

Performance Modeling and Computer Network System

Progetto Sala Giochi

Giuseppe Lasco

Marco Marcucci

Valentina Falaschi

Introduzione

Lo studio ha lo scopo di analizzare due sistemi a code, stocastici e dinamici, che simulano lo scenario di una sala giochi.

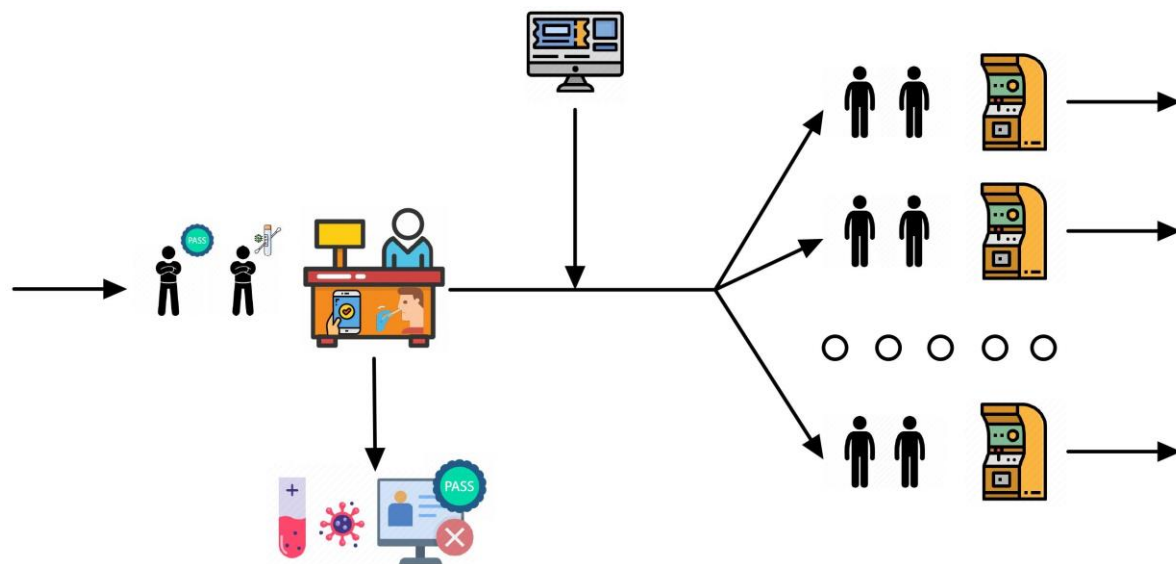
- ▶ **Modello Base**

- ▶ Descrizione del comportamento;
- ▶ Simulazione;
- ▶ Limiti.

- ▶ **Modello Avanzato**

- ▶ Descrizione del comportamento;
- ▶ Simulazione;
- ▶ Miglioramenti rispetto al modello base;

Modello Base



- ▶ Accesso alla struttura
 - ▶ Acquisto biglietto in loco;
 - ▶ Acquisto biglietto online.
- ▶ Uscita dalla struttura
 - ▶ Positività test rapido;
 - ▶ Green-pass non idoneo;
 - ▶ Completamento partita.

Obiettivi

Obiettivo 1

- Massimizzazione funzione guadagno:

$$G = \#giocatori * \text{costo biglietto} \\ - \#giocatori * \text{rimborso biglietto}(\text{attesa media coda}) * \text{costo biglietto} \\ - \#arcade \text{ attivi} * \text{costo elettricit\`a}$$

Costo biglietto: 10 €

Costo elettricit\`a: 2,4€/gg per Arcade

Max rimborso biglietto: 80%

Attesa minima rimborso biglietto: 8 minuti



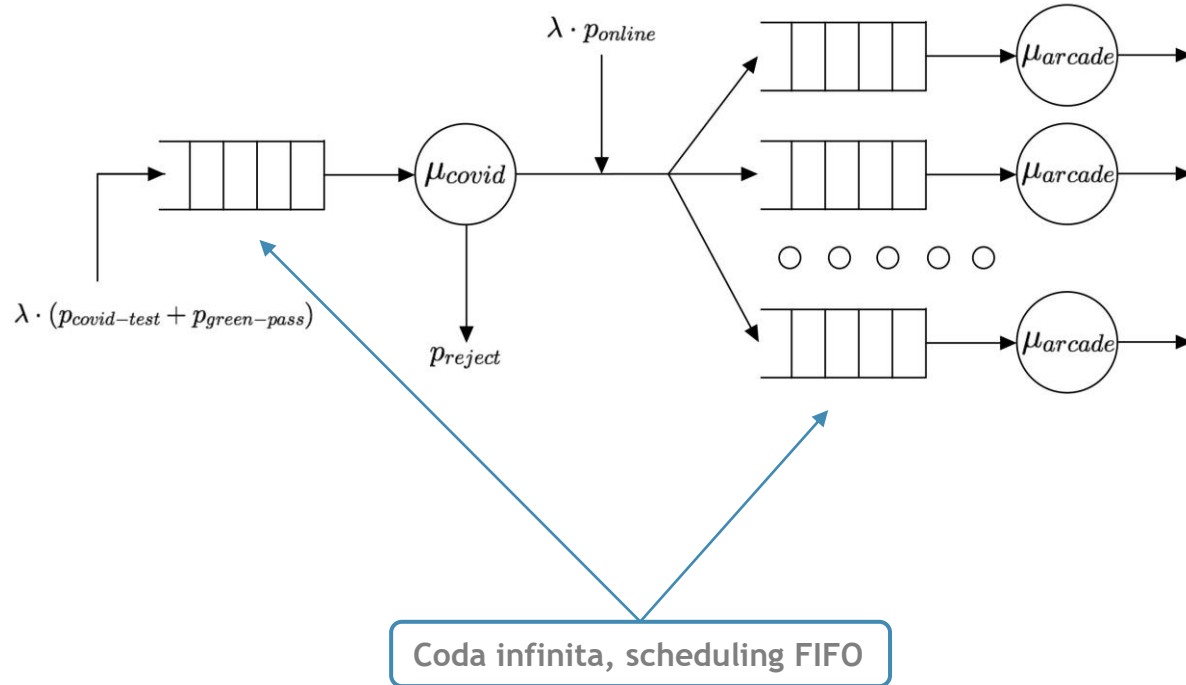
Obiettivi

Obiettivo 2

- Tempo medio di risposta del sistema inferiore a 40 minuti

Tempo medio dei servizi del sistema: 19 minuti.

Modello Concettuale



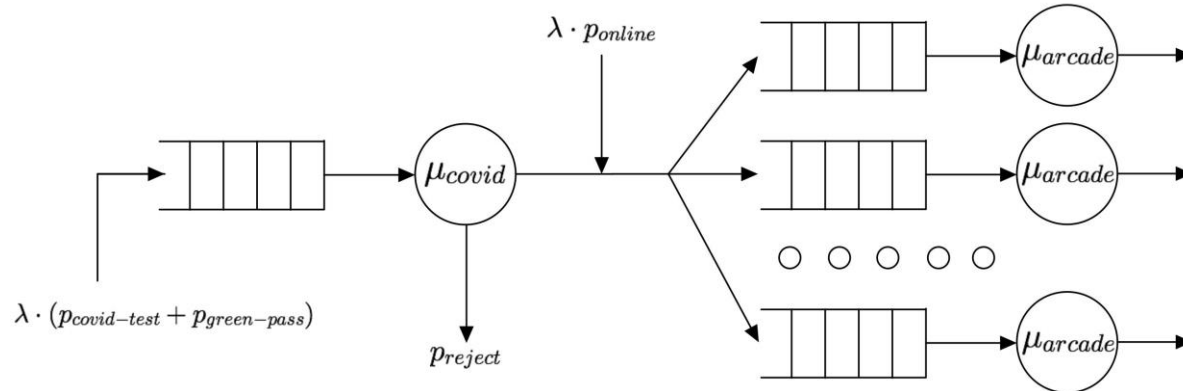
► Fasce orarie

- 08:00-12:00;
- 12:00-17:00;
- 17:00-22:00;
- 22:00-08:00.

► Eventi

- Arrivo di un cliente;
- Completamento di un servizio;
- Cambio di fascia oraria.

Modello delle Specifiche



Percentuale biglietto online(P_{online}): 20%
Percentuale clienti con Green-pass($P_{green-pass}$): 48%
Percentuale clienti senza Green-pass($P_{covid-test}$): 32%
Percentuale clienti positivi o Green-pass non valido(P_{reject}): 5%

► Arrivi

- 08:00-12:00: $\lambda = \frac{1}{14}$ clienti/min;
- 12:00-17:00: $\lambda = \frac{1}{5}$ clienti/min;
- 17:00-22:00: $\lambda = \frac{1}{14}$ clienti/min;
- 22:00-08:00: $\lambda = \frac{1}{35}$ clienti/min;

► Servizi

- Green-pass Covid-19 $\sim N(2, 2.25, 1, 3)$
- Tampone Covid-19 $\sim N(10, 2.25, 8, 12)$
- Arcade $\sim N(15, 9, 3, 25)$

Validazione

System statistics

# nodi Arcades	Avg interarrival time (min)	Avg wait (min)	Avg # node
2	14.037119	27.6247051	1.967967
5	14.037119	21.808119	1.553597
9	14.037119	20.885323	1.487860

Legge di Little:
 $E[N] = \lambda * E[T]$

* seed = 1234567891; $\lambda_{system} = \frac{1}{14} \frac{job}{min}$; #jobs = 517028

Arcade statistics

# nodi Arcades	Avg interarrival time (min)	Avg wait (min)	Avg delay (min)	Avg # node	Avg # queue	Utilization
2	29.243586	23.024591	8.028968	0.787335	0.274554	0.512781
5	73.123549	16.937644	1.940329	0.231630	0.026538	0.205092
9	131.750016	15.999674	0.983205	0.121439	0.007463	0.113977

* seed = 1234567891; $\lambda_{system} = \frac{1}{14} \frac{job}{min}$; #jobs = 517028

Esperimenti di Simulazione

Analisi del comportamento transiente

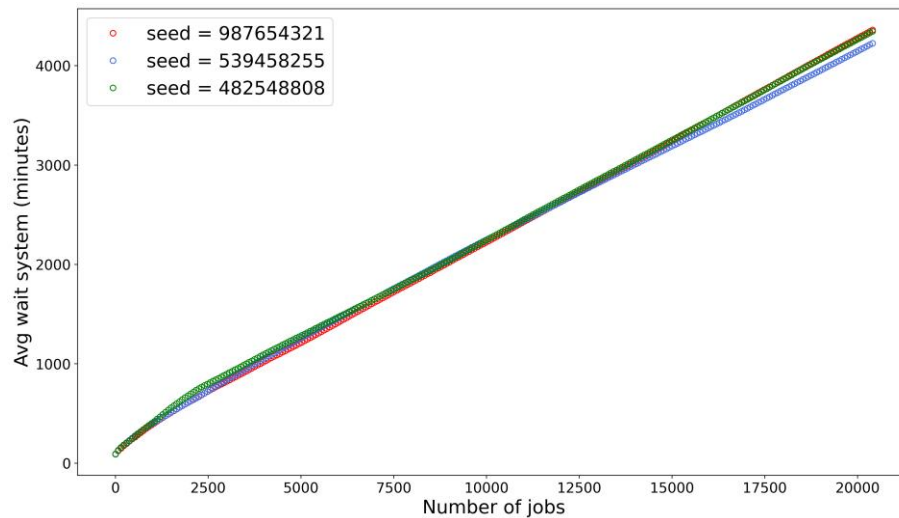
- ▶ Scopo dell'analisi
 - ▶ Numero minimo di Arcade per la stazionarietà
- ▶ Metodo delle repliche
 - ▶ Numero repliche: 64
 - ▶ Intervallo di campionamento: 75 completamenti
- ▶ Osservazione
 - ▶ $\lambda < \frac{1}{4,1} \frac{job}{min}$
- ▶ Risultati

