

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^[1]. L'obiettivo dello studio è quello di incrementare i profitti dell'aeroporto. Si cerca inoltre la configurazione di impiegati per ogni fase per fascia oraria che massimizzi il guadagno. Si vuole mantenere come QoS un tempo di risposta *medio* dell'intero sistema sotto i 30 minuti. 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 calcolati utilizzando questa formula:

$$\begin{aligned} \text{Income} = & \sum_{\text{passeggeri } 1^{\text{a}} \text{ classe}} \left(\frac{\text{tempo rimanente}_{\text{passeggero}}}{\text{tempo in aeroporto}_{\text{passeggero}}} \times \text{spesa}_{\text{prima classe}} \right) + \\ & + \sum_{\text{passeggeri } 2^{\text{a}} \text{ classe}} \left(\frac{\text{tempo rimanente}_{\text{passeggero}}}{\text{tempo in aeroporto}_{\text{passeggero}}} \times \text{spesa}_{\text{seconda classe}} \right) + \\ & - \sum_{\text{serventi}} \left(\text{costo}_{\text{servente per unità di tempo}} \times \text{tempo}_{\text{attivo del servente}} \right) \end{aligned}$$

Le spese per la prima e la seconda classe sono costanti con valori rispettivamente di 20€ e 5€. Per il costo dei banchi si è considerato il costo mensile di 3,888 €/mese (0.09 €/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 questi si imbarca sull'aereo. Il tempo rimanente è il $\text{tempo in aeroporto}_{\text{passeggero}} - \text{tempo di risposta}_{\text{passeggero}}$. 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 alla fase del check-in. In questa seconda fase 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 la fase della sicurezza dove sono presenti diversi banchi 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.

Si divide la giornata tipica dell'aeroporto in tre fasce orarie, per ogni fascia oraria cambiano il tasso di arrivo ed il numero di banchi aperti in ogni fase.

Le fasce orarie considerate sono:

- 00:00-06:00
- 06:00-18:00
- 18:00-24:00

Sono considerate variabili di stato del sistema:

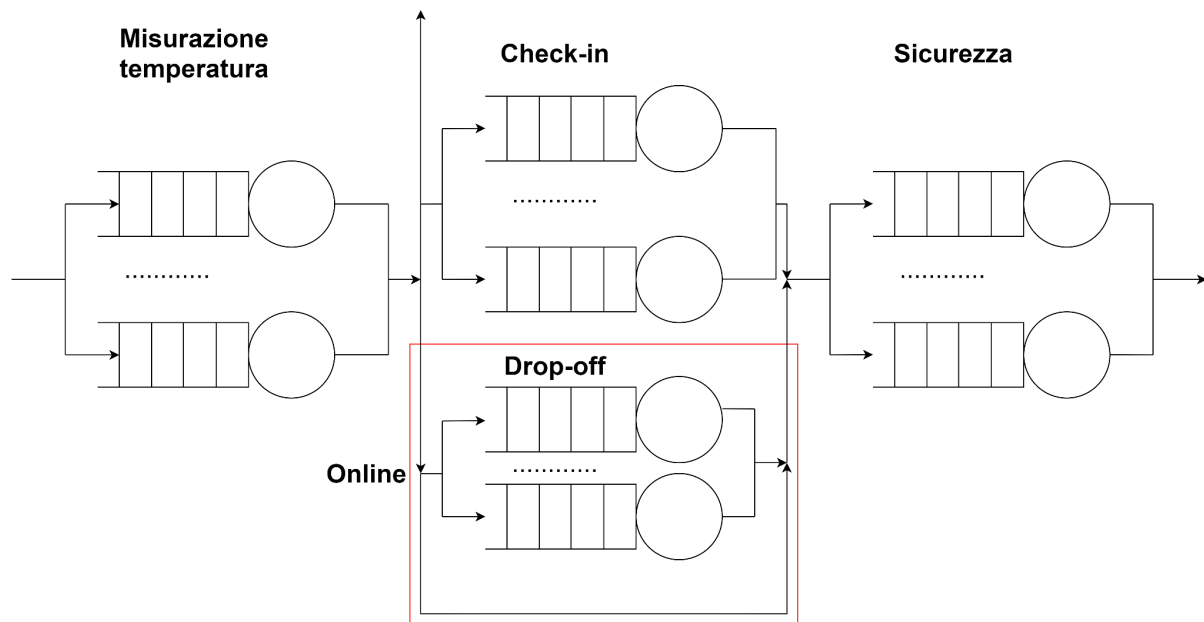
- Il numero di passeggeri ad ogni banco
- La tipologia di ogni passeggero nel sistema
- Quali sono i banchi attivi per ogni fase

Le code inizialmente vengono considerate vuote, conseguentemente il numero di passeggeri ad ogni banco è 0. La tipologia di ogni passeggero (prima classe o seconda classe) è decisa aleatoriamente al suo arrivo. I banchi per ogni fase vengono definiti aperti o chiusi in base alla configurazione scelta durante lo studio, che può essere ottima o non ottima.

Gli eventi considerati sono:

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

Tali eventi possono causare cambiamenti dello stato. L'arrivo di un passeggero causa l'aumento di passeggeri in un dato banco e l'aumento del numero di passeggeri della classe corrispondente. Il completamento di un servizio causa il passaggio di un passeggero da un banco ad un altro o la sua uscita dal sistema. Il cambio di fascia oraria può causare l'apertura o la chiusura dei banchi di ogni fase. Se un banco viene chiuso quando ha ancora passeggeri in servizio o in coda, questo continuerà a processarli, pur non ricevendo altri arrivi. Il tempo in cui un banco chiuso continua il servizio viene considerato nel calcolo dei costi di gestione.



Modello delle specifiche

Gli arrivi della prima fascia oraria (00:00-06:00) sono modellati come una esponenziale con media 0.8 minuti (1.25 passeggeri/minuto). Gli arrivi della seconda fascia oraria (06:00-18:00) sono modellati come una esponenziale con media 0.15 minuti (6.67 passeggeri/minuto). Gli arrivi della terza fascia oraria (18:00-24:00) sono modellati come una esponenziale con media 0.3 minuti (3.33 passeggeri/minuto).

La percentuale di passeggeri di prima classe è del 40% 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) troncata tra 0.7 e 3 minuti. Sono stati scelti questi valori 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) troncata tra 1 e 20 minuti. Sono stati scelti questi valori 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 passeggero/minuto) troncata tra 1 e 10 minuti. Sono stati scelti questi valori poiché ai banchi di drop-off si consegna solamente il bagaglio da mettere in stiva, operazione che necessita di poco tempo.

La distribuzione del tempo di servizio della sicurezza è stata modellata come una distribuzione normale con media 3 minuti^[2] (0.3333 passeggeri/minuto), varianza 2 minuti e troncata tra 1.5 e 5 minuti.

Queste distribuzioni sono troncate con il metodo *Constrained Inversion*^[3].

Il tempo in aeroporto è dato da una normale 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 normale. La coda sinistra di questa distribuzione non è stata troncata poiché eventuali valori negativi del tempo rimanente ($\text{tempo in aeroporto}_{\text{passaggero}} - \text{tempo di risposta}_{\text{passaggero}}$) vengono considerati come ritardi da parte del passeggero, che generano traffico nel sistema senza aumentare il guadagno. La coda destra, invece, non è stata troncata poiché non sembra corretto dare un limite superiore al tempo prima del volo in cui un passeggero decide di recarsi in aeroporto.

La percentuale di passeggeri che effettua il check-in online è 60%^[4]. 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 banco 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.

Si considera un numero massimo di banchi possibili per ogni fase: 10 per la temperatura, 30 per il check-in, 30 per la sicurezza e 10 per il drop-off.

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.

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

Analisi ad orizzonte infinito

L'analisi a orizzonte infinito si focalizza su due aspetti principali:

- **Ricerca dell'ottimo:** ricerca della configurazione di banchi aperti per ogni fase in una determinata fascia oraria che massimizzi il guadagno dell'aeroporto
- **Analisi QoS:** verifica che il tempo medio di risposta del sistema per ogni fascia oraria sia inferiore a 30 minuti

Ricerca dell'ottimo

La ricerca della configurazione ottimale è stata realizzata tramite enumerazione delle possibili configurazioni, ipotizzando il tasso di arrivo costate pari al valore del tasso di arrivo della fascia oggetto di studio. Per minimizzare il bias dello stato iniziale, ogni fascia oraria è

stata simulata per un periodo di tempo più lungo della durata effettiva della fascia stessa (10,000 minuti).

