

Progetto *Performance Modeling of Computer  
Systems and Networks*  
*a.a: 2022/2023*

Luca Mastrobattista  
0292461

# Introduzione

Modello concettuale

Modello delle specifiche

Modello computazionale

Analisi dei costi e dei guadagni

Altre statistiche transienti

Analisi statistiche stazionarie

Conclusioni e lezioni apprese

Si prende in esame il contesto di un locale che offre servizi di bar e pizzeria in un piccolo paese.

- ▶ si analizza la gestione delle richieste in un'intera giornata lavorativa, sia nei giorni settimanali che finesettimanali
- ▶ il locale è aperto dalle 7.00 alle 15.00 e dalle 18.00 alle 2.00

- ▶ Rispettare dei servizi di qualità:
  - Limitare i tempi di risposta per le richieste al bar a 3 minuti
  - Limitare i tempi di risposta per le richieste alla pizzeria a 10 minuti
- ▶ Massimizzare i guadagni cercando il numero di serventi di tipo B ottimale, considerando che ognuno di essi farà turni di 8 ore

Per raggiungere gli obiettivi è necessario identificare il numero minimo di server che garantisce il raggiungimento dei requisiti di qualità.

- Impostando  $m = 1$  il sistema non risulta stabile nella prima fascia oraria, il che porterebbe alla crescita incontrollata della coda. Questa configurazione non è quindi stata presa in esame.

Il sistema viene testato secondo l'approccio *Next-event*.

Introduzione

**Modello concettuale**

Modello delle specifiche

Modello computazionale

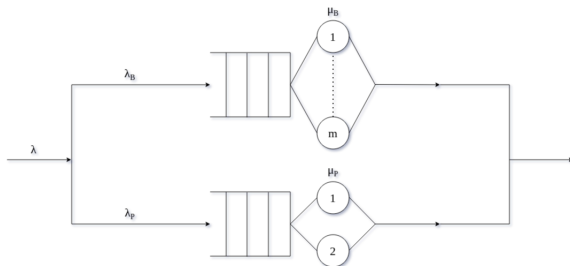
Analisi dei costi e dei guadagni

Altre statistiche transienti

Analisi statistiche stazionarie

Conclusioni e lezioni apprese

# Visualizzazione grafica



- La frequenza di arrivo  $\lambda$  si compone della frequenza di arrivo  $\lambda_B$  e  $\lambda_P$
- Ogni servente di tipo B rappresenta un barista assunto, che lavora con una frequenza  $\mu_B$
- Ogni servente di tipo P, invece, rappresenta una delle due richieste che il pizzaiolo è in grado di gestire contemporaneamente e lavora con frequenza  $\mu_P$

## ► Eventi

- Arrivi dall'esterno
- Completamenti

## ► Completamenti

- Numero di richieste di tipo B al centro
- Numero di richieste di tipo P al centro
- Stato del servente, per ogni servente di tipo B e P



Introduzione

Modello concettuale

**Modello delle specifiche**

Modello computazionale

Analisi dei costi e dei guadagni

Altre statistiche transienti

Analisi statistiche stazionarie

Conclusioni e lezioni apprese

## Distribuzione degli arrivi

- Distribuzione base: Gli arrivi sono assunti esponenziali, per offrire una flessibilità dei tempi di interarrivo che riflette accuratamente la casualità degli arrivi in un bar.
- Ritardo gaussiano: È stato poi introdotto un ritardo gaussiano per rendere il modello più realistico permettendo di tener conto di effetti come le ore punta.

Fascia oraria	$\lambda_{B,W}$	$\lambda_{P,W}$	$\lambda_{B,WE}$	$\lambda_{P,WE}$	$\mu_B$	$\sigma_B$	$\mu_P$	$\sigma_P$
07:00 → 11:00	30 j/h	✗	30 j/h	✗	8	1.2	✗	✗
11:00 → 15:00	12.5 j/h	✗	20 j/h	✗	13.5	2	✗	✗
18:00 → 19:00	25 j/h	✗	45 j/h	✗	18.5	0.4	✗	✗
19:00 → 23:00	12.5 j/h	10 j/h	22.5 j/h	30 j/h	22.5	2	20.5	1
23:00 → 02:00	10 j/h	✗	20 j/h	✗	24	0.9	✗	✗

I tempi di servizio si assumono esponenziali per entrambi i tipi di serventi.

- ▶ Servente di tipo B: Si assume che ogni servente sia in grado di completare una richiesta con il tempo medio di 2 minuti, durante i quali si dedica esclusivamente a quella richiesta.
- ▶ Servente di tipo P: Si assume che ogni pizza possa essere completamente preparata con un tempo medio di 3 minuti.

