

Danilo Dell'Orco
Michele Salvatori

Gestione di una Stazione Ferroviaria

PROGETTO DI MODELLISTICA, SIMULAZIONE E VALUTAZIONE DELLE
PRESTAZIONI

AA 2020/2021

1

1

Introduzione

- A seguito della pandemia globale Covid-19, diverse attività hanno dovuto adeguare le proprie strutture e protocolli per rispettare le direttive sanitarie indicate dal governo.
- Il nostro studio prende in esame una **stazione ferroviaria**.
 - Si analizza il processo dall'arrivo in stazione fino all'accesso sui binari.
- I componenti considerati nel sistema sono:
 - Sistemi di rilevamento automatico della temperatura, posti all'ingresso.
 - Biglietterie self service per l'acquisto di biglietti in stazione.
 - Gate con operatori per verificare i biglietti dei passeggeri.
 - Tornelli automatici per la verifica degli *abbonamenti* via NFC.
 - *Operatori sui binari* per effettuare controlli a campione del Green Pass prima dell'accesso effettivo al treno.

2

2

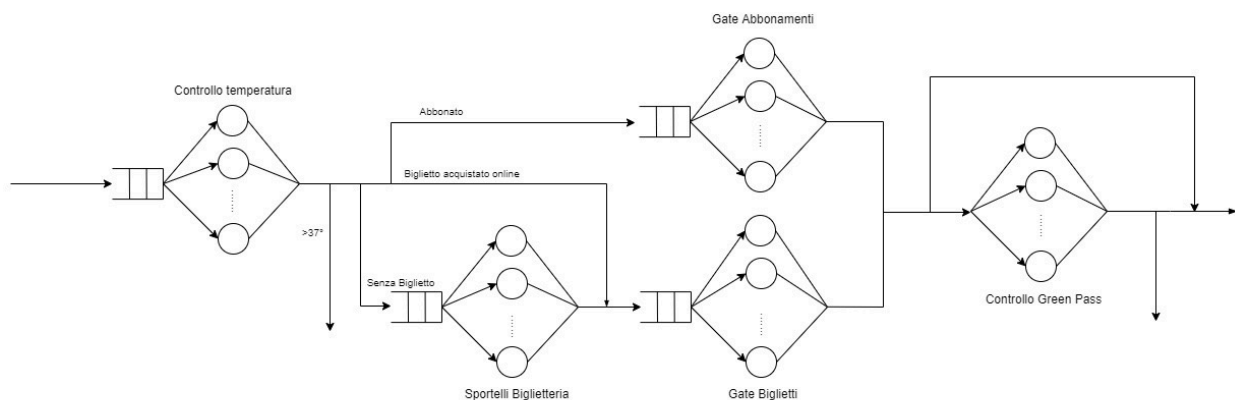
Obiettivo

- L'obiettivo dello studio è quello di **minimizzare i costi** per la gestione dei servizi ferroviari e anti-covid.
- Si vuole individuare il numero ottimale di serventi ed operatori per rispettare due **QoS**.
 1. Tempo di risposta complessivo del sistema inferiore ai 2 minuti
 2. Verificare il Green Pass per almeno il 70% dei passeggeri sui binari.
- A tale scopo si effettua uno studio sia dello *stato stazionario* che del *transiente*
 - Analisi di diverse configurazioni di serventi
 - Si cerca di individuare quale rispetta i due vincoli mantenendo il minor costo totale.

3

3

Modello Concettuale



4

4

Modello Concettuale (2)

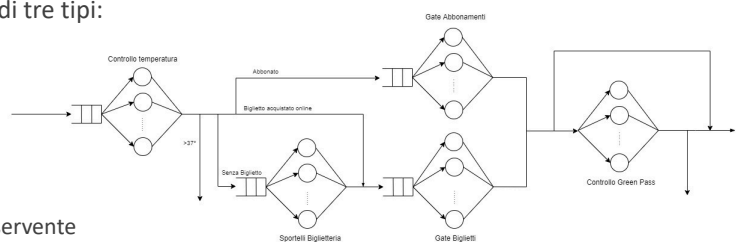
- Si distinguono 5 sottosistemi (blocchi differenti)
 - Blocco 0: Controllo Temperatura
 - Blocco 1: Acquisto Biglietti
 - Blocco 2: Gate Abbonamenti
 - Blocco 3: Gate Biglietti
 - Blocco 4: Controllo Green Pass
- I blocchi 0-3 sono modellati come una **M/M/k**, quindi coda infinita in quanto la stazione non limita il numero di clienti che può servire.
- Il blocco 4 è modellato come una **M/M/k/k** in quanto se i controllori sono occupati i passeggeri accedono direttamente al treno.
 - I passeggeri che bypassano il controllo sono considerati come completamenti
 - Si vuole mantenere quindi la probabilità di bypass sotto il 30%

5

5

Modello Concettuale (3)

- Gli **utenti** in ingresso al sistema sono di tre tipi:
 - Senza Biglietto
 - Con Biglietto acquistato online
 - Abbonati
- Gli **eventi** che possiamo avere sono:
 - Arrivo di un utente
 - Servizio di un utente presso l'apposito servente
 - Cambio di Fascia oraria
 - Può causare l'apertura o la chiusura dei gate/serventi attivi in quella specifica fase



6

6

Modello Concettuale (4)

- Le **variabili di stato** considerate sono
 - Numero di Serventi Disponibili nei vari blocchi in ogni fascia oraria
 - Determinano la capacità complessiva del sistema
 - Stato di uno Servente: {BUSY, IDLE}
 - Numero di Passeggeri nei blocchi 0-3
 - Numero di Arrivi e di Bypass nel blocco 4
- Se un servente BUSY deve essere spento al cambio di fascia oraria, si aspetta che termini il servizio prima di rimuoverlo.
 - Non è conveniente né realistico spegnere immediatamente uno sportello già in servizio.
 - Il tempo in eccesso speso online viene considerato nel calcolo dei costi.
- Le code di ogni blocco seguono una politica FIFO.

7

7

Modello di Specifiche (1)

- Una stazione ferroviaria è aperta tipicamente dalle **05:00** a **00:00**
 - Periodo di osservazione: 19 Ore (*68400 secondi*)
- Sono state identificate 3 differenti fasce orarie*
 - **05:00 – 08:00**: traffico medio
 - **08:00 – 19:00**: traffico intenso
 - **19:00 – 00:00**: traffico basso

DATI RICAVALI DA UN'ANALISI DEL NUMERO DI CORSE GIORNALIERE SULLE 19 ORE LAVORATIVE

8

8

Modello di Specifiche (2)

- I *tempi di interarrivo* ed i *tempi di servizio* sono modellati tramite distribuzione **Esponenziale**.

| Grandezza | Media |
|---|---------------------|
| Numero di Passeggeri in una giornata | 43800* |
| Tasso di Arrivo 05:00 – 08:00 | 0,405556 arrivi/sec |
| Tasso di Arrivo 08:00 – 19:00 | 0,829545 arrivi/sec |
| Tasso di Arrivo 19:00 – 00:00 | 0,365 arrivi/sec |
| Tempo di Servizio controllo temperatura | 15 secondi |
| Tempo di Servizio acquisto biglietto | 90 secondi |
| Tempo di Servizio verifica abbonamento | 10 secondi |
| Tempo di Servizio verifica biglietto | 25 secondi |
| Tempo di Servizio verifica Green Pass | 30 secondi |

DATI BASATI SULLA STAZIONE FERROVIARIA DI STANDFORD (UK). REPORT 20/21 FORNITO DA «THE OFFICE OF RAIL REGULATION» (ORR)

9

9

Modello di Specifiche (3)

| Grandezza | Valore |
|--|-----------|
| Percentuale di utenti con temperatura >37° | 0.2% |
| Percentuale di utenti con abbonamento | 25,6486% |
| Percentuale di utenti con biglietto online | 25,953% * |
| Percentuale di utenti senza biglietto | 48,1984% |
| Costo mensile scanner temperatura | 300€ |
| Costo mensile biglietteria automatica | 200€ |
| Costo mensile gate abbonamento | 50€ |
| Costo mensile dipendente gate biglietto | 1300€ |
| Costo mensile dipendente verifica green pass | 800€ |