Da questa ricerca otteniamo la configurazione **ottimale** per il modello **standard**:

Fascia	$N_{temperatura}$	$N_{check-in}$	$N_{sicurezza}$	$N_{drop-off}$
00:00-06:00	2	6	6	2
06:00-18:00	10	25	30	7
18:00-24:00	4	11	16	5

Questa configurazione massimizza il guadagno per ogni fascia oraria.

Essa viene confrontata con una configurazione **non ottimale**:

Fascia	$N_{temperatura}$	$N_{check-in}$	$N_{sicurezza}$	$N_{drop-off}$
00:00-06:00	5	10	20	5
06:00-18:00	10	17	23	5
18:00-24:00	5	15	12	3

Analisi QoS

In questa analisi si va a studiare il tempo di risposta e si vede se rispetta il QoS per ogni fascia oraria. Si tengono fissi gli arrivi ad una determinata fascia oraria e viene simulato il sistema ad orizzonte infinito.

Si analizza il tempo di risposta del sistema con il metodo delle Batch Means per vedere se il QoS è rispettato. Si considerano 65,536 completamenti.

Utilizzando una batch size di 1024 con 64 batch si ottiene una autocorrelazione tra batches con valore assoluto minore di 0.2 (Banks, Carson, Nelson e Nicol). Inoltre scegliendo la grandezza delle batch a 1024 si segue anche la guideline fornita da Pegden, Shannon e Sadowsky, ottenendo una autocorrelazione tra sample con lag $j=100$ non significativa (batch size almeno 10 volte il lag)^[5].

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%.

Si utilizza il seed **1434868289** per la generazione delle statistiche e dei grafici.

Risultati Analisi stazionaria:

Tempo di risposta (minuti)

Configurazione	Fascia oraria	Media	Varianza	Deviazione Standard	Intervallo di confidenza media $\alpha=0.05$
Non Ottimale	00:00-06:00	8.299079	0.044736	0.211509	(8.245828, 8.352330)
Non Ottimale	06:00-18:00	38.933308	31.630149	5.624069	(37.517352, 40.349265)

Non Ottimale	18:00-24:00	22.613120	9.690952	3.113029	(21.829361, 23.396879)
Ottimale	00:00-06:00	12.589422	0.494543	0.703238	(12.412370, 12.766474)
Ottimale	06:00-18:00	14.874385	1.159966	1.077017	(14.603227, 15.145543)
Ottimale	18:00-24:00	15.332732	2.397960	1.548535	(14.942862, 15.722602)

Si può vedere come nella configurazione ottimale viene rispettato il QoS per tutte le fasce orarie. Nella configurazione non ottimale per la fascia oraria 06:00-18:00 non viene rispettato il QoS. È importante notare che il tempo di risposta per la configurazione non ottimale all'interno della fascia 00:00-06:00 è inferiore al corrispettivo della configurazione ottimale, questo perché l'obiettivo della configurazione ottimale non è quello di minimizzare i tempi di risposta (a tal proposito sarebbe bastato impostare per ogni fascia il numero massimo di serventi), ma quello di massimizzare il guadagno.

Analisi ad orizzonte finito

L'analisi transiente si focalizza sull'analisi del guadagno giornaliero dell'aeroporto.

Per effettuare un'analisi statistica dei valori ottenuti ad orizzonte finito, il procedimento di misurazione è stato replicato 100 volte, ottenendo un *ensemble*. Partendo da quest'ultimo è stato possibile ottenere tramite l'algoritmo di Welford stime del guadagno con i rispettivi intervalli di confidenza. L'intervallo di confidenza è stato ottenuto tramite la distribuzione Student con una confidenza del 95%.

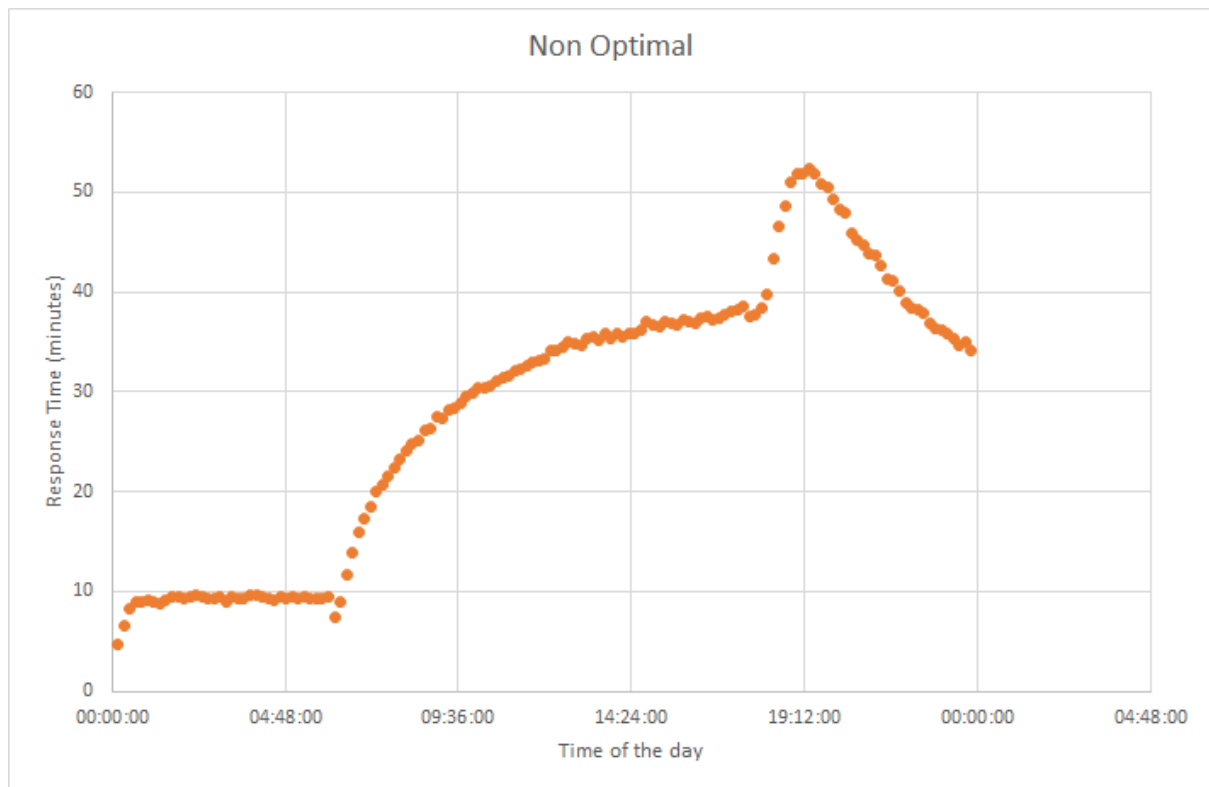
Come da linee guida^[6], il seed è stato impostato all'inizio della prima replica. Per le prove successive viene usato come stato iniziale di ogni *stream rng* lo stato finale degli stessi *stream* per la replica precedente. Facendo ciò si evitano possibili sovrapposizioni degli eventi generati dalle singole repliche.