## ► Guadagni

- Per ogni richiesta di tipo B si assume un guadagno medio di 5,00 €
- Per ogni richiesta di tipo P si assume un guadagno medio di 10,00 €

## ► Costi

- Stipendio medio di un barista per 8 ore: 40,00 €
- Stipendio del pizzaiolo per giorno: 50,00 €
- Costo medio delle bollette: 2.750,00 € al mese
- Costo medio dell'affitto: 1.500,00 € al mese
- Costo medio per il rifornimento: 2.000,00 € al mese

Introduzione

Modello concettuale

Modello delle specifiche

**Modello computazionale**

Analisi dei costi e dei guadagni

Altre statistiche transienti

Analisi statistiche stazionarie

Conclusioni e lezioni apprese

# Descrizione generale del programma

Il simulatore, implementato in *Python*, segue l'approccio della *next-event simulation* ed è altamente configurabile in base alle esigenze, specificando opportuni flag a riga comando:

```
~/Scrivania/PMCSN/PMCSN-simulation (main*) » python simulation.py -h
usage: simulation.py [-h] [-cf FILEPATH] [-scf FILEPATH] [-fh] [-lh] [-cc OPTION VALUE] [-fb THRESHOLD] [-s SEED] [-ngf]
                    [-of FILE] [-wed] [-ns]

PMCSN project command line interface

options:
  -h, --help            show this help message and exit
  -cf FILEPATH, --configFile FILEPATH
                        specify a configuration file to load
  -scf FILEPATH, --storeConfigFile FILEPATH
                        specify an output file where to store config
  -fh, --finite_horizont
                        simulate a finite horizont case
  -lh, --infinite_horizont
                        simulate an infinite horizont case. Using this, gaussian factor is automatically disabled
  -cc OPTION VALUE, --change_config OPTION VALUE
                        specify configuration to change
  -fb THRESHOLD, --find_b_value THRESHOLD
                        find the value of b such that autocorrelation lag j=1 is <= THRESHOLD
  -s SEED, --seed SEED  use the given SEED as random seed. If SEED = 0 then the initial seed is to be supplied
                        interactively; if SEED < 0 then the initial seed is obtained from the system clock; if SEED > 0 >
                        0 then it is the initial seed (unless too large). default value is 0
  -ngf, --no_gaussian_factor
                        don't use the gaussian probability value to weight interarrival times
  -of FILE, --output_file FILE
                        save output in ./output/OUTPUTFILE.csv. The file format .csv is added if not already present
  -wed, --weekend_day   simulate a weekend day, with the proper system variables. Default this option is disabled, meaning
                        that a week day is simulate
  -ns, --no_split       don't split the analysis using 2 lists for first half and second half of the day
```

## Politica di scelta del servente

La scelta del servente per gestire una nuova richiesta è diversa per i due tipi B e P:

- ▶ Richieste al bar: La scelta del prossimo servente segue la politica di *equity*
- ▶ Richieste alla pizzeria: Il prossimo servente selezionato è il primo trovato libero scandendo la lista in ordine crescente

## Evento di campionamento

Il tempo del prossimo evento di campionamento viene impostato in modo da evitare che due eventi successivi siano entrambi eventi di campionamento:

simulation.py

```
242 times = []
243 for index, ev in enumerate(stats.events):
244     if index != e and ev.x == 1:
245         times.append(ev.t)
246 stats.events[e].t = min(times) +
        samplingInterarrivalTime
```



Introduzione

Modello concettuale

Modello delle specifiche

Modello computazionale

Analisi dei costi e dei guadagni

Altre statistiche transienti

Analisi statistiche stazionarie

Conclusioni e lezioni apprese

- ▶ Motivazione: Permette effettivamente di valutare le entrate e le uscite per un sistema con queste specifiche su un periodo di 16 ore lavorative effettive.
- ▶ Robustezza: La simulazione di una giornata lavorativa è stata ripetuta 1024 volte. In ciascuna di esse sono state ripristinate tutte le statistiche mentre lo stato del generatore di numeri casuali è stato mantenuto inalterato. Alle statistiche medie è stato associato un intervallo di confidenza al 95%.

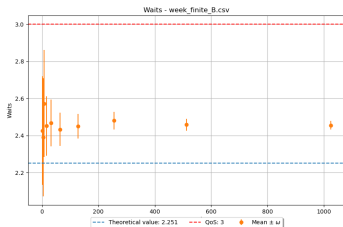
$$m_B = 2$$

- Il valore teorico raramente rientra nell'intervallo di confidenza della statistica sperimentale.
- Tutti i requisiti di Qualità del Servizio (QoS) sono costantemente rispettati.

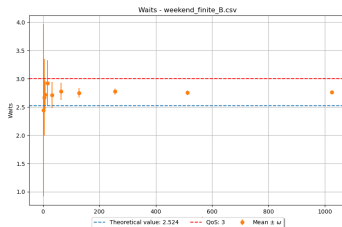
Analisi senza fattore gaussiano						
	Statistica	Risultato teorico	Risultato sperimentale	Media nell'intervallo	Errore	Rispetta QoS
Week	Attesa di tipo B	2.251 min	2.455 ± 0.023 min	✗	0.181	✓
	Attesa di tipo P	3.209 min	3.212 ± 0.049 min	✓		✓
Weekend	Attesa di tipo B	2.524 min	2.761 ± 0.032 min	✗	0.205	✓
	Attesa di tipo P	6.857 min	5.813 ± 0.150 min	✗	0.894	✓

Analisi con fattore gaussiano						
	Statistica	Risultato teorico	Risultato sperimentale	Media nell'intervallo	Errore	Rispetta QoS
Week	Attesa di tipo B	2.251 min	2.184 ± 0.027 min	✗	0.040	✓
	Attesa di tipo P	3.209 min	3.082 ± 0.078 min	✗	0.049	✓
Weekend	Attesa di tipo B	2.524 min	2.987 ± 0.075 min	✗	0.388	✓
	Attesa di tipo P	6.857 min	3.209 ± 0.056 min	✗	3.592	✓