Fascia oraria	Configurazione minima*
08:00-12:00	2
12:00-17:00	3
17:00-22:00	2
22:00-08:00	1

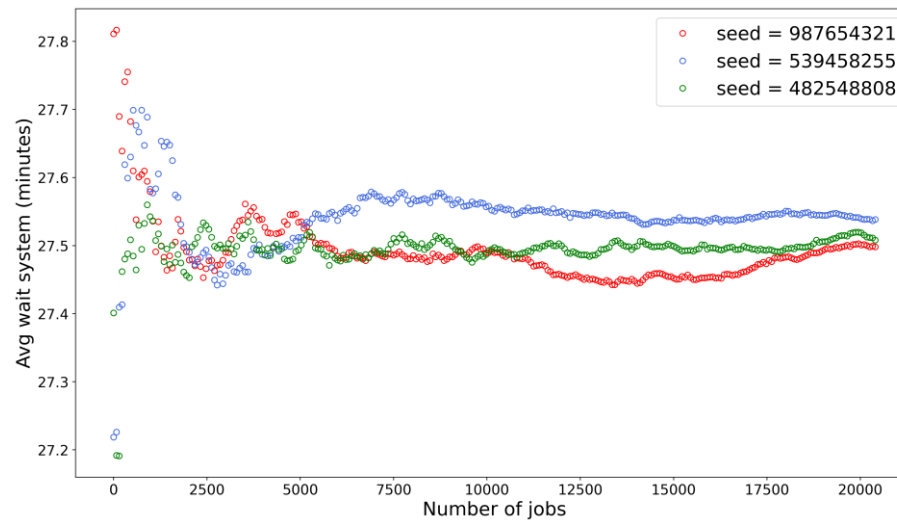
* Numero di nodi Arcade

Esperimenti di Simulazione

Analisi del comportamento transiente



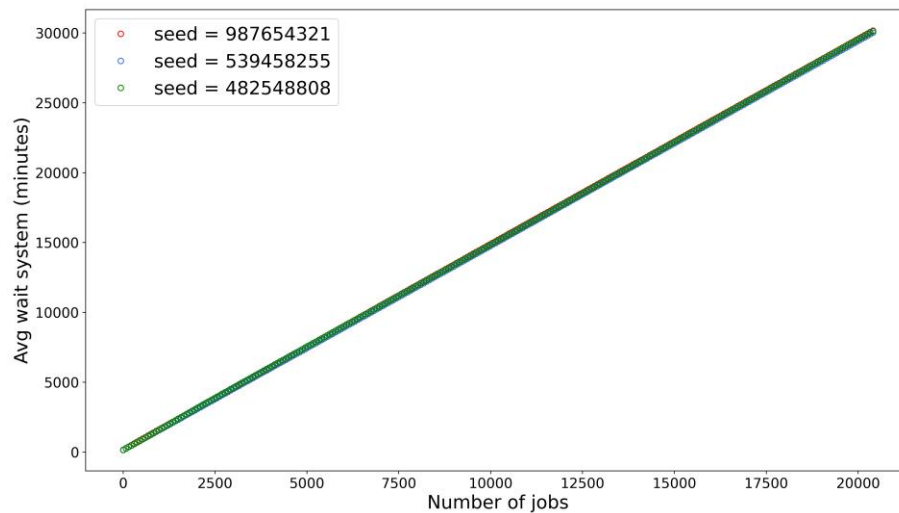
* 8:00-12:00 & 17:00-22:00, $\lambda_{system} = \frac{1}{14} \frac{job}{min}$, Arcades: 1



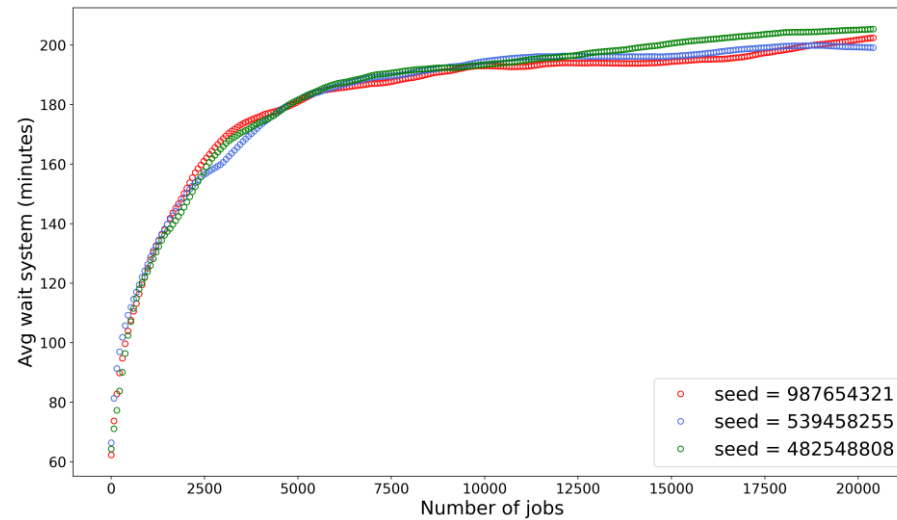
* 8:00-12:00 & 17:00-22:00, $\lambda_{system} = \frac{1}{14} \frac{job}{min}$, Arcades: 2

Esperimenti di Simulazione

Analisi del comportamento transiente



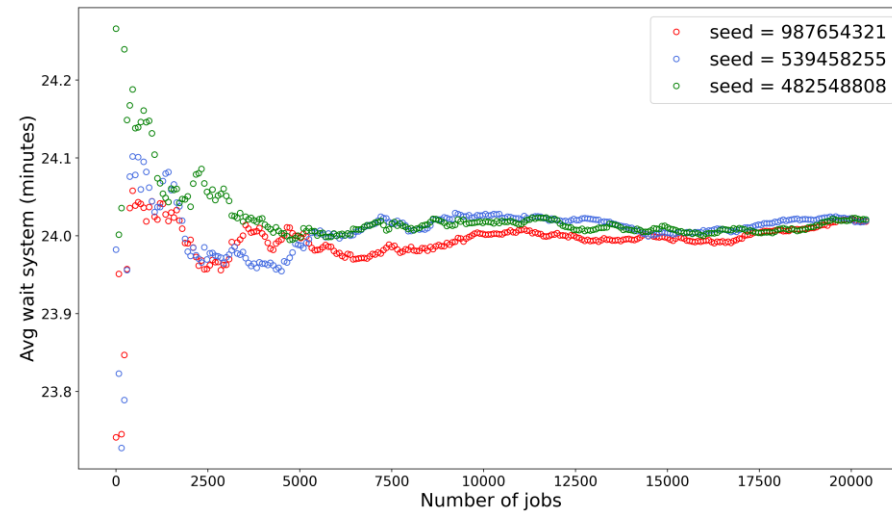
* 12:00-17:00, $\lambda_{system} = \frac{1}{5} \frac{job}{min}$, Arcades: 2



* 12:00-17:00, $\lambda_{system} = \frac{1}{5} \frac{job}{min}$, Arcades: 3

Esperimenti di Simulazione

Analisi del comportamento transiente



* 22:00-08:00, $\lambda_{system} = \frac{1}{35} \frac{job}{min}$, Arcades: 1

Esperimenti di Simulazione

Analisi del comportamento stazionario

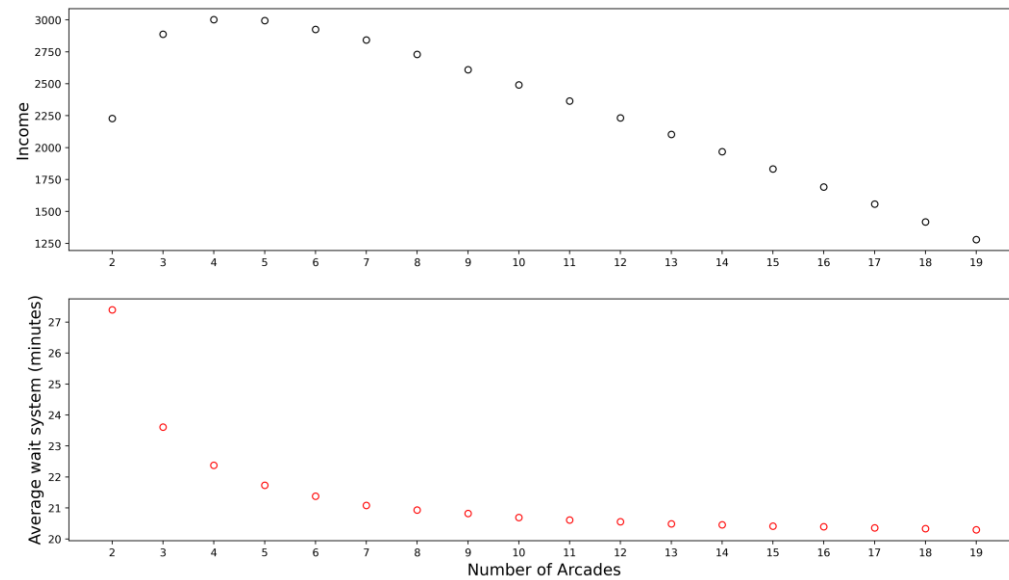
- ▶ Scopo dell'analisi
 - ▶ Configurazione ottima nodi Arcade
- ▶ Metodo *Batch-Means*
 - ▶ $b = 256$
 - ▶ Banks, Carson, Nelson e Nicol ($lag\ 1 < 0,2$)
 - ▶ $k = 64$
- ▶ Risultati

Fascia oraria	Configurazione ottimale*	Tempo medio di risposta del sistema (min)
08:00-12:00	5	21.7331
12:00-17:00	12	35.3422
17:00-22:00	5	21.7331
22:00-08:00	2	20.8179

