

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

January 2023

Contents

1	Descrizione del sistema	3
1.1	Obiettivo dello studio	3
2	Modello Concettuale	4
2.1	Descrizione dei centri	5
2.2	Politiche di scheduling dei job	7
3	Modello delle specifiche	8
3.1	Dati di input	8
4	Modelli Analitici	10
5	Modello Computazionale	12
5.1	Eventi	12
5.2	Generazione degli eventi	13
5.3	Scheduler	13
5.4	Descrizione degli eventi	13
5.5	Arrivi in accettazione	14
5.6	Partenze dall'accettazione	14
5.7	Centri MULTI - Arrivi	15
5.8	Centri MULTI - Partenze	15
5.9	Clock di simulazione	16
5.10	Campionamento delle statistiche	17
5.11	Simulazione orizzonte finito	19
5.12	Simulazione ad orizzonte infinito	19
6	Verifica	22
6.1	Confronto Analisi - Simulazione	22
6.1.1	Conclusioni	24
6.2	Verifica di consistenza	24
6.3	Verifica sul tempo medio di risposta del sistema	28
7	Validazione	29
7.1	Test di coerenza	30
7.2	Definizione degli esperimenti	37
7.3	Configurazione Ottima	39
7.4	Simulazione ad orizzonte finito - Tempi	43

8	Sistema Migliorato	44
9	Verifica Modello Migliorativo	46
9.1	Confronto Analisi - Simulazione	46
9.2	Verifica di consistenza	48
9.3	Verifica sul tempo medio di risposta del sistema	52
10	Configurazione Ottima	53
10.1	Simulazione ad orizzonte finito - Tempi	54
10.2	Confronto con precedente modello	55
11	Atro modello migliorativo	56

Chapter 1

Descrizione del sistema

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 l'inoculazione del vaccino antinfluenzale per garantire la copertura anticorpale prima delle vacanze natalizie. I dati utilizzati 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 Concettuale

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

In particolare i settori possono essere così modellati:

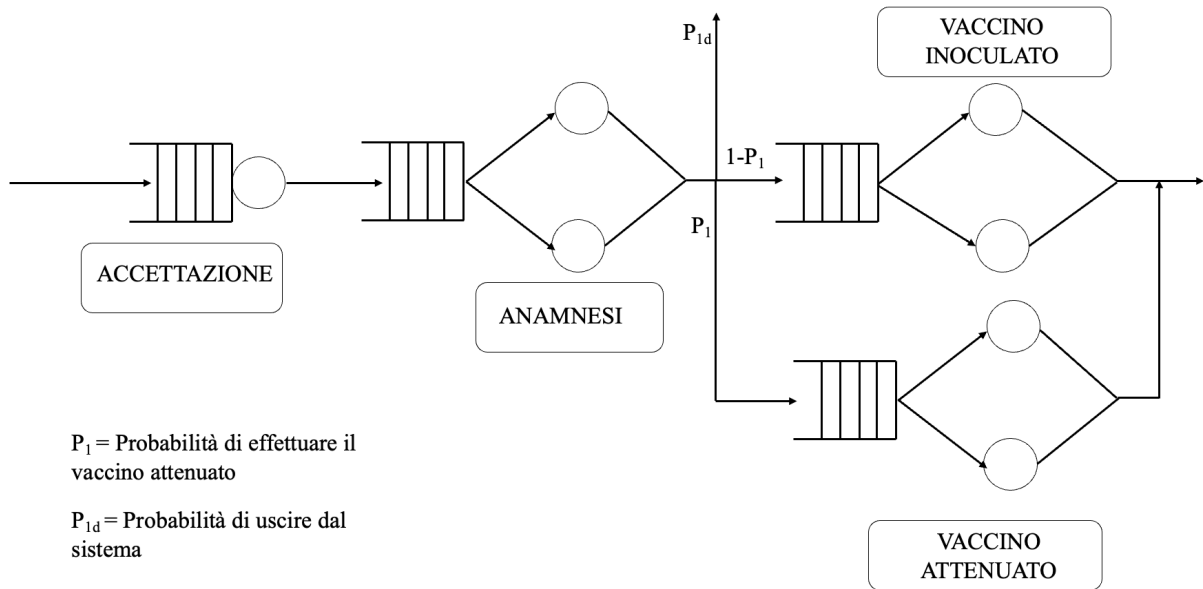


Figure 2.1: Grafico esplicativo del modello concettuale utilizzato per la definizione del sistema preso in esame.