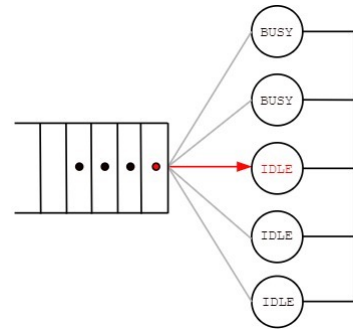
INDAGINE STATISTICA SULLA FREQUENZA DI TRAIN TICKETS ACQUISTATI ONLINE IN UK (2017)

10

10

Modello Computazionale

- A livello computazionale distribuiamo il flusso totale in ingresso verso i vari blocchi tramite le **probabilità di routing**
 - Non generiamo in modo aleatorio il tipo di utente al suo arrivo
 - Si genera un valore casuale tra 0 e 100 tramite Uniform() di rvgs.c.
 - Si confronta questo valore con le diverse probabilità, individuando quindi il blocco di destinazione.
- Non appena si libera un servente viene prelevato il job in testa alla coda
 - Se sono presenti più serventi liberi viene scelto sempre il primo tra questi, partendo da quello con ID più piccolo.



11

11

Verifica

- La correttezza del modello computazionale è stata verificata controllando la veridicità delle seguenti quattro condizioni:
 - A. Il tempo di risposta per un server è sempre uguale alla somma del tempo di attesa e del tempo di servizio
 - B. Il numero di arrivi di ogni blocco corrisponde alla somma tra il numero di job in coda e il numero di job completati
 - C. Il numero di job in ingresso al sistema è conforme a quello indicato nel modello delle specifiche
 - D. Dati N job in ingresso, le percentuali di job in ingresso su ogni blocco sono conformi al tasso di arrivo e alle probabilità di routing specificate

12

12

| | |
|---|---|
| Result for block TEMPERATURE_CTRL Arrivals = 44070 Completions..... = 43981 Dropped..... = 89 Average wait = 15.196649 Average delay = 0.206358 Average service time = 14.990291 | <ul style="list-style-type: none"> Condizione A: <ul style="list-style-type: none"> $E(T_S) = E(T_Q) + E(S) = 0.206358 + 14.990291 = 15.196649 \text{ sec}$ Condizione B: <ul style="list-style-type: none"> $\#arrivi = \#completamenti + \#jobDropped = 43981 + 89 = 44070 \text{ job}$ Condizione C <ul style="list-style-type: none"> Il numero di arrivi è un outlier rispetto al valore della specifica (43800 arrivi). Calcolando la media del numero di arrivi sulle 128 ripetizioni, si ottiene un numero medio di ingressi pari a 43797 job, allineato a quello atteso |
| Result for block TICKET_BUY Arrivals = 21249 Completions..... = 21249 Average wait = 91.714337 Average delay = 2.191239 Average service time = 89.523098 | <ul style="list-style-type: none"> Condizione A: <ul style="list-style-type: none"> $E(T_S) = E(T_Q) + E(S) = 2.191239 + 89.523098 = 91.714337 \text{ sec}$ Condizione B: <ul style="list-style-type: none"> $\#arrivi = \#completamenti = 21249 \text{ job}$ |
| Result for block GREEN_PASS Arrivals = 43981 Completions..... = 38825 Average wait = 29.697514 Average wait (2)..... = 26.216002 Number bypassed = 5156 Average delay = 0.000000 | <ul style="list-style-type: none"> Condizione A: <ul style="list-style-type: none"> wait: tempo di risposta medio dei soli job che <i>effettuano</i> il controllo Green Pass wait(2): tiene in considerazione il tempo medio di risposta del blocco, quindi anche i job che bypassano il controllo. $\frac{(43981-5156)*29.697514+5156*0}{43981} = 26.216002 \text{ sec}$ Condizione B: <ul style="list-style-type: none"> $\#arrivi = \#completamenti + \#bypassed = 38825 + 5156 = 43981 \text{ job}$ |

13

13

| | |
|--|--|
| Result for block TEMPERATURE_CTRL Arrivals = 44070 Completions..... = 43981 Dropped..... = 89 | Condizione D: Arrivi totali nel sistema = 44070 job |
| Result for block TICKET_BUY Arrivals = 21249 Completions..... = 21249 | <ul style="list-style-type: none"> DROPPED ($p=0.2\%$): $44070 * 0.002 = 88.14 \approx 89 \text{ job scartati.}$ TICKET_BUY ($p=48.1984\%$): $44070 * 0.481984 = 21241.03488 \approx 21249 \text{ job}$ SEASON_GATE ($p=25.6486\%$): $44070 * 0.256486 = 11303.33802 \approx 11297 \text{ job}$ TICKET_GATE ($p=25.953\%$): $44070 * 0.25953 = 11437.4871 \text{ job}$ <ul style="list-style-type: none"> Sommiamo a questo valore i completamenti del blocco TICKET_BUY $11437.4871 + 21241.03488 = 32678.52198 \approx 32684 \text{ job in ingresso al gate biglietti.}$ GREEN_PASS ($p=100\%$): Tutti i job completati dal controllo temperatura (43981) arrivano effettivamente in ingresso al controllo green pass. |
| Result for block SEASON_GATE Arrivals = 11297 Completions..... = 11297 | |
| Result for block TICKET_GATE Arrivals = 32684 Completions..... = 32684 | |
| Result for block GREEN_PASS Arrivals = 43981 Completions..... = 38825 Number bypassed = 5156 | |

14

14

Validazione

- La validazione del sistema è stata effettuata verificando che i risultati ottenuti dalle simulazioni rispettino le seguenti leggi teoriche.

$$\begin{aligned}
 \circ E(T_{Q,k}) &= P_Q * \frac{\rho}{\lambda(1-\rho)} \\
 \circ P_Q &= \frac{(m\rho)^m}{m!(1-\rho)} * P(0) \quad [\text{Erlang-C}] \\
 \circ P(0) &= \frac{1}{\sum_{i=0}^{m-1} \frac{(m\rho)^i}{i!} + \frac{(m\rho)^m}{m!(1-\rho)}} \\
 \circ E(T_{s,k}) &= E(T_{Q,k}) + E(S_i) \\
 \circ P_{bypass} &= \Pi_m = \frac{\frac{1}{m} * (\frac{\lambda}{\mu})^m}{\sum_{j=0}^m (\frac{\lambda}{\mu})^j * \frac{1}{j!}} \quad [\text{Erlang-B}] \\
 \circ E(T_{s,tot}) &= \sum_0^4 v_k * E(T_{s,k}) \\
 \circ E(T_{Q,4}) &= 0 \\
 \circ E(T_{s,4}) &= P_{bypass} * 0 + (1 - P_{bypass}) * E(S_4)
 \end{aligned}$$

15

15

Validazione (2)

- La configurazione server utilizzata durante la fase di validazione è stata scelta casualmente:

| | TEMPERATURE | TICKET BUY | SEASON GATE | TICKET GATE | GREEN PASS |
|---------------|-------------|------------|-------------|-------------|------------|
| 05:00 – 08:00 | 9 | 22 | 3 | 11 | 10 |
| 08:00 – 19:00 | 14 | 42 | 4 | 20 | 20 |
| 19:00 – 00:00 | 9 | 20 | 3 | 12 | 10 |

- Sono state effettuate 128 ripetizioni di una simulazione ad orizzonte finito.
- Sui risultati ottenuti è stata calcolata la media con un intervallo di confidenza del 95%.