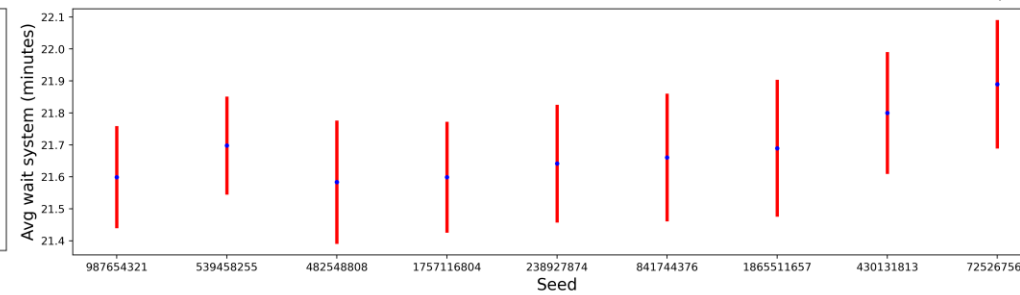
* Numero di nodi Arcade

Esperimenti di Simulazione

Analisi del comportamento stazionario



* 8:00-12:00 & 17:00-22:00, $\lambda_{system} = \frac{1}{14} \frac{job}{min}$

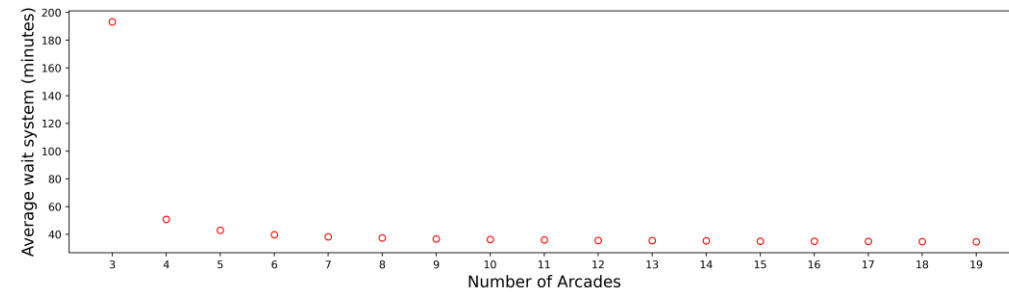
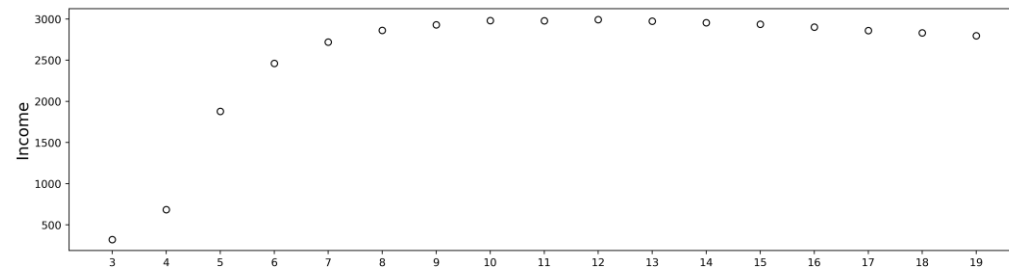


SEED	MEAN VALUE	STD	CONFIDENCE INTERVAL	CONFIDENCE LEVEL
987654321	21.5981813166833	0.6136016957940974	± 0.1598477880213616	95%
539458255	21.697926396730285	0.5892536701936019	± 0.15350494695475884	95%
482548808	21.58340906655712	0.7390972210404593	± 0.1925403021632087	95%
1757116804	21.59881496705215	0.6653255175576975	± 0.17332227682033302	95%
238927874	21.641408321369294	0.7057551947131397	± 0.18385445726886787	95%
841744376	21.66063981344659	0.7665524097517782	± 0.19969258224211847	95%
1865511657	21.6895207574431116	0.8219839748826707	± 0.2141329156594963	95%
482548808	21.58340906655712	0.7390972210404593	± 0.1925403021632087	95%
430131813	21.79981251895874	0.7306655368901731	± 0.1903437859704466	95%
725267564	21.889582887316536	0.7709839125068633	± 0.20084702154348674	95%

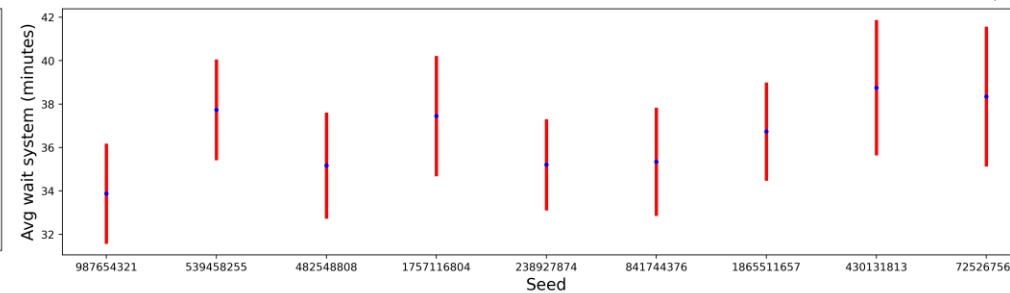
* 8:00-12:00 & 17:00-22:00, $\lambda_{system} = \frac{1}{14} \frac{job}{min}$

Esperimenti di Simulazione

Analisi del comportamento stazionario



* 12:00-17:00, $\lambda_{system} = \frac{1}{5} \frac{job}{min}$

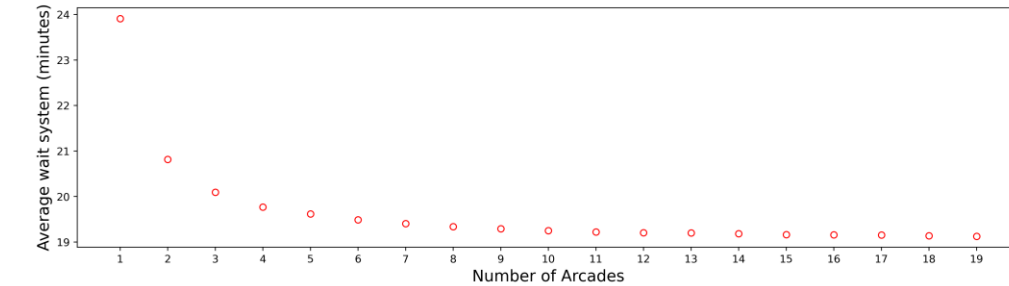
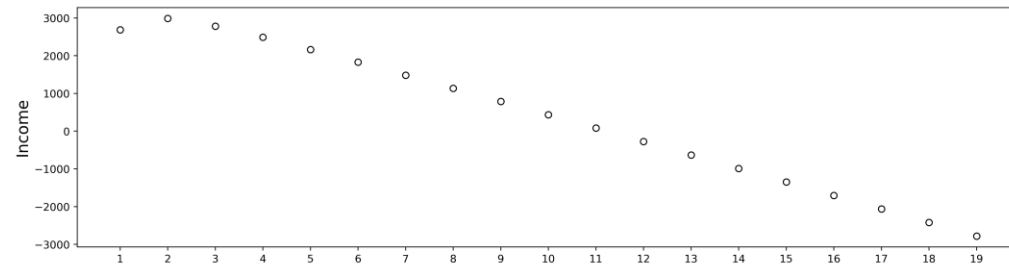


SEED	MEAN VALUE	STD	CONFIDENCE INTERVAL	CONFIDENCE LEVEL
987654321	33.87434704959296	8.85265866112511	± 2.306183171898936	95%
539458255	37.73964266185599	8.903839742578084	± 2.3195162228257447	95%
482548808	35.16960459487452	9.37057765306069	± 2.441104906637649	95%
1757116804	37.44713454548432	10.645813492771289	± 2.773313291295871	95%
238927874	35.20481120340799	8.052652349810858	± 2.0977756004348183	95%
841744376	35.34220932149259	9.567809468452168	± 2.492485258672326	95%
1865511657	36.73704579213175	8.689109509003513	± 2.2635774060110605	95%
430131813	38.75500315059004	11.96718419666216	± 3.1175401498931827	95%
725267564	38.34969784084128	12.355261767159236	± 3.218637232332599	95%

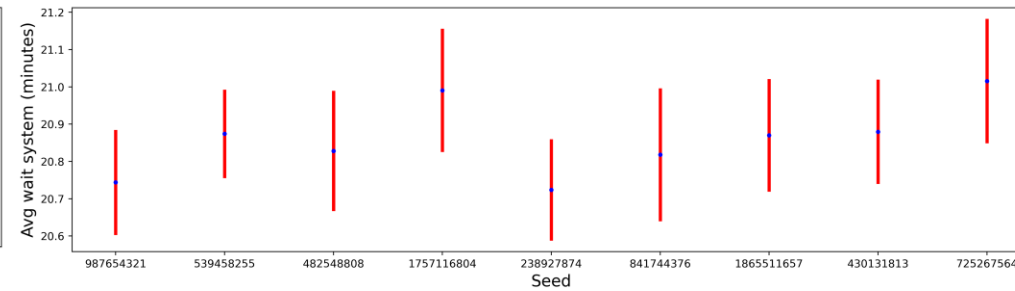
* 12:00-17:00, $\lambda_{system} = \frac{1}{5} \frac{job}{min}$