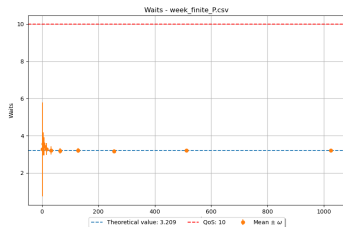
# Senza fattore gaussiano - immagini



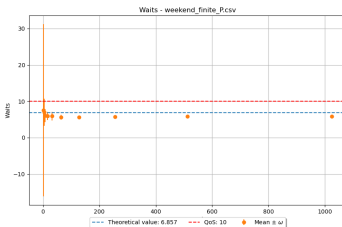
*week - type B*



*weekend - type B*

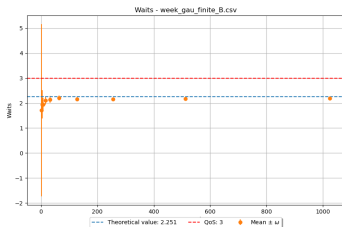


*week - type P*

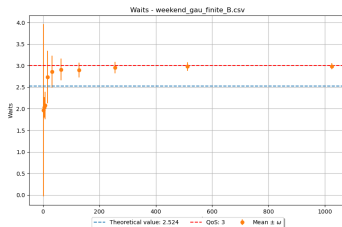


*weekend - type P*

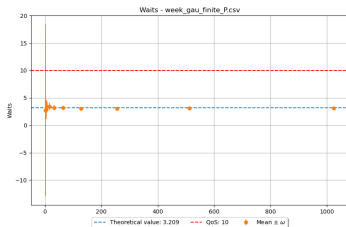
# Con fattore gaussiano - immagini



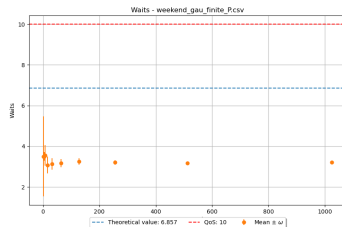
*week - type B*



*weekend - type B*



*week - type P*



*weekend - type P*

# Costi e guadagni

Spesa	Valore	Contributo mensile
Baristi	40,00€ al giorno per barista	2.240,00 € al mese
Pizzaiolo	40,00€ al giorno	1.400,00 € al mese
Bollette	2.750,00€ al mese	2.750,00€ al mese
Affitto	1.500,00€ al mese	1.500,00€ al mese
Fornitori	2.000,00€ al mese	2.000,00€ al mese
Totale		12.970,00€

	Tipo richiesta	Richieste week	Richieste weekend	Guadagno	Contributo mensile	Con IVA al 10%
No gauss.	Tipo B	275	395	5,00 € a richiesta	43.300,00 € al mese	38.970,00 €
	Tipo P	41	116	10 € a richiesta	17.480,00 € al mese	15.732,00 €
	Totale					54.702,00 €
Gauss.	Tipo B	77	120	5,00 € a richiesta	12.500,00€ al mese	11.250,00 €
	Tipo P	10	31	10,00 € a richiesta	4.480,00€ al mese	4.032,00 €
	Totale					15.282,00€

Il guadagno netto mensile risulta essere 41.732,00€ nel caso non si usi il ritardo gaussiano e 2.312,00€ nel caso in cui lo si utilizzi.

