \text{ classe}} \times E(T_{s_{1^{\circ} \text{ classe}}}) + p_{2^{\circ} \text{ classe}} \times E(T_{s_{2^{\circ} \text{ classe}}}) = E(T_{s_{\text{standard}}})$$

Simulazione	Income Totale (333.33 ore)	Income 24 ore
Standard	2,363,584.41€	171,948.79€
Improved	2,395,449.05€	174,776.49€

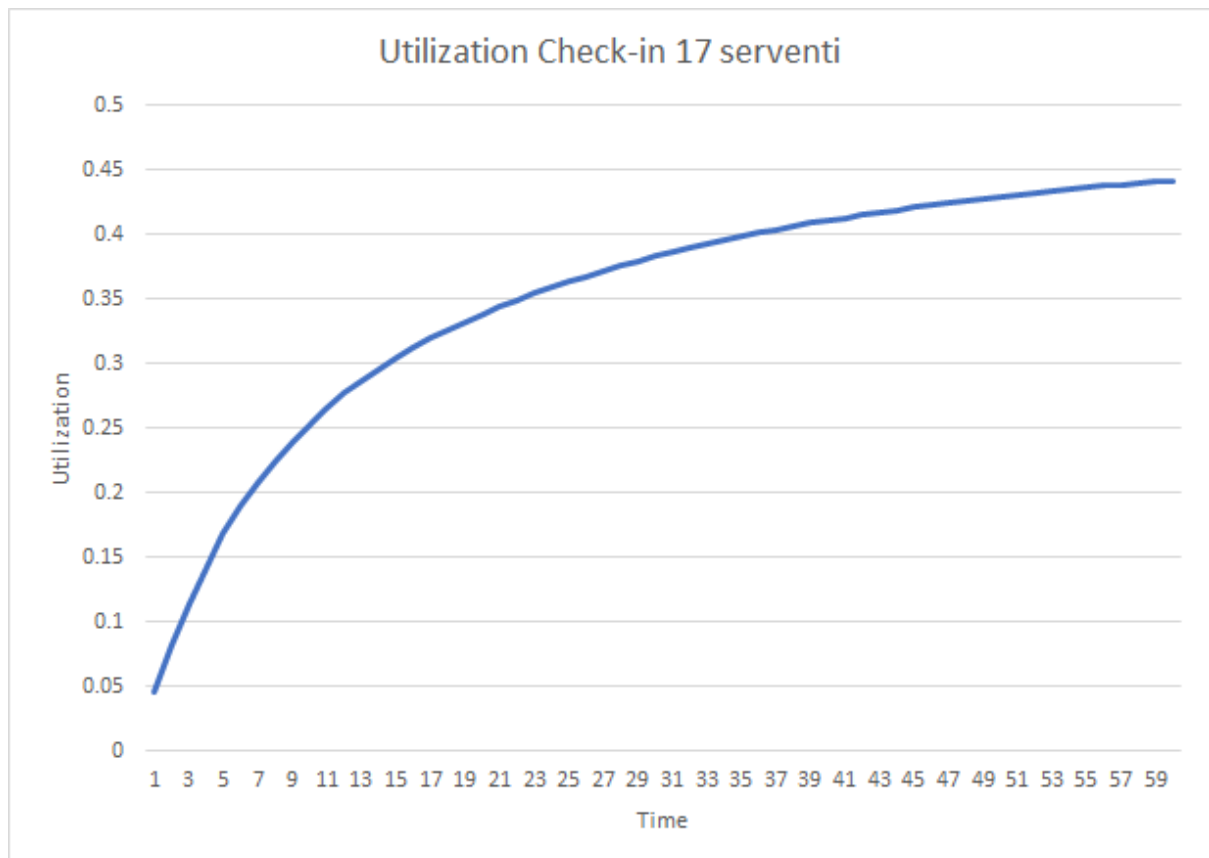
Dal calcolo del guadagno si può apprezzare un miglioramento degli introiti dell'aeroporto.

