

Progetto PMCSN
Analisi dei tempi di risposta di un centro vaccinale per
l'inoculazione del vaccino antinfluenzale
Open Day 17 dicembre 2022

Giulia Menichini 0298906

February 16, 2023

Contents

1	Caso di Studio	2
1.1	Obiettivo dello studio	2
2	Modello base	3
2.1	Modello concettuale	3
2.1.1	Politiche di scheduling dei job	4
2.1.2	Stato del sistema	4
2.1.3	Eventi	4
2.2	Modello delle specifiche	4
2.2.1	Dati di input	5
2.3	Modello Computazionale	6
2.3.1	Eventi	6
2.3.2	Generazione degli eventi	7
2.3.3	Scheduler	7
2.3.4	Clock di simulazione	7
2.3.5	Campionamento delle statistiche	8
2.4	Simulazione orizzonte finito	10
2.5	Simulazione ad orizzonte infinito	10
2.5.1	Esperimenti	14
2.6	Verifica	14
2.6.1	Conclusioni	14
2.6.2	Controlli di consistenza sulle statistiche di output	16
2.7	Validazione	19
2.7.1	Test Effettuati	19
2.8	Progettazione degli esperimenti	26
2.8.1	Simulazione ad orizzonte finito - Tempi	30
3	Sistema Migliorato	32
3.1	Modifiche apportate	32
3.1.1	Obiettivi	32
3.2	Modello Concettuale	33
3.3	Verifica Modello Migliorativo	33
3.3.1	Controlli di consistenza sulle statistiche di output	34
3.4	Configurazione Ottima	36
3.4.1	Simulazione ad orizzonte finito - Tempi	37
3.5	Confronti	38
3.5.1	Confronto con precedente modello - Simulazione ad orizzonte infinito	38
3.5.2	Confronto con precedente modello - Simulazione ad orizzonte finito	39
3.6	Atro modello migliorativo	39

Chapter 1

Caso di Studio

Il progetto ha come obiettivo la realizzazione di una simulazione di un centro vaccinale in particolare fa riferimento al giorno 17 dicembre 2022 data in cui la regione lazio in collaborazione con la provincia di Frosinone ha organizzato una giornata di openDay in cui ogni cittadino, se voleva, poteva recarsi liberamente nel centro e ricevere gratuitamente la somministrazione del vaccino antinfluenzale per garantire la copertura anticorpale prima delle vacanze natalizie. I dati utilizzati (in particolare le percentuali, il numero di pazienti che hanno fatto accesso nel centro e la configurazione utilizzata) per la definizione del sistema sono dati reali gentilmente forniti dalla direttrice dell'unità operativa per il Coordinamento dell'attività vaccinale.

Il centro vaccinale garantiva la vaccinazione dalle ore 8.30 alle ore 13.30 senza preventiva prenotazione.

Sono state inoltre messe a disposizione due tipologie di vaccino, il vaccino antinfluenzale con iniezione (vaccino non vivo) e il vaccino antinfluenzale a virus attenuato somministrato tramite un semplice spray nasale. Questa tipologia di vaccino può essere somministrata a bambini ed adolescenti di età compresa tra i 2 e i 18 anni.

1.1 Obiettivo dello studio

L'obiettivo principale prevede l'analisi dei tempi di risposta del sistema, rispettando il seguente QoS:

- Il tempo di risposta medio del sistema non deve superare i 25 min, i pazienti devono trascorrere all'interno del centro vaccinale non più di 25 minuti da quando entrano a quando escono da esso dopo aver ricevuto la somministrazione del vaccino.

Chapter 2

Modello base

2.1 Modello concettuale

Sono stati modellati i seguenti centri:

- Accettazione
- Anamnesi
- Inoculazione
- Inoculazione Attenuato

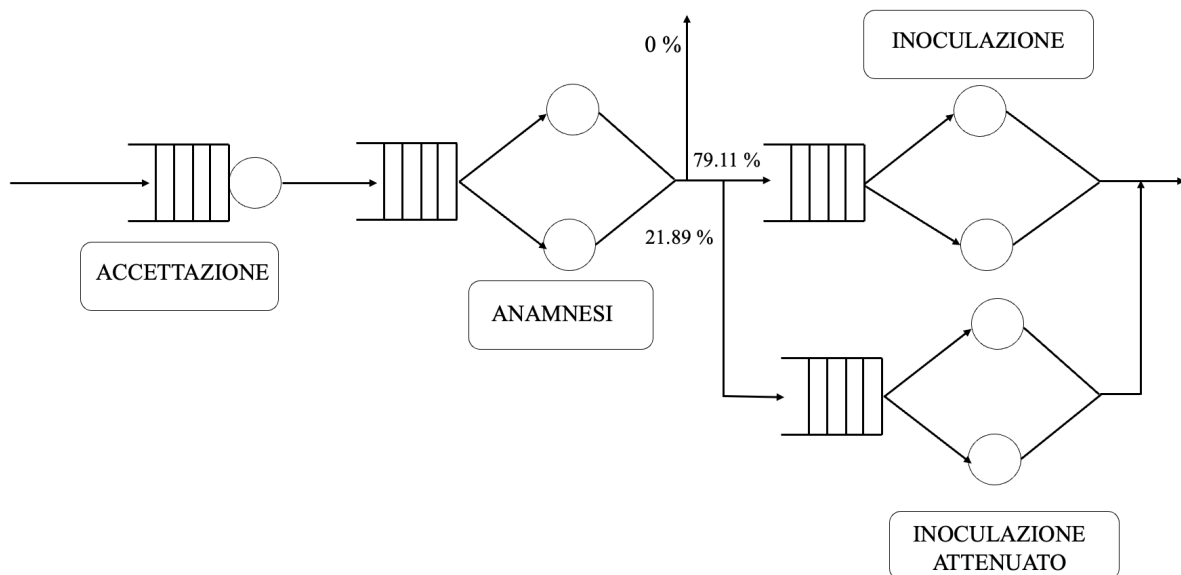


Figure 2.1: Grafico esplicativo del modello concettuale utilizzato per la definizione del sistema preso in esame.

Il centro **accettazione** rispettando la realtà viene modellato con coda singola a servente singolo **M/M/1**.

I centri **anamnesi**, **inoculazione** e **inoculazione attenuato** rispettando anche in questo

caso la reatà vengono modellati con code singole a servente multiplo $M/M/2$.

2.1.1 Politiche di scheduling dei job

Tutte le code presenti all'interno del sistema (coda per l'accettazione, coda per l'anamnesi, coda per l'inoculazione e coda per l'inoculazione attenuato) seguono la politica di scheduling **FIFO**, con tempi di arrivo e di servizio esponenziali. E' ragionevole infatti pensare che il primo job o paziente avrà precedenza sui job che lo susseguono in base all'istante di arrivo. Inoltre vengono modellate come **Non-Preemptive** poiché non c'è reale necessità di prelazione. Non è infatti necessario che un job in servizio venga interrotto da un job appena arrivato con priorità più alta poiché il sistema non riguarda situazione emergenziali.

2.1.2 Stato del sistema

Gli stati del sistema sono una sua caratterizzazione completa ad ogni istante di tempo in particolare essi sono per il progetto:

- Numero di utenti per centro
- Numero di utenti in servizio
- Numero di utenti in coda
- Stato di ogni servente che può essere idle o busy
- Stato di ogni coda che può essere vuota o non vuota

2.1.3 Eventi

Gli eventi causano un cambiamento dello stato del sistema e questo si verifica per gli eventi di completamento del servizio e per l'arrivo di un paziente all'interno del centro.

2.2 Modello delle specifiche

I dati di input forniti al modello sono: il tasso di arrivo definito come $LAMBDA$, il tempo medio di servizio per i diversi centri per ogni singolo servente:

$$\frac{1}{MU_ACCETTAZIONE}$$

$$\frac{1}{MU_ANAMNESI}$$

$$\frac{1}{MU_INOCULAZIONE}$$

$$\frac{1}{MU_INOCULAZIONE_ATTENUATO}$$

e i valori delle probabilità $prob_vaccino$ e $prob_vaccino_attenuato$.

2.2.1 Dati di input

I dati utilizzati in input per il sistema sono i seguenti:

PAZIENTI	137 in 5h
LAMBDA	0.456 job/min

Table 2.1: Numero di pazienti in ingresso al centro e tasso medio di arrivo

prob_vaccino	100 %
prob_vaccino_attenuato	21.897819 %

Table 2.2: Probabilità di routing

MU_ACCETTAZIONE	0.515 job/min
MU_ANAMNESI	0.3 job/min
MU_INOCULAZIONE	0.249 job/min
MU_INOCULAZIONE_ATTENUATO	0.36 job/min

Table 2.3: Tabella valori dei μ dei singoli centri

In particolare prob_vaccino rappresenta la probabilità che un paziente che si sottopone al centro di anamnesi abbia un esito positivo, mentre prob_vaccino_attenuato indica la probabilità che un paziente che ha ricevuto esito positivo al centro di anamnesi faccia il vaccino vivo attenuato.

Nel caso specifico della giornata del 17 dicembre nessun paziente è risultato non idoneo al vaccino. Ogni paziente che si è recato nel centro vaccinale ha quindi ricevuto la somministrazione.

Le assunzioni che vengono fatte sono le seguenti:

- I pazienti hanno un comportamento *one-step* vi può essere infatti lo spostamento di un solo job o paziente alla volta
- Sistema non-preemptive, non è infatti previsto un meccanismo di priorità che causa l'interruzione di job già in servizio come potrebbe ad esempio accadere all'interno di un pronto soccorso in cui vengono processate le emergenze e la priorità è definita in base ai codici assegnati in fase di accettazione.
- I pazienti, non potendo effettuare una prenotazione, arrivano al centro vaccinale ad istanti di tempo casuali questo implica che si ha una distribuzione poissoniana degli arrivi e tempi di interarrivo che seguono una distribuzione esponenziale.

- Tempi di servizio distribuiti esponenzialmente.

La distribuzione esponenziale è una distribuzione "senza memoria", il tempo trascorso non influenza l'evento che si verifica in futuro. In questo caso si è quindi supposto che il tempo di servizio dipenda principalmente dal tempo necessario per eseguire il "servizio". Tuttavia tale tempo nella realtà può essere influenzato da altri fattori ad esempio il numero di persone in attesa, la complessità dell'attività da eseguire, la disponibilità di risorse e del personale sotto questa assunzione sarebbe stato opportuno utilizzare una distribuzione più complessa come la distribuzione di Erlang la quale tiene conto in modo più esplicito dei fattori che influenzando il tempo medio di servizio rispetto alla distribuzione esponenziale.

- I clienti vengono serviti in accordo ad una disciplina FIFO.

2.3 Modello Computazionale

La simulazione è stata interamente progettata in linguaggio C fatta eccezione per la sezione di visualizzazione con grafici definita con le librerie matplotlib e seaborn fornite dal linguaggio di programmazione Python.

2.3.1 Eventi

L'approccio utilizzato per la realizzazione del modello computazione è quello della next-event simulation vengono infatti definiti degli eventi che si susseguono. Tali eventi vengono gestiti mediante la struttura dati presente in figura.

```
10  typedef struct {
11      double current;
12      double x;
13  }event_list;
14
```

Figure 2.2: Struttura dati "event_list" per la gestione degli eventi.

In particolare:

- **double** current: Prossimo istante dell'evento.
- **double** x: Stato dell'evento $\in \{0,1\}$.

In particolare gli eventi sono: l'arrivo dall'esterno e il completamento dei centri. Il completamento del centro di accettazione è l'arrivo per il centro di anamnesi. Il completamento del centro di anamnesi è l'arrivo del centro di inoculazione o inoculazione attenuato.