Esperimenti di Simulazione

Analisi del comportamento stazionario



* 22:00-08:00, $\lambda_{system} = \frac{1}{35} \frac{job}{min}$

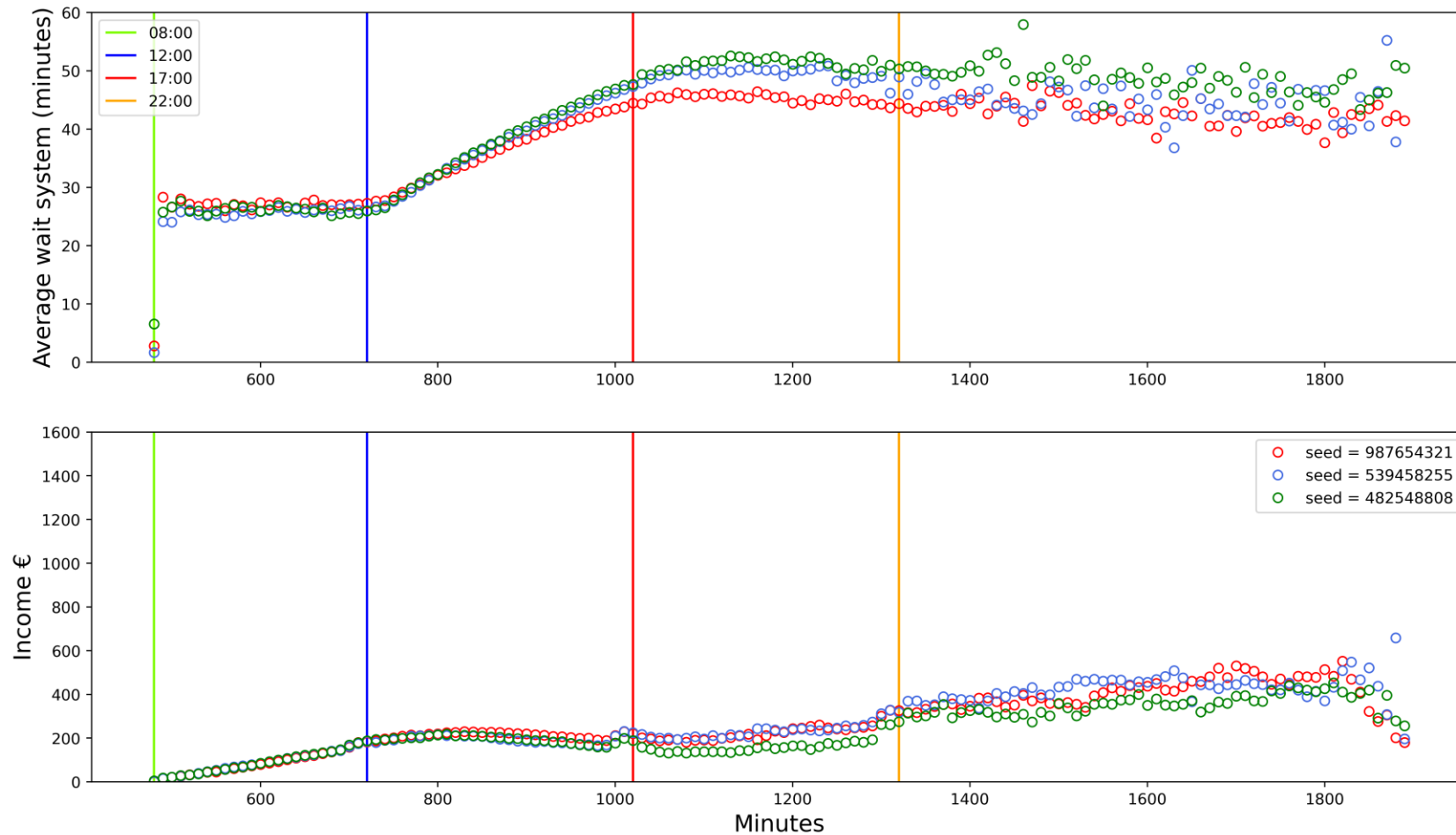


SEED	MEAN VALUE	STD	CONFIDENCE INTERVAL	CONFIDENCE LEVEL
987654321	20.743725727271343	0.5405007892785019	± 0.14080446025846807	95%
539458255	20.874077863916316	0.4556085657658852	± 0.1186894070542143	95%
482548808	20.82819102551389	0.6191799666948291	± 0.161300968921248	95%
1757116804	20.990702794608307	0.6338106065720944	± 0.16511235900988094	95%
238927874	20.72363775624641	0.5215049595598914	± 0.13585590587381846	95%
841744376	20.817911117315198	0.6838168478927295	± 0.17813935537764683	95%
1865511657	20.870077510579396	0.5796530520031625	± 0.1510039147832292	95%
482548808	20.82819102551389	0.6191799666948291	± 0.161300968921248	95%
430131813	20.87957925011826	0.5366561033916704	± 0.13980289109909408	95%
725267564	21.015500744854428	0.6405610735009728	± 0.16687090566007576	95%