Introduzione

Modello concettuale

Modello delle specifiche

Modello computazionale

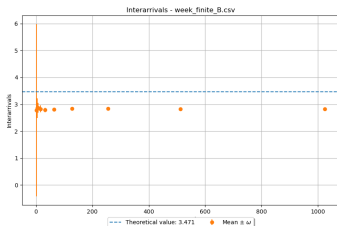
Analisi dei costi e dei guadagni

**Altre statistiche transienti**

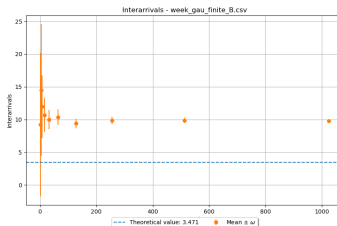
Analisi statistiche stazionarie

Conclusioni e lezioni apprese

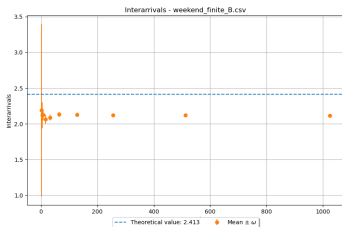
# Interarrivi di tipo B



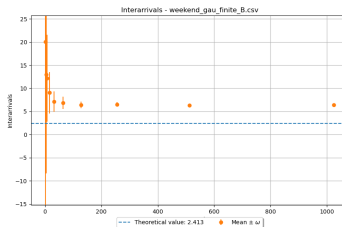
*week - no gaussian factor*



*week - gaussian factor*



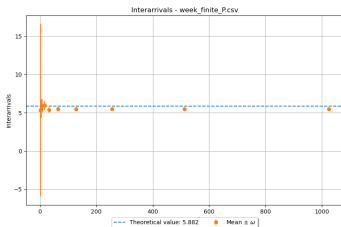
*weekend - no gaussian factor*



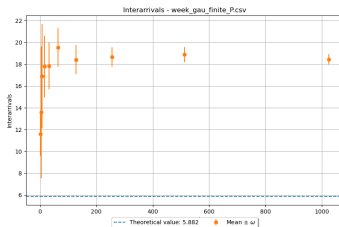
*weekend - gaussian factor*



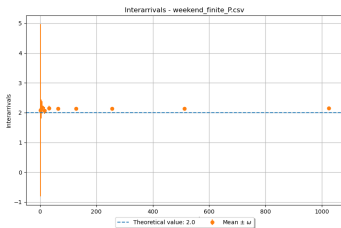
# Interarrivi di tipo P



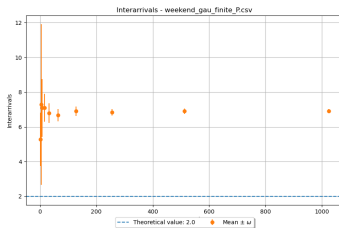
*week - no gaussian factor*



*week - gaussian factor*

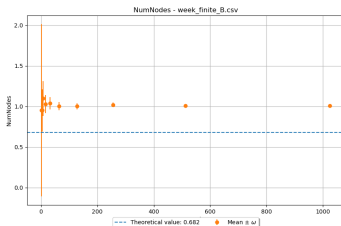


*weekend - no gaussian factor*

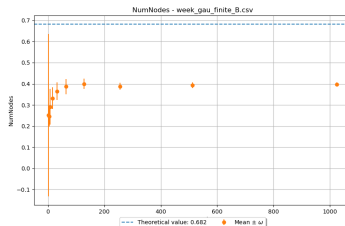


*weekend - gaussian factor*

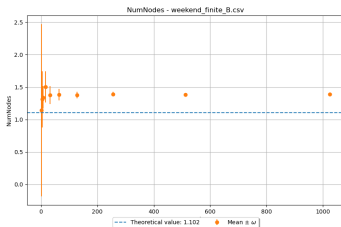
# Popolazioni di tipo B nel centro



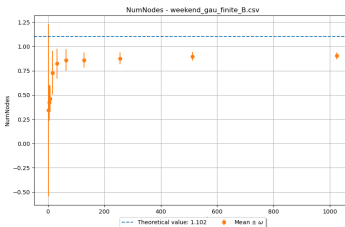
*week - no gaussian factor*



*week - gaussian factor*

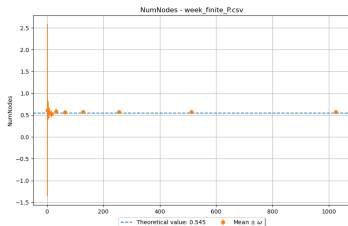


*weekend - no gaussian factor*

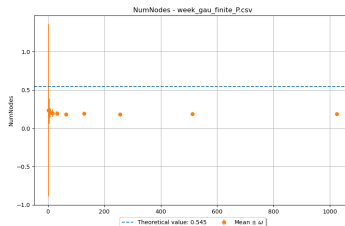


*weekend - gaussian factor*

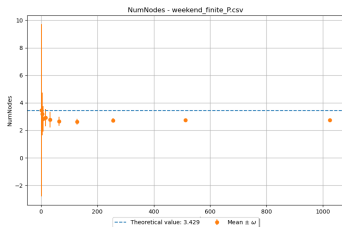
# Popolazioni di tipo P nel centro



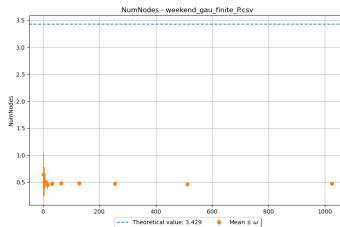
*week - no gaussian factor*



*week - gaussian factor*

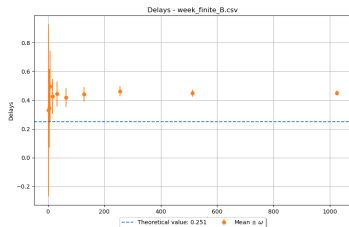


*weekend - no gaussian factor*

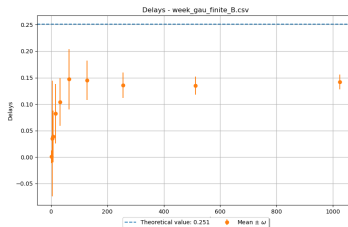


*weekend - gaussian factor*

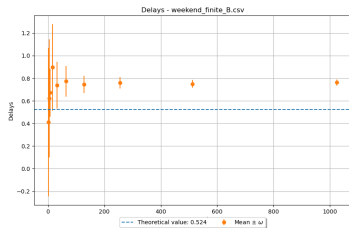
# Ritardo di tipo B



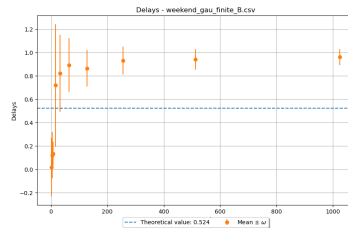
*week - no gaussian factor*



*week - gaussian factor*

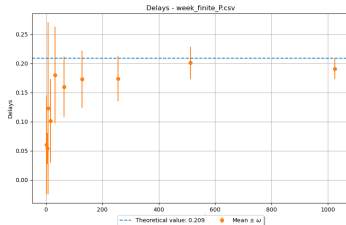


*weekend - no gaussian factor*