16

16

Fascia 05:00 – 08:00

| Statistica | Risultato Analitico | Risultato Sperimentale ($\alpha=0.05$) |
|------------------------|---------------------|--|
| E(TQ ₀) | 1,073706144 | 1.035781 +/- 0.095251 |
| E(TQ ₁) | 4,798709172 | 5.039429 +/- 1.528223 |
| E(TQ ₂) | 0,510800481 | 0.492448 +/- 0.047513 |
| E(TQ ₃) | 1,27843378 | 1.429423 +/- 0.181819 |
| P _{bypass} | 0,307710371 | 0.305489 +/- 0.004120 |
| E(T _{s,tot}) | 104,6740257 | 104.807374 +/- 1.085204 |

17

17

Fascia 08:00 – 19:00

| Statistica | Risultato Analitico | Risultato Sperimentale ($\alpha=0.05$) |
|------------------------|---------------------|--|
| E(TQ ₀) | 5,567558552 | 5.320638 +/- 0.652626 |
| E(TQ ₁) | 3,6597019 | 4.005438 +/- 1.459421 |
| E(TQ ₂) | 1,10457884 | 1.066030 +/- 0.161535 |
| E(TQ ₃) | 1,043555698 | 1.030215 +/- 0.159809 |
| P _{bypass} | 0,276229453 | 0.273317 +/- 0.005148 |
| E(T _{s,tot}) | 109,5396437 | 109.336112 +/- 1.306189 |

18

18

Fascia 19:00 – 00:00

| Statistica | Risultato Analitico | Risultato Sperimentale ($\alpha=0.05$) |
|----------------|---------------------|--|
| $E(TQ_0)$ | 0,540070613 | 0.536954 +/- 0.052692 |
| $E(TQ_1)$ | 5,139317634 | 5.511025 +/- 1.160988 |
| $E(TQ_2)$ | 0,374300989 | 0.361841 +/- 0.043293 |
| $E(TQ_3)$ | 0,240801791 | 0.251061 +/- 0.039264 |
| P_{bypass} | 0,256430139 | 0.254103 +/- 0.003774 |
| $E(T_{s,tot})$ | 105,035357 | 105.744819 +/- 0.889858 |

19

19

Simulazione ad Orizzonte Infinito

- Il sistema viene simulato per un tempo di simulazione molto superiore al tempo reale.
 - Si assume il sistema statico.
 - Si analizzano le singole fasce orarie, con tasso di arrivo e configurazione costanti.
- Per ricavare la media campionaria del tempo di risposta si utilizza il metodo delle **Batch Means**:
 - Run di simulazione suddivisa in $k=128$ *batches* di *dimensione* $b=1024$ *job*.
 - Si calcolano le statistiche per ogni batch.
 - Si genera un campione di k *batches* indipendenti, sul quale è possibile valutare la media campionaria.
- Valori di b e k scelti con il metodo proposto da *Banks, Carson, Nelson, and Nicol*
 - Fissato $k=128$
 - Si è cercato il valore di b per cui l'autocorrelazione del campione prodotto è minore di 0.2 per lag $j=1$

20

20

Simulazione ad Orizzonte Infinito (2)

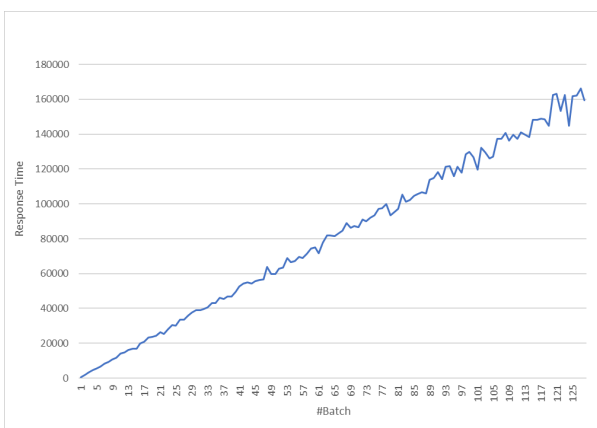
- La simulazione ad orizzonte infinito ha 3 obiettivi principali:
 1. Analisi dei tempi di risposta a steady state
 2. Analisi della probabilità P_{bypass}
 - Rapporto tra il numero di passeggeri che bypassano il controllo ed il numero totale di arrivi nel blocco 4
 3. Ricerca della configurazione ottima per ogni fascia oraria
 - Rispetto dei due QoS.
 - Minimizzazione dei costi.
- Analizziamo ora i risultati e gli esperimenti effettuati nelle singole fasce orarie

21

21

Fascia 05:00 – 08:00

Configurazione {3,20,1,5,15}



- Vediamo che con questa configurazione non raggiungiamo mai lo stato stazionario.
- Il sistema non è stabile ed aumenta all'infinito il tempo di risposta.

| | |
|--|----------|
| Mean Utilization for block TEMPERATURE_CTRL..... | 1.000000 |
| Mean Utilization for block TICKET_BUY..... | 0.445988 |
| Mean Utilization for block SEASON_GATE..... | 0.515863 |
| Mean Utilization for block TICKET_GATE..... | 0.753230 |
| Mean Utilization for block GREEN_PASS..... | 0.399698 |
| Loss Percentage for block GREEN_PASS..... | 0.000794 |
| TOTAL SLOT 0 CONFIGURATION COST.....3694.26€ | |

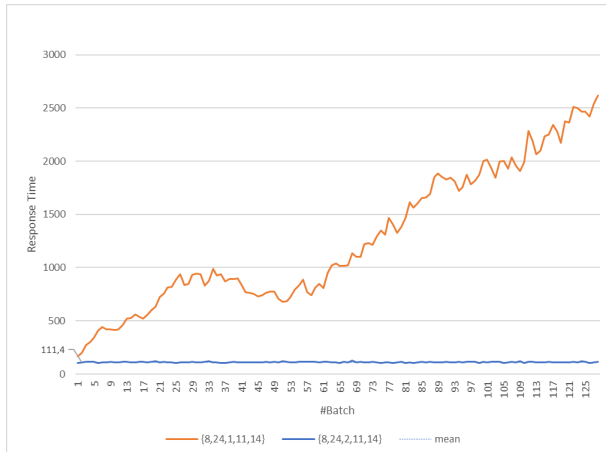
- Il blocco 0 ha utilizzazione pari a 1 per il controllo temperatura
- Tutti i job in ingresso non vengono smaltiti, causando accodamenti già nel primo blocco del sistema.

22

22

Fascia 05:00 – 08:00

Configurazione {8,24,1,11,14} vs Configurazione {8,24,2,11,14}



- Il **primo sistema** non è stabile.
- Per la verifica degli abbonamenti si ha un'utilizzazione che tende a 1

```
Mean Utilization for block TEMPERATURE_CTRL.....0.756365
Mean Utilization for block TICKET_BUY.....0.740677
Mean Utilization for block SEASON_GATE.....0.998506
Mean Utilization for block TICKET_GATE.....0.685108
Mean Utilization for block GREEN_PASS.....0.753161
Loss Percentage for block GREEN_PASS.....0.115769
TOTAL SLOT 0 CONFIGURATION COST.....5153.62€
```

- Aggiungiamo un server** nel gate abbonamenti;
 - Vediamo che l'utilizzazione passa da 0.998506 a 0.515732.
 - Il costo cresce solo sensibilmente
 - Il tempo di risposta medio è di **111.44 +/- 0.70**.
 - La probabilità di bypass è di **0,119791**

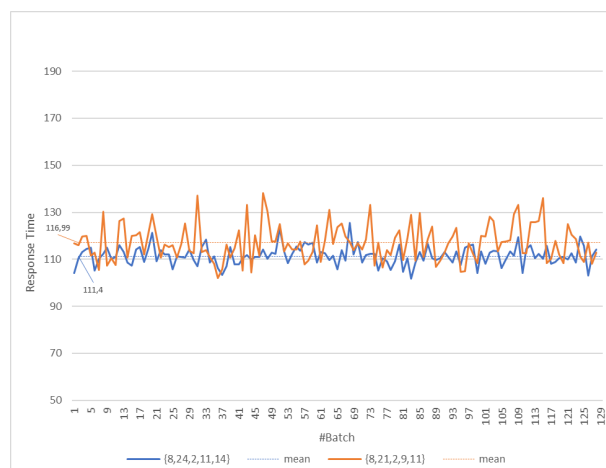
```
Mean Utilization for block TEMPERATURE_CTRL.....0.753277
Mean Utilization for block TICKET_BUY.....0.738213
Mean Utilization for block SEASON_GATE.....0.515732
Mean Utilization for block TICKET_GATE.....0.681536
Mean Utilization for block GREEN_PASS.....0.756859
Loss Percentage for block GREEN_PASS.....0.119791
TOTAL SLOT 0 CONFIGURATION COST.....5161.18€
```