* 22:00-08:00, $\lambda_{system} = \frac{1}{35} \frac{job}{min}$

Esperimenti di Simulazione

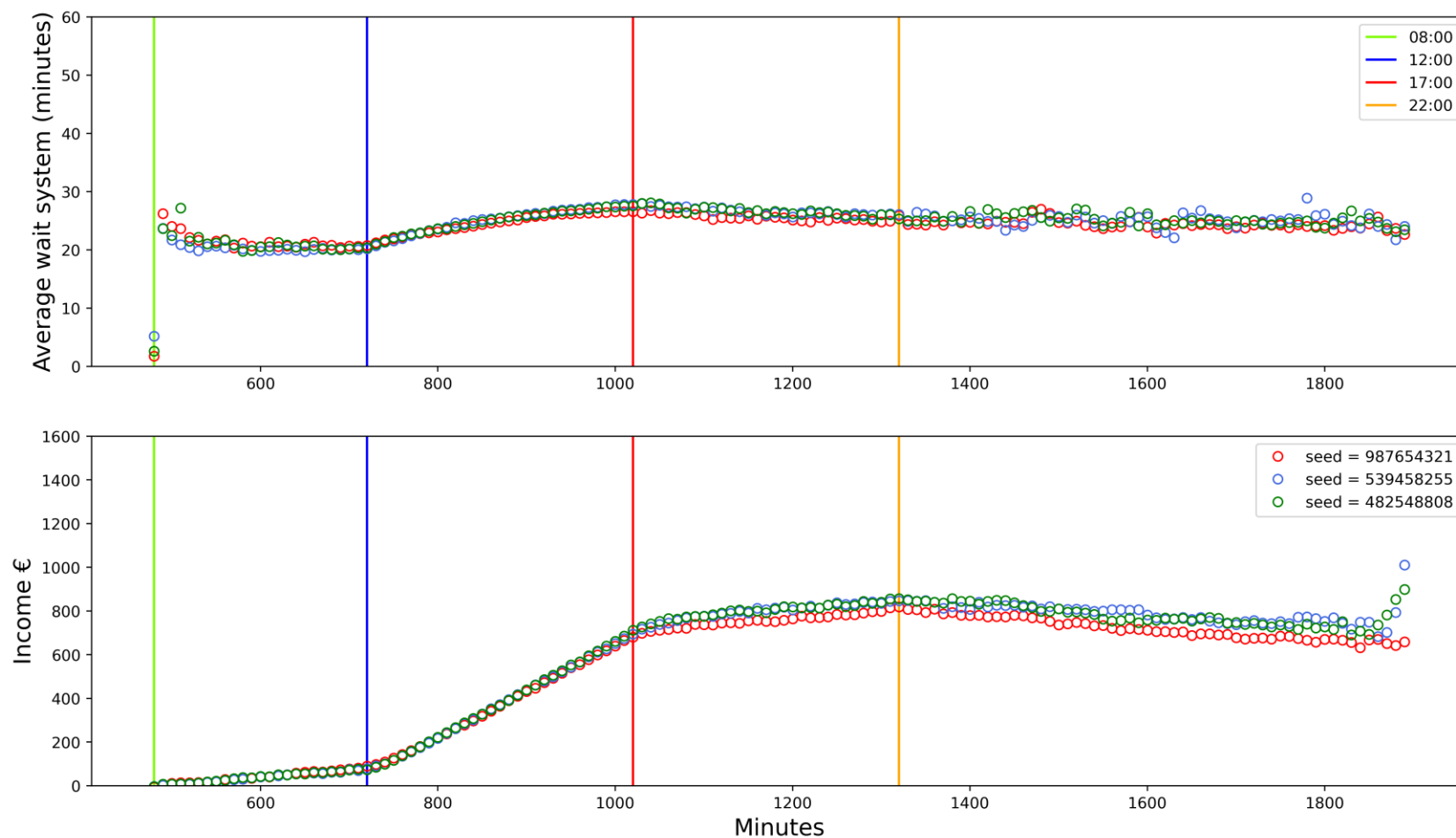
Analisi del guadagno giornaliero



* Configurazione minima, intervallo di campionamento = 10 minuti

Esperimenti di Simulazione

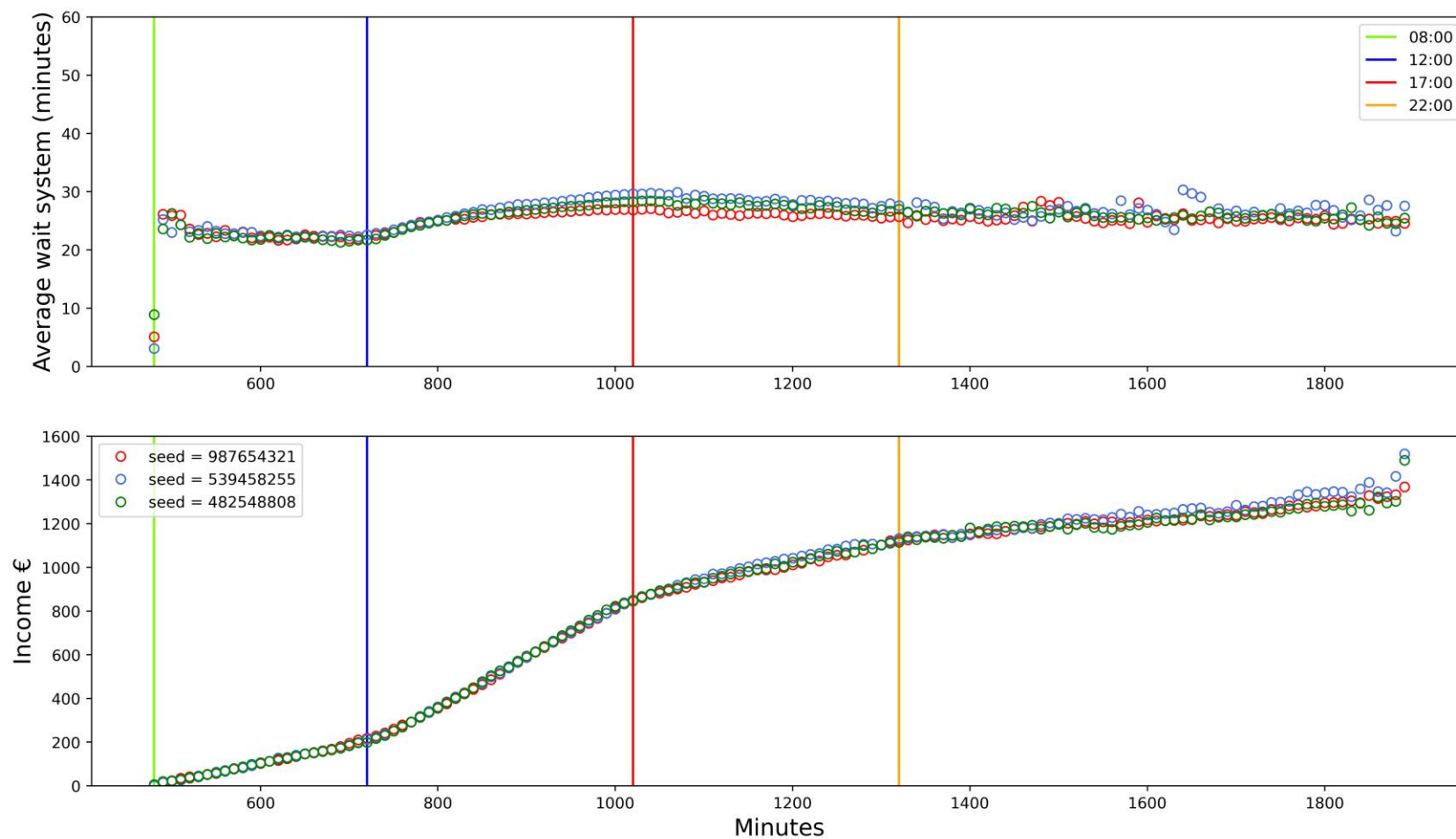
Analisi del guadagno giornaliero



* Configurazione massima, intervallo di campionamento = 10 minuti

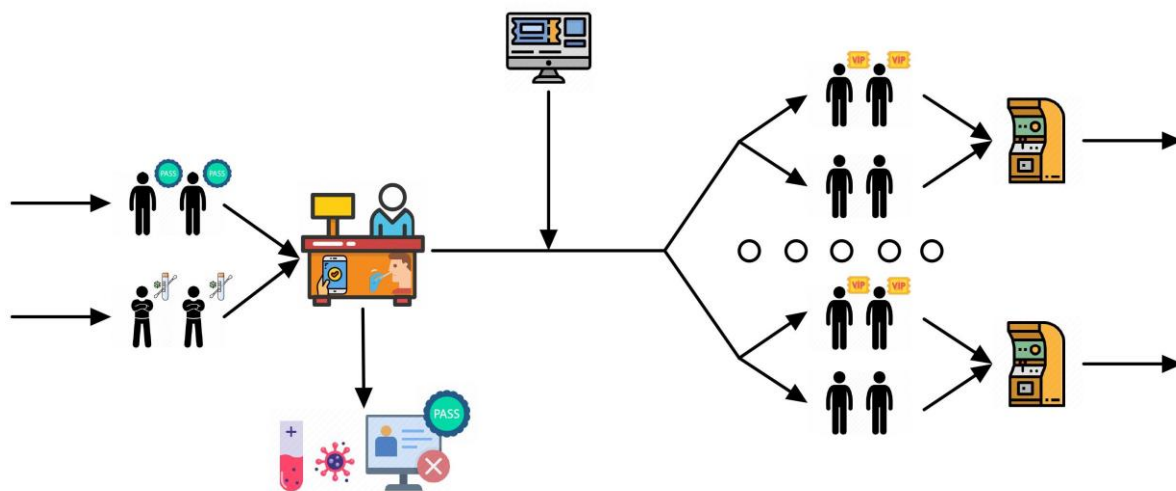
Esperimenti di Simulazione

Analisi del guadagno giornaliero



* Configurazione ottimale, intervallo di campionamento = 10 minuti

Modello Avanzato



► Accesso alla struttura

- Acquisto biglietto standard in loco;
- Acquisto biglietto standard online;
- Acquisto biglietto premium in loco;
- Acquisto biglietto premium online.

► Uscita dalla struttura

- Positività test rapido;
- Green-pass non idoneo;
- Completamento partita.

Obiettivi

Obiettivo 1

- Migliorare profitti sala giochi rispetto al modello base:

$$G = \# \text{giocatori standard} * \text{costo biglietto standard} + \# \text{giocatori premium} * \text{costo biglietto premium} \\ - \# \text{giocatori standard} * \text{rimborso biglietto}(\text{attesa media coda standard}) * \text{costo biglietto standard} \\ - \# \text{giocatori premium} * \text{rimborso biglietto}(\text{attesa media coda premium}) * \text{costo biglietto premium} \\ - \# \text{arcade attivi} * \text{costo elettricità}$$

Costo biglietto standard: 10 €

Costo biglietto premium: 20 €

Costo elettricità: 2,4€/gg per Arcade

Max rimborso biglietto: 80%

Attesa minima rimborso biglietto: 8 minuti

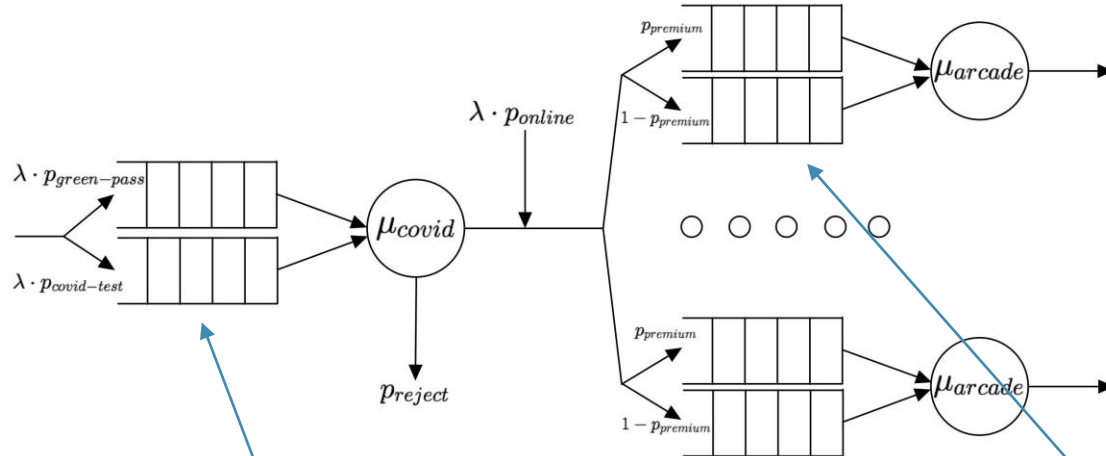


Obiettivi

Obiettivo 2

- ▶ Tempo medio di attesa nella coda Covid-19, inferiore a quello del modello base, per gli utenti con green-pass

Modello Concettuale



► Fasce orarie

- 08:00-12:00;
- 12:00-17:00;
- 17:00-22:00;
- 22:00-08:00.

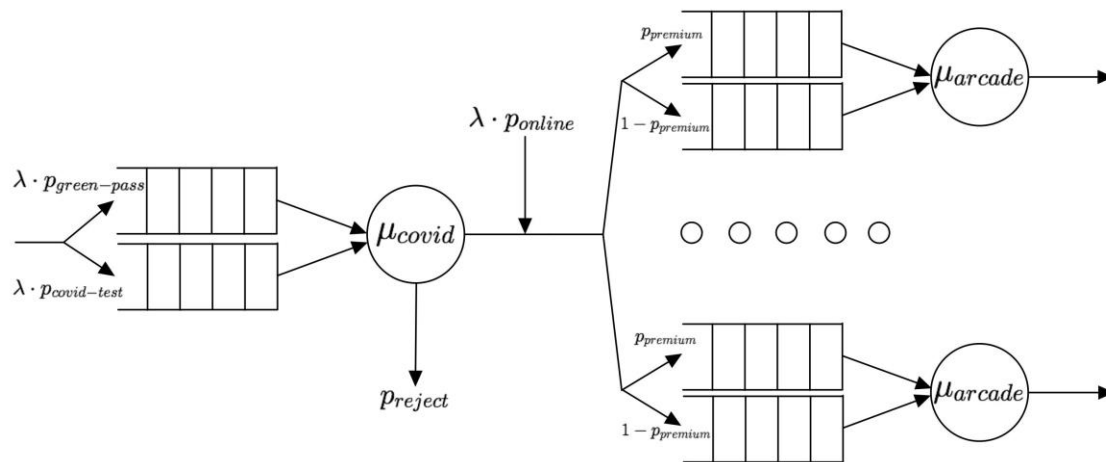
► Eventi

- Arrivo di un cliente standard;
- Arrivo di un cliente premium;
- Completamento di un servizio;
- Cambio di fascia oraria.

- Scheduling size-based senza prelazione
- Due classi di priorità

- Scheduling astratto senza prelazione
- Due classi di priorità

Modello delle Specifiche



Percentuale biglietto online(P_{online}): 20%
Percentuale clienti con biglietto premium($P_{premium}$): 36%
Percentuale clienti con Green-pass($P_{green-pass}$): 48%
Percentuale clienti senza Green-pass($P_{covid-test}$): 32%
Percentuale clienti positivi o Green-pass non valido(P_{reject}): 5%

► Arrivi

- 08:00-12:00: $\lambda = \frac{1}{14}$ clienti/min;
- 12:00-17:00: $\lambda = \frac{1}{5}$ clienti/min;
- 17:00-22:00: $\lambda = \frac{1}{14}$ clienti/min;
- 22:00-08:00: $\lambda = \frac{1}{35}$ clienti/min;

► Servizi

- Green-pass Covid-19 $\sim N(2, 2.25, 1, 3)$
- Tampone Covid-19 $\sim N(10, 2.25, 8, 12)$
- Arcade $\sim N(15, 9, 3, 25)$

Validazione

System statistics

# nodi Arcades	Avg interarrival time (min)	Avg wait (min)	Avg # node
2	14.037119	27.424052	1.953673
5	14.037119	21.654822	1.542677
9	14.037119	20.727016	1.476581

Legge di Little:

$$E[N] = \lambda * E[T]$$

* seed = 1234567891; $\lambda_{system} = \frac{1}{14} \frac{job}{min}$; #jobs = 517028

Arcade statistics

# nodi Arcades	Avg interarrival time (min)		Avg wait (min)		Avg # node		Avg # queue	
	Priority	Not Priority	Priority	Not Priority	Priority	Not Priority	Priority	Not Priority
2	81.467323	45.547404	17.803708	22.031882	0.218535	0.483710	0.034664	0.154467
5	205.391722	113.252959	15.827623	16.397222	0.077060	0.144781	0.004122	0.012311
9	370.111505	203.980331	15.425839	15.681829	0.041678	0.076871	0.001129	0.003296

* seed = 1234567891; $\lambda_{system} = \frac{1}{14} \frac{job}{min}$; #jobs = 517028