2.3.2 Generazione degli eventi

La generazione degli eventi avviene grazie alla libreria "rngs.c". In particolare viene invocata la funzione **PlantSeeds** una sola volta per l'inizializzazione degli Stream utilizzati. L'arrivo viene gestito con la funzione **GetArrival**, si seleziona lo stream mediante la funzione **SelectStream** e viene generata una variata pseudocasuale di tipo esponenziale: $\text{Exponential}(1/\text{LAMBDA})$

Per la definizione del tempo medio di servizio viene utilizzata la funzione **GetService**, si seleziona nuovamente lo stream con la funzione **SelectStream** e vengono generate variate esponenziali con media dipendente dallo specifico centro.

- $\text{Exponential}(1/\text{MU_ACCETTAZIONE})$
- $\text{Exponential}(1/\text{MU_ANAMNESI})$
- $\text{Exponential}(1/\text{MU_INOCULAZIONE})$
- $\text{Exponential}(1/\text{MU_INOCULAZIONE_ATTENUATO})$

I valori dei tempi medi di servizio sono fissati e presenti nel paragrafo 4.1. Le probabilità sono state invece modellate con distribuzioni uniformi utilizzando la funzione $\text{Uniform}(a,b)$ fornita dalla libreria **rvgs.c** con valori di a e b rispettivamente pari a 0 e 1.

2.3.3 Scheduler

Il sistema di gestione del tempo, che assicura la sequenza ordinata degli eventi temporali, in ogni iterazione del ciclo di simulazione:

- Calcola la prossima occorrenza dell'evento $t \rightarrow \text{next} = \text{next_event}(\cdot)$
- Aggiorna l'orologio di sistema $t \rightarrow \text{current} = t \rightarrow \text{next}$ finché il tempo di occorrenza non supera STOP nel caso di simulazione ad orizzonte finito.

2.3.4 Clock di simulazione

L'orologio di sistema viene posto all'interno della struct "t" presente in figura 5.1. Tale struct memorizza le informazioni relative al tempo di simulazione. In particolare:

- **double** next: istante di occorrenza del successivo evento nel sistema.
- **double** last: Ultimo istante di arrivo del job.
- **double** current: Istante corrente, l'orologio di sistema.

```

41
42  struct t{
43      double current;
44      double next;
45      double last;
46  }
47  }t;

```

Figure 2.3: struct "t" per la memorizzazione delle informazioni sul tempo di simulazione.

Di seguito sono riportate alcune osservazioni relative al tempo di simulazione:

- Il tempo viene misurato in minuti.
- L'orologio di sistema viene inizializzato a START.
- Il tempo di simulazione è pari a STOP (per la simulazione ad orizzonte finito).

START	0.0
STOP	300.0 min

Table 2.4: Tabella dati sul tempo di simulazione

2.3.5 Campionamento delle statistiche

Avviata la simulazione, le statistiche ottenute vengono mantenute nella struct "dati" creata, la quale viene mostrata in figura 5.3. Tale struct è stata utilizzata per la stampa delle statistiche sia per la simulazione ad orizzonte finito che per la simulazione ad orizzonte infinito.

In particolare contiene:

```

49 typedef struct dati{
50     double lambda;
51     double Ts;
52     double Tq;
53     double Es;
54     double N;
55     double Nq;
56     double ro;
57     char *name;
58     double job;
59
60 }dati;

```

Figure 2.4: struct "dati" per il salvataggio delle statistiche.

- Lambda indica il tasso medio di arrivo, quanti job al minuto fanno ingresso nel sistema sopra descritto
- Ts indica il tempio medio di risposta ovvero il tempo totale che il job ha passato all'interno del singolo centro:

$$\bar{w}_c = \frac{1}{n_c} \int_0^{t_{end}} l_c(t) dt$$

- Tq indica il tempo medio in coda nel singolo centro:

$$\bar{d}_c = \frac{1}{n_c} \int_0^{t_{end}} q_c(t) dt$$

- Es indica il tempo medio di servizio nel centro:

$$\bar{s}_c = \frac{1}{n_c} \int_0^{t_{end}} s_c(t) dt$$

- N è il numero medio di job che hanno completato l'operazione nel centro:

$$\bar{l}_c = \frac{1}{t_{end}} \int_0^{t_{end}} l_c(t) dt$$

- Nq è il numero medio di job che attendono in coda nel centro:

$$\bar{q}_c = \frac{1}{t_{end}} \int_0^{t_{end}} q_c(t) dt$$

- ro indica l'utilizzazione del centro:

$$\bar{x}_c = \frac{1}{t_{end} * m_c} \int_0^{t_{end}} s_c(t) dt$$

con m numero di server (per il servente MULTI) e t_{end} istante di fine simulazione.

- **name** indica il nome del centro, utile per la stampa degli output.
- **job** indica il numero totale di job all'interno del centro considerato.

Gli integrali sopra descritti vengono così calcolati:

```

314 inoculazione_attenuato.number=0){
315     inoculazione_attenuato.area += (t.next - t.current) * inoculazione_attenuato.number;
316
317     if(inoculazione_attenuato.number > inoculazione_attenuato.servers) {
318         inoculazione_attenuato.service += (t.next - t.current)*inoculazione_attenuato.servers;
319     }
320     else{
321         inoculazione_attenuato.service += (t.next - t.current)*inoculazione_attenuato.number;
322     }
323
324     if(inoculazione_attenuato.number > inoculazione_attenuato.servers - 1){
325         inoculazione_attenuato.queue += (t.next - t.current) * (inoculazione_attenuato.number - inoculazione_attenuato.servers);
326     }
327 }
328
329

```

Figure 2.5: Calcolo Integrali

2.4 Simulazione orizzonte finito

Per l'analisi dello stato transiente è stata adottata la tecnica *replication*, dove la run è stata eseguita 64 volte in modo tale da poterne derivare le statistiche mediate sulle 64 repliche.

Ogni replica misura in maniera indipendente le stesse metriche, tale indipendenza viene garantita evitando la sovrapposizione tra le repliche effettuando la chiamata alla funzione PlantSeed() una sola volta all'inizio della simulazione. Il sistema risulta inoltre idle all'inizio ed alla fine della simulazione ed è stato simulato per un tempo pari a 300 minuti ovvero il tempo di reale apertura del centro vaccinale.

2.5 Simulazione ad orizzonte infinito

La simulazione ad orizzonte infinito è stata utilizzata per verificare il comportamento del modello in regime stazionario.

E' stato utilizzato il metodo delle batch means per validare il modello.

Tale metodo consiste nella suddivisione dei dati di simulazione in batch o gruppi, e vengono calcolate le statistiche per ogni batch per ottenere una stima a lungo termine del sistema.

In particolare per utilizzare tale metodo è necessario scegliere i seguenti parametri:

- Numero di batch : il numero di batch in cui i dati di simulazione devono essere suddivisi. Per questa simulazione è stato scelto $K = 128$.

- Dimensione del batch: La dimensione di ogni batch, ovvero il numero di dati che compongono ogni batch. Tale dimensione può influire sul numero di medie calcolato e, di conseguenza, sulla precisione della stima del comportamento a lungo termine del sistema. Per questa simulazione è stato scelto $B = 2048$. Tale valore è stato definito andando a verificare come al variare della grandezza del batch la statistica sul tempo medio di risposta del sistema convergesse al tempo medio di risposta del sistema ottenuto dall'analisi teorica. La dimensione scelta è stata quella che ha garantito una convergenza migliore senza peggiorare troppo l'onere computazionale in termini di tempi di esecuzione. E' stato inoltre verificata l'autocorrelazione per i valori di K e B scelti in particolare è stato verificato che questa fosse inferiore a 0.2 per $LAG = 1$. A parità di convergenza è stata scelta la dimensione che ha garantito una autocorrelazione più bassa. Graficamente:

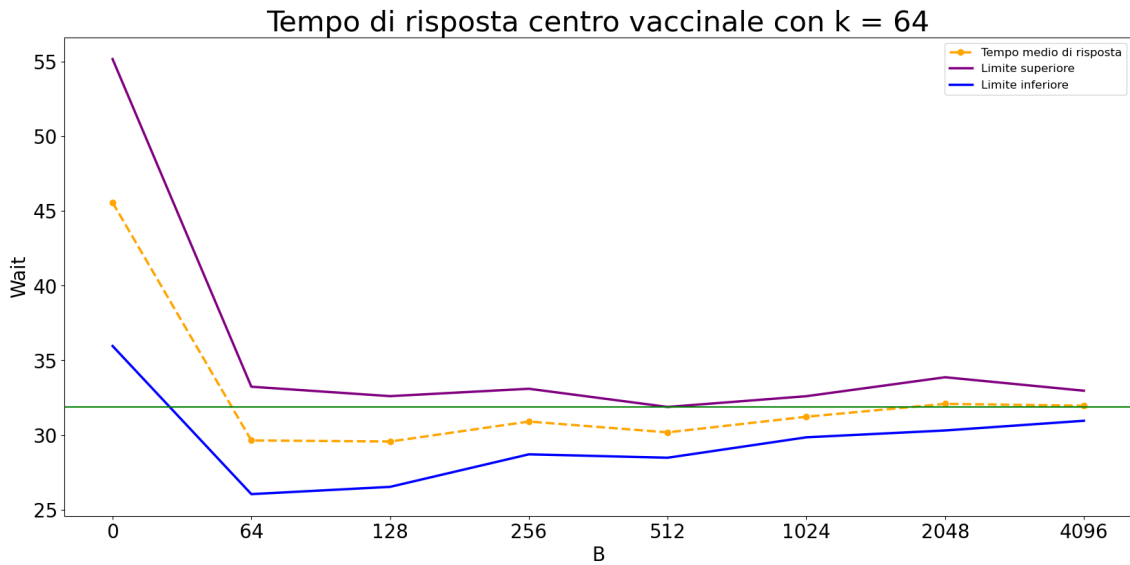


Figure 2.6: Andamento del tempo medio di risposta al variare della grandezza del batch

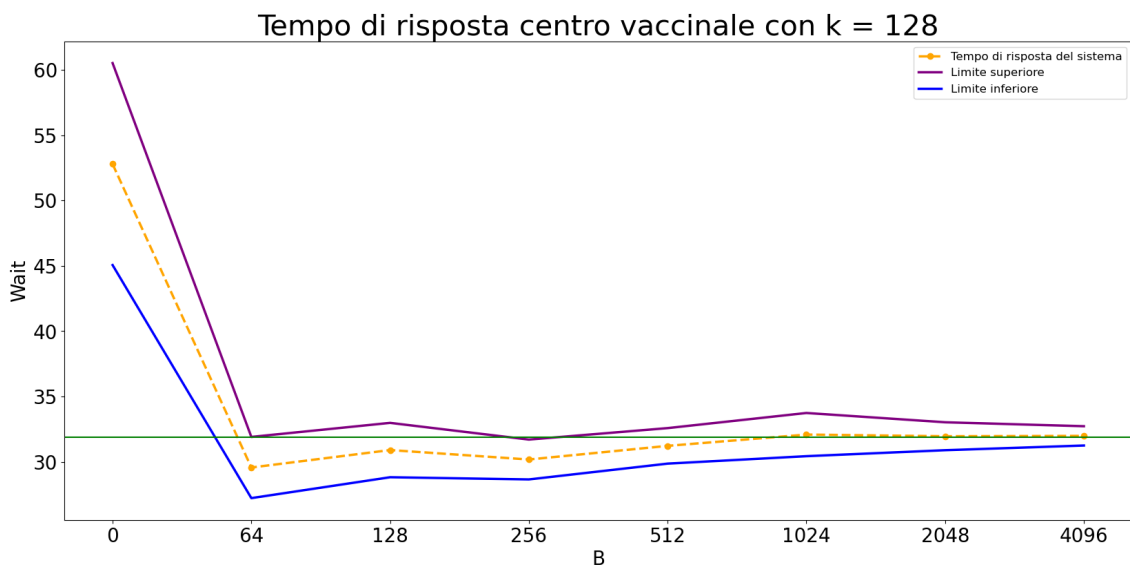


Figure 2.7: Andamento del tempo medio di risposta al variare della grandezza del batch