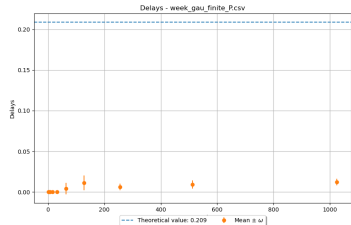


*weekend - gaussian factor*

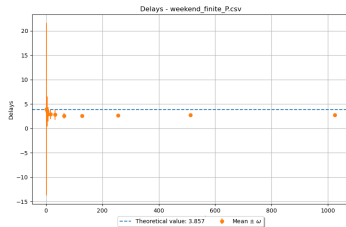
# Ritardo di tipo P



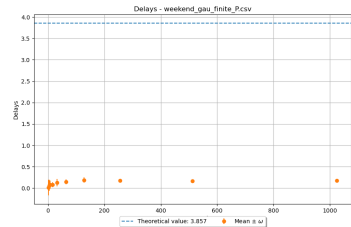
*week - no gaussian factor*



*week - gaussian factor*

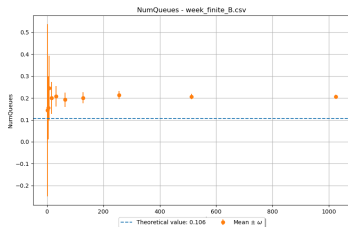


*weekend - no gaussian factor*

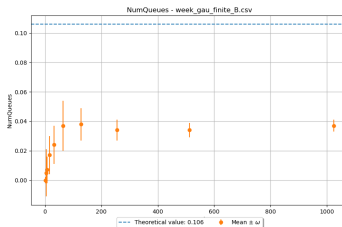


*weekend - gaussian factor*

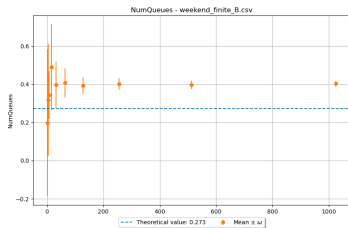
# Popolazioni di tipo B in coda



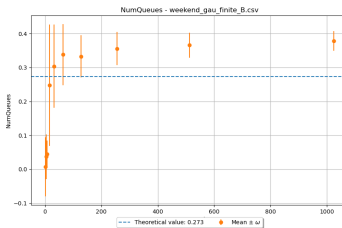
*week - no gaussian factor*



*week - gaussian factor*

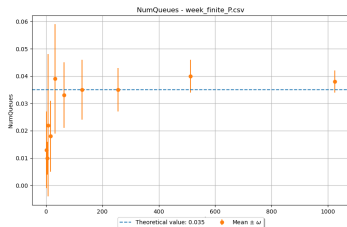


*weekend - no gaussian factor*

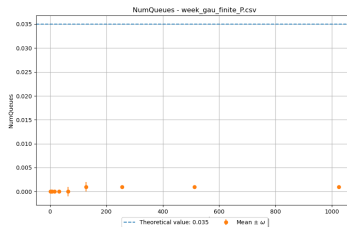


*weekend - gaussian factor*

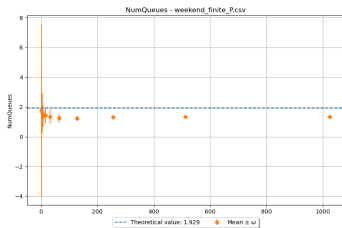
# Popolazioni di tipo P in coda



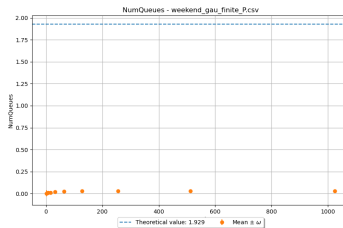
*week - no gaussian factor*



*week - gaussian factor*



*weekend - no gaussian factor*



*weekend - gaussian factor*

Introduzione

Modello concettuale

Modello delle specifiche

Modello computazionale

Analisi dei costi e dei guadagni

Altre statistiche transienti

**Analisi statistiche stazionarie**

Conclusioni e lezioni apprese



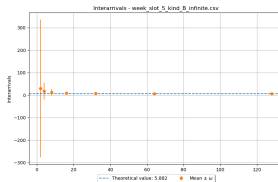
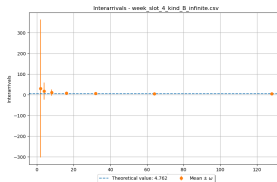
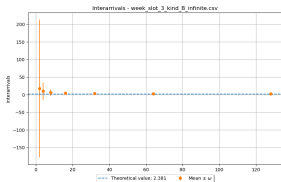
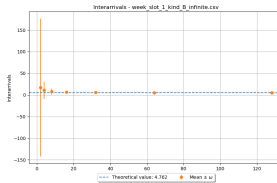
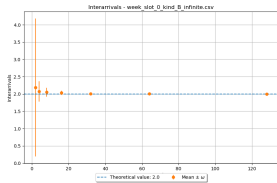
## Analisi a orizzonte infinito

- ▶ Utilizzando  $k = 128$  batches, ciascuno con  $b = 1024$  campioni, l'autocorrelazione per lag  $j = 1$  è inferiore a 0.2, contribuendo così alla stabilità e all'affidabilità dei risultati.
- ▶ L'analisi viene condotta per ciascun tipo di richiesta e per ciascuna statistica di interesse, coprendo tutte le fasce orarie sia nei giorni lavorativi che nei giorni del fine settimana.