Testando la configurazione ottimale e la configurazione non ottimale si ottengono i seguenti valori per il guadagno:

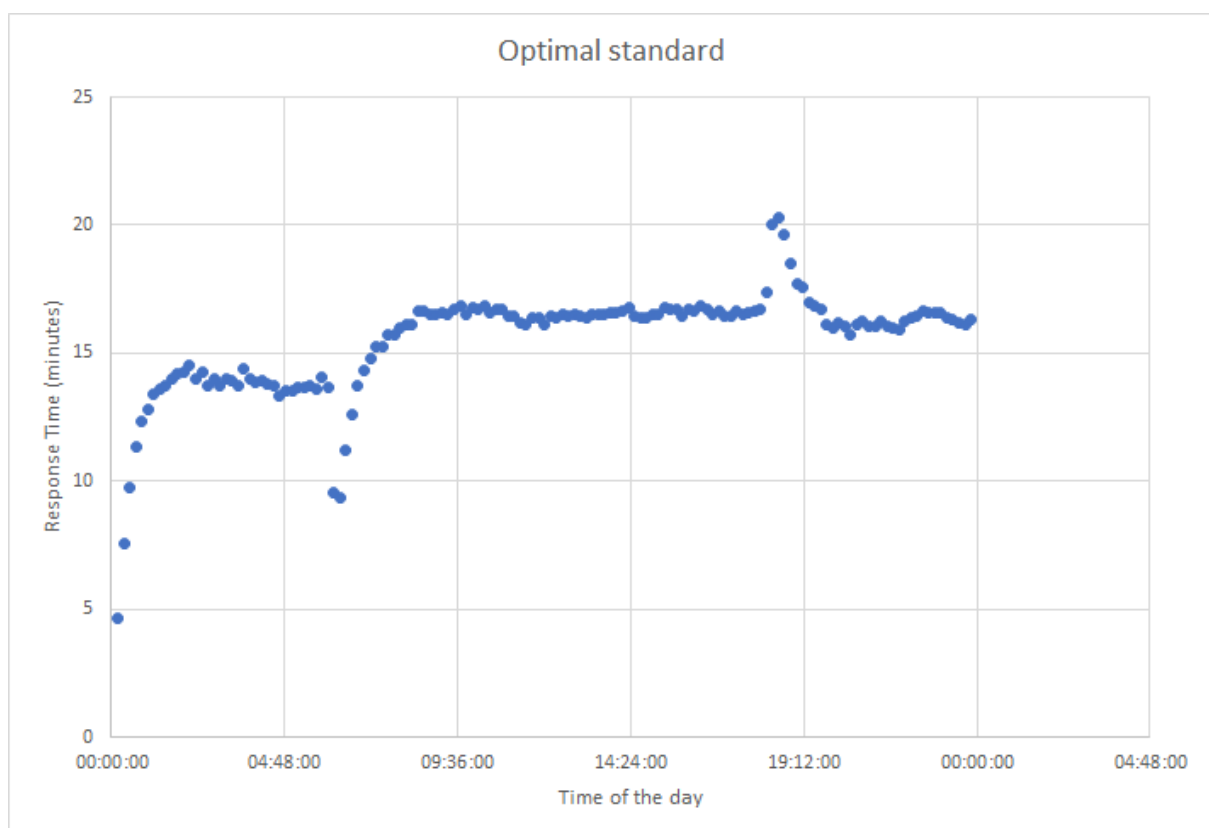
Configurazione	Guadagno 24 ore	Intervallo di confidenza $\alpha=0.05$
Non ottimale	50,313.02€	(50,127.02€, 50,499.02€)
Ottimale standard	56,810.72€	(56,645.75€, 56,975.69€)

Come si può vedere la configurazione ottimale migliora effettivamente il guadagno dell'aeroporto.

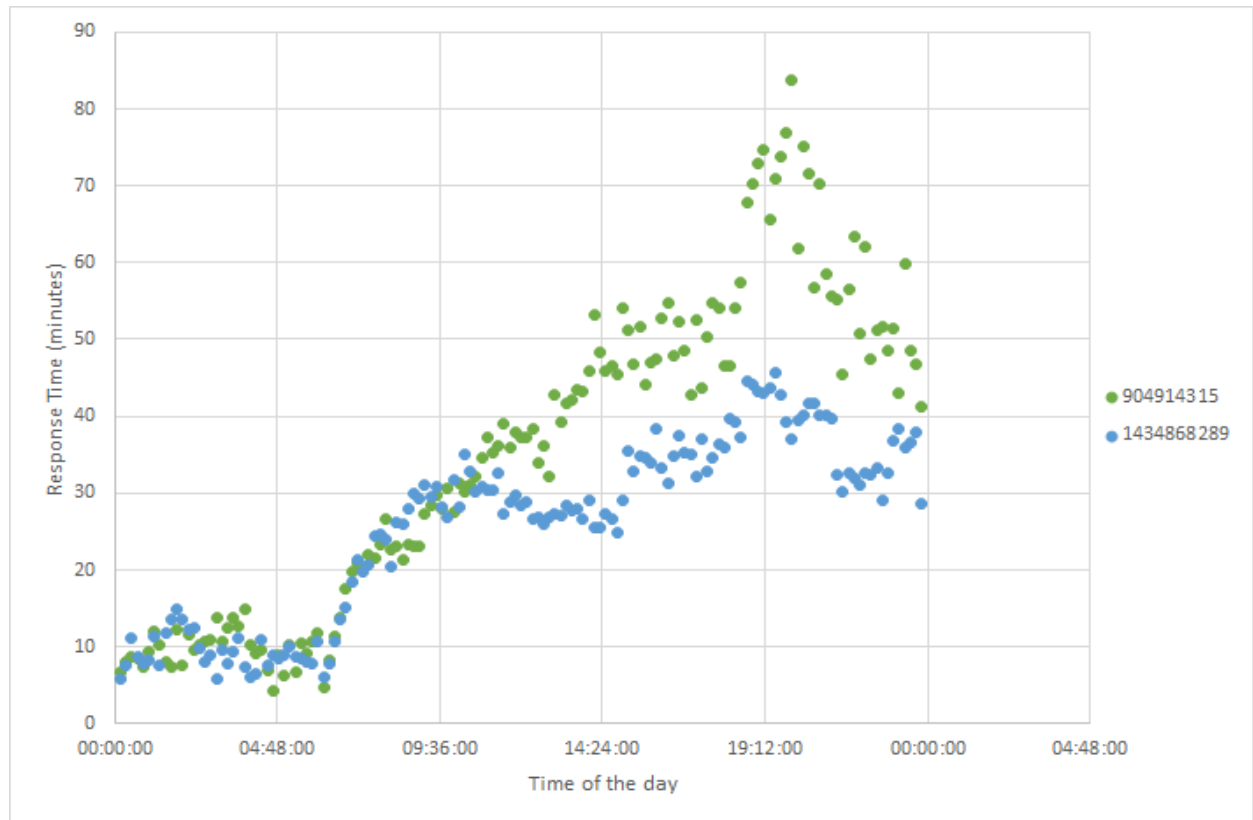
È di interesse ai fini dello studio analizzare il tempo di risposta del sistema al variare del tempo. Per fare ciò il tempo di risposta medio è campionato ogni 10 minuti. Per avere una stima del valore medio, le prove sono ripetute 100 volte.



Si può vedere come al cambio di fascia orarie alle 06:00 ed alle 18:00 si hanno picchi e crolli del tempo di risposta dovuti alla variazione del numero dei banchi aperti. Alle 06:00 il tempo di risposta si abbassa poiché il numero di banchi attivi aumenta, mentre alle 18:00 si riduce questo numero provocando un picco nel tempo di risposta.



Si può vedere come utilizzando la configurazione ottimale si ottengono dei valori per il tempo di risposta più bassi per la seconda e terza fascia oraria. Una qualità di questa configurazione è il fatto che il tempo di risposta resta grossomodo costante per l'intera giornata.



In questo grafico sono messi a confronto i risultati che si ottengono su una singola replica usando due diversi seed (1434868089 e 904914315). L'eterogeneità dei dati è il motivo principale che ha portato alla scelta dell'approccio basato su prove ripetute per studiare il comportamento medio del sistema.