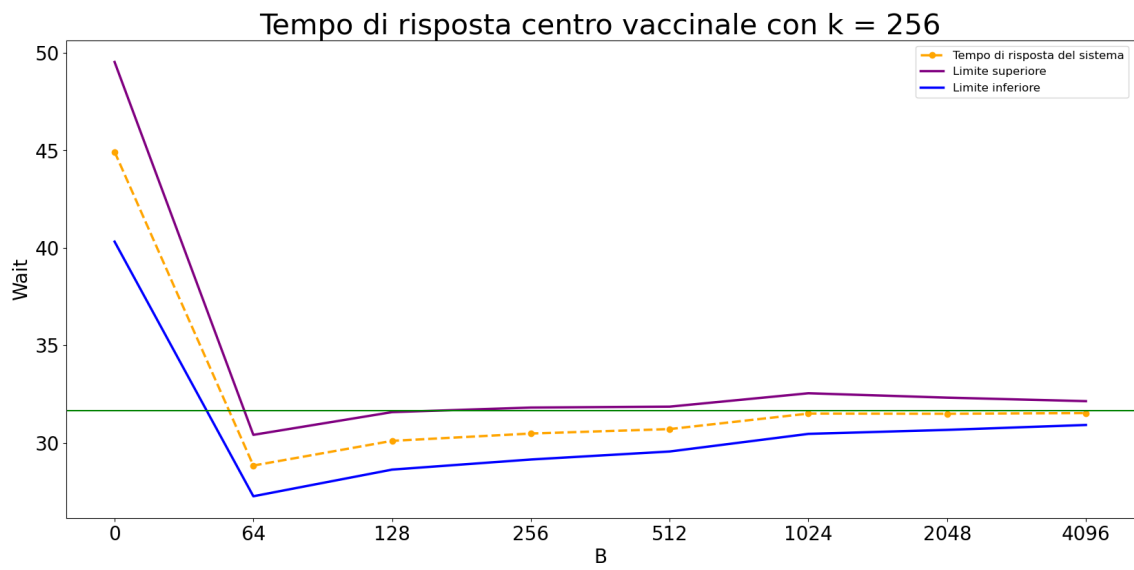


Figure 2.8: Andamento del tempo medio di risposta al variare della grandezza del batch

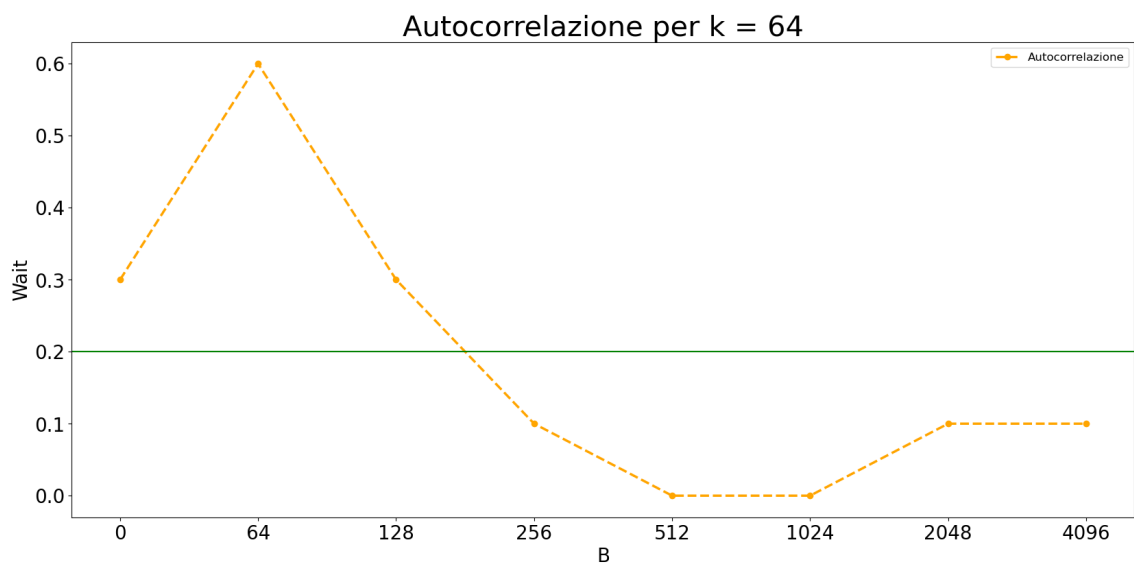


Figure 2.9: Autocorrelazione al variare della dimensionalità del batch

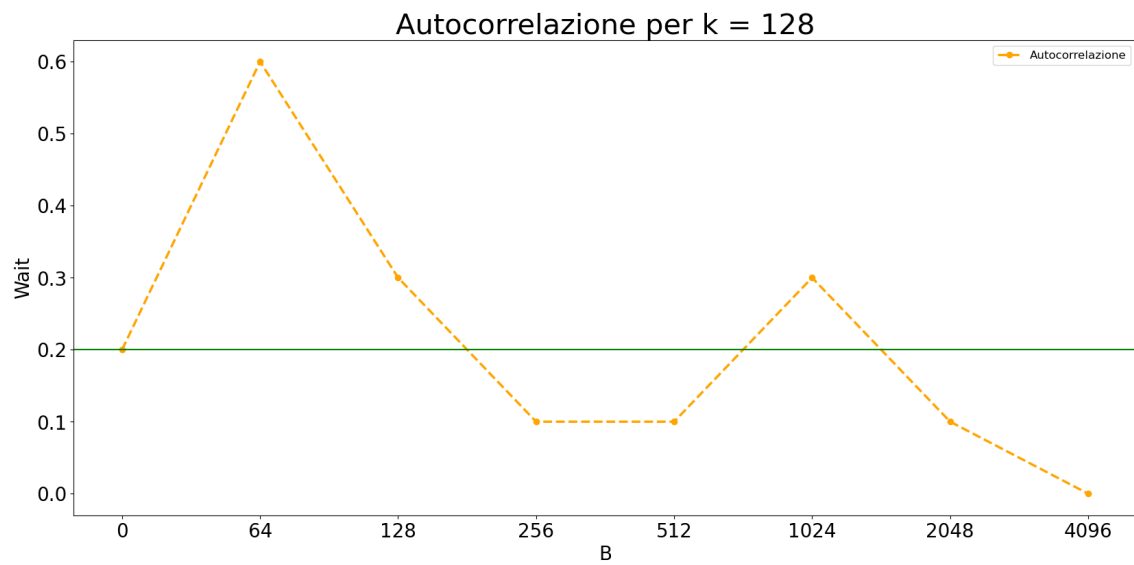


Figure 2.10: Autocorrelazione al variare della dimensionalità del batch

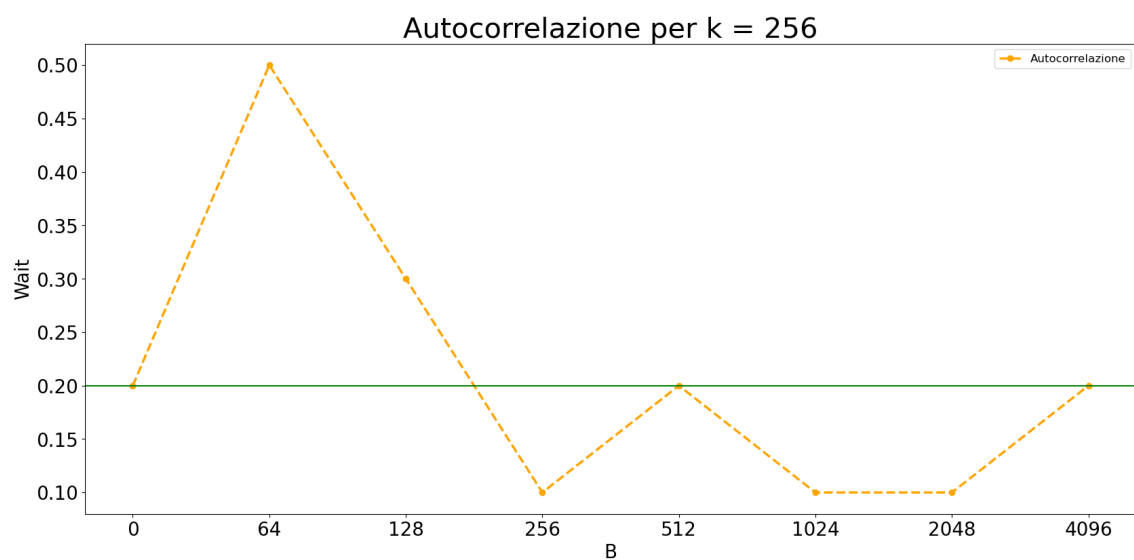


Figure 2.11: Autocorrelazione al variare della dimensionalità del batch

Inoltre al termine di ogni replica per la simulazione ad orizzonte finito e al termine del batch per la simulazione ad orizzonte infinito, vengono stimate le statistiche per ogni centrocon la funzione "estimate" mostrata in figura 2.12.

```

1072 double estimate(double statistics[], size_t size){
1073
1074     long    n    = 0;
1075     double sum  = 0.0;
1076     double mean = 0.0;
1077     double data;
1078     double stdev;
1079     double u, t, w;
1080     double diff;
1081
1082
1083     for(int i=0; i<size; i++) {           /* use Welford's one-pass method */
1084         data = statistics[i];             /* to calculate the sample mean */
1085         n++;                               /* and standard deviation */
1086         diff = data - mean;
1087         sum += diff * diff * (n - 1.0) / n ;
1088         mean += diff / n;
1089     }
1090     stdev = sqrt(sum / n);
1091
1092     if (n > 1) {
1093         u = 1.0 - (1.0 - LOC) / 2.0;      /* interval parameter */
1094         t = idfStudent(n - 1, u);         /* critical value of t */
1095         w = t * stdev / sqrt(n-1);        /* interval half width */
1096         printf("%.6f +/- %.6f\n", mean, w);
1097     }
1098     else printf("ERROR - insufficient data\n");
1099     return 0;
1100 }
1101

```

Figure 2.12: Codice della funzione "estimate" utilizzata per il calcolo delle statistiche in particolare della media e dei relativi intervalli di confidenza.

2.5.1 Esperimenti

La simulazione ad orizzonte infinito è stata utilizzata per determinare la configurazione ottima ovvero la configurazione che garantisce il soddisfacimento del QoS. Una volta ottenuta tale configurazione si è poi andati a verificare che tale configurazione fosse ottima anche per la simulazione ad orizzonte finito.

2.6 Verifica

Nella fase di verifica è stato valutato il funzionamento del simulatore.

In particolare si è andato a confrontare i risultati ottenuti dall'analisi teorica con i risultati ottenuti lanciando la simulazione ad orizzonte infinito (dato che i risultati teorici fanno riferimento ad un sistema stazionario). Ulteriori verifiche effettuate riguardano la consistenza sulle statistiche di output, in particolare sono state verificate specifiche uguaglianze per le statistiche job-averaged e time-averaged che verranno presentate nel paragrafo 6.2.3.

2.6.1 Conclusioni

I dati ottenuti possono quindi confermare la correttezza del simulatore poiché seppur le medie risultino leggermente inferiori rispetto al dato ottenuto con l'analisi teorica gli intervalli di confidenza sono sufficientemente grandi da garantire la correttezza.