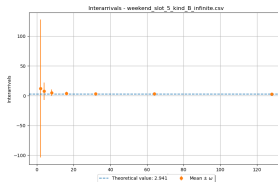
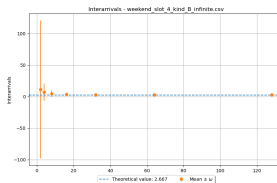
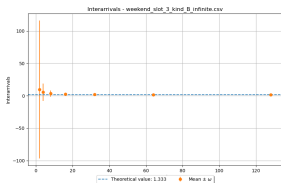
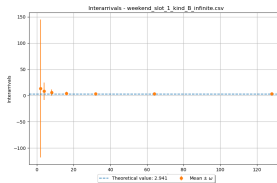
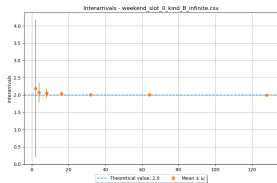
# Interarrivi - bar

<i>B type - Interarrivals</i>					
	Slot	Risultato teorico	Risultato sperimentale	Media nell'intervallo	Errore
Week	0	2.000 min	$2.000 \pm 0.014$ min	✓	
	1	4.762 min	$4.950 \pm 0.389$ min	✓	
	3	2.381 min	$2.614 \pm 0.477$ min	✓	
	4	4.762 min	$5.154 \pm 0.811$ min	✓	
	5	5.882 min	$6.217 \pm 0.074$ min	✓	
Weekend	0	2.000 min	$2.000 \pm 0.014$ min	✓	
	1	2.941 min	$3.091 \pm 0.322$ min	✓	
	3	1.333 min	$1.460 \pm 0.259$ min	✓	
	4	2.667 min	$2.794 \pm 0.268$ min	✓	
	5	2.941 min	$3.065 \pm 0.285$ min	✓	

# Interarrivi al bar - Immagini week



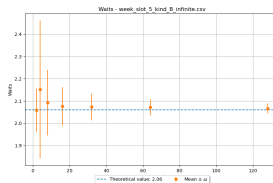
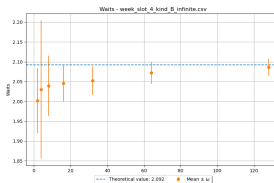
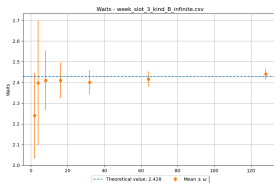
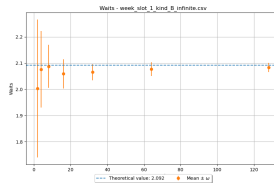
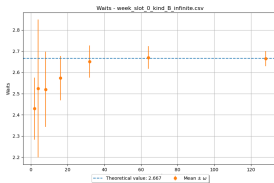
# Interarrivi al bar - Immagini weekend



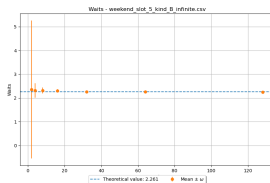
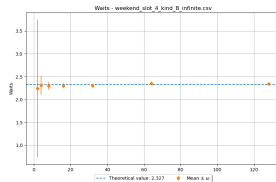
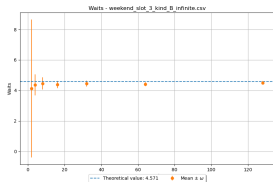
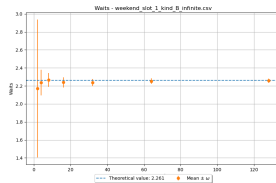
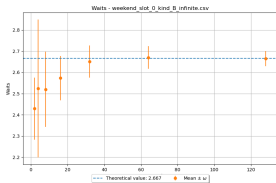
# Tempi di risposta - bar

<i>B type - Waits</i>					
	Slot	Risultato teorico	Risultato sperimentale	Media nell'intervallo	Errore
Week	0	2.667 min	$2.665 \pm 0.035$ min	✓	
	1	2.092 min	$2.083 \pm 0.018$ min	✓	
	3	2.428 min	$2.440 \pm 0.027$ min	✓	
	4	2.092 min	$2.086 \pm 0.021$ min	✓	
	5	2.060 min	$2.067 \pm 0.023$ min	✓	
Weekend	0	2.667 min	$2.665 \pm 0.035$ min	✓	
	1	2.261 min	$2.257 \pm 0.024$ min	✓	
	3	4.571 min	$4.499 \pm 0.115$ min	✓	
	4	2.327 min	$2.339 \pm 0.031$ min	✓	
	5	2.261 min	$2.246 \pm 0.025$ min	✓	

# Tempi di risposta al bar - Immagini week



# Tempi di risposta al bar - Immagini weekend

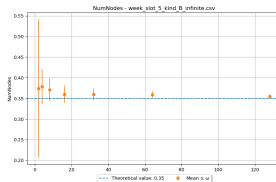
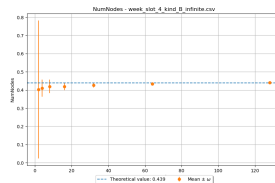
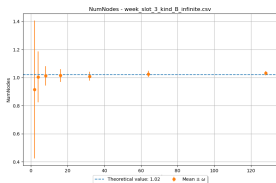
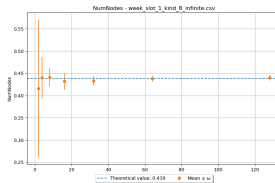
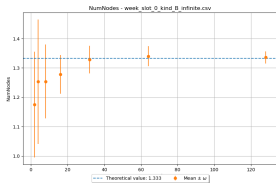