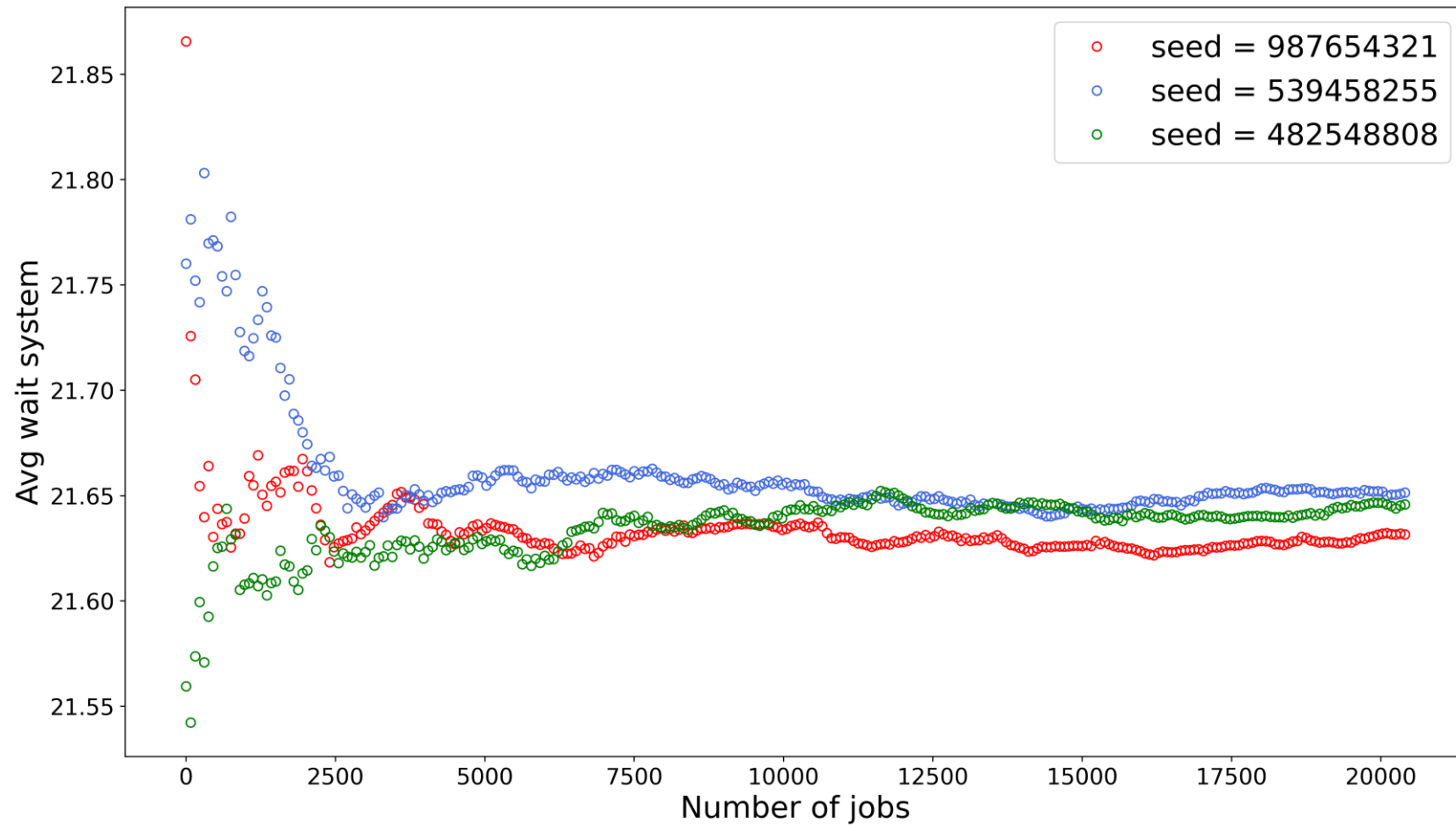
Esperimenti di Simulazione

Analisi del comportamento transiente

- ▶ Scopo dell'analisi
 - ▶ Studio stazionarietà con configurazione ottimale ottenuta nel modello base.
- ▶ Metodo delle repliche
 - ▶ Numero repliche: 64
 - ▶ Intervallo di campionamento: 75 completamenti

Esperimenti di Simulazione

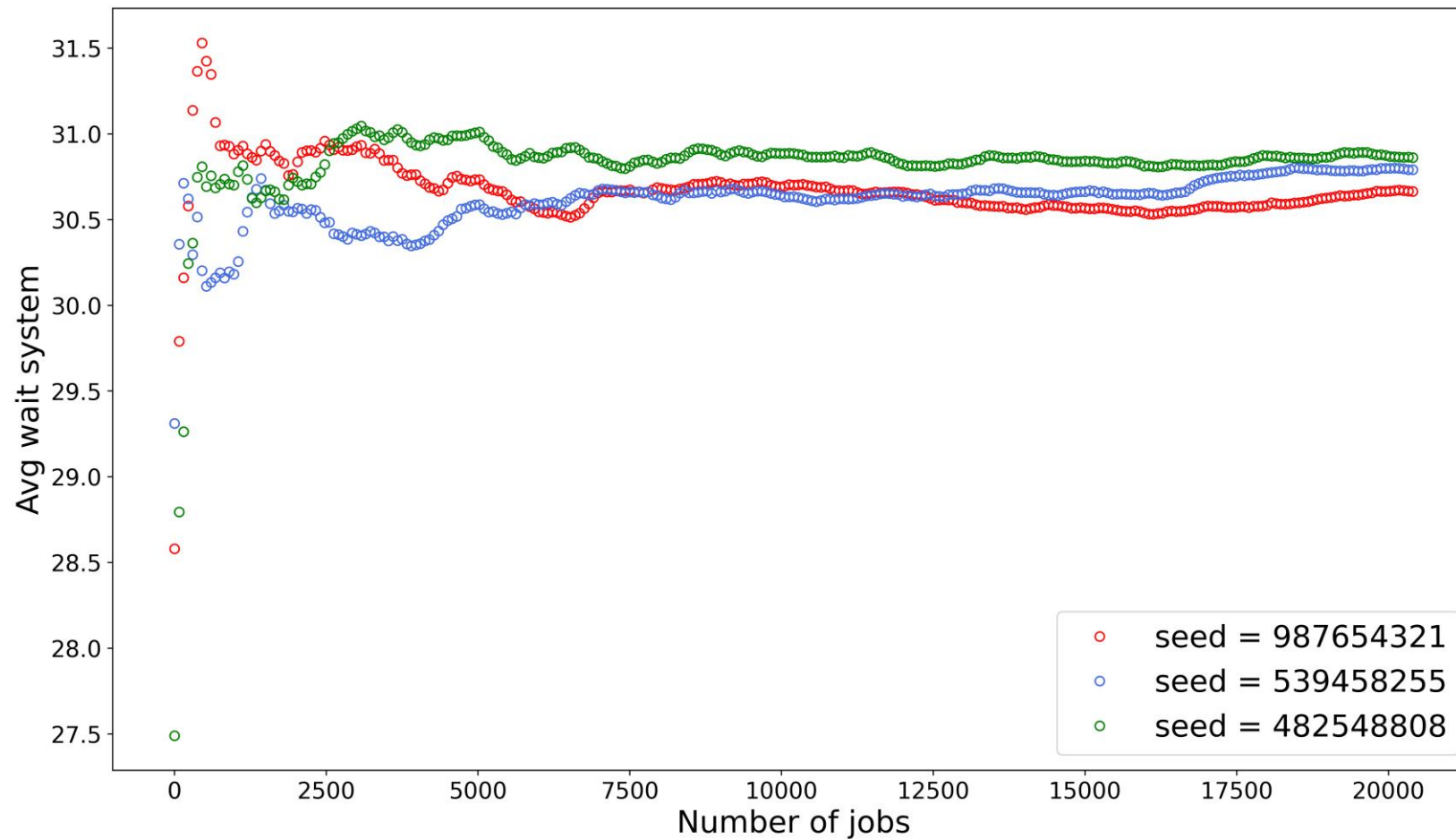
Analisi del comportamento transiente



* 8:00-12:00 & 17:00-22:00, $\lambda_{system} = \frac{1}{14} \frac{job}{min}$, Arcades: 5

Esperimenti di Simulazione

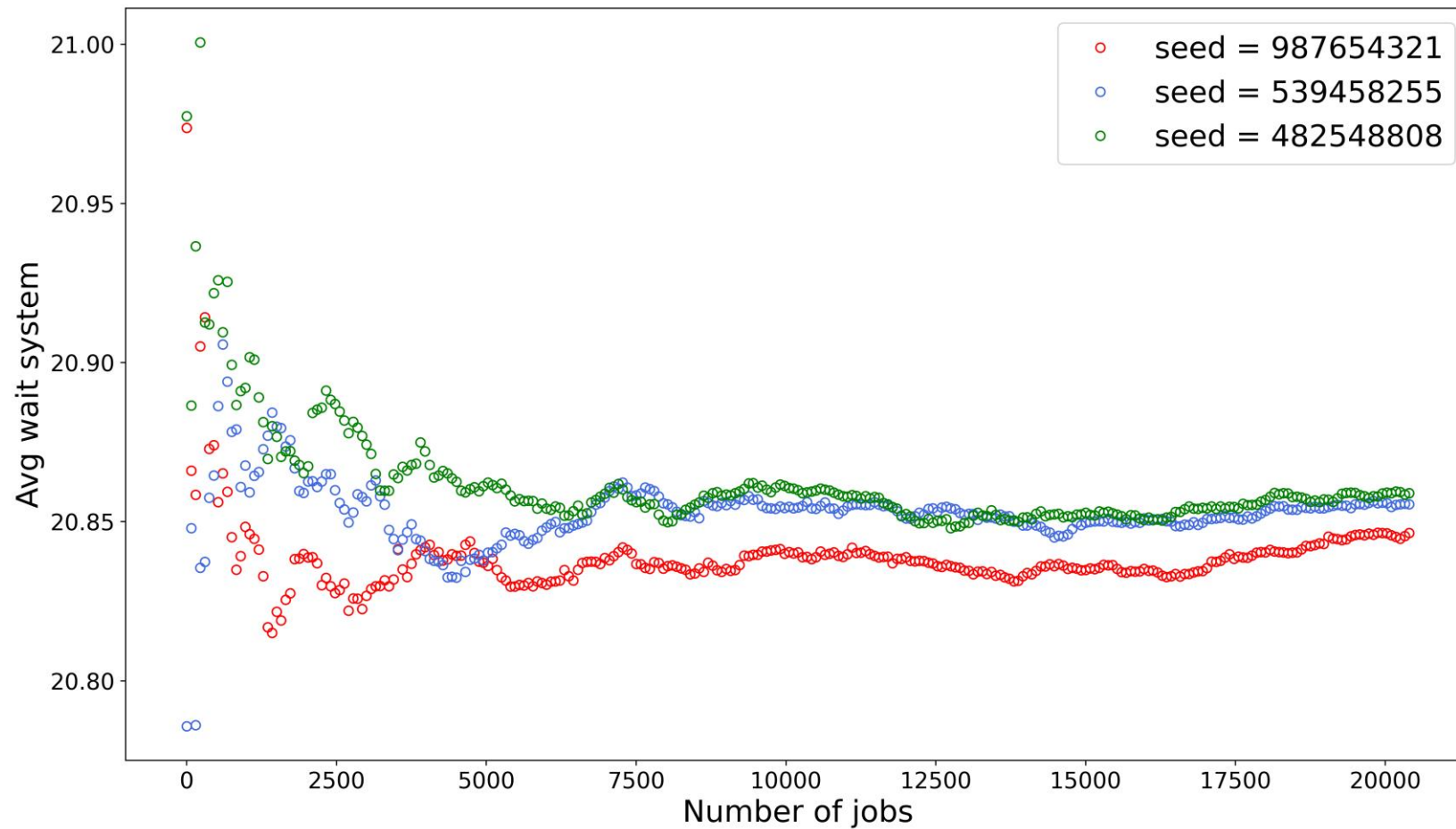
Analisi del comportamento transiente



* 12:00-17:00, $\lambda_{system} = \frac{1}{5} \frac{job}{min}$, Arcades: 12

Esperimenti di Simulazione

Analisi del comportamento transiente



* 22:00-08:00, $\lambda_{system} = \frac{1}{35} \frac{job}{min}$, Arcades: 2

Esperimenti di Simulazione

Analisi del comportamento stazionario

- ▶ Scopo dell'analisi
 - ▶ Confronto tempi di attesa coda Covid-19 per utenti con Green-pass, con il modello base.
- ▶ Metodo *Batch-Means*
 - ▶ $b = 256$
 - ▶ Banks, Carson, Nelson e Nicol ($lag\ 1 < 0,2$)
 - ▶ $k = 64$
- ▶ Risultati