23

23

Fascia 05:00 – 08:00

Configurazione {8,24,2,11,14} vs Configurazione {8,21,2,9,11}



- La **configurazione individuata in precedenza** rispetta largamente i due QoS
 - Analizzando le utilizzazioni vediamo che sono tutte inferiori ad 1.

```
Mean Utilization for block TEMPERATURE_CTRL.....0.753277
Mean Utilization for block TICKET_BUY.....0.738213
Mean Utilization for block SEASON_GATE.....0.515732
Mean Utilization for block TICKET_GATE.....0.681536
Mean Utilization for block GREEN_PASS.....0.756859
Loss Percentage for block GREEN_PASS.....0.119791
TOTAL SLOT 0 CONFIGURATION COST.....5161.18€
```

- Passiamo ad una **seconda configurazione** rimuovendo 8 server
 - Il costo scende notevolmente da 5161.18€ a 4286.19€
 - $E(T_{s,tot}) = 116.99 \pm 1.35 < 120 \text{ sec}$
 - $P_{bypass} = 0.248802 < 0,30$

```
Mean Utilization for block TEMPERATURE_CTRL.....0.756277
Mean Utilization for block TICKET_BUY.....0.847541
Mean Utilization for block SEASON_GATE.....0.518329
Mean Utilization for block TICKET_GATE.....0.831935
Mean Utilization for block GREEN_PASS.....0.820030
Loss Percentage for block GREEN_PASS.....0.248802
TOTAL SLOT 0 CONFIGURATION COST.....4286.19€
```

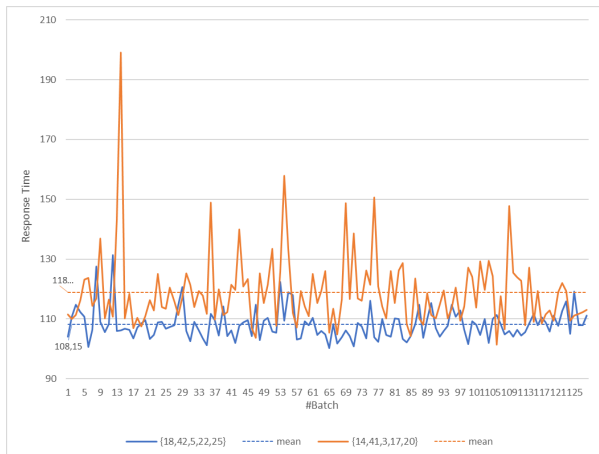
- Provando a rimuovere ulteriori server da questa configurazione si viola il QoS sul tempo di risposta
 - {8,21,2,9,11} è la configurazione ottima per la 1ª fascia oraria.

24

24

Fascia 08:00 – 19:00

Configurazione {18,42,5,22,25} vs Configurazione {14,41,3,17,20}



- La **prima configurazione** rispetta ampiamente i QoS
 - $E(T_{s,tot}) = 108.15 \pm 0.89 < 120$ sec
 - $P_{bypass} = 0.139192 < 0,30$

| | |
|--|----------|
| Mean Utilization for block TEMPERATURE_CTRL..... | 0.692108 |
| Mean Utilization for block TICKET_BUY..... | 0.868167 |
| Mean Utilization for block SEASON_GATE..... | 0.423539 |
| Mean Utilization for block TICKET_GATE..... | 0.696386 |
| Mean Utilization for block GREEN_PASS..... | 0.850676 |
| Loss Percentage for block GREEN_PASS..... | 0.139192 |
| TOTAL SLOT 0 CONFIGURATION COST.....4816.44€ | |

- Passiamo alla **seconda configurazione** rimuovendo 17 server
 - Il costo scende notevolmente da 4816.44€ a 3899.12€
 - $E(T_{s,tot}) = 118.94 \pm 1.02 < 120$ sec
 - $P_{bypass} = 0.274171 < 0,30$

| | |
|--|----------|
| Mean Utilization for block TEMPERATURE_CTRL..... | 0.888364 |
| Mean Utilization for block TICKET_BUY..... | 0.890921 |
| Mean Utilization for block SEASON_GATE..... | 0.695427 |
| Mean Utilization for block TICKET_GATE..... | 0.903949 |
| Mean Utilization for block GREEN_PASS..... | 0.850676 |
| Loss Percentage for block GREEN_PASS..... | 0.274171 |
| TOTAL SLOT 0 CONFIGURATION COST.....3899.12€ | |

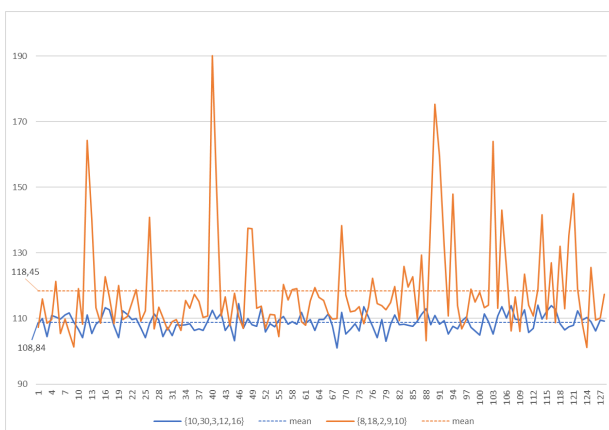
- Provando a rimuovere ulteriori server da questa configurazione si viola il QoS sul tempo di risposta
 - {14,41,3,17,20} è la configurazione ottima per la 2ª fascia oraria.

25

25

Fascia 19:00 – 00:00

Configurazione {10,30,3,12,16} vs Configurazione {8,18,2,9,10}



- La **prima configurazione** rispetta ampiamente i QoS
 - $E(T_{s,tot}) = 108.84 \pm 0.46 < 120$ sec
 - $P_{bypass} = 0.038549 < 0,30$

| | |
|--|----------|
| Mean Utilization for block TEMPERATURE_CTRL..... | 0.545523 |
| Mean Utilization for block TICKET_BUY..... | 0.531467 |
| Mean Utilization for block SEASON_GATE..... | 0.310815 |
| Mean Utilization for block TICKET_GATE..... | 0.560211 |
| Mean Utilization for block GREEN_PASS..... | 0.651201 |
| Loss Percentage for block GREEN_PASS..... | 0.038549 |
| TOTAL SLOT 0 CONFIGURATION COST.....6554.25€ | |

- Passiamo alla **seconda configurazione** rimuovendo 24 server
 - Il costo scende notevolmente da 6554.25€ a 4505.36€
 - $E(T_{s,tot}) = 118.45 \pm 1.33 < 120$ sec
 - $P_{bypass} = 0.254454 < 0,30$

| | |
|--|----------|
| Mean Utilization for block TEMPERATURE_CTRL..... | 0.680598 |
| Mean Utilization for block TICKET_BUY..... | 0.879193 |
| Mean Utilization for block SEASON_GATE..... | 0.465129 |
| Mean Utilization for block TICKET_GATE..... | 0.750972 |
| Mean Utilization for block GREEN_PASS..... | 0.808505 |
| Loss Percentage for block GREEN_PASS..... | 0.254454 |
| TOTAL SLOT 0 CONFIGURATION COST.....4505.36€ | |

- Provando a rimuovere ulteriori server da questa configurazione si viola il QoS sul tempo di risposta
 - {8,18,2,9,10} è la configurazione ottima per la 3ª fascia oraria.