# Numero di richieste nel centro - bar

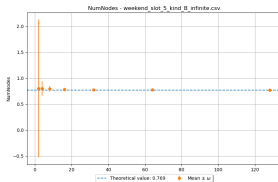
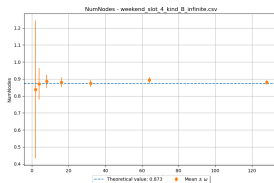
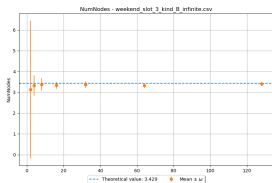
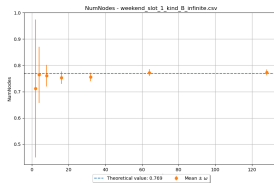
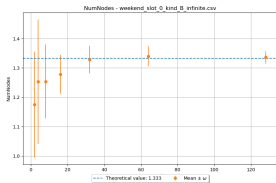
<i>B type - Num. in the nodes</i>					
	Slot	Risultato teorico	Risultato sperimentale	Media nell'intervallo	Errore
Week	0	1.333 min	$1.336 \pm 0.021$ min	✓	
	1	0.439 min	$0.440 \pm 0.006$ min	✓	
	3	1.020 min	$1.031 \pm 0.016$ min	✓	
	4	0.439 min	$0.440 \pm 0.007$ min	✓	
	5	0.350 min	$0.355 \pm 0.005$ min	✓	
Weekend	0	1.333 min	$1.336 \pm 0.021$ min	✓	
	1	0.769 min	$0.773 \pm 0.011$ min	✓	
	3	3.429 min	$3.399 \pm 0.095$ min	✓	
	4	0.873 min	$0.881 \pm 0.014$ min	✓	
	5	0.769 min	$0.769 \pm 0.011$ min	✓	



# Numero di richieste nel centro al bar - Immagini week



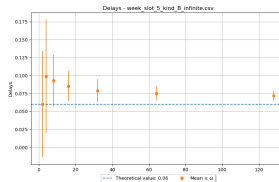
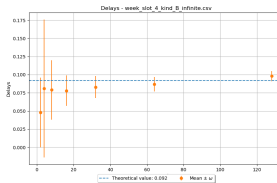
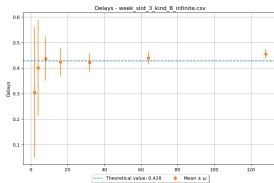
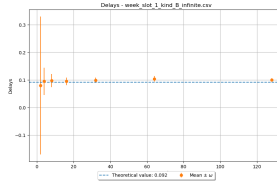
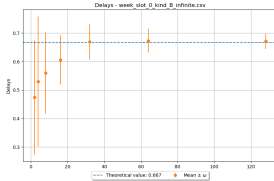
# Numero di richieste nel centro al bar - Immagini weekend



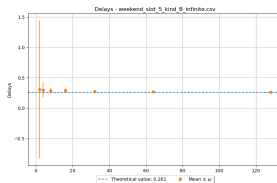
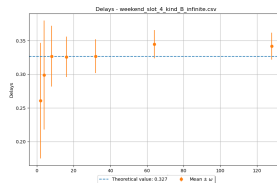
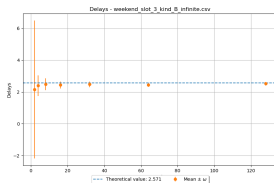
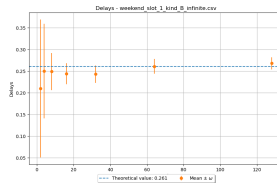
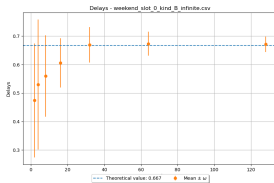
# Tempi in coda - bar

<i>B type - Delays</i>					
	Slot	Risultato teorico	Risultato sperimentale	Media nell'intervallo	Errore
Week	0	0.667 min	$0.671 \pm 0.027$ min	✓	
	1	0.092 min	$0.100 \pm 0.006$ min	✗	0.002
	3	0.428 min	$0.455 \pm 0.019$ min	✗	0.008
	4	0.092 min	$0.098 \pm 0.007$ min	✓	
	5	0.060 min	$0.072 \pm 0.007$ min	✗	0.005
Weekend	0	0.667 min	$0.671 \pm 0.027$ min	✓	
	1	0.261 min	$0.268 \pm 0.014$ min	✓	
	3	2.571 min	$2.519 \pm 0.108$ min	✓	
	4	0.327 min	$0.342 \pm 0.020$ min	✓	
	5	0.261 min	$0.265 \pm 0.014$ min	✓	

# Tempi in coda al bar - Immagini week



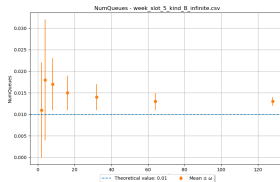
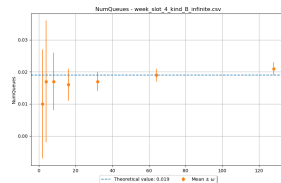
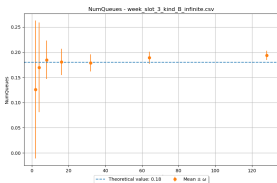
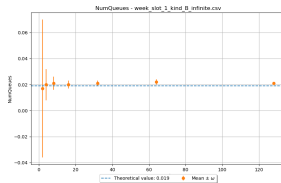
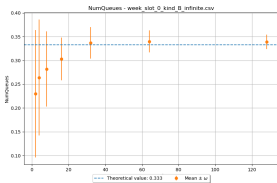
# Tempi in coda al bar - Immagini weekend