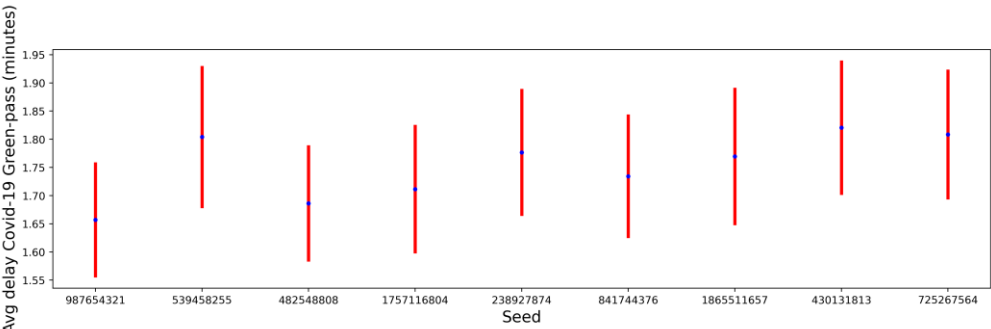
Fascia oraria	Configurazione ottimale*	Tempo medio di attesa Covid-19** modello base (min)	Tempo medio di attesa Covid-19** modello avanzato (min)
08:00-12:00	5	1.7343	0.2834
12:00-17:00	12	19.8254	1.8560
17:00-22:00	5	1.7343	0.2834
22:00-08:00	2	0.5698	0.0664

* Numero di nodi Arcade

** Utenti con Green-pass

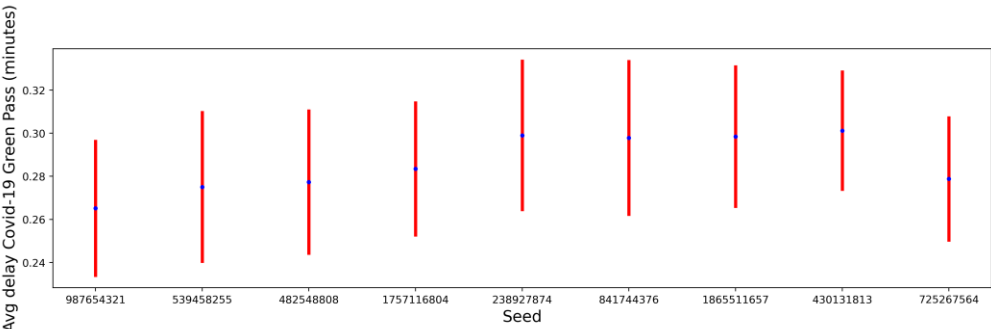
Esperimenti di Simulazione

Analisi del comportamento stazionario



SEED	MEAN VALUE	STD	CONFIDENCE INTERVAL	CONFIDENCE LEVEL
987654321	1.657018427230146	0.3919550835253442	±0.10210720331235597	95%
539458255	1.8039736942805255	0.4840676232609395	±0.1261032023943117	95%
482548808	1.686246769873599	0.3955807785380034	±0.10305172372647185	95%
1757116804	1.711487892489119	0.43773518366248093	±0.11403325858970863	95%
238927874	1.776710078911322	0.4325849592608041	±0.11269158697428673	95%
841744376	1.7343391918196984	0.4208117032744516	±0.10962456656002241	95%
1865511657	1.7695524880930216	0.4677824699371919	±0.12186079928912168	95%
482548808	1.686246769873599	0.3955807785380034	±0.10305172372647185	95%
430131813	1.8204593383438676	0.45782138818595	±0.11926586368977439	95%
725267564	1.8085013862657082	0.44195527177589905	±0.11513262281051986	95%

* 8:00-12:00 & 17:00-22:00, $\lambda_{system} = \frac{1}{14} \frac{job}{min}$

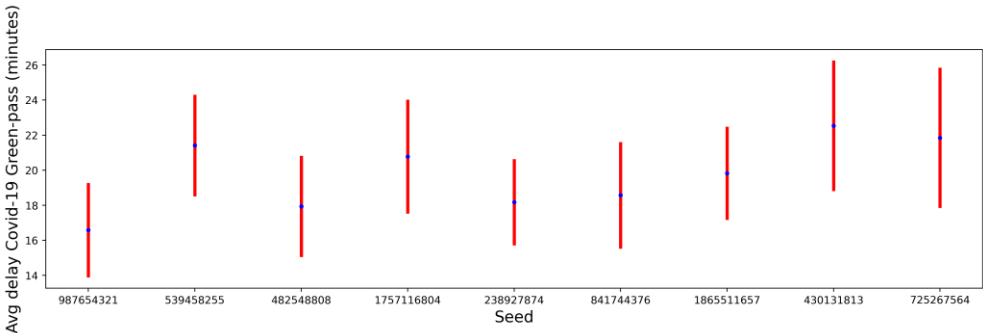


SEED	MEAN VALUE	STD	CONFIDENCE INTERVAL	CONFIDENCE LEVEL
987654321	0.2651574725493838	0.12217031946752235	±0.031826273399511024	95%
539458255	0.2750603147245544	0.13541923538702763	±0.035277714159747425	95%
482548808	0.27731700699764233	0.12950154138068184	±0.03373611102601185	95%
1757116804	0.28345604955486087	0.12051481035056412	±0.03139500100862805	95%
238927874	0.2989819860265338	0.134994951156739	±0.03516718497417174	95%
841744376	0.29782725559551576	0.13883149510258191	±0.03616663309759336	95%
1865511657	0.29840914467397857	0.12708981315955176	±0.033107837955551334	95%
482548808	0.27731700699764233	0.12950154138068184	±0.03373611102601185	95%
430131813	0.3012067126086917	0.10733001305826144	±0.027960263625842453	95%
725267564	0.2787716806661602	0.11167149861255289	±0.029091252779453035	95%

* 8:00-12:00 & 17:00-22:00, $\lambda_{system} = \frac{1}{14} \frac{job}{min}$

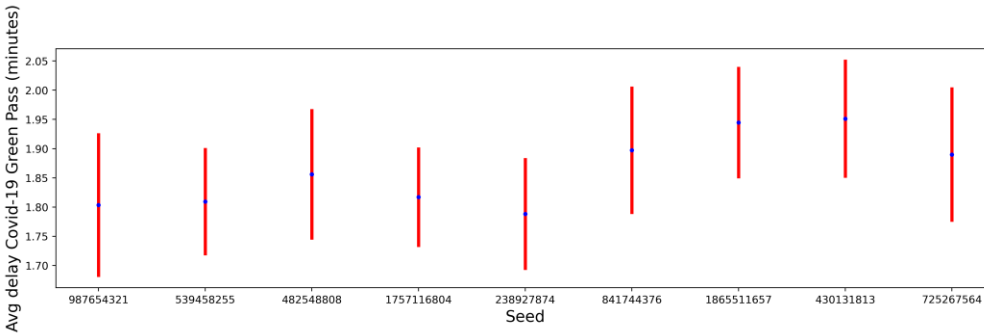
Esperimenti di Simulazione

Analisi del comportamento stazionario



SEED	MEAN VALUE	STD	CONFIDENCE INTERVAL	CONFIDENCE LEVEL
987654321	16.578580550630903	10.340424122234236	±2.6937570975953165	95%
539458255	21.407738790082796	11.123433820573319	±2.8977421355971305	95%
482548808	17.932942527942615	11.060285119938108	±2.8812862210552805	95%
1757116804	20.775051224049072	12.484255713497168	±3.252241111089127	95%
238927874	18.168705982472815	9.454580101904954	±2.462988166948323	95%
841744376	18.566191283355685	11.664418328554277	±3.0386673980133496	95%
1865511657	19.825435921071428	10.204153425073331	±2.658257571334866	95%
482548808	17.932942527942615	11.060285119938108	±2.8812862210552805	95%
430131813	22.53519996338946	14.296622537077328	±3.724376096729394	95%
725267564	21.848367622807526	15.34816708403181	±3.9983112422623077	95%

* 12:00-17:00, $\lambda_{system} = \frac{1}{5} \frac{job}{min}$

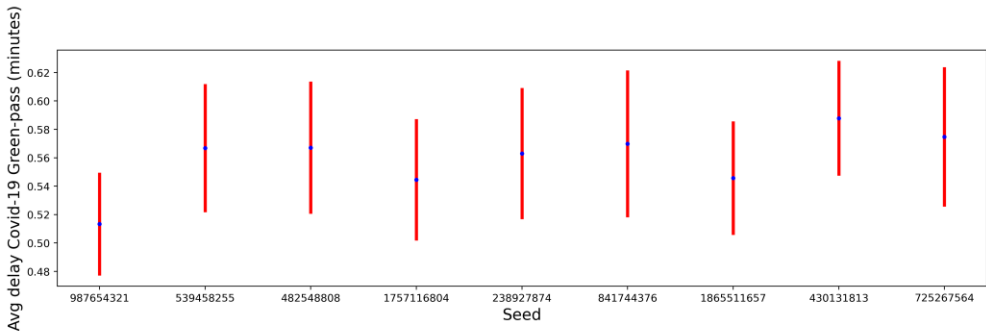


SEED	MEAN VALUE	STD	CONFIDENCE INTERVAL	CONFIDENCE LEVEL
987654321	1.8034880175227537	0.47198074955617925	±0.12295448223555129	95%
539458255	1.8091756139848176	0.3527244438920505	±0.09188733102218964	95%
482548808	1.8560161814868013	0.4280255767992163	±0.11150383406189458	95%
1757116804	1.81702156618597	0.32721866452784387	±0.08524288652166885	95%
238927874	1.7882593521381844	0.3674339241589149	±0.09571925961645342	95%
841744376	1.8971495526408553	0.41836913891639527	±0.10898826044742305	95%
1865511657	1.9446076702122521	0.36659595003384093	±0.09550996114819566	95%
482548808	1.8560161814868013	0.4280255767992163	±0.11150383406189458	95%
430131813	1.9511742534920518	0.3881784978402056	±0.10112337476008756	95%
725267564	1.8898890165264743	0.44189141355215256	±0.11511598727009874	95%