26

26

Simulazione ad Orizzonte Finito

- Nella simulazione ad orizzonte finito viene effettuata una simulazione del sistema lungo le 19 ore lavorative.
 - Sistema assunto dinamico.
 - Viene considerata la variazione del flusso nelle diverse fasce orarie e la riorganizzazione del numero di serventi attivi.
 - Il sistema è IDLE sia all'inizio che alla fine della simulazione.
 - Si ottengono le statistiche di sistema transienti.
- Si utilizza il metodo delle **replicazioni**.
 - Il procedimento di misurazione è stato replicato 128 volte
 - Si è ottenuto un ensemble di dimensione pari a 128.
 - Ogni replica viene utilizzata per misurare le stesse statistiche, e fornisce quindi un punto del nostro campione.

27

27

Analisi ad Orizzonte Finito

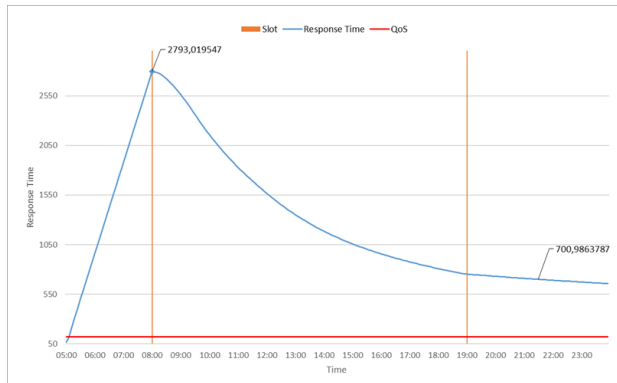
- Per analizzare le statistiche ottenute nel continuo, per ogni ripetizione, effettuiamo ogni 5 minuti una misurazione del tempo di risposta.
 - Misurazione agli istanti 05:00, 05:05, 05:10 ...
 - Per ogni istante si avranno 128 misurazioni del tempo di risposta
 - Calcolando la media delle 128 misurazioni si ottiene il valore del tempo di risposta per quello specifico orario.
- Nella nostra analisi, la simulazione ad orizzonte finito ha 3 obiettivi principali:
 1. Analizzare il comportamento del sistema al cambio fascia, verificando che le configurazioni individuate ad orizzonte infinito siano valide effettivamente anche nel sistema reale.
 2. Analizzare i costi reali sull'arco dell'intera giornata.
 3. Testare diverse configurazioni per valutare il comportamento del sistema nel transiente ed in particolare al cambio di fascia oraria.

28

28

Scenario 1 – Instabilità nella Prima Fascia

Configurazione {3,20,1,5,15}, {18,42,5,22,25}, {10,30,3,12,16}



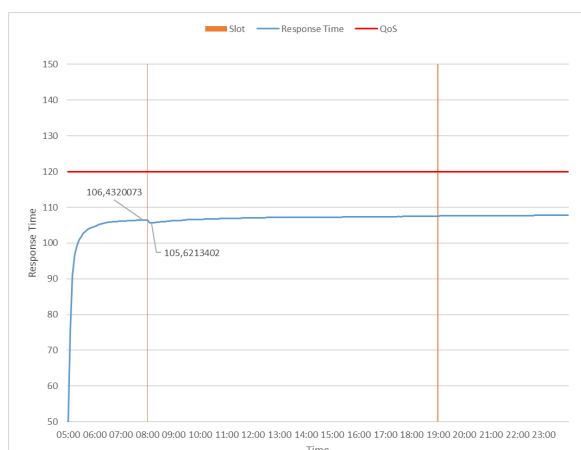
- Prima fascia sottodimensionata, in cui il numero di server non mantiene il sistema stabile
 - Il tempo di risposta medio aumenta fino ad un massimo di 2793,019547 sec
- Nella seconda e terza fascia vengono allocate più risorse del necessario, quindi permettono di smaltire il traffico accumulato in precedenza.
 - Vengono attivati molti server
 - Il sistema smaltisce velocemente i job rimasti in coda dalla prima fascia, per poi avere una decrescita del tempo di risposta medio
- Al termine della giornata lavorativa il tempo medio di risposta resta comunque di molto superiore al limite di 120 secondi dell'obiettivo.
- Costo Totale: 1662.01€

29

29

Scenario 2 – Over Provisioning

Configurazione {10,30,3,20,15}, {18,42,5,22,25}, {10,30,3,12,16}



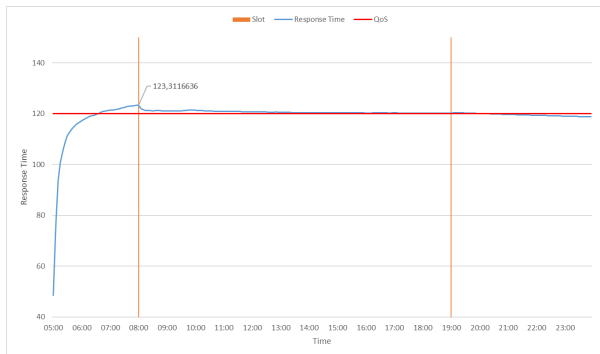
- Abbiamo un numero di server sovradimensionato rispetto alla configurazione ottima.
 - Il tempo di risposta medio è sempre molto inferiore al QoS.
- Al cambio di fascia oraria (08:00) si ha un leggero decremento del tempo di risposta medio.
 - Attivati 34 server online
 - Vengono smaltiti istantaneamente 34 job dalle code dei blocchi.
- Tempi di risposta nelle tre fasce orarie:
 - 106.432007 +/- 1.140318
 - 107.457562 +/- 0.161081
 - 107.755702 +/- 0.139401
- Probabilità di bypass nelle tre fasce orarie:
 - 0.081941 +/- 0.001462
 - 0.130731 +/- 0.005125
 - 0.116898 +/- 0.007161
- Costo Totale elevato di 1786.75€

30

30

Scenario 3 – Under Provisioning

Configurazione {9,19,3,11,15}, {14,40,3,17,20}, {10,30,3,12,16}



- Configurazione in cui allochiamo risorse non sufficienti per rispettare il QoS del tempo di risposta
 - Rimuoviamo 2 server dal blocco TICKET_BUY della prima fascia rispetto all'ottimo
- Per il tempo di risposta superiamo leggermente il QoS di 120 sec nella prima e seconda fascia,
 - Picco intorno alle 08:00 di 123,3116 sec.
- I 2 server rimossi dal blocco 1 portano l'utilizzazione a:
 - 0,927781 nella fascia 0
 - 0,901424 nella fascia 1.
 - Il blocco per l'acquisto dei biglietti è il collo di bottiglia della rete

31

31

Scenario Ottimo

Configurazione {8,21,2,9,11}, {14,41,3,17,20}, {8,18,2,9,10}



- Analizziamo il comportamento nel transiente della configurazione ottima, verificando che:
 - il costo sulle 19 ore sia minimo
 - rispettiamo i due QoS.
- Tempi di risposta nelle tre fasce orarie:
 - 115.528435 +/- 0.814483
 - 117.856171 +/- 0.364914
 - 117.976557 +/- 0.327956
- Probabilità di bypass nelle tre fasce orarie:
 - 0.247849 +/- 0.002984
 - 0.272511 +/- 0.006007
 - 0.271137 +/- 0.008372
- Costo Totale di **1347.26€**
 - Molto inferiore a 1786.75€ visto nella configurazione di over-provisioning.