Guadagno per fascia oraria:

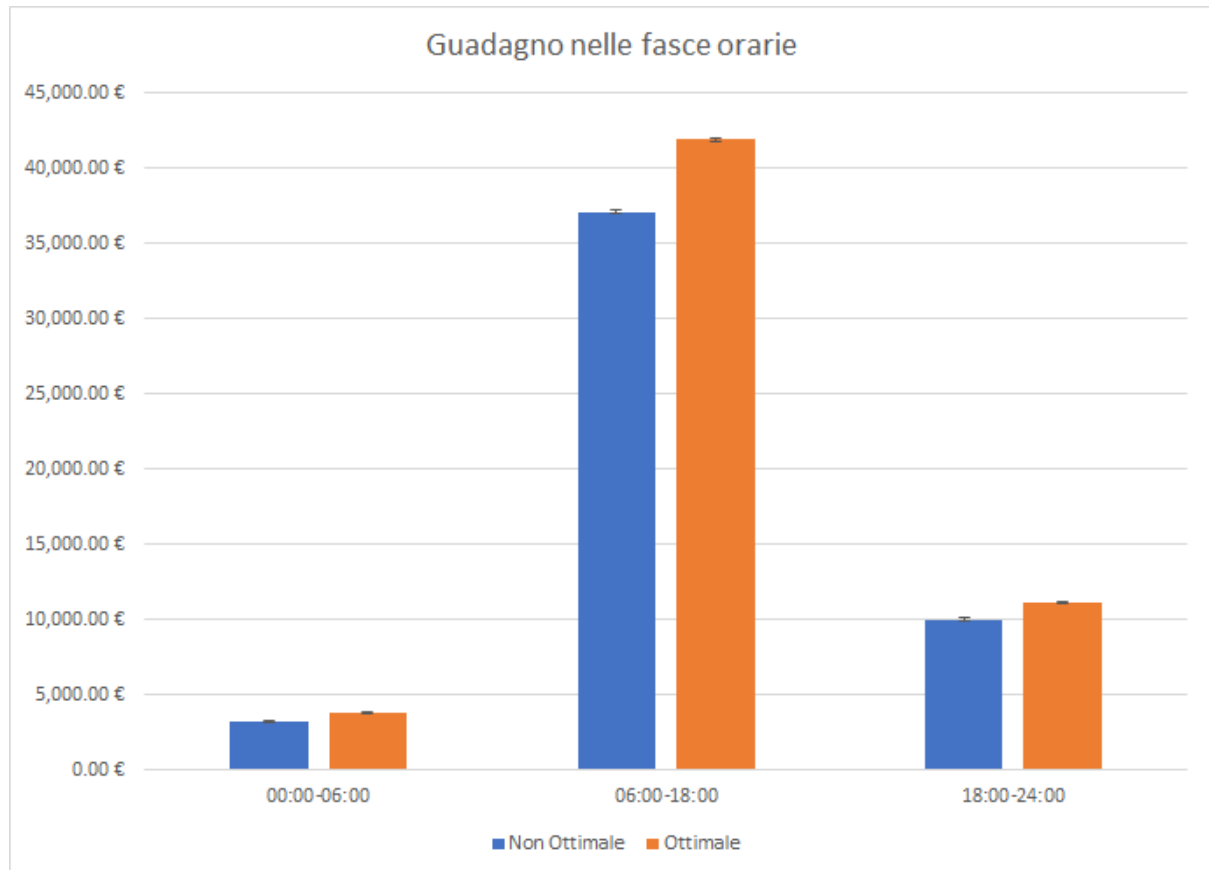
L'intervallo di confidenza è stato ottenuto tramite la distribuzione Student con una confidenza del 95%.

Configurazione non ottimale:

Fascia	Guadagno	Intervallo di confidenza con $\alpha=0.05$
00:00-06:00	3,182.85€	(3135.38€, 3230.32€)
06:00-18:00	37,109.02€	(36956.86€, 37261.18€)
18:00-24:00	10,000.50€	(9906.5€, 10094.5€)

Configurazione ottimale:

Fascia	Guadagno	Intervallo di confidenza con $\alpha=0.05$
00:00-06:00	3,185€	(3763.99€, 3866.79€)
06:00-18:00	41,877.64€	(41732.45€, 42022.85€)
18:00-24:00	11,117.68€	(11042.60€, 11192.75€)



Da questo grafico si evince che il guadagno per ogni fascia oraria ottenuto usando la configurazione ottimale sia maggiore di quello della configurazione non ottimale. Inoltre come ci si aspettava la fascia oraria che porta maggior guadagno è quella con tasso di arrivo maggiore (06:00-18:00).

Verifica e Validazione

Per verifica e validazione si applicano controlli di consistenza sui tempi di risposta ottenuti dalle simulazioni.

Il primo controllo riguarda la configurazione: aumentando il numero di banchi al massimo per ogni fascia oraria il tempo di risposta diminuisce.

Configurazione					Tempo di risposta medio (minuti)
Non ottimale					24.185
Configurazione con tutti i banchi aperti per tutte le fasce orarie.					12.247
Fascia	$N_{temperatura}$	$N_{check-in}$	$N_{sicurezza}$	$N_{drop-off}$	
00:00-06:00	10	30	30	10	
06:00-18:00	10	30	30	10	
18:00-24:00	10	30	30	10	

Il secondo controllo di consistenza riguarda i tempi minimi di risposta del sistema, che devono essere maggiori della somma dei tempi minimi di servizio per ogni fase permessi dai troncamenti. Questo controllo è stato fatto tramite testing dell'applicazione.

I tempi di risposta e di arrivo generati non assumono mai valori negativi. Per come sono state implementate, le code del sistema o sono vuote o contengono passeggeri, non posso pertanto esistere code con un numero negativo di passeggeri.

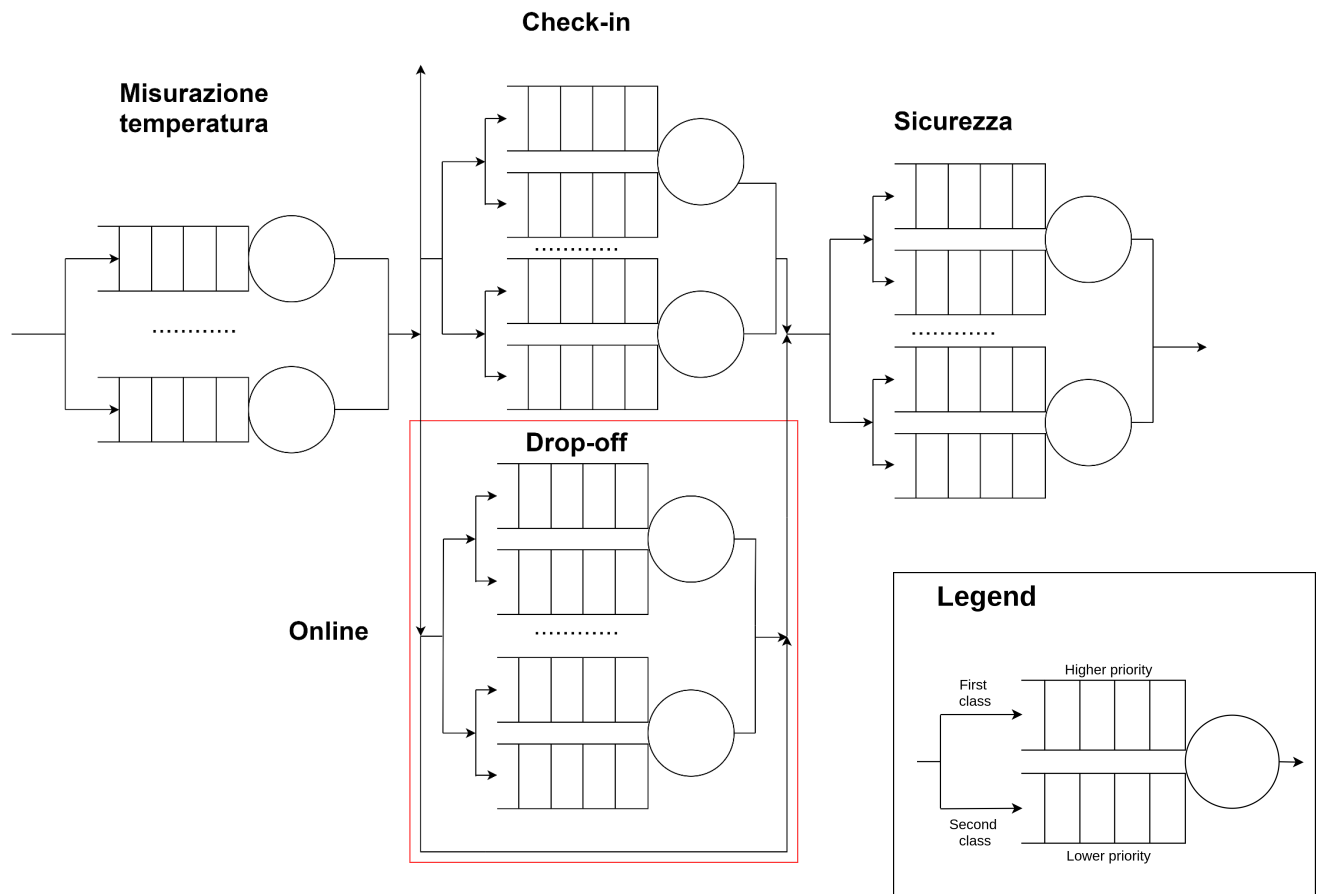
I tempi di risposta, infine, sono coerenti con i tempi di un aeroporto reale.