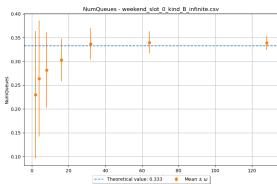
# Numero di richieste in coda - bar

<i>B type - Num. in the queue</i>					
	Slot	Risultato teorico	Risultato sperimentale	Media nell'intervallo	Errore
Week	0	0.333 min	$0.339 \pm 0.015$ min	✓	
	1	0.019 min	$0.021 \pm 0.001$ min	✗	0.001
	3	0.180 min	$0.194 \pm 0.005$ min	✗	0.009
	4	0.019 min	$0.021 \pm 0.001$ min	✗	0.001
	5	0.010 min	$0.013 \pm 0.001$ min	✗	0.002
Weekend	0	0.333 min	$0.339 \pm 0.015$ min	✓	
	1	0.089 min	$0.093 \pm 0.005$ min	✓	
	3	1.929 min	$1.910 \pm 0.087$ min	✓	
	4	0.123 min	$0.130 \pm 0.008$ min	✓	
	5	0.089 min	$0.092 \pm 0.005$ min	✓	

# Numero di richieste in coda - Immagini week



# Numero di richieste in coda al bar - Immagini weekend

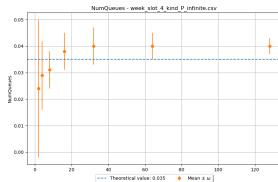
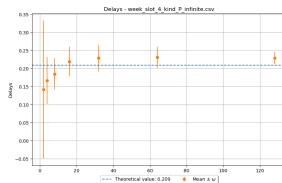
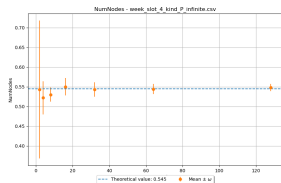
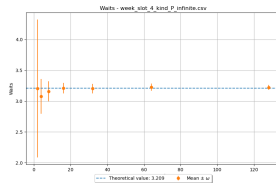
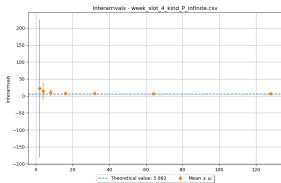




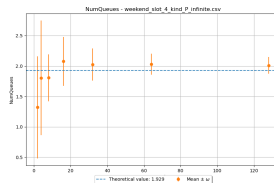
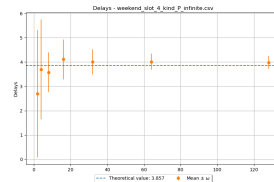
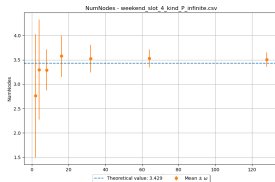
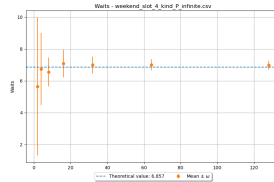
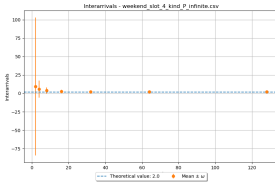
# Statistiche - pizzeria

	<i>P type - all statistics in the slot</i>				
	Statistica	Risultato teorico	Risultato sperimentale	Media nell'intervallo	Errore
Week	Interarrivo	5.882 min	6.145 ± 0.499 min	✓	
	Attesa	3.209 min	3.223 ± 0.038 min	✓	
	Num. nel nodo	0.545 min	0.548 ± 0.009 min	✓	
	Ritardo	0.209 min	0.229 ± 0.017 min	✗	0.003
	Num. in coda	0.035 min	0.040 ± 0.003 min	✗	0.002
Weekend	Interarrivo	2.000 min	2.114 ± 0.228 min	✓	
	Attesa	6.867 min	6.979 ± 0.281 min	✓	
	Num. nel nodo	3.429 min	3.505 ± 0.150 min	✓	
	Ritardo	3.857 min	3.985 ± 0.267 min	✓	
	Num. in coda	1.929 min	2.010 ± 0.139 min	✓	

# Statistiche pizzeria - Immagini week



# Statistiche pizzeria - Immagini weekend



Introduzione

Modello concettuale

Modello delle specifiche

Modello computazionale

Analisi dei costi e dei guadagni

Altre statistiche transienti

Analisi statistiche stazionarie

Conclusioni e lezioni apprese

# Conclusioni

- ▶ L'utilizzo di 3 serventi di tipo B porta a un costo mensile maggiorato di 2.240,00 €, rendendo il guadagno netto inferiore: la scelta migliore rimane  $m_B = 2$ .
- ▶ Il guadagno ottenuto introducendo il ritardo gaussiano sembra essere più realistico e più aderente alla realtà: la motivazione è che i risultati ottenuti sono relativi a uno scenario che tiene conto di condizioni più realistiche.

- ▶ Ottenere risultati da campioni poco numerosi impatta significativamente l'attendibilità dei risultati.
- ▶ L'introduzione di uno scheduling di campionamento più complicato rende necessario uno studio delle medie più attento per ottenere risultati che convergono.