Accettazione	Analisi	Simulazione
λ	0.456000	0.456417 ± 0.001755
$E(S)$	1.941748	1.942852 ± 0.007626
ρ	0.885437	0.886354 ± 0.004775
$E(T_Q)$	15.007405	15.193973 ± 1.036312
$E(T_S)$	16.949153	17.136825 ± 1.040625
$E(N)$	7.728813	7.844163 ± 0.492143
$E(N_Q)$	6.843376	6.957809 ± 0.488581

Table 2.5: Confronto statistiche tra l'analisi teorica e il simulatore per il centro Accettazione

Anamnesi	Analisi	Simulazione
λ	0.456000	0.456410 ± 0.001755
$E(S)$	1.666667	1.661930 ± 0.006707
ρ	0.760000	0.758221 ± 0.004228
$E(T_Q)$	4.558081	4.502273 ± 0.170769
$E(T_S)$	7.891414	7.826133 ± 0.179463
$E(N)$	3.598484	3.574441 ± 0.088296
$E(N_Q)$	2.078484	2.057999 ± 0.081670

Table 2.6: Confronto statistiche tra l'analisi teorica e il simulatore per il centro Anamnesi

Inoculazione	Analisi	Simulazione
λ	0.356146	0.356657 ± 0.001258
$E(S)$	2.008032	2.009887 ± 0.007261
ρ	0.715153	0.716565 ± 0.003388
$E(T_Q)$	4.204199	4.140499 ± 0.122924
$E(T_S)$	8.220263	8.160273 ± 0.131915
$E(N)$	2.927613	2.910998 ± 0.050786
$E(N_Q)$	1.497308	1.477867 ± 0.045625

Table 2.7: Confronto statistiche tra l'analisi teorica e il simulatore per il centro Inoculazione

Inoculazione Attenuato	Analisi	Simulazione
λ	0.099854	0.099686 +/- 0.000408
$E(S)$	1.388889	1.387980 \pm 0.004598
ρ	0.138686	0.138441 \pm 0.000697
$E(T_Q)$	0.054475	0.051900 \pm 0.001882
$E(T_S)$	2.832253	2.829814 \pm 0.010098
$E(N)$	0.282811	0.282058 \pm 0.001476
$E(N_Q)$	0.00543954	0.005176 \pm 0.000192

Table 2.8: Confronto statistiche tra l'analisi teorica e il simulatore per il centro Inoculazione Attenuato

2.6.2 Controlli di consistenza sulle statistiche di output

Un'altra verifica affrontata riguarda la consistenza delle statistiche di output in particolare si è voluto verificare il rispetto di due specifiche uguaglianze di seguito formalmente riportate.

$$\bar{d} = \bar{w} - \bar{s}$$

Nel centro **Accettazione** si ha:

$$\bar{w} = 17.136825 \text{ min}$$

$$\bar{d} = 15.193973 \text{ min}$$

$$\bar{s} = 1.942852 \text{ min}$$

Risulta quindi verificata l'uguaglianza precedentemente descritta poiché : $15.193973 = 17.136825 - 1.942852$

Nel centro **Anamnesi**, centro con coda singola e servente multiplo (2 serventi per questa configurazione) si ha:

$$\bar{w} = 7.826133 \text{ min}$$

$$\bar{d} = 4.502273 \text{ min}$$

$$\bar{s} = 1.661930 \text{ min}$$

Risulta quindi verificata l'uguaglianza precedentemente descritta poiché : $4.502273 = 7.826133 - (1.661930 * 2)$

Nel centro **Inoculazione**, centro con coda singola e servente multiplo (2 serventi per questa configurazione) si ha:

$$\bar{w} = 8.160273 \text{ min}$$

$$\bar{d} = 4.140499 \text{ min}$$

$$\bar{s} = 2.009887 \text{ min}$$

Risulta quindi verificata l'uguaglianza precedentemente descritta poiché : $4.140499 = 8.160273 - (2.009887 * 2)$

Nel centro **Inoculazione attenuato**, centro con coda singola e servente multiplo (2 serventi per questa configurazione) si ha:

$$\bar{w} = 2.829814 \text{ min}$$

$$\bar{d} = 0.051900 \text{ min}$$

$$\bar{s} = 1.388957 \text{ min}$$

Risulta quindi verificata l'uguaglianza precedentemente descritta poiché : $0.051900 = 2.829814 - (1.388957 * 2)$

Il successivo controllo effettuato riguarda il numero di job in coda e all'interno del sistema. In particolare si vuole verificare la seguente uguaglianza:

$$\bar{q} = \bar{l} - \bar{y}$$

Nel centro **Accettazione** si ha:

$$\bar{q} = 6.957809 \text{ job}$$

$$\bar{l} = 7.844163 \text{ job}$$

$$\bar{y} = 0.886354 \text{ job}$$

Risulta quindi verificata l'uguaglianza precedentemente descritta poiché : $6.957809 = 7.844163 - 0.886354$

Nel centro **Anamnesi** si ha:

$$\bar{q} = 2.057999 \text{ job}$$

$$\bar{l} = 3.574441 \text{ job}$$

$$\bar{y} = 0.758221 * 2 \text{ job}$$

Risulta quindi verificata l'uguaglianza precedentemente descritta poiché : $2.057999 = 3.574441 - (0.758221 * 2)$

Nel centro **Inoculazione** si ha:

$$\bar{q} = 1.477867 \text{ job}$$

$$\bar{l} = 2.910998 \text{ job}$$

$$\bar{y} = 0.716565 * 2 \text{ job}$$

Risulta quindi verificata l'uguaglianza precedentemente descritta poiché : $1.477867 = 2.910998 - (0.716565 * 2)$

Nel centro **Inoculazione attenuato** si ha:

$$\bar{q} = 0.005176 \text{ job}$$

$$\bar{l} = 0.282058 \text{ job}$$

$$\bar{y} = 0.138441 * 2 \text{ job}$$

Risulta quindi verificata l'uguaglianza precedentemente descritta poiché : $0.005176 = 0.282058 - (0.138441 * 2)$

2.7 Validazione

La validazione viene utilizzata per dimostrare la correttezza del simulatore in relazione al caso reale. In particolare dimostrare che il sistema si comporta in maniera coerente rispetto al caso di studio preso in esame.

2.7.1 Test Effettuati

Per poter confermare la coerenza del sistema rispetto al caso reale e non avendo dati reali sui tempi medi di risposta, di servizio ed attesa del sistema reale sono stati eseguiti due test. Il

primo test prevede l'aumento del Lambda (tanto da mantenere ancora il sistema nello stato stazionario poiché è una assunzione definita per il progetto) e la verifica che all'aumentare del tasso di arrivo e quindi del numero di pazienti che visitano il centro i tempi di attesa in coda e i tempi di risposta aumentino così come l'utilizzazione dei diversi centri. Il tasso di arrivo iniziale è uguale a 0.456 job/min ovvero nel centro nelle 5 ore di apertura entrano 137 persone. Volendo aumentare tale numero e far entrare nel centro 145 persone il tasso di arrivo è pari a 0.483 job/min .

I grafici seguenti mostrano la variazione del tempo medio di risposta:

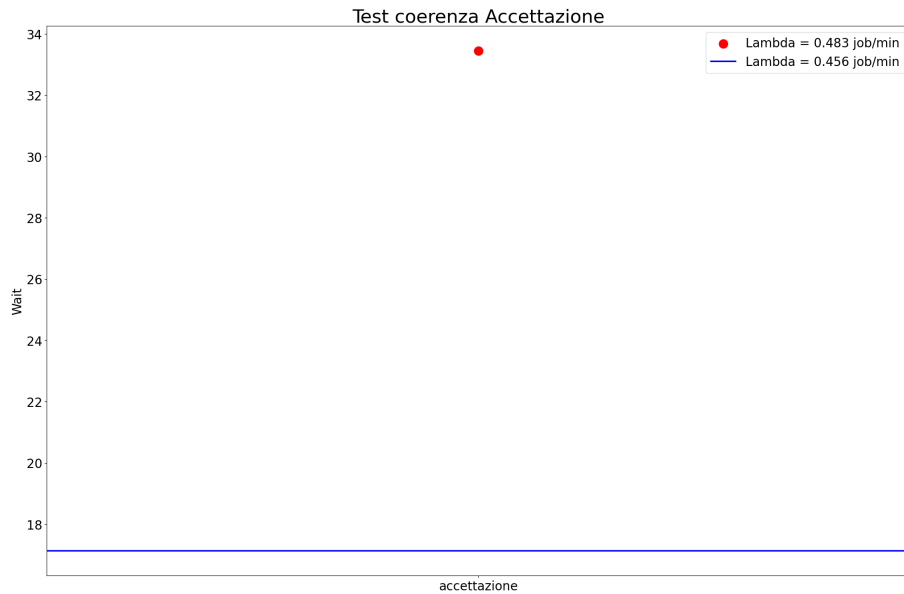


Figure 2.13: Variazione del tempo medio di risposta al variare del tasso di arrivo per il centro di accettazione

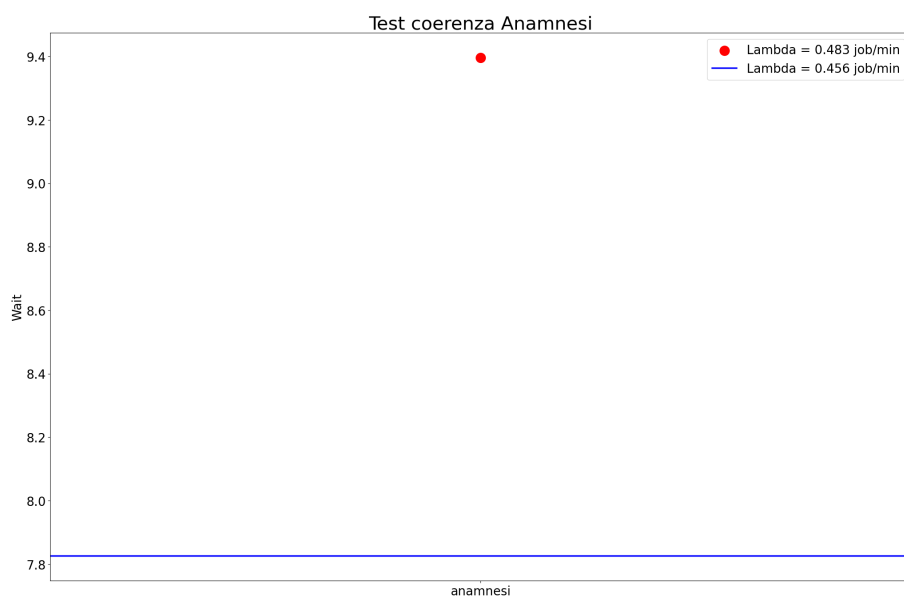


Figure 2.14: Variazione del tempo medio di risposta al variare del tasso di arrivo per il centro di anamnesi

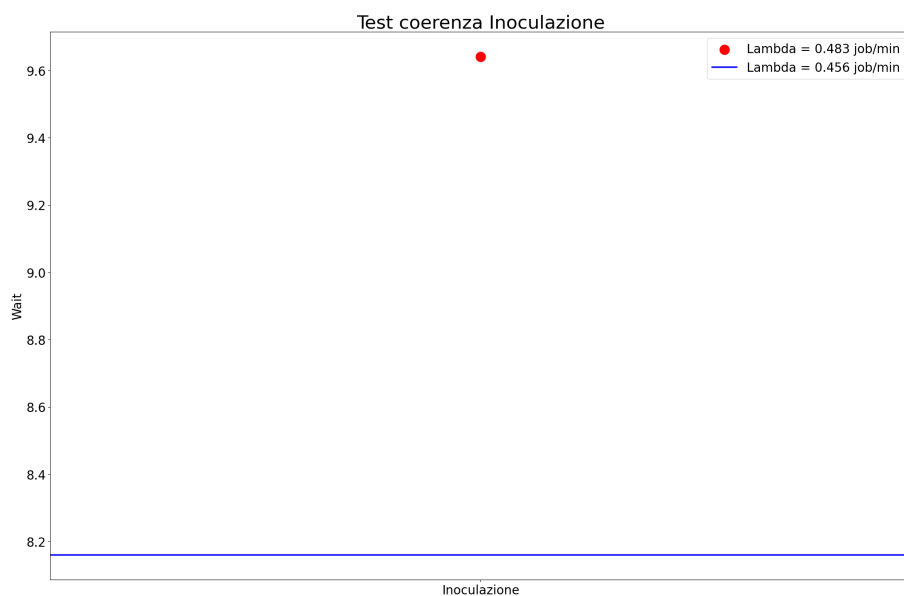


Figure 2.15: Variazione del tempo medio di risposta al variare del tasso di arrivo per il centro di inoculazione