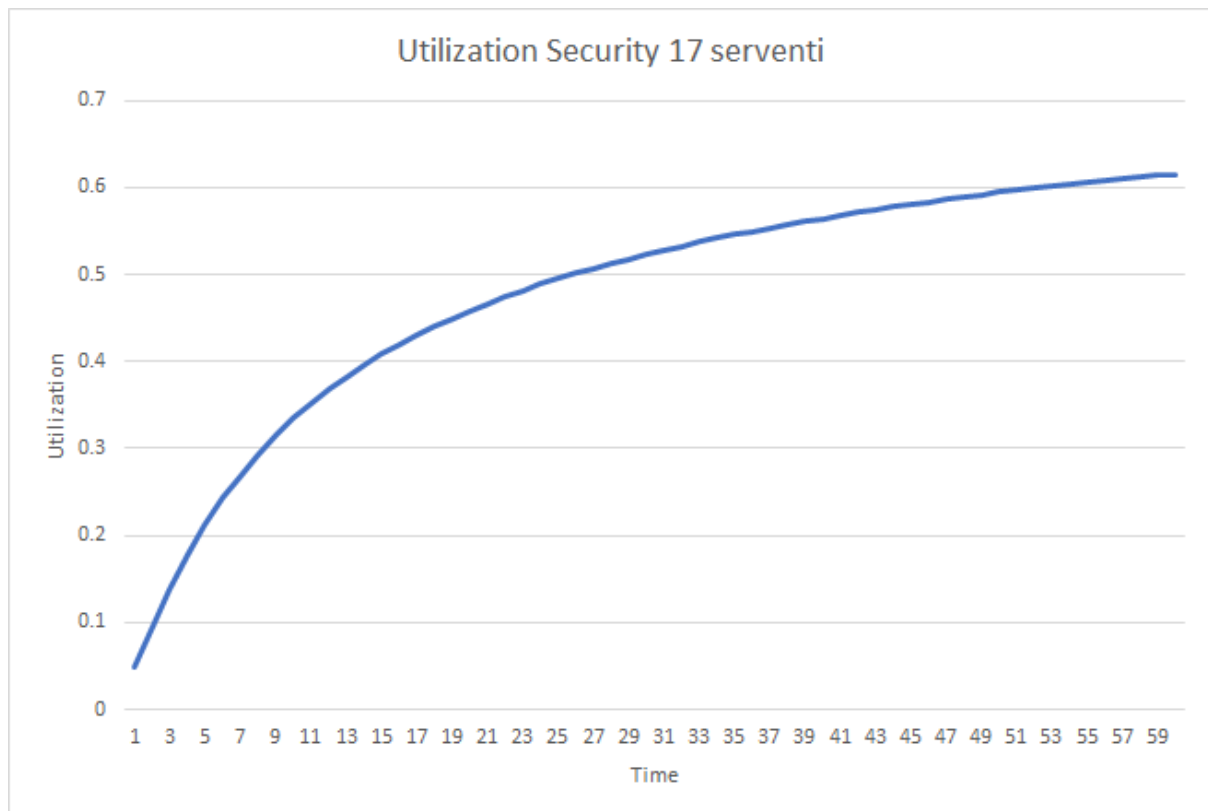
### Analisi transiente

Lo studio delle utilizzazioni permette una allocazione ottimale degli impiegati dell'aeroporto.

Se per esempio nella prima ora si allocano 17 serventi per il check-in e 17 per la sicurezza si ha un guadagno maggiore. Tuttavia la ricerca della configurazione ottima non è obiettivo di questo studio.

Configurazione	Income 1 ora
$N_{check-in} = 20$ $N_{sicurezza} = 20$	6,267.96€
$N_{check-in} = 17$ $N_{sicurezza} = 17$	6,491.66€
$N_{check-in} = 15$ $N_{sicurezza} = 15$	6,391.25€





## Riferimenti

- [1]<https://www.statista.com/statistics/958318/duty-free-spend-per-international-passenger-in-selected-airports-us/>
- [2][https://www.adr.it/bsn-dati-di-traffico?p\\_p\\_id=1\\_WAR\\_trafficdataportlet&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-2&p\\_p\\_col\\_pos=1&p\\_p\\_col\\_count=2&\\_1\\_WAR\\_trafficdataportlet\\_tabs1=FCO](https://www.adr.it/bsn-dati-di-traffico?p_p_id=1_WAR_trafficdataportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&_1_WAR_trafficdataportlet_tabs1=FCO)
- [3][https://it.wikipedia.org/wiki/Aeroporto\\_di\\_Roma-Fiumicino#Terminal](https://it.wikipedia.org/wiki/Aeroporto_di_Roma-Fiumicino#Terminal)
- [4][https://www.adr.it/documents/10157/14742869/5-ITA\\_Relazione+sull'E2%80%99andamento+della+prima+annualit%C3%A0+del+secondo+quinquenniodel+piano+della+qualit%C3%A0\\_2.pdf/80ef069c-adc6-41f2-8c43-662fdf0b69e1](https://www.adr.it/documents/10157/14742869/5-ITA_Relazione+sull'E2%80%99andamento+della+prima+annualit%C3%A0+del+secondo+quinquenniodel+piano+della+qualit%C3%A0_2.pdf/80ef069c-adc6-41f2-8c43-662fdf0b69e1)
- [5]ex13CRVapplic2021.pdf slide 15
- [6]<https://www.corrierecomunicazioni.it/digital-economy/alitalia-ricavi-da-app-48-check-in-online-per-il-60-dei-passeggeri/>