2.1 Descrizione dei centri

Accettazione: Quando un paziente entra all'interno del centro vaccinale deve attraversare il centro di accettazione. Il paziente rilascia quindi la propria tessera sanitaria affinché possa fornire le proprie generalità e il vaccino possa essere registrato all'interno del fascicolo elettronico sanitario.

Anamnesi: Effettuata l'accettazione il paziente si reca nel centro per l'anamnesi. In questa fase il paziente riceve specifiche domande dal medico che valuterà se sarà possibile per il paziente ricevere la somministrazione del vaccino. I motivi per cui un paziente può risultare non idoneo al vaccino possono essere i seguenti:

- Il paziente presenta malessere moderato o grave (con o senza febbre). In tal caso la vaccinazione deve essere rimandata fino a completa guarigione per evitare l'inefficacia del vaccino o reazioni avverse maggiori.
- Il paziente ha manifestato una reazione allergica grave (anafilassi) dopo la somministrazione di una precedente dose o una reazione allergica grave a un componente del vaccino. Le persone con storia di anafilassi devono essere inviate a consulenza allergologica in struttura specializzata.

- Il paziente soffre di problemi neurologici (epilessia o convulsioni) e la malattia non è stabilizzata. In tal caso si preferisce rimandare la vaccinazione fino a stabilizzazione della malattia.
- Il paziente presenta deficit del sistema immunitario permanenti.
- Per il vaccino attenuato è controindicata la vaccinazione in bambini o adolescenti che hanno presentato in passato reazioni allergiche gravi alle uova e alle proteine delle uova (ovoalbumina).
- Il vaccino attenuato è controindicato in pazienti con immunodeficienza clinica a causa di condizioni o terapie immunosoppressive (ad esempio leucemie) e in pazienti affetti da asma severa o dispnea attiva per l'assenza di studi clinici.
- Pazienti (bambini o adolescenti) che hanno effettuato da meno di un mese un'altra vaccinazione (con vaccino vivo attenuato) non possono ricevere la vaccinazione antinfluenzale con spray nasale.
- Il paziente ha ricevuto nell'ultimo anno trasfusioni, emoderivati o immunoglobuline, la loro somministrazione potrebbe rendere inefficace il vaccino.

Qualora il responso dell'anamnesi fosse negativo, il paziente che non può effettuare il vaccino esce dal sistema senza attraversare il centro di inoculazione o inoculazione attenuato.

Inoculazione: Terminata la fase di anamnesi e avuto responso positivo per il vaccino il paziente può dirigersi verso il centro per l'esecuzione della vaccinazione. In particolare sono presenti due centri separati: un centro per la vaccinazione inoculata e un centro per il vaccino attenuato. Ogni centro prevede una coda dove i pazienti possono attendere il loro turno. Atteso il suo turno e terminato il vaccino, il paziente esce dal sistema senza ulteriori attese.

Inoculazione attenuato : Terminata la fase di anamnesi e ottenuto responso positivo, il paziente può dirigersi nel centro "inoculazione attenuato" in cui, dopo aver

atteso in coda, può ricevere la somministrazione del vaccino antinfluenzale vivo attenuato. Terminato il vaccino il paziente può uscire dal sistema.

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 realtà vengono modellati con code singole a servente multiplo **M/M/k**.

Per rappresentare le due possibili tipologie di vaccino e la possibilità che il paziente non possa ricevere la somministrazione sono state definite due probabilità:

- P_1 = indica la probabilità di effettuare il vaccino attenuato
- P_{1d} = indica la probabilità di uscire dal sistema avendo avuto responso negativo nella fase di anamnesi.

I server possono essere:

$$Server \in \{IDLE, BUSY\}$$

2.2 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.

Chapter 3

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 $prob_vaccino_attenuato$.