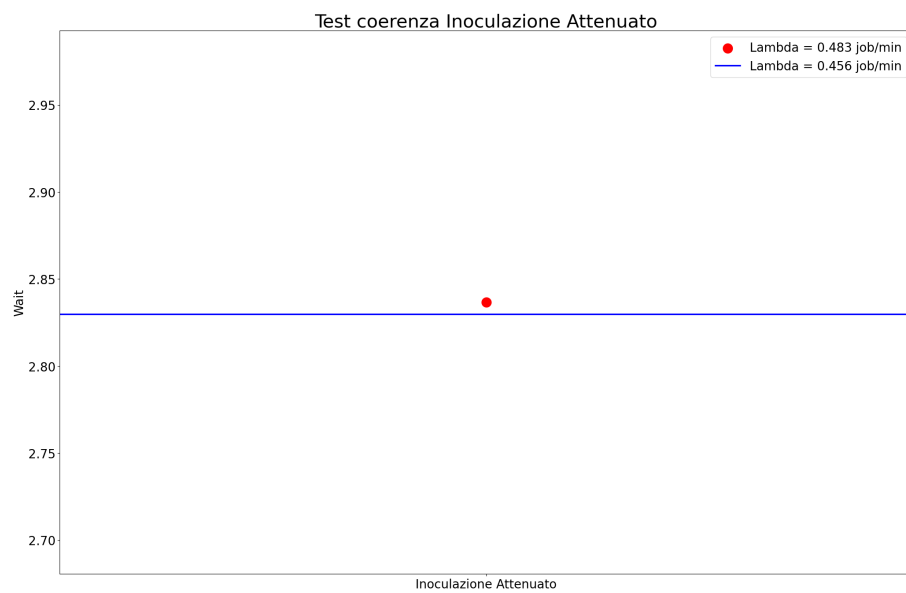


Figure 2.16: Variazione del tempo medio di risposta al variare del tasso di arrivo per il centro di inoculazione attenuato

Per quanto riguarda l'utilizzazione l'aumento di quest'ultima all'aumentare del tasso di ingresso viene mostrato dai barplot che seguono:

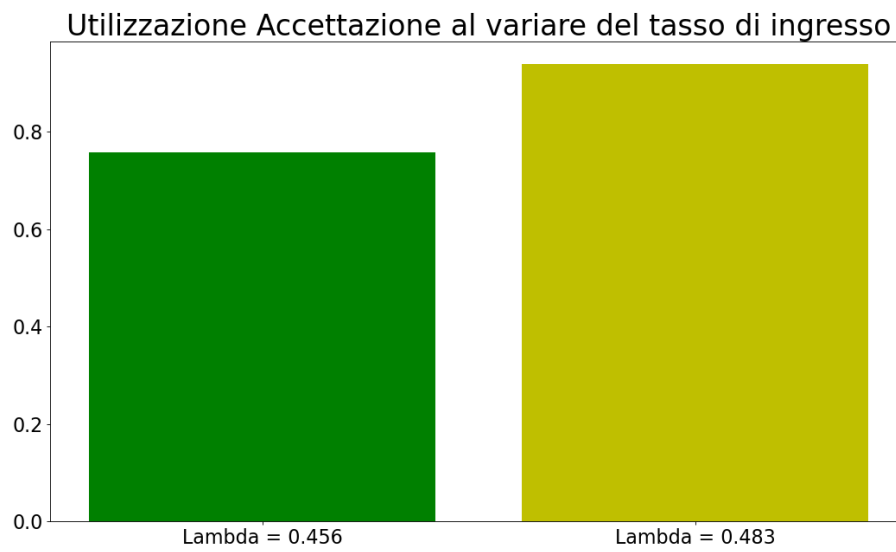


Figure 2.17: Variazione dell'utilizzazione al variare del tasso di arrivo per il centro di accettazione

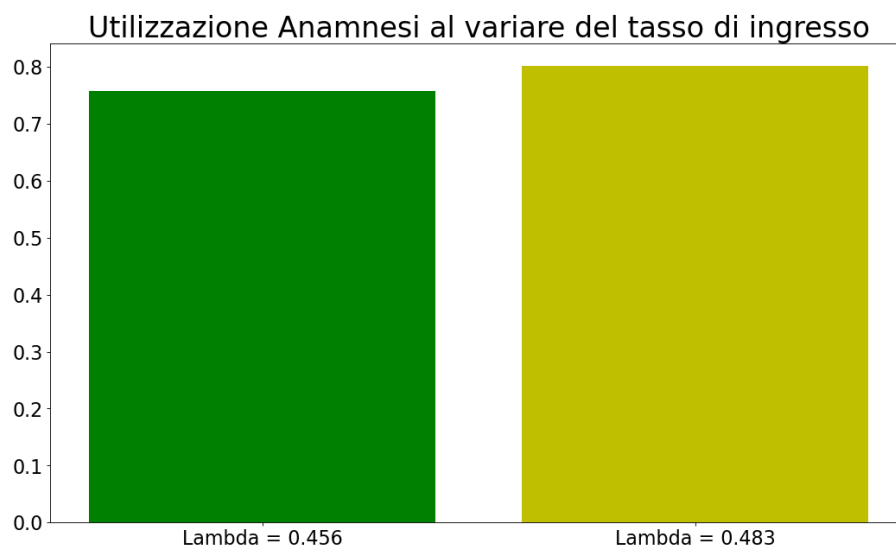


Figure 2.18: Variazione dell'utilizzazione al variare del tasso di arrivo per il centro di anamnesi

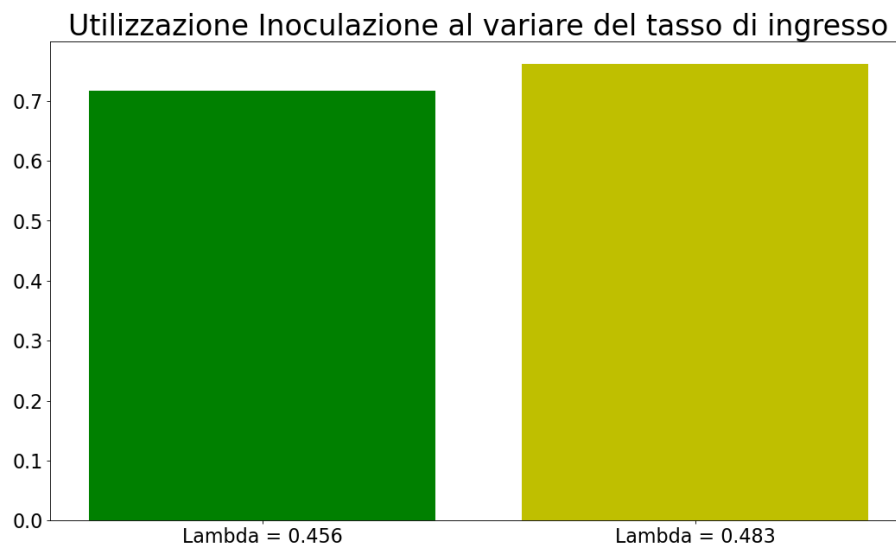


Figure 2.19: Variazione dell'utilizzazione al variare del tasso di arrivo per il centro di inoculazione

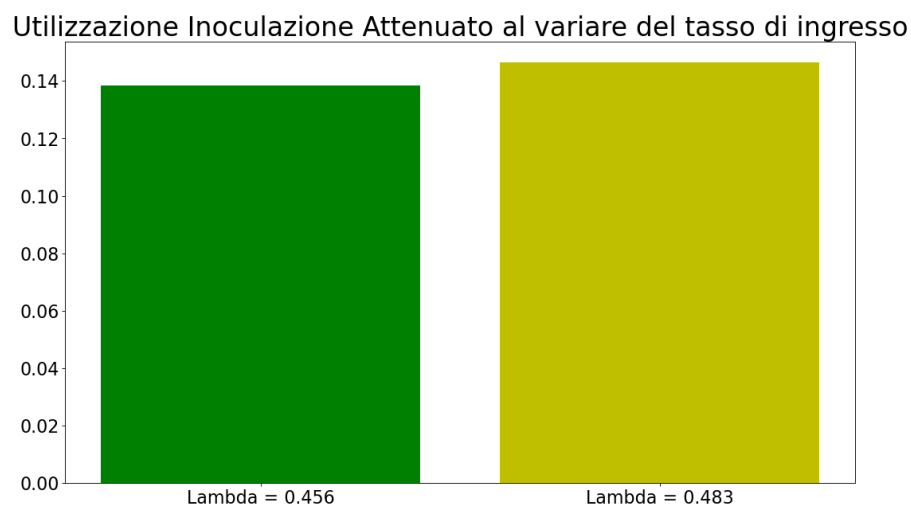


Figure 2.20: Variazione dell'utilizzazione al variare del tasso di arrivo per il centro di inoculazione attenuato

Il test ha confermato l'ipotesi iniziale, nei grafici riguardanti il tempo medio di risposta infatti il cerchio rosso che indica il tempo di risposta del sistema in cui è stato posto tasso di arrivo pari a 0.483 job/min è, per ogni centro, al di sopra della linea che indica il valore del tempo medio di risposta del sistema posto un tasso di arrivo pari a 0.456 job/min e nei grafici relativi all'utilizzazione il barplot di destra che indica l'utilizzazione avendo posto in ingresso al centro un tasso pari a 0.483 job/min ha estensione maggior rispetto al barplot di sinistra riferito al tasso di ingresso pari a 0.456 job/min .

Un ulteriore test viene effettuato sul numero di server scelto per i centri multiservente. Quello che si aspetta è la diminuzione del tempo medio di risposta del centro all'aumentare del numero di server. Il punto di partenza è stata la configurazione non ottimale di server così definita $\{1,2,2,2\}$ quindi un server per il centro di accettazione, 2 per i rimanenti centri. La modifica è stata effettuata sul centro di anamnesi in cui è stato maggiorato il numero di server di una unità ottenendo quindi la configurazione $\{1,3,2,2\}$.

Il grafico mostra i risultati ottenuti:

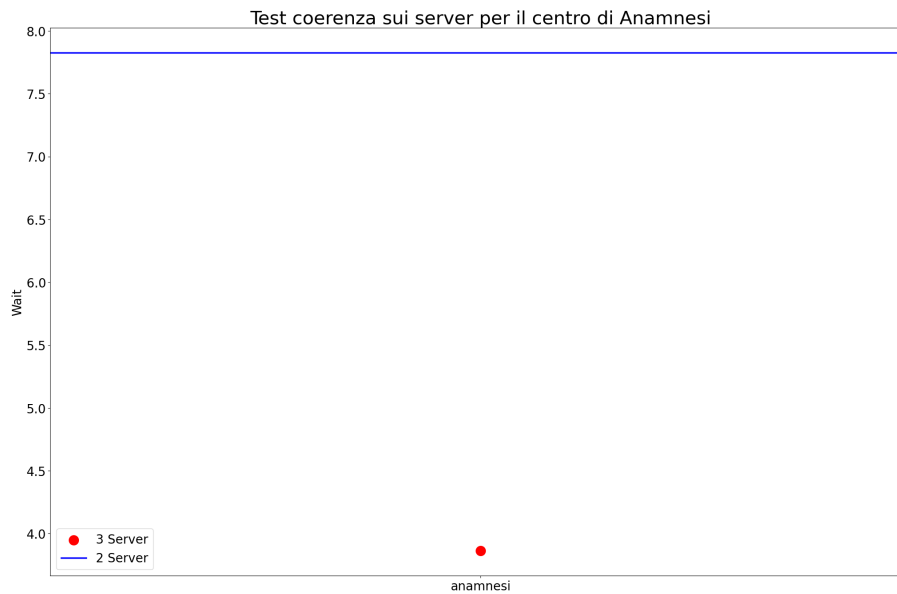


Figure 2.21: Valutazione della coerenza del centro di anamnesi aumentando il numero di server

Anche questo test può quindi confermare l'ipotesi poiché il tempo medio di risposta applicando al sistema la configurazione $\{1,3,2,2\}$ risulta inferiore al tempo medio di risposta che si ottiene con la configurazione $\{1,2,2,2\}$.