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. Sono state valutate diverse soluzioni migliorative. In particolare l'utilizzo di code con priorità o politiche diverse per distribuire i passeggeri sui banchi di una fase al termine del servizio della fase precedente.

Code con priorità:

È stata apportata una modifica al modello introducendo code con priorità per i passeggeri di prima classe nei banchi di check-in, sicurezza e drop-off. Non è possibile introdurre code con prelazione o size based poiché non si adattano al sistema che si sta modellando.



Routing:

La scelta del banco della fase successiva al termine di una fase avviene non più basandosi solo su una distribuzione equiprobabile, ma instradando il passeggero verso uno dei banchi con il minor numero attuale di passeggeri. Nel caso in cui più banchi siano eleggibili per la scelta, ne viene selezionato uno tramite una distribuzione equiprobabile. Questa politica è stata applicata per la scelta dei banchi di ogni fase. La prima versione del routing migliorativo prevedeva la selezione del primo banco con popolazione minima. E' stato riscontrato, però, che determinati banchi venivano scelti più volte mentre altri rimanevano spesso inutilizzati poiché mai selezionati. Per ovviare a questo problema è stata utilizzata la selezione equiprobabile tra tutti i banchi eleggibili e ciò ha garantito vantaggi rispetto alle utilizzazioni dei banchi.

È stata valutata anche la possibilità di combinare questa politica di routing con le code con priorità.

È stato riscontrato che attuando tale politica di routing con configurazione ottimale e tasso di arrivo di ogni fascia oraria, le code non raggiungevano mai una popolazione tale da rendere apprezzabile la priorità assegnata ai passeggeri di prima classe (le code restano perlopiù vuote).

Analisi ad orizzonte infinito

Ricerca dell'ottimo

È stata ricercata la configurazione ottimale anche quando si applicano le soluzioni migliorative.

Configurazione **ottimale** con il modello con code con **priorità**:

Fascia	$N_{temperatura}$	$N_{check-in}$	$N_{sicurezza}$	$N_{drop-off}$
00:00-06:00	2	4	6	1
06:00-18:00	10	25	30	7
18:00-24:00	4	11	15	5

Configurazione **ottimale** con il modello con **routing** migliorato:

Fascia	$N_{temperatura}$	$N_{check-in}$	$N_{sicurezza}$	$N_{drop-off}$
00:00-06:00	2	4	5	2
06:00-18:00	8	18	24	6
18:00-24:00	4	9	13	3

La configurazione non ottimale per queste soluzioni coincide con quella utilizzata per il modello standard.

Analisi QoS

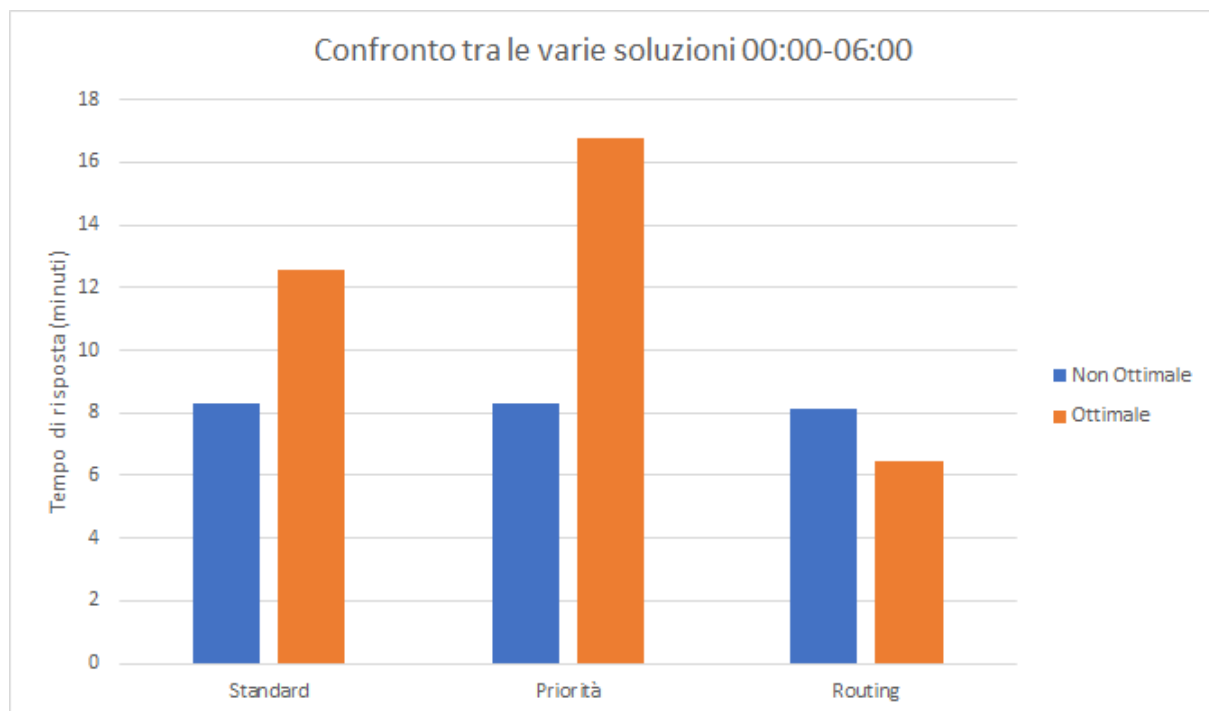
In questa analisi si va a studiare il tempo di risposta e si vede se rispetta il QoS per ogni fascia oraria considerando i vari algoritmi migliorativi e le loro configurazioni ottimali.

L'intervallo di confidenza è stato ottenuto tramite la distribuzione Student con una confidenza del 95%.

Tempo di risposta (minuti)

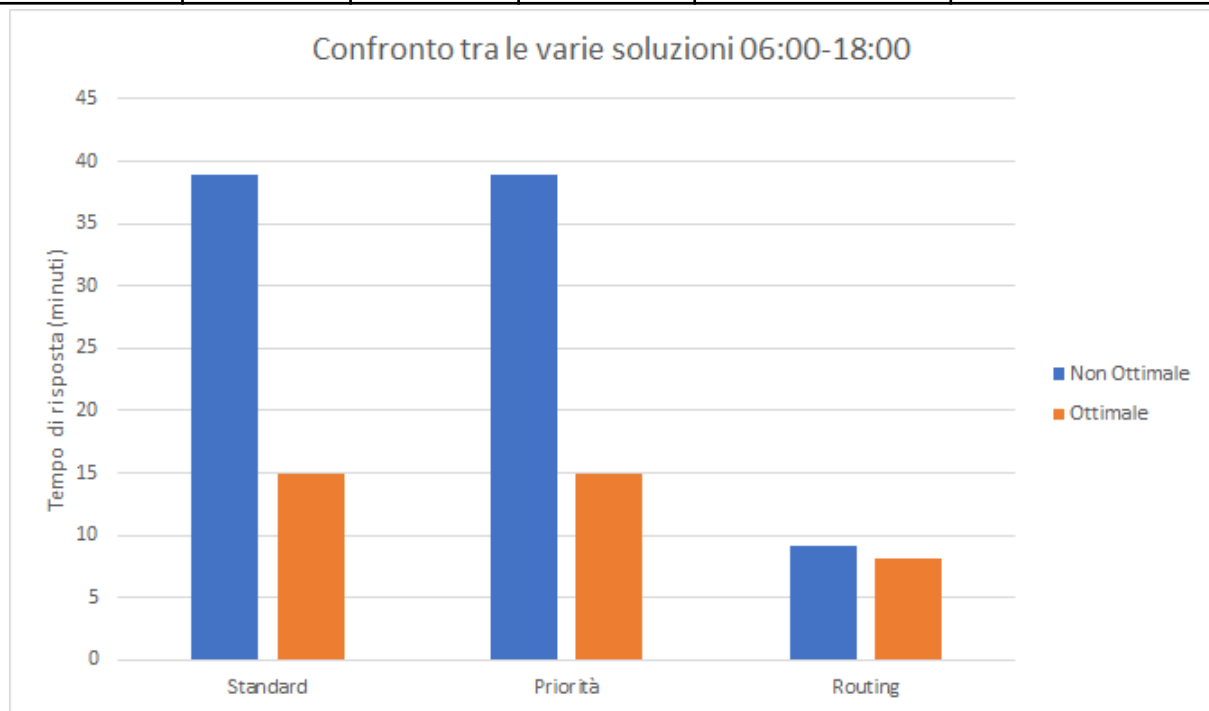
Confronto tempo di risposta nella fascia 00:00-6:00