32

32

Modello Migliorato

- Come algoritmo migliorativo si propone una soluzione per **bilanciare** e suddividere in modo equo il traffico tra i vari server.
 - Il modello base causa accodamenti massivi e poco organizzati presso la singola coda di ogni blocco.
 - Soluzione sicuramente efficace ma poco realistica nei confronti del sistema in esame.
- Molte stazioni ferroviarie suddividono le code per ogni singolo sportello
 - Questioni di ordine pubblico, evitare assembramenti



33

33

Modello Migliorativo

- Nel **modello migliorativo** i blocchi dei singoli servizi vengono modellati come **K code M/M/1**, ad eccezione del servizio relativo al controllo Green Pass che conserverà la sua implementazione **M/M/K/k**.
 - Questa soluzione non è volta a migliorare i tempi di risposta del sistema.
 - Si vuole bilanciare il carico sulle singole code, garantendo una utilizzazione uniforme tra i server dello stesso blocco.
- E' stato introdotto un meccanismo di **load balancing** che verrà attuato ad ogni cambio di fascia oraria
 - Quando si fa *scale-in/scale-out* del numero di server si bilanciano i passeggeri tra le code.

34

34

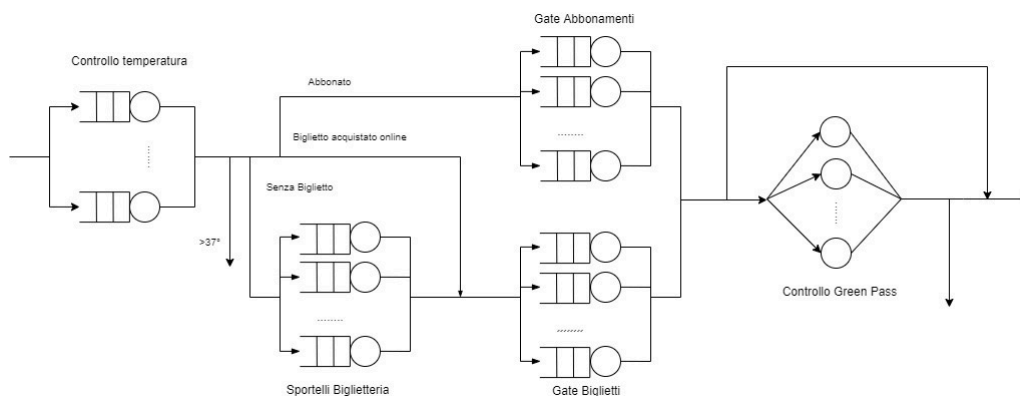
Obiettivo

- L'obiettivo di questa analisi è dunque quello di trovare la *nuova configurazione ottima* che permetta di rispettare i due QoS già descritti in precedenza.
- **QoS:**
 - Tempo di risposta complessivo del sistema inferiore ai 2 minuti
 - Verificare il Green Pass per almeno il 70% dei passeggeri sui binari.
- Anche in questo caso si effettua uno studio sia dello *stato stazionario* che del *transiente*.

35

35

Modello Concettuale



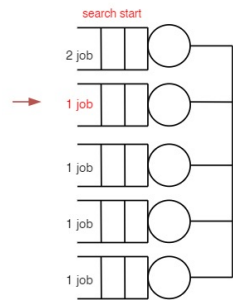
36

36

Improvement del Modello Computazionale

- Selezione del servente di destinazione

- Il server destinazione non è randomico, ma è quello con meno job in coda.
- Tramite la distribuzione Equilikely() si sceglie un server casuale dal quale iniziare la ricerca del server destinazione.
- Si ha una distribuzione equa del traffico in arrivo su ogni blocco.
 - Se la ricerca partisse sempre dallo stesso server, a parità di numero di job in coda verrebbe sempre scelto quel server, che sarebbe quindi penalizzato.



- Load Balancing

- Si calcola la lunghezza finale delle code bilanciate
 - $\frac{\#totalJobInCoda}{\#totalServers} = finalQueueLength$
- Su ogni singolo server si sposta l'ultimo job in coda su uno dei nuovi server appena attivati.
- Si itera il processo su tutti i server finché ogni coda avrà finalQueueLength job in coda.

37

37

Verifica

- La verifica del modello migliorativo è stata effettuata sui singoli server del sistema.
- Si verifica la correttezza delle seguenti condizioni:
 - A. Il tempo di risposta (wait) per un server è sempre uguale alla somma del tempo di attesa (delay) e del tempo di servizio (service).
 - B. Il numero di arrivi sul server corrisponde sempre alla somma tra il numero di job in coda e i job completati
 - C. Il numero di job in coda risulta bilanciato per ogni server dello stesso blocco
- Vengono riportati i risultati ottenuti, dopo il cambio di fascia oraria delle ore 19:00, utilizzando una configurazione di *under-provisioning*.

38

38

| | | |
|---|---|---|
| TEMPERATURE_CTRL server 0 Arrivals = 5051 Completions..... = 3492 Job in Queue = 1558 Server status..... = BUSY ONLINE Average wait = 6601.744842 Average delay = 6586.768759 Average service... = 14.976083 | TEMPERATURE_CTRL server 1 Arrivals = 4829 Completions..... = 3272 Job in Queue = 1556 Server status..... = BUSY ONLINE Average wait = 6905.388910 Average delay = 6889.952976 Average service... = 15.435934 | TEMPERATURE_CTRL server 2 Arrivals = 4866 Completions..... = 3307 Job in Queue = 1558 Server status..... = BUSY ONLINE Average wait = 6852.777123 Average delay = 6837.419576 Average service... = 15.357548 |
|---|---|---|

- Condizione A (es. server 0)
 - $6601.744842 = 6586.768759 + 14.976083 \text{ sec}$
- Condizione B (es. server 1)
 - $4829 = 3272 + 1556 \text{ job (+ 1 job in servizio in quanto il server è BUSY)}.$
- Condizione C
 - Tutti i server hanno circa lo stesso numero di job in coda (1558,1556,1558).

39

39

Validazione

- La validazione del sistema è stata effettuata verificando:
 1. Leggi di Little
 - $E(N_S) = \lambda E(T_S)$
 - $E(N_Q) = \lambda E(T_Q)$
 2. Funzionamento del meccanismo di load balancing
 - Osserviamo se effettivamente le utilizzazioni sono simili tra tutti i server dello stesso blocco

40

40

Validazione (2)

| | | |
|---|---|---|
| TEMPERATURE_CTRL server 0 Arrivals = 5051 Completions..... = 3492 Job in Queue = 1558 Server status..... = BUSY ONLINE Average wait = 6601.744842 Average delay = 6586.768759 Average service... = 14.976083 Average # queue .. = 660.111392 Average # node ... = 661.611173 Utilization = 0.999781 | TEMPERATURE_CTRL server 1 Arrivals = 4829 Completions..... = 3272 Job in Queue = 1556 Server status..... = BUSY ONLINE Average wait = 6905.388910 Average delay = 6889.952976 Average service... = 15.435934 Average # queue .. = 660.147383 Average # node ... = 661.547281 Utilization = 0.999899 | TEMPERATURE_CTRL server 2 Arrivals = 4866 Completions..... = 3307 Job in Queue = 1558 Server status..... = BUSY ONLINE Average wait = 6852.777123 Average delay = 6837.419576 Average service... = 15.357548 Average # queue .. = 660.136478 Average # node ... = 661.618900 Utilization = 0.999992 |
|---|---|---|

- Osservando ad esempio il **server #2**, con 4866 arrivi abbiamo:
 - $\lambda = 4866/50400 = 0.0965476$ arrivi/s
 - $E(N_Q) = 660.136478 = 6837.419576 * 0.0965476$ job
 - $E(N_S) = 661.133500 = 6852.777123 * 0.0965476$ job
- Le utilizzazioni risultano bilanciate (0.999781, 0.999899, 0.999992). Tuttavia, essendo il sistema saturo, analizziamo uno scenario più significativo.