3.1 Dati di input

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

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 3.1: Tabella valori dei μ dei singoli centri

$E(S)_{accettazione}$	1.941747 minuti
$E(S_i)_{anamnesi}$	3.333333 minuti
$E(S_i)_{inoculazione}$	4.016064 minuti
$E(S_i)_{inoculazione_{attenuato}}$	2.777777 minuti

Table 3.2: Tabella tempi medi di servizio dei singoli centri

PAZIENTI	137 in 5h
LAMBDA	0.456 job/min

Table 3.3: Numero di pazienti in ingresso al centro e tasso medio di arrivo

prob_vaccino	100 %
prob_vaccino_attenuato	23 %

Table 3.4: Tabelle probabilità

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.

Chapter 4

Modelli Analitici

Di seguito vengono riportati i modelli analitici corrispondenti ai modelli concettuali utilizzati nel sistema in particolare sono rappresentate le formule utilizzate per l'analisi teorica del sistema.

- **Coda singola a servente singolo:** unica coda con unico servente (M/M/1) modellato per l'accettazione nel sistema non migliorato

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

$$E(T_Q) = \frac{\rho E(s)}{1 - \rho}$$

con

$$E(s) = \frac{1}{\mu}$$

$$E(T_s) = E(T_Q) + E(s)$$

- **Coda singola a servente multiplo:** unica coda con servente multiplo (M/M/k) modellato per i centri di anamnesi, accettazione e accettazione attenuato.

$$\rho = \frac{\lambda}{m * \mu}$$

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

$$E(T_Q)_{Erlang} = \frac{P_Q * E(s)}{1 - \rho}$$

$$P_Q = \frac{(m * \rho)^m}{m! * (1 - \rho)} * P_0 \quad \text{con} \quad P_0 = \frac{1}{\sum_{i=0}^{m-1} \frac{(m * \rho)^i}{i!} + \frac{(m * \rho)^m}{m! * (1 - \rho)}}$$

con m numero di serventi

Infine:

$$E(T_s) = E(T_Q) + E(S_i) \quad \text{con} \quad E(S_i) = E(s) * m$$

Chapter 5

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.

5.1 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 5.1: Struttura dati "event_list" per la gestione degli eventi.

In particolare:

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

5.2 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.

5.3 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.

5.4 Descrizione degli eventi

In particolare gli eventi sono i seguenti:

- Arrivo dei job in accettazione
- Completamento della accettazione
- Arrivo dei job in anamnesi

- Completamento della fase di anamnesi
- Arrivo dei job nel centro di inoculazione attenuato con spray nasale
- Completamento della fase di inoculazione del vaccino
- Arrivo dei job nel centro di inoculazione del vaccino
- Completamento della fase di somministrazione del vaccino inoculato

5.5 Arrivi in accettazione

Il centro accettazione è stato modellato con una coda singola a servente singolo (per il sistema non migliorato). I passi attraversati dall'algoritmo sono i seguenti:

- 1) Incremento dei job nel sistema generale (il centro vaccinale)
- 2) Incremento dei job nel singolo centro di accettazione
- 3) Se l'orario di arrivo nel centro è maggiore nel valore di STOP (300 minuti) la variabile current dell'evento di arrivo viene posta pari ad INT_MAX per denotare il blocco di tale flusso di arrivi poiché nella simulazione ad orizzonte finito si vuole simulare la giornata lavorativa effettiva.
- 4) Ottenimento degli arrivi con la funzione "GetArrival()"
- 5) Ottenimento del tempo di servizio del job in accettazione con la funzione "Get-Service("accettazione")"

5.6 Partenze dall'accettazione

- 1) Decremento del numero di job nel centro accettazione
- 2) Se il numero di job in attesa in accettazione è maggiore di 0 la variabile current dell'evento viene uguagliata al valore restituito dalla funzione GetService (tempo di servizio del job) maggiorato del t.current (istante corrente).
- 3) Inoltro del job verso il secondo evento ovvero gli arrivi nel centro di anamnesi uguagliando la variabile current dell'evento corrente alla variabile current del successivo evento (arrivi in anamnesi).

5.7 Centri MULTI - Arrivi

I centri anamnesi, inoculazione ed inoculazione attenuato sono stati modellati con code singole a servente multiplo, il codice utilizzato è quindi analogo. Nello specifico vengono seguiti questi passi:

- 1) Il contatore del numero di clienti del centro (anamnesi, inoculazione..) viene incrementato di 1.
- 2) Se il numero di pazienti nel centro è minore o uguale del numero di SERVER del centro, viene calcolato il tempo di servizio utilizzando la funzione `GetService("nome del centro")`.
- 3) Viene trovato un server libero con la funzione `findServer()`.
- 4) La variabile `busy` che indica l'avvenuta occupazione del server viene impostata su 1 e il contatore dei pazienti serviti viene incrementato di 1.
- 5) La variabile `current` viene impostata sull'orario attuale più il tempo di servizio.