2.8 Progettazione degli esperimenti

La configurazione $\{1,2,2,2\}$ utilizzata fino a questo punto risulta essere la configurazione realmente utilizzata e minima per il rispetto della stazionarietà del sistema fatta eccezione per il centro di inoculazione attenuato in cui, per il rispetto della stazionarietà, era sufficiente un solo servente come viene dimostrato successivamente. Tuttavia non permette di rispettare il QoS posto durante la definizione del problema. Si vuole infatti che il tempo medio globale di risposta del sistema non superi i 25 minuti. Il paziente che entra all'interno del centro vaccinale deve uscire da esso e quindi aver terminato il vaccino (fatta eccezione per il paziente che non ha ricevuto esito positivo nel centro di anamnesi che terminerà prima) entro i 25 minuti dal suo ingresso.

Prima di definire la configurazione ottima si dimostra formalmente il rispetto della stazionarietà e quindi la configurazione minima sopra descritta. Affinché un sistema sia stazionario l'utilizzazione dei suoi centri (e quindi del sistema stesso poiché se un solo centro non rispetta la stazionarietà l'intero sistema a sua volta non risulterà stazionario) deve essere inferiore ad 1.

L'utilizzazione viene calcolata con la seguente formula:

$$\rho = \lambda * E(s)$$

Il μ definito nei paragrafi precedente è il μ del singolo server (nel caso di centro multiservente) per poter ottenere quindi il valore di $E(S)$ viene utilizzata questa formula:

$$E(S) = \frac{1}{m * \mu}$$

con m = numero di server del centro.

Il centro **Accettazione** è stato modellato con coda singola e servente singolo avendo un tasso di arrivo pari a 0.456 job/min e un $\mu = 0.515 \text{ job/min}$ l'utilizzazione risulta essere $\rho = 0.885436 < 1$

Il centro **Anamnesi** è stato modellato con una singola a servente multiplo è importante quindi comprendere quale è il numero minimo di server per permette di garantire la stazionarietà:

$$\lambda = 0.456 \text{ job/min}$$

$$\mu = 0.3 \text{ job/min}$$

$$\rho = \frac{0.456}{m * 0.3} < 1 \rightarrow m > 1.52 \rightarrow m = 2$$

Il centro **Inoculazione** è stato modellato con una singola a servente multiplo è importante quindi comprendere quale è il numero minimo di server per permette di garantire la stazionarietà:

$$\lambda = 0.456 \text{ job/min}$$

$$\mu = 0.249 \text{ job/min}$$

$$\rho = \frac{0.456}{m * 0.249} < 1 \rightarrow m > 1.83 \rightarrow m = 2$$

Il centro **Inoculazione Attenuato** è stato modellato con una singola a servente multiplo è importante quindi comprendere quale è il numero minimo di server per permette di garantire la stazionarietà:

$$\lambda = 0.104880 \text{ job/min}$$

$$\mu = 0.36 \text{ job/min}$$

$$\rho = \frac{0.104880}{m * 0.36} < 1 \rightarrow m > 0.291333$$

Nella realtà questo centro è stato modellato con coda singola e 2 serventi.

La prima configurazione testata risulta essere quindi $\{1,2,2,2\}$

Questa configurazione tuttavia non garantisce il rispetto del QoS infatti fa ottenere un tempo di risposta medio del sistema pari a 31.880974 *min* con un limite massimo imposto dal QoS di 25 minuti.

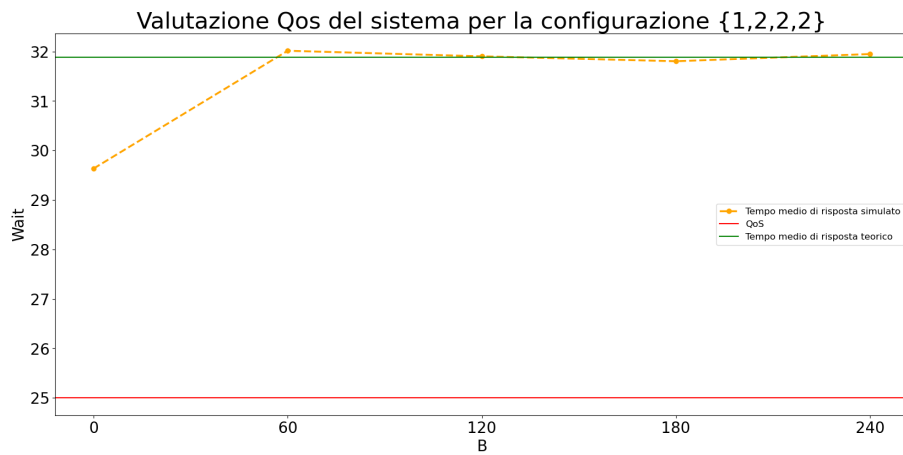


Figure 2.22: Grafico del QoS non rispettato

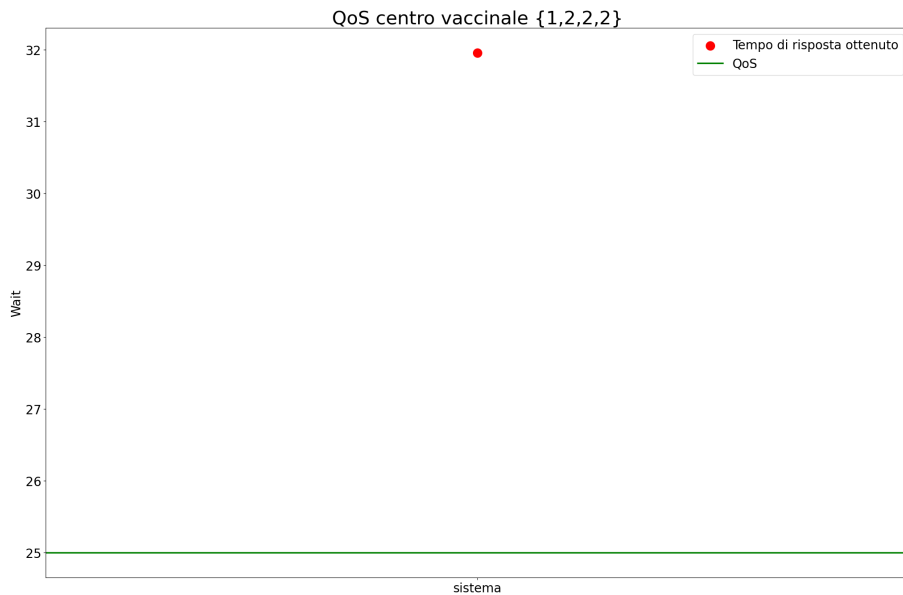


Figure 2.23: Grafico del QoS non rispettato

Come per i grafici sopra descritti, il cerchio rosso indica il tempo medio di risposta globale del sistema che si ottiene con la configurazione $\{1,2,2,2\}$ mentre la linea verde indica il tempo medio di risposta che è sperabile ottenere per rispettare il QoS. Questo limite viene superato ed infatti il cerchio rosso si trova al di sopra della linea. E' necessario quindi comprendere quale modifica sulla configurazione è bene effettuare, quindi di quanto maggiore i server nei centri multiservente.

La prima configurazione che viene testata partendo da quella iniziale $\{1,2,2,2\}$ è la seguente $\{1,3,2,2\}$ dal momento che risulta essere il centro con utilizzazione maggiore dopo il centro di Accettazione che essendo centro coda singola servente singolo non può al momento subire modifiche.

L'utilizzazione del centro di anamnesi, per la configurazione $\{1,2,2,2\}$, è infatti pari a 0.758221.

L'aumento del numero di server di una unità nel centro di anamnesi permette di ottenere il seguente tempo medio di risposta del sistema:

$$E(T_s) = 27.552782 \text{ min}$$

inferiore rispetto al tempo medio di risposta che si otteneva con la prima configurazione ma non ancora sufficientemente inferiore per il rispetto del QoS.



Figure 2.24: Grafico del QoS non rispettato

La seconda configurazione testata è la seguente $\{1,3,3,2\}$, viene aumentato quindi di una unità il numero di server del centro di inoculazione poiché risulta essere il centro con l'utilizzazione più alta (0.717447).

Effettuando questa modifica si ottiene il seguente tempo di risposta globale medio del sistema:

$$E(T_s) = 24.975333 \text{ min}$$

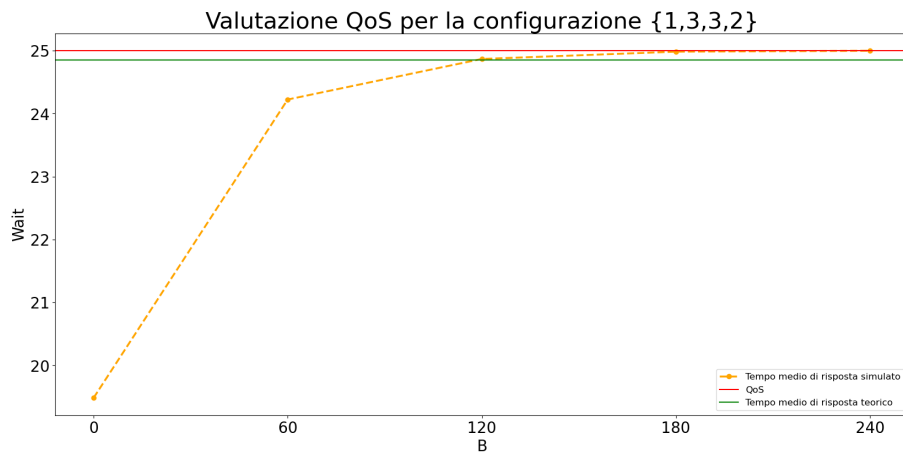


Figure 2.25: Grafico del QoS rispettato

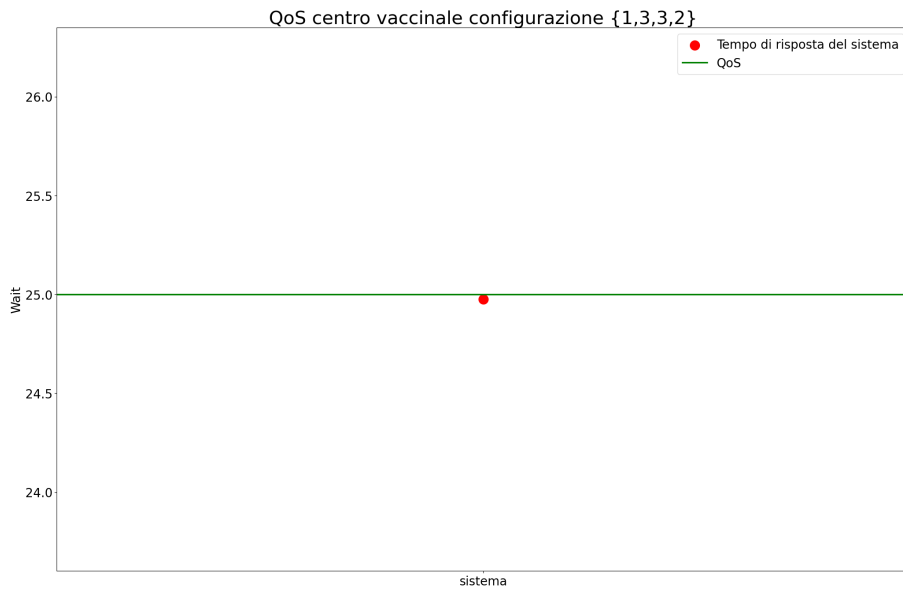


Figure 2.26: Grafico del QoS rispettato

Il grafico mostra questa volta il cerchio rosso al di sotto del limite imposto a conferma del rispetto del QoS.