Configurazione	Algoritmo	Media	Varianza	Deviazione Standard	Intervallo di confidenza media $\alpha=0.05$
Non Ottimale	Standard	8.299079	0.044736	0.211509	(8.245828, 8.352330)
Non Ottimale	Priorità	8.299079	0.044876	0.211840	(8.245744, 8.352413)
Non Ottimale	Routing	8.141120	0.039178	0.197935	(8.059589, 8.222651)
Ottimale standard	Standard	12.589422	0.494543	0.703238	(12.412370, 12.766474)
Ottimale priorità	Priorità	16.756922	3.193322	1.786987	(16.307018, 17.206827)
Ottimale routing	Routing	6.455301	0.004217	0.064936	(6.438952, 6.471650)



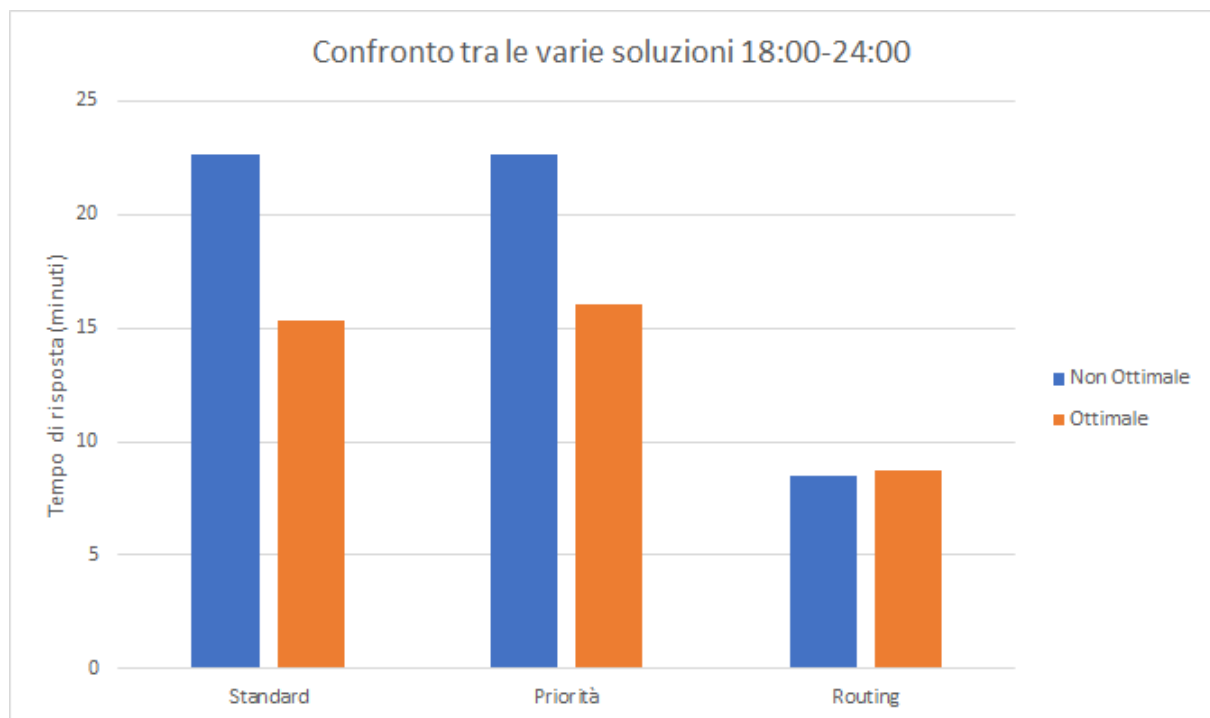
Confronto tempo di risposta nella fascia 06:00-18:00

Configurazione	Algoritmo	Media	Varianza	Deviazione Standard	Intervallo di confidenza media $\alpha=0.05$
Non Ottimale	Standard	38.933308	31.630149	5.624069	(37.517352, 40.349265)
Non Ottimale	Priorità	38.969094	33.475640	5.785815	(37.412416, 40.325772)
Non Ottimale	Routing	9.209341	0.782516	0.884599	(8.986627, 9.432054)
Ottimale standard	Standard	14.874385	1.159966	1.077017	(14.603227, 15.145543)
Ottimale priorità	Priorità	14.87336	1.162168	1.078039	(14.601921, 15.144751)
Ottimale routing	Routing	8.078686	0.215938	0.464691	(7.961691, 8.295680)



Confronto tempo di risposta nella fascia 18:00-24:00

Configurazione	Algoritmo	Media	Varianza	Deviazione Standard	Intervallo di confidenza media $\alpha=0.05$
Non Ottimale	Standard	22.613120	9.690952	3.113029	(21.829361, 23.396879)
Non Ottimale	Priorità	22.611492	9.615123	3.100826	(21.830805, 23.392178)
Non Ottimale	Routing	8.471234	0.451185	0.671703	(8.302121, 8.640347)
Ottimale standard	Standard	15.332732	2.397960	1.548535	(14.942862, 15.722602)
Ottimale priorità	Priorità	16.037974	2.293588	1.514460	(15.656682, 16.419265)
Ottimale routing	Routing	8.767377	0.300630	0.548297	(8.302121, 8.640347)



Tempi di risposta (minuti) per la configurazione ottimale con priorità:

Fascia oraria	Tempo di risposta prima classe	Tempo di risposta seconda classe
00:00-06:00	11.242047	20.399231
06:00-18:00	11.018245	17.387018
18:00-24:00	11.683639	18.901363

Utilizzando le configurazioni ottimali è sempre rispettato il QoS.
In particolare per le code con priorità tale QoS è rispettato anche per i passeggeri di seconda classe.

Analisi ad orizzonte finito

Applicando gli stessi ragionamenti dell'analisi ad orizzonte finito del modello standard, si confrontano i guadagni ottenuti dai vari algoritmi migliorativi.

L'intervallo di confidenza è stato ottenuto tramite la distribuzione Student con una confidenza del 95%.

Configurazione	Algoritmo	Guadagno 24 ore	Intervallo di confidenza $\alpha=0.05$
Non ottimale	Standard	50,313.02€	(50,127.02€, 50,499.02€)
Ottimale standard	Standard	56,810.72€	(56,645.75€, 56,975.69€)
Ottimale priorità	Priorità	57,746.21€	(57,565.21€, 57,927.21€)
Ottimale routing	Routing	60,871.39€	(60,689.06€, 61,053.72€)

Con entrambe le soluzioni migliorative si ottiene un incremento del guadagno. Tale incremento è più evidente nella soluzione che sfrutta il routing migliorato.