* 12:00-17:00, $\lambda_{system} = \frac{1}{5} \frac{job}{min}$

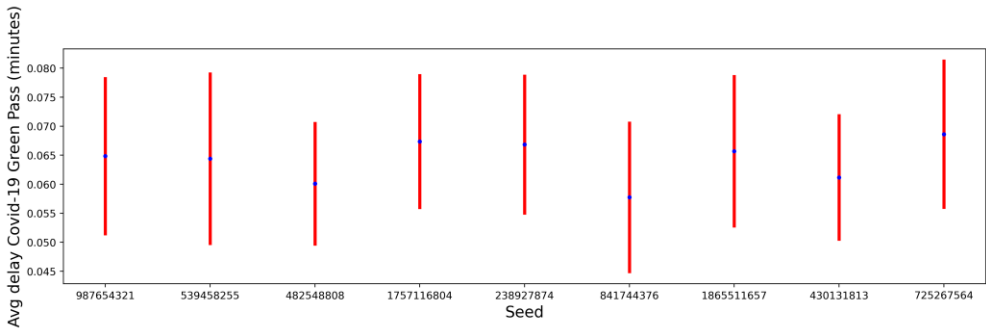
Esperimenti di Simulazione

Analisi del comportamento stazionario



SEED	MEAN VALUE	STD	CONFIDENCE INTERVAL	CONFIDENCE LEVEL
987654321	0.5133337755964413	0.138976862666143	±0.03620450258137832	95%
539458255	0.5668592708571076	0.17320402378595803	±0.045120931490833446	95%
482548808	0.5670787667601349	0.1784899723734353	±0.04649796026225721	95%
1757116804	0.544480465812209	0.16419449241216016	±0.04277388181498979	95%
238927874	0.5629645019579377	0.17740935193746357	±0.04621645063220767	95%
841744376	0.5698849315806727	0.19848823601376447	±0.05170765611069784	95%
1865511657	0.545664712269986	0.15348755174863197	±0.03998464444307188	95%
482548808	0.5670787667601349	0.1784899723734353	±0.04649796026225721	95%
430131813	0.5878378446236471	0.15512438713645538	±0.04041105218889827	95%
725267564	0.5746980243411038	0.1884268190984402	±0.049086582457708805	95%

* 22:00-08:00, $\lambda_{system} = \frac{1}{35} \frac{job}{min}$

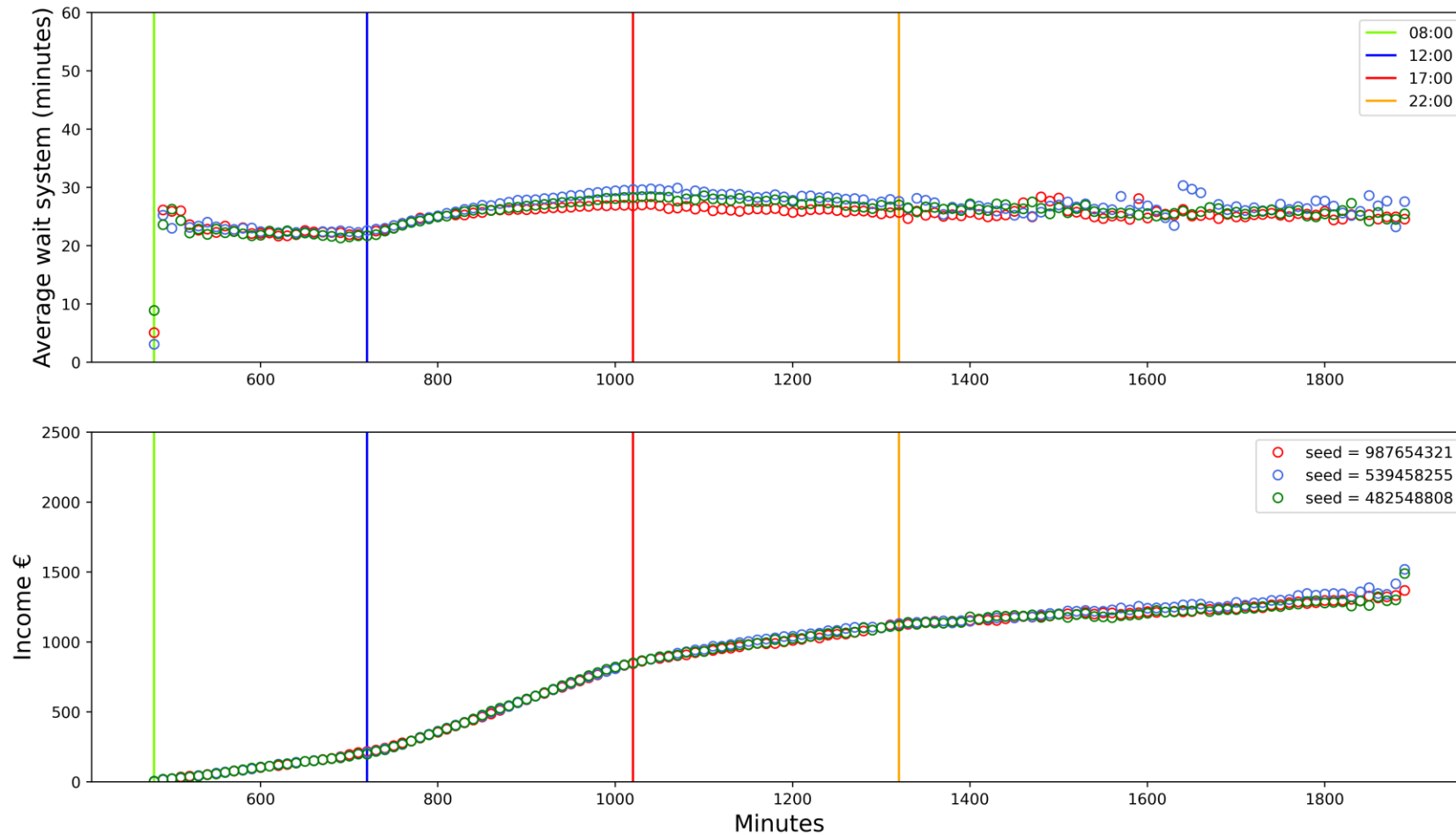


SEED	MEAN VALUE	STD	CONFIDENCE INTERVAL	CONFIDENCE LEVEL
987654321	0.06484014683463561	0.05235408393665761	±0.013638676764759866	95%
539458255	0.06439144084013518	0.05711860261048901	±0.014879819180326439	95%
482548808	0.06008617668833253	0.040873143777753175	±0.010647756789357579	95%
1757116804	0.06735423961675877	0.0446622022822353	±0.011634834603477959	95%
238927874	0.06682874160319838	0.046311543366728325	±0.012064500176203873	95%
841744376	0.057742149418870105	0.050120237816276655	±0.013056693299499662	95%
1865511657	0.06567901270092515	0.050457586744239495	±0.013144575194702789	95%
482548808	0.06008617668833253	0.040873143777753175	±0.010647756789357579	95%
430131813	0.061163732445865586	0.04185184940469543	±0.010902716856552825	95%
725267564	0.06861758389201747	0.04938956064319112	±0.01286634648221411	95%

* 22:00-08:00, $\lambda_{system} = \frac{1}{35} \frac{job}{min}$

Esperimenti di Simulazione

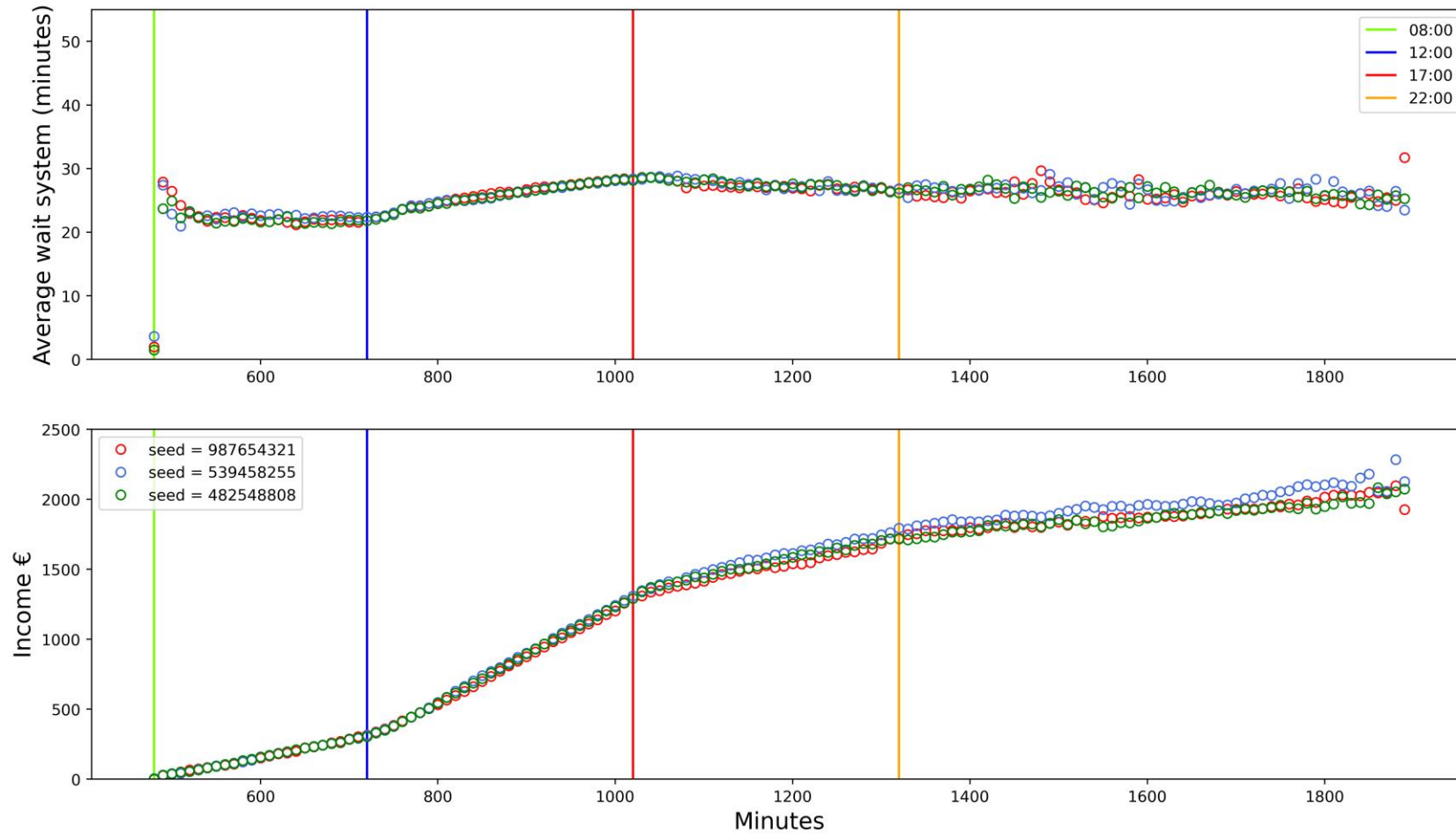
Analisi del guadagno giornaliero



* Configurazione ottimale base, intervallo di campionamento = 10 minuti

Esperimenti di Simulazione

Analisi del guadagno giornaliero



* Configurazione ottimale avanzato, intervallo di campionamento = 10 minuti

Conclusioni

- ▶ Profitto sala giochi
 - ▶ Base: Aumento del 250% rispetto alla configurazione minima
 - ▶ Avanzato: Aumento del 43% rispetto alla configurazione ottimale del modello base
- ▶ Fairness
- ▶ References
 - ▶ [1] Lawrence M. Leemis, Stephen K. Park, Discrete-Event Simulation - A first course, Pearson Education Prentice Hall, 2006.
 - ▶ [2] <https://github.com/pdsteele/DES-Python>

Grazie per l'attenzione