41

41

Validazione (3)

| | | |
|--|--|--|
| TICKET_GATE server 3 Arrivals = 1756 Completions..... = 1756 Job in Queue = 0 Server status..... = IDLE ONLINE ... Utilization = 0.857013 | TICKET_GATE server 4 Arrivals = 1807 Completions..... = 1807 Job in Queue = 0 Server status..... = IDLE ONLINE ... Utilization = 0.859608 | TICKET_GATE server 5 Arrivals = 1730 Completions..... = 1728 Job in Queue = 1 Server status..... = BUSY ONLINE ... Utilization = 0.861908 |
|--|--|--|

- Osservando il blocco TICKET_GATE, tutti i server hanno la stessa utilizzazione di circa 0.86
 - 0.857013
 - 0.859608
 - 0.861908

42

42

Analisi ad Orizzonte Infinito

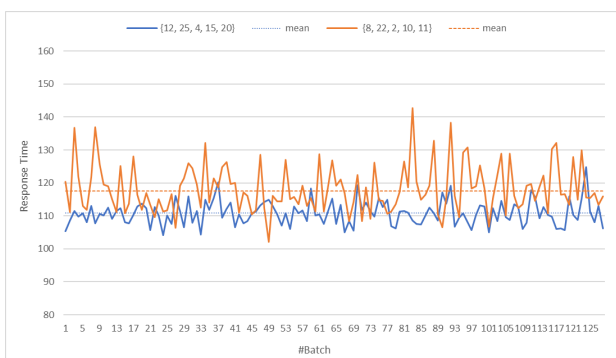
- Come effettuato nel precedente modello, tramite la simulazione ad orizzonte infinito si cerca di individuare la configurazione ottima, verificando che i tempi di risposta del modello siano conformi a quelli analitici.
- Per ogni configurazione testata si valuta quindi se rispetta i QoS stabiliti, cercando l'ottimo che minimizzi il costo totale.
- Per ricavare la media campionaria del tempo di risposta si utilizza il metodo delle Batch Means,
 - $K = 128$ batches
 - $B = 1024$, individuato attraverso il metodo proposto da *Banks, Carson, Nelson and Nicol*.

43

43

Fascia 05:00 – 08:00

Configurazione {12, 25, 4, 15, 20} vs Configurazione {8, 22, 2, 10, 11}



- La prima configurazione rispetta ampiamente il QoS sulla percentuale di GreenPass controllati:

- $E(T_{s,tot})$: 110.08 \pm 0.63 sec
- P_{bypass} : 0.009403 < 0.30

```
Mean Utilization for block TEMPERATURE_CTRL.....0.505720
Mean Utilization for block TICKET_BUY.....0.697064
Mean Utilization for block SEASON_GATE.....0.518329
Mean Utilization for block TICKET_GATE.....0.258470
Mean Utilization for block GREEN_PASS.....0.500461
Loss Percentage for block GREEN_PASS.....0.009403
TOTAL SLOT 0 CONFIGURATION COST.....6962.26€
```

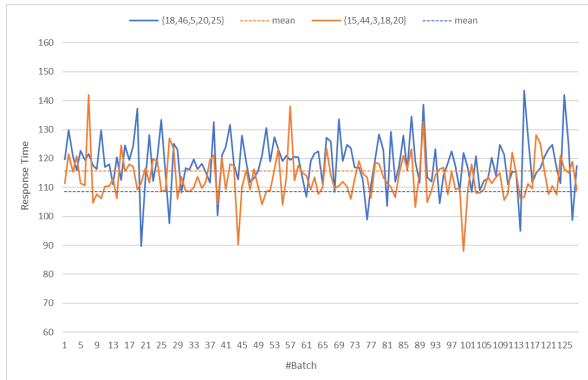
- Il basso tasso di utilizzo dei server indica il sovradimensionamento del sistema, che giustifica il costo spropositato di gestione.
- Riducendo la disponibilità dei server otteniamo la configurazione ottima per questa fascia, {8, 22, 2, 10, 11}, che permette di rispettare i QoS, mantenendo un costo contenuto di 4508.39€.
- 118.01 \pm 1.70 sec
- P_{bypass} = 0.233678 (<30)

44

44

Fascia 08:00 – 19:00

Configurazione {18, 46, 5, 20, 25} vs Configurazione {15, 44, 3, 18, 20}



- Con la configurazione riportata in blu nel grafico {18,46,5,20,25}, otteniamo:

- $E(T_{s,tot})$: 108.61 \pm 0.8 sec
- Costo: 4675.28€

| | |
|--|----------|
| Mean Utilization for block TEMPERATURE_CTRL..... | 0.684880 |
| Mean Utilization for block TICKET_BUY..... | 0.780093 |
| Mean Utilization for block SEASON_GATE..... | 0.417564 |
| Mean Utilization for block TICKET_GATE..... | 0.762185 |
| Mean Utilization for block GREEN_PASS..... | 0.865366 |
| Loss Percentage for block GREEN_PASS..... | 0.116704 |
| TOTAL SLOT 1 CONFIGURATION COST.....4675.28€ | |

- Analizzando le utilizzazioni otteniamo una configurazione in grado di minimizzare i costi, rispettando comunque i QoS previsti:

- $E(T_{s,tot})$: 118.12 \pm 1.71 sec
- P_{bypass} : 0.23228 (<30)

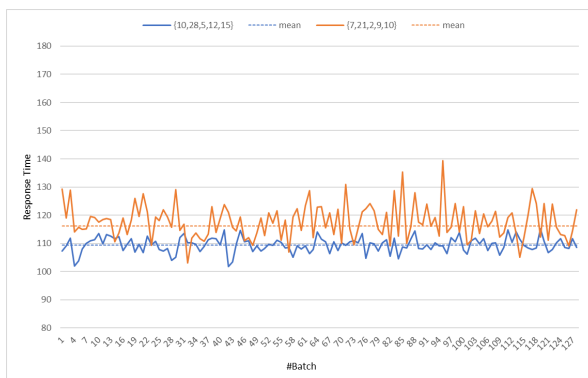
| | |
|--|----------|
| Mean Utilization for block TEMPERATURE_CTRL..... | 0.878861 |
| Mean Utilization for block TICKET_BUY..... | 0.831733 |
| Mean Utilization for block SEASON_GATE..... | 0.705111 |
| Mean Utilization for block TICKET_GATE..... | 0.896536 |
| Mean Utilization for block GREEN_PASS..... | 0.936785 |
| Loss Percentage for block GREEN_PASS..... | 0.232280 |
| TOTAL SLOT 1 CONFIGURATION COST.....3936.63 | |

45

45

Fascia 19:00 – 00:00

Configurazione {10, 28, 5, 12, 15} vs Configurazione {7, 21, 2, 9, 10}



- Sovradimensionando la configurazione otteniamo:

- $E(T_{s,tot})$: 109.47 \pm 0.46 sec
- P_{bypass} : 0.051528 (<<30)

| | |
|--|----------|
| Mean Utilization for block TEMPERATURE_CTRL..... | 0.547141 |
| Mean Utilization for block TICKET_BUY..... | 0.568179 |
| Mean Utilization for block SEASON_GATE..... | 0.183530 |
| Mean Utilization for block TICKET_GATE..... | 0.563377 |
| Mean Utilization for block GREEN_PASS..... | 0.685990 |
| Loss Percentage for block GREEN_PASS..... | 0.051528 |
| TOTAL SLOT 2 CONFIGURATION COST.....6383.66€ | |

- Analizzando in particolare l'utilizzazione media del blocco SEASON_GATE (0.18353) possiamo disattivare 3 server ad esso dedicati. Considerazioni simili su altri blocchi ci consente di giungere a tali risultati:

- $E(T_{s,tot})$: 119.37 \pm 1.18 sec
- P_{bypass} : 0.235890 (<30)

| | |
|--|----------|
| Mean Utilization for block TEMPERATURE_CTRL..... | 0.771080 |
| Mean Utilization for block TICKET_BUY..... | 0.795777 |
| Mean Utilization for block SEASON_GATE..... | 0.462275 |
| Mean Utilization for block TICKET_GATE..... | 0.747286 |
| Mean Utilization for block GREEN_PASS..... | 0.827161 |
| Loss Percentage for block GREEN_PASS..... | 0.235890 |
| TOTAL SLOT 2 CONFIGURATION COST.....4549.66€ | |