Configurazione **non ottimale standard**:

Fascia	Guadagno	Intervallo di confidenza con $\alpha=0.05$
00:00-06:00	3,182.85€	(3135.38€, 3230.32€)
06:00-18:00	37,109.02€	(36956.86€, 37261.18€)
18:00-24:00	10,000.50€	(9906.5€, 10094.5€)

Configurazione **ottimale standard**:

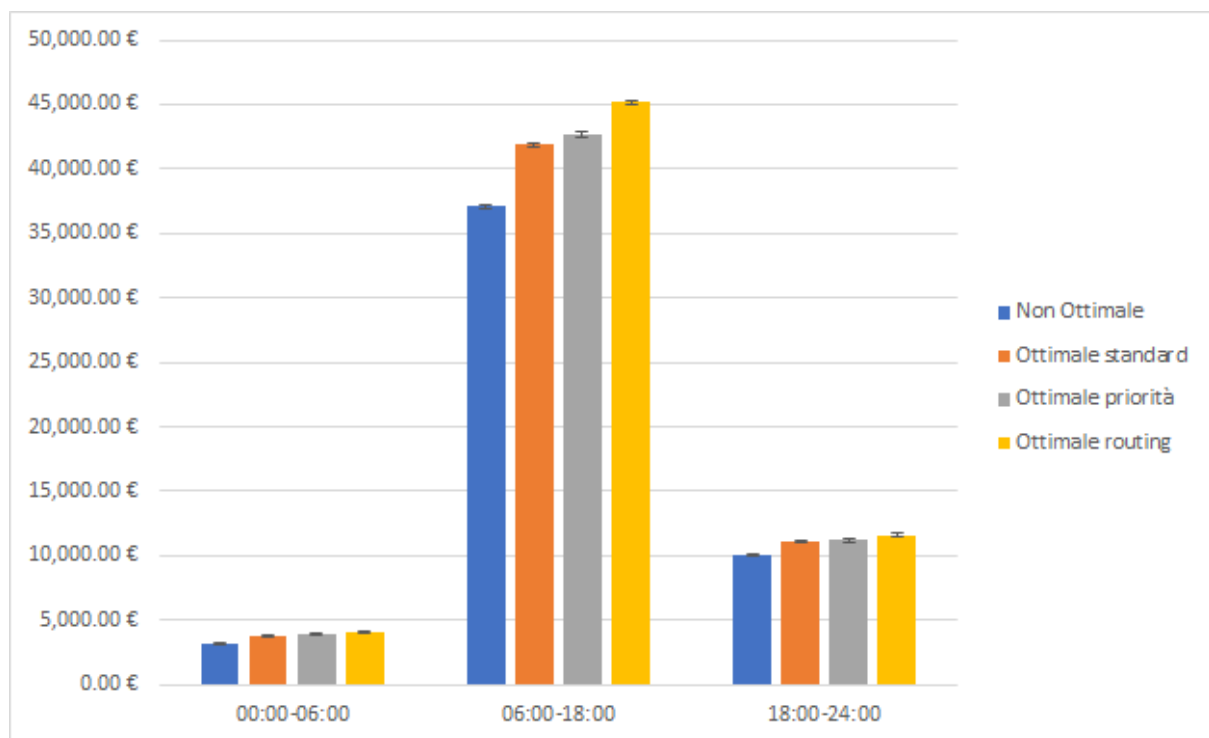
Fascia	Guadagno	Intervallo di confidenza con $\alpha=0.05$
00:00-06:00	3,185€	(3763.99€, 3866.79€)
06:00-18:00	41,877.64€	(41732.45€, 42022.85€)
18:00-24:00	11,117.68€	(11042.60€, 11192.75€)

Configurazione **ottimale priorità**:

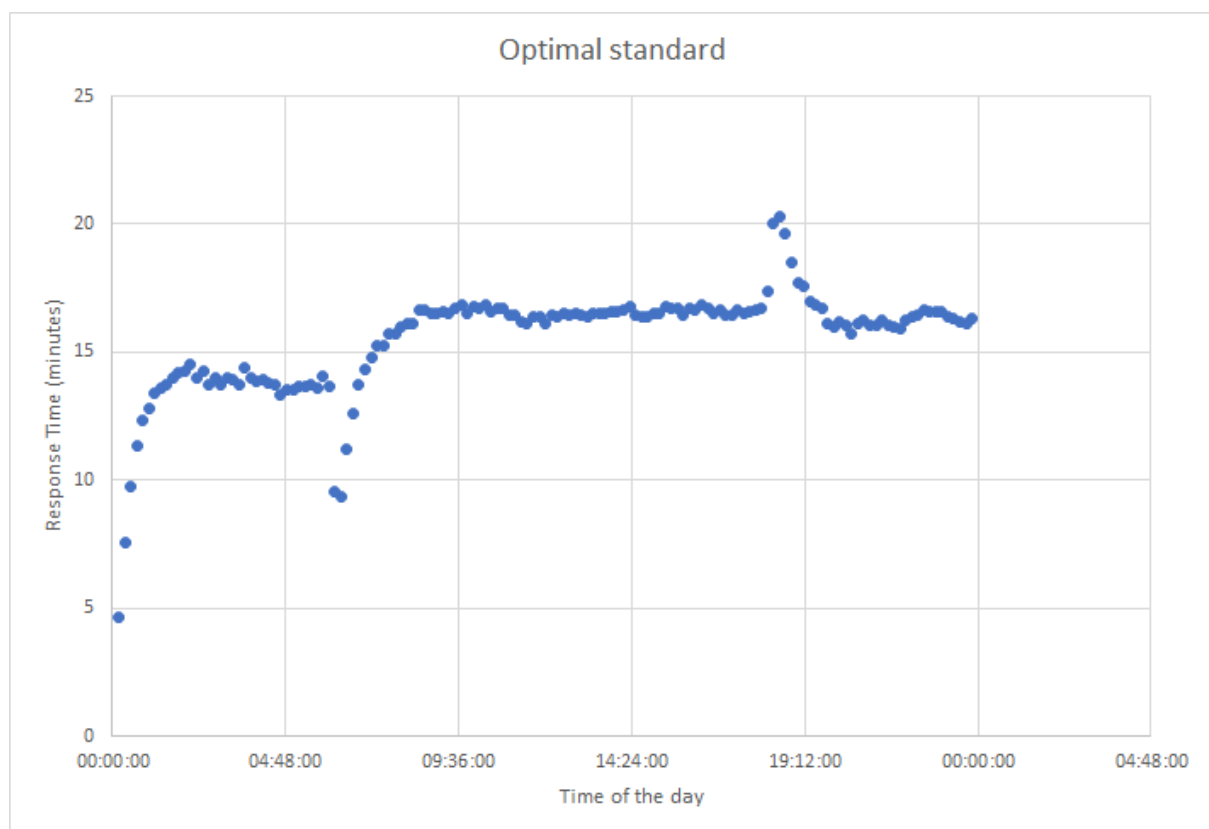
Fascia	Guadagno	Intervallo di confidenza con $\alpha=0.05$
00:00-06:00	3,877.56€	(3834.26€, 3920.86€)
06:00-18:00	42,667.84€	(42495.59€, 42840.09€)
18:00-24:00	11,200.78€	(11019.21€, 11382.35€)