La configurazione ottima per il soddisfacimento del QoS risulta essere quindi $\{1,3,3,2\}$

2.8.1 Simulazione ad orizzonte finito - Tempi

Una volta ottenuta dalla simulazione ad orizzonte infinito la configurazione ottima viene verificato il rispetto del vincolo sul tempo imposto anche nella simulazione ad orizzonte finito in cui la finestra di simulazione è pari a 300 minuti ovvero il tempo di apertura del centro vaccinale nel giorno 17 dicembre.

Il tempo medio di risposta globale del sistema che si ottiene è il seguente:

$$E(T_s) = 18.785032min$$

Il tempo di risposta medio resta quindi al di sotto del limite imposto dal QoS. Graficamente:

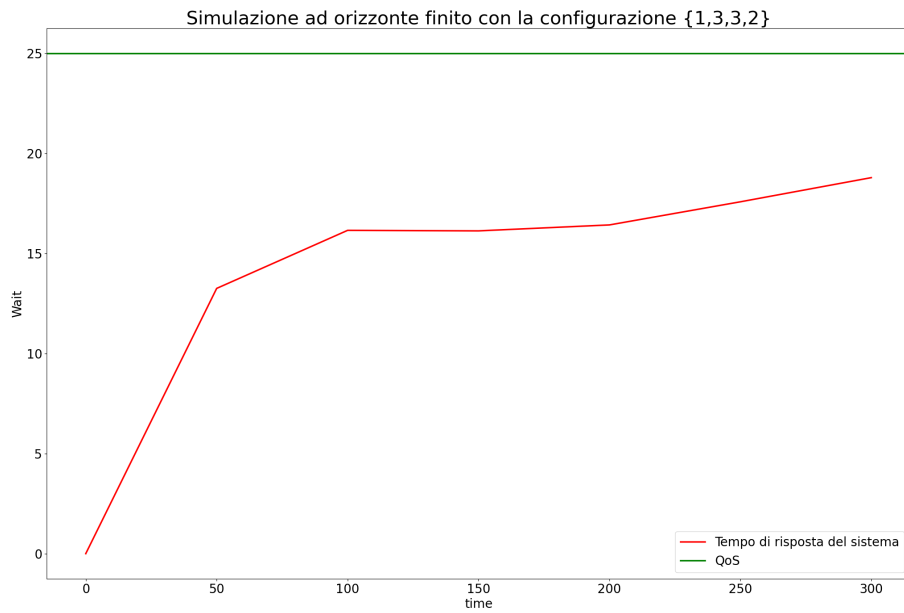


Figure 2.27: Grafico del QoS rispettato nella simulazione ad orizzonte finito

Chapter 3

Sistema Migliorato

3.1 Modifiche apportate

Per il modello migliorativo visto il grande afflusso di pazienti in accettazione e il poco afflusso di pazienti nel centro di inoculazione attenuato sono state effettuate le seguenti modifiche:

- Il centro di accettazione diventa un centro con coda singola a servente multiplo in questo modo si riducono i tempi di attesa in coda e di risposta del centro e di conseguenza i tempi di attesa in coda e risposta globali del sistema.
- Visto il basso afflusso di pazienti nel centro di inoculazione attenuato non risulta necessario avere 2 serventi per la somministrazione del vaccino ma è sufficiente un solo servente per gestire le poche richieste durante l'orario di apertura del centro.

Queste modifiche non aumentano il numero di serventi utilizzati poiché nell'ipotesi che il personale infermieristico possa, per la sola giornata dell'open day, svolgere anche servizi di accettazione, il servente non utilizzato nel centro di inoculazione attenuato viene impegnato nel centro di accettazione mantenedendo quindi invariato il numero totale di operatori e riducendo al minimo il numero di serventi che risultano essere in numero inferiore rispetto alla configurazione ottima del sistema non migliorativo.

3.1.1 Obiettivi

- Migliorare il tempo medio di risposta rendendolo inferiore a quello ottenuto con la configurazione ottima nel modello precedente
- Minimizzare il numero di operatori

3.2 Modello Concettuale

I settori vengono quindi così modellati:

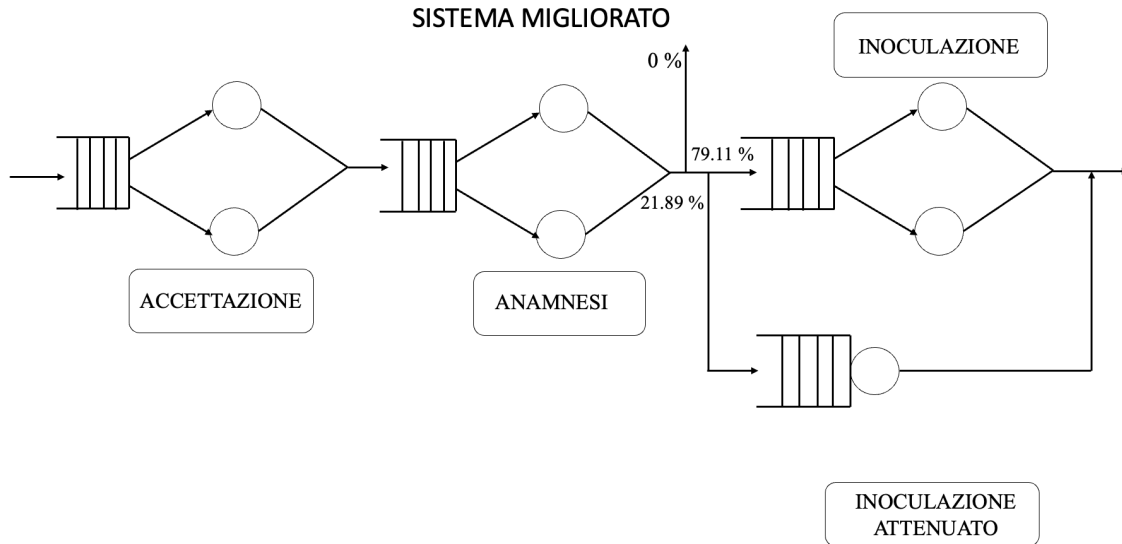


Figure 3.1: Modello concettuale del sistema

3.3 Verifica Modello Migliorativo

Come per il modello precedentemente descritto, per ogni statistica ottenuta dal simulatore si è proceduto ad effettuare il controllo con i risultati ottenuti dall'analisi teorica utilizzando le formule presentate nel capitolo 3. Per la fase di verifica è stata utilizzata la configurazione $\{2,2,2,1\}$ configurazione ottima ai fini del QoS come viene mostrato nel paragrafo successivo.

Accettazione	Analisi	Simulazione
Λ	0.456000	0.456856 ± 0.002341
$E(S)$	0.970874	0.970171 ± 0.005285
ρ	0.442718	0.443135 ± 0.003552
$E(T_Q)$	0.473360	0.475132 ± 0.017607
$E(T_S)$	2.415108	2.415474 ± 0.024745
$E(N)$	1.101289	1.103348 ± 0.013357
$E(N_Q)$	0.215852	0.217077 ± 0.008242

Table 3.1: Confronto statistiche tra l'analisi teorica e il simulatore per il centro Accettazione

Inoculazione Attenuato	Analisi	Simulazione
Λ	0.099854	0.099666 ± 0.000579
$E(S)$	2.777777	2.781550 ± 0.014181
ρ	0.277372	0.277218 ± 0.002356
$E(T_Q)$	1.066217	1.079800 ± 0.028255
$E(T_S)$	3.843995	3.861350 ± 0.037978
$E(N)$	0.383838	0.384923 ± 0.005052
$E(N_Q)$	0.106466	0.107705 ± 0.003109

Table 3.2: Confronto statistiche tra l'analisi teorica e il simulatore per il centro Inoculazione Attenuato

3.3.1 Controlli di consistenza sulle statistiche di output

Come per il modello non migliorativo è stata verificata la consistenza utilizzando le formule presentate nel capitolo 6 paragrafo 2.

$$\bar{d} = \bar{w} - \bar{s}$$

Nel centro **Accettazione** si ha:

$$\bar{w} = 2.415474 \text{ min}$$

$$\bar{d} = 0.475132 \text{ min}$$

$$\bar{s} = 0.970171 \text{ min}$$

Risulta quindi verificata l'uguaglianza precedentemente descritta poiché : $0.475132 = 2.415474 - (0.970171 * 2)min$

Nel centro **Inoculazione attenuato**, centro con coda singola e servente multiplo (2 serventi per questa configurazione) si ha:

$$\bar{w} = 3.861350 \text{ min}$$

$$\bar{d} = 1.079800 \text{ min}$$

$$\bar{s} = 2.781550 \text{ min}$$

Risulta quindi verificata l'uguaglianza precedentemente descritta poiché : $1.079800 = 3.861350 - 2.781550 \text{ min}$

Il successivo controllo effettuato riguarda il numero di job in coda e all'interno del sistema. In particolare si vuole verificare la seguente uguaglianza:

$$\bar{q} = \bar{l} - \bar{y}$$

Nel centro **Accettazione** si ha:

$$\bar{q} = 0.212619 \text{ job}$$

$$\bar{l} = 1.103348 \text{ job}$$

$$\bar{y} = 0.443135 * 2 \text{ job}$$

Risulta quindi verificata l'uguaglianza precedentemente descritta poiché : $0.217077 = 1.103348 - (0.443135 * 2) \text{ job}$

Nel centro **Inoculazione attenuato** si ha:

$$\bar{q} = 0.107705 \text{ job}$$

$$\bar{l} = 0.384923 \text{ job}$$

$$\bar{y} = 0.277218 \text{ job}$$

Risulta quindi verificata l'uguaglianza precedentemente descritta poiché : $0.107705 = 0.384923 - 0.277218 \text{ job}$

3.4 Configurazione Ottima

La configurazione $\{2,2,2,1\}$ utilizzata per la fase di verifica risulta essere anche la configurazione ottima poiché permette di ottenere tempi medi globali di risposta nel limite di 25 min concesso dal QoS. Con questa configurazione e con le variazioni applicate al sistema è possibile infatti ottenere un tempo di risposta medio pari a 17.420526 *min* il miglioramento risulta essere quindi evidente. Graficamente:

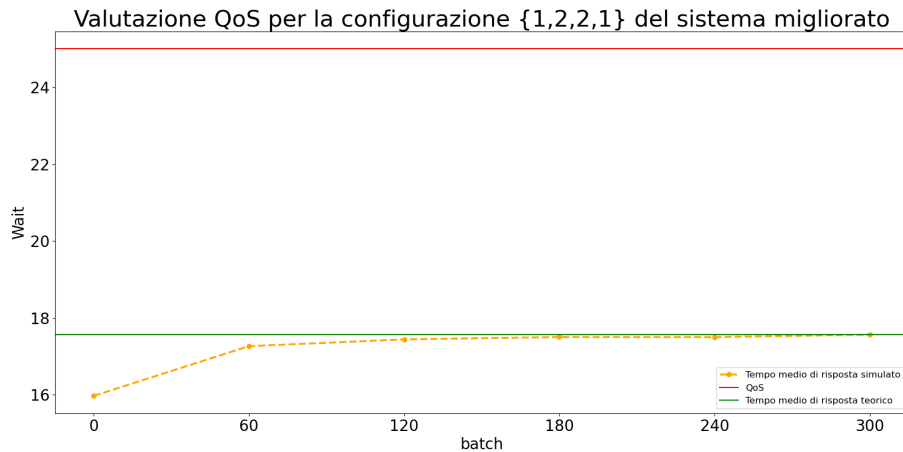


Figure 3.2: QoS rispettato nel modello migliorativo con la configurazione $\{2,2,2,1\}$