46

46

Analisi ad Orizzonte Finito

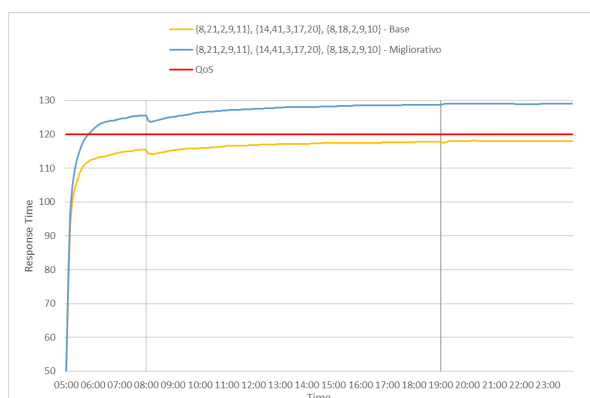
- Seguendo lo stesso schema di simulazione e raccolta dei risultati utilizzato nell'analisi del modello base del sistema, consideriamo due scenari di simulazione *finite-horizon*:
 - Scenario 1: utilizziamo la configurazione ottima trovata per il sistema base, nel modello migliorativo.
 - Scenario 2: analizziamo l'efficacia della configurazione ottima individuata per il sistema migliorativo
 - {8,22,2,10,11}, {15,44,3,18,20}, {7,21,2,9,10}
- Infine, a parità di configurazione server utilizzata, confrontiamo le utilizzazioni che i singoli server presentano nelle due diverse implementazioni del sistema.

47

47

Modello base vs Modello migliorativo

Configurazione {8,21,2,9,11}, {14,41,3,17,20}, {8,18,2,9,10}



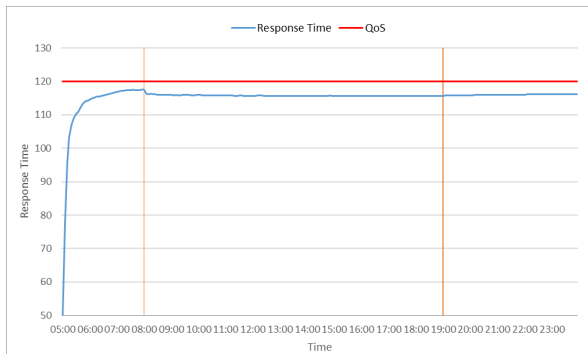
- Confrontiamo i tempi di risposta della configurazione ottima sia nel modello base che nel modello migliorativo
- Utilizzando la configurazione ottima per il modello base, sul modello migliorativo vediamo che i tempi di risposta medi durante la giornata migliorativa subiscono un incremento.
 - Il sistema non rispetta il QoS stabilito di 120sec.
 - Risultato atteso dai risultati teorici.
- Tale analisi ci conferma la necessità di individuare una nuova configurazione che sia ottimale per il sistema migliorativo.

48

48

Scenario ottimo

Configurazione {8,22,2,10,11}, {15,44,3,18,20}, {7,21,2,9,10}



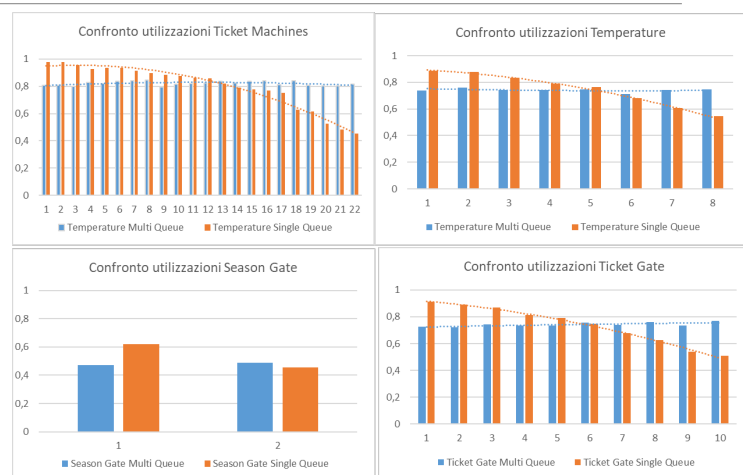
- I tempi di risposta medi ottenuti nelle singole fasce orarie sono rispettivamente pari a:
 - 117.56 +/- 0.71 sec
 - 115.59 +/- 0.19 sec
 - 116.20 +/- 0.18 sec
- Il QoS relativo alla percentuale di passeggeri che vengono sottoposti al controllo Green Pass viene rispettato in quanto otteniamo valori inferiori al 30%:
 - Fascia 05:00 - 08:00 = 0.229954 +/- 0.001967
 - Fascia 08:00 - 19:00 = 0.259645 +/- 0.004582
 - Fascia 19:00 - 00:00 = 0.260081 +/- 0.003742
- Costo totale giornaliero: 1527.39€
 - Costo giornaliero modello base: 1347.26€

49

49

Analisi e Confronto utilizzazioni

- Il confronto delle utilizzazioni è stato effettuato tramite l'analisi ad orizzonte finito di una singola fascia lavorativa utilizzando sia il **sistema originale**, sia il **modello migliorativo**.
- Nel sistema originale, la presenza di una singola coda per ogni blocco giochi a discapito dei primi serventi dei vari blocchi che vengono sottoposti ad un carico maggiore di lavoro.



50

50

Conclusioni

- Per il sistema originale, la configurazione ottima per ogni fascia in grado di minimizzare i costi di gestione e al contempo di rispettare i QoS risulta essere:

| Configurazione/fascia | $E(T_s)$ | P_{Bypass} |
|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|
| {8,21,2,9,11} | 115.528435 +/- 0.814483 sec | 0.247849 +/- 0.002984 |
| {14,41,3,17,20} | 117.856171 +/- 0.364914 sec | 0.272511 +/- 0.006007 |
| {8,18,2,9,10} | 117.976557 +/- 0.327956 sec | 0.271137 +/- 0.008372 |

- Costo di gestione giornaliero: **1347.26€**

51

51

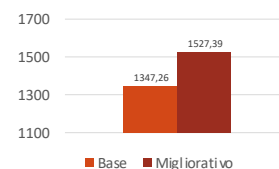
Conclusioni

- Per il sistema migliorativo, la configurazione ottima risulta essere:

| Configurazione/fascia | $E(T_s)$ | P_{Bypass} |
|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|
| {8,22,2,10,11} | 117.567176 +/- 0.718870 sec | 0.229954 +/- 0.001967 |
| {15,44,3,18,20} | 115.590476 +/- 0.198434 sec | 0.259645 +/- 0.004582 |
| {7,21,2,9,10} | 116.205546 +/- 0.180245 sec | 0.260081 +/- 0.003742 |

- Per poter rispettare i QoS, questa configurazione richiede 9 server aggiuntivi rispetto alla configurazione del sistema base.

- Ciò porta ad un innalzamento del costo giornaliero di gestione: 1527.39€



52

52

Conclusioni

- Il modello migliorativo sperimenta un incremento dei tempi di risposta del sistema
 - Una volta selezionata la coda, il job non può essere migrato su un altro servente, anche se quest'ultimo diventa IDLE
 - Le code vengono bilanciate solamente al cambio di fascia oraria
- Modelli alternativi di miglioramenti considerati
 - Load balancing costante
 - Non realistico: è poco pratico pensare di poter spostare ad ogni nuovo arrivo un numero considerevole di passeggeri tra le diverse code
 - M/M/1 con capacità aggregata $m * \mu$
 - Impossibile pensare ad un unico servente dai tempi di servizio minimali
 - ES: tornello, implica un certo tempo fisico di attraversamento
 - ES: biglietteria self service, migliorabile il tempo per la stampa di un biglietto, ma non il tempo necessario ad un utente per inserire i suoi dati
 - Priority-based
 - In una stazione difficilmente sono previste classi di utenti differenti e rispettive agevolazioni nei blocchi considerati.

53

53

Grazie per l'attenzione

DANILO DELL'ORCO
MICHELE SALVATORI

54

54