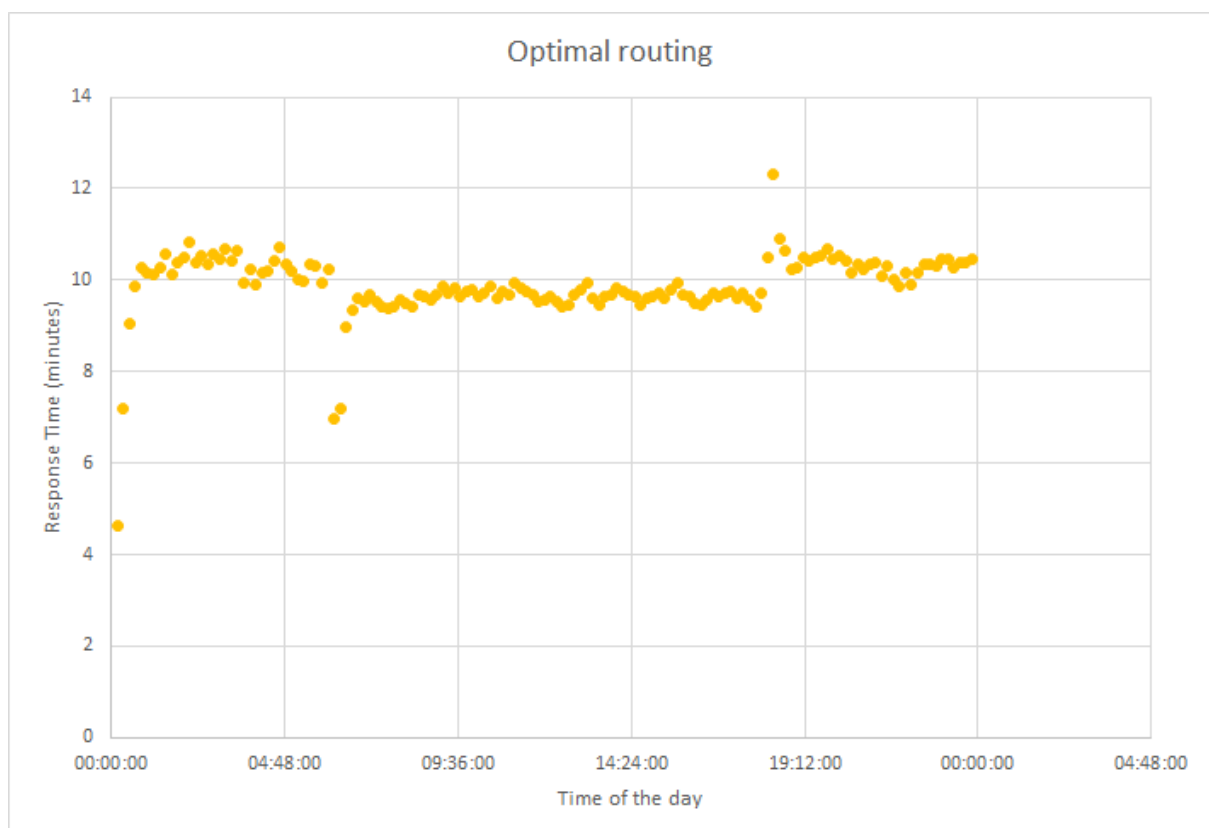
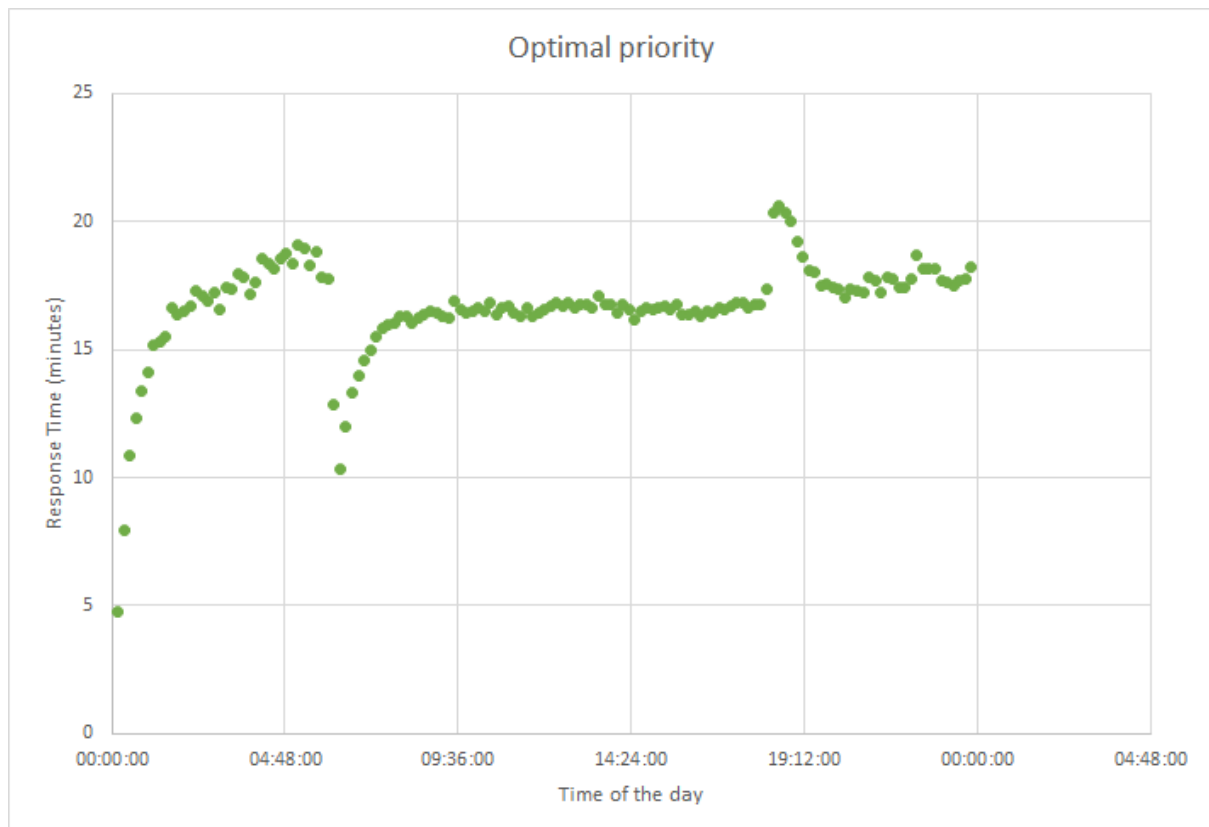
Configurazione **ottimale routing**:

Fascia	Guadagno	Intervallo di confidenza con $\alpha=0.05$
00:00-06:00	4,054.00€	(4006.73€, 4101.27€)
06:00-18:00	45,208.18€	(45056.05€, 45360.31€)
18:00-24:00	11,609.21€	(11526.77€, 11691.65€)



La stessa considerazione effettuata sul guadagno nelle 24 ore si applica anche al guadagno per le singole fasce orarie.





Prevedibilmente, le code con priorità non migliorano il tempo di risposta medio. La soluzione con routing migliorato, invece, manifesta anche dei tempi di risposta mediamente inferiori.

Come per il modello standard, anche le configurazioni ottime degli algoritmi migliorativi mostrano picchi e crolli al cambio della fascia oraria e tendono a mantenere costante il tempo di risposta durante il giorno.

Verifica e Validazione algoritmi migliorativi

Gli stessi ragionamenti applicati precedentemente vengono applicati agli algoritmi migliorativi. Inoltre viene testata la correttezza dell'implementazione delle code con priorità vedendo se il tempo di risposta totale è uguale alla media pesata dei tempi di risposta delle due classi di priorità.

Le code con priorità sono state testate in modo da verificare se, rispetto al tempo di risposta medio, i passeggeri di prima classe ne notino una diminuzione e quelli di seconda classe un aumento.

Il routing introdotto viene testato vedendo se effettivamente il passeggero sceglie il banco con il minor numero di persone.

Considerazioni Finali

L'obiettivo dello studio è quello di massimizzare il guadagno dell'aeroporto. A tale proposito la soluzione migliorativa che offre un aumento più apprezzabile, oltre a garantire un'esperienza migliore per tutti i clienti diminuendo i tempi di risposta, è quella che fa uso del routing migliorato. Nelle 24 ore tale soluzione permette un aumento dei guadagni di circa 4.060,67€ rispetto al modello standard, considerando per entrambi la configurazione ottimale. Dal momento che tale aumento è giornaliero, la soluzione migliorativa manifesta un incremento notevole dei guadagni.

Riferimenti

[1]<https://www.statista.com/statistics/958318/duty-free-spend-per-international-passenger-in-selected-airports-us/>

[2]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

[3]pagina 309 Discrete Event Simulation - A First Course - Lemmis Park

[4]<https://www.corrierecomunicazioni.it/digital-economy/alitalia-ricavi-da-app-48-check-in-online-per-il-60-dei-passeggeri/>

[5]pagina 380 Discrete Event Simulation - A First Course - Lemmis Park

[6]slide 19 pagina 10 lect23FiniteInfinite2021.pdf