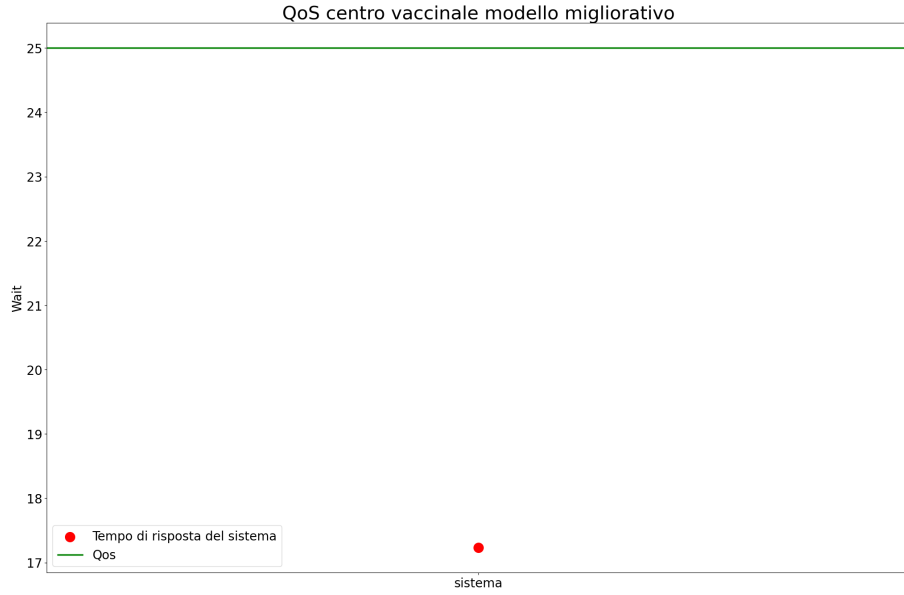


Figure 3.3: QoS rispettato nel modello migliorativo con la configurazione $\{2,2,2,1\}$

3.4.1 Simulazione ad orizzonte finito - Tempi

Una volta ottenuta dalla simulazione ad orizzonte infinito la configurazione ottima viene verificato il rispetto del vincolo sul tempo imposto anche nella simulazione ad orizzonte finito in cui la finestra di simulazione è pari a 300 minuti ovvero il tempo di apertura del centro vaccinale nel giorno 17 dicembre.

$$E(T_s) = 15.473371 \pm 0.760495 \text{ min}$$

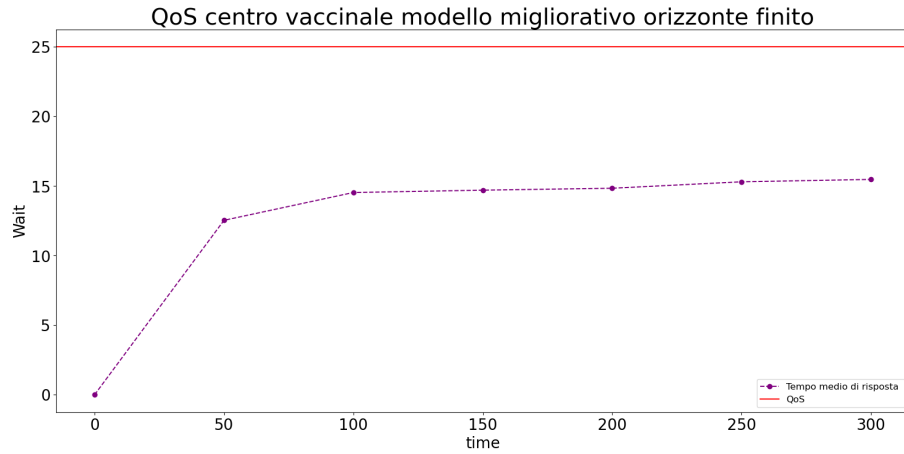


Figure 3.4: QoS rispettato nel modello migliorativo con la configurazione $\{2,2,2,1\}$ per la simulazione ad orizzonte finito

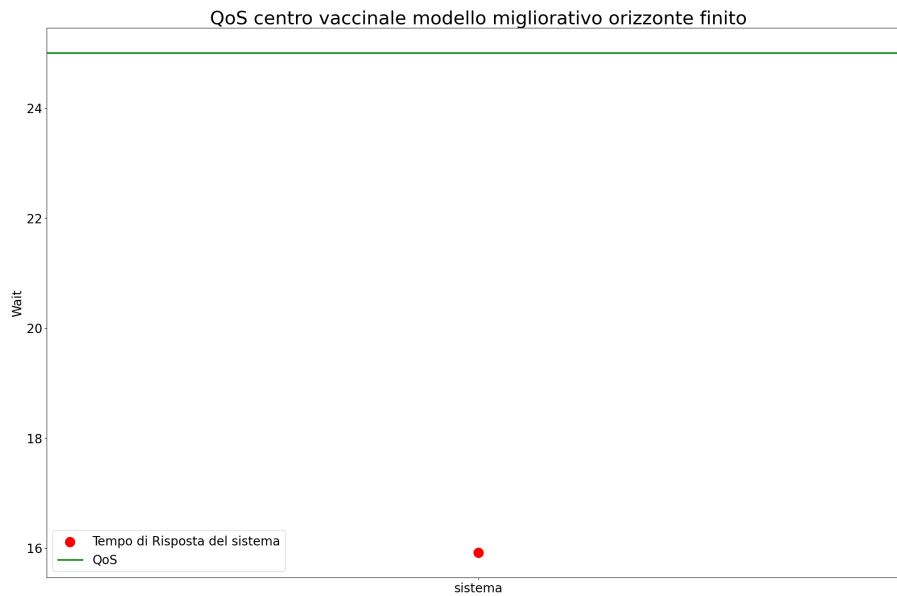


Figure 3.5: QoS rispettato nel modello migliorativo con la configurazione $\{2,2,2,1\}$ per la simulazione ad orizzonte finito

3.5 Confronti

3.5.1 Confronto con precedente modello - Simulazione ad orizzonte infinito

Il modello appena descritto con le modifiche effettuate garantisce un miglioramento sulle prestazioni. Tale miglioramento viene per una maggior facilità di lettura rappresentato dal seguente barplot:

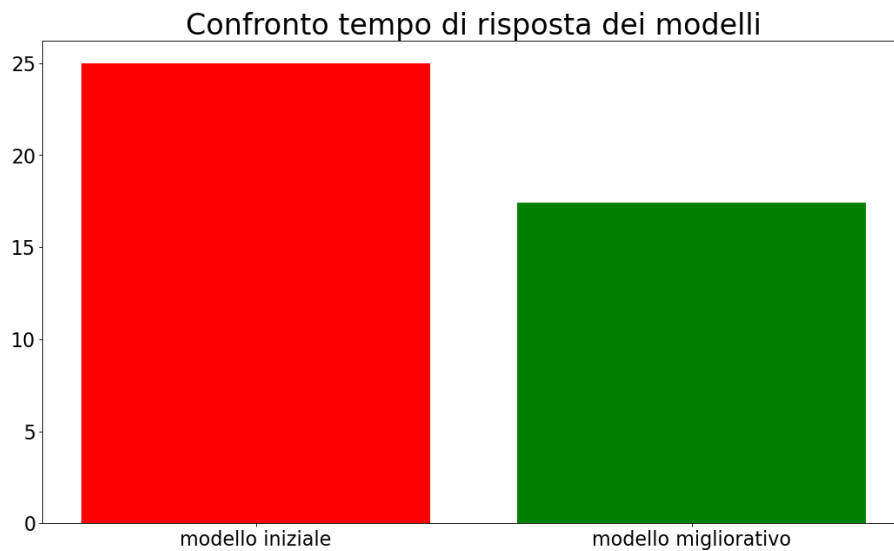


Figure 3.6: Confronto delle statistiche sul tempo medio di risposta tra il modello iniziale e il modello migliorativo

Come è possibile osservare nel modello iniziale il tempo medio di risposta, per la simulazione ad orizzonte infinito, è 24.975333 minuti mentre nel modello migliorativo è 17.420526 minuti.

L'aumento del numero di serventi nel solo centro di accettazione senza quindi aumentare il numero di serventi nel centro di anamnesi ed inoculazione, come accadeva nella configurazione ottimale del modello precedente, ha quindi permesso una diminuzione del tempo medio di risposta di 7.554807 minuti.

3.5.2 Confronto con precedente modello - Simulazione ad orizzonte finito

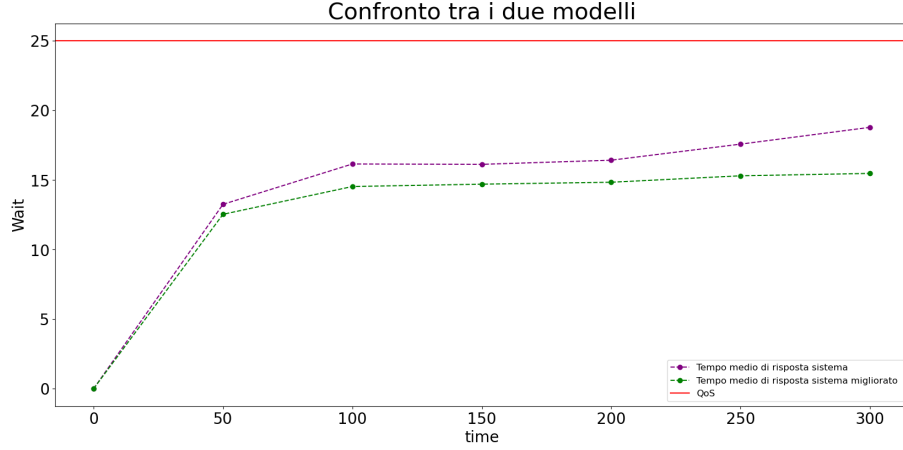


Figure 3.7: Confronto delle statistiche sul tempo medio di risposta tra il modello iniziale e il modello migliorativo per la simulazione ad orizzonte finito

3.6 Atro modello migliorativo

Un ulteriore modello migliorativo poteva prevedere la modifica effettuata sul centro di accettazione quindi renderla un centro con coda singola e servente multiplo come è avvenuto nel modello precedentemente descritto ma lasciare invariato il centro di inoculazione attenuato. Visto il poco afflusso di pazienti nel centro di inoculazione attenuato il vantaggio sul tempo medio di risposta del sistema è pressoché irrisorio dal momento che il QoS viene più che garantito anche dal modello sopra descritto. Vengono riportati i dati ottenuti mantenendo invariato rispetto al caso iniziale il centro di inoculazione attenuato.

$$E(T_S)_{globale} = 17.297140 \pm 0.206816 min$$

La configurazione precedente garantiva un tempo di risposta medio pari a:

$$E(T_S)_{globale} = 17.420526 \pm 0.209155 minsc$$

Il guadagno quindi in termini di tempo è di 0.123386 min, tuttavia nella configurazione descritta nel modello migliorativo viene utilizzato un servente in meno e nell'ottica in cui si vuole

minimizzare il numero di operatori per la giornata del 17 dicembre a parità di tempi medi di servizio risulta essere la scelta migliore.