5.8 Centri MULTI - Partenze

- 1) Viene decrementato il contatore del numero di clienti in attesa nel centro.
- 2) Trova l'indice del server che ha effettuato il servizio attuale.
- 3) Trovato l'indice del server, se il numero di pazienti in attesa nel centro è maggiore o uguale del numero di servers allora viene calcolato il tempo di servizio usando la funzione `GetService("nome del centro")`, viene incrementato il contatore dei pazienti serviti e si imposta la variabile `current` dell'evento (per quel server) sull'orario attuale più il tempo di servizio.
- 4) Viene raggiunto il successivo evento di arrivo nel prossimo centro.

Per il centro di anamnesi viene aggiunto un controllo per definire quale è il successivo evento per il job che parte dal centro. Il paziente infatti prima di poter ricevere la somministrazione del vaccino deve avere, dal medico del centro di anamnesi, l'idoneità. Viene quindi generata una probabilità con una distribuzione uniforme `Uniform(0,1)`. Se questa probabilità è inferiore alla probabilità di poter effettuare il vaccino e quindi di aver ricevuto esito positivo nella fase di anamnesi(dato fornito

in input), il paziente può proseguire all'interno del sistema e raggiungere i successivi centri altrimenti esce dal sistema senza attraversare i centri di inoculazione.

Il centro vaccinale offre la possibilità per i pazienti di età compresa tra i 2 e i 18 anni di ricevere la somministrazione del vaccino attenuato vivo.

Tale possibilità è stata modellata all'interno del sistema con un controllo, generata nuovamente una probabilità con una distribuzione uniforme ($\text{Uniform}(a,b)$), se il suo valore è inferiore al valore della probabilità di effettuare il vaccino attenuato (dato fornito in input) il job o paziente raggiunge il centro di accettazione attenuato ($e = 4$) viceversa raggiunge il centro di inoculazione in cui riceve il normale vaccino antinfluenzale ($e = 6$).

5.9 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 5.2: struct "t" per la memorizzazione delle informazioni sul tempo di simulazione.

Il tempo di simulazione segue queste assunzioni:

- 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 5.1: Tabella dati sul tempo di simulazione

5.10 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.

```

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 5.3: struct "dati" per il salvataggio delle statistiche.

In particolare contiene:

- **Lambda** indica il tasso medio di arrivo, quanti job al minuto fanno ingresso nel sistema sopra descritto
- **Ts** indica il tempo 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.

I tempi di interarrivo e i tempi di servizio sono stati modellati con distribuzioni Esponenziali: Exponential(1/Lambda) per gli arrivi ed Exponential (1/MU_centro) per i tempi di servizio. Le percentuali sono state invece modellate con distribuzioni uniformi utilizzando la funzione Uniform(a,b) fornita dalla libreria **rvgs.c** con valori di a e b rispettivamente pari a 0 e 1.

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

```

Figure 5.4: Calcolo Integrali

5.11 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.

Il sistema è stato simulato per un tempo pari a 300 minuti ovvero il tempo di reale apertura del centro vaccinale.

5.12 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 $K = 64$.

- 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 $B = 4096$ ed è stato verificato che questo valore non causasse un aumento dell'indice di autocorrelazione, utile per la misura dell'indipendenza tra i campioni, in particolare che non lo rendesse maggiore di 0.2.

Questa verifica è stata effettuata utilizzando la funzione `autocorr()` la quale misura il coefficiente di autocorrelazione posto in input il vettore di dati.

Inoltre viene stampato un messaggio a video che indica quale è questo valore e per quali valori di K e B.

Il codice viene di seguito presentato:

```
1034 double autocorr(double data[], size_t size) {
1035
1036     double mean = 0;
1037     double variance = 0;
1038     double autocorr = 0;
1039
1040     int i;
1041
1042     for (i = 0; i < size; i++) {
1043         mean += data[i];
1044     }
1045     mean /= size;
1046
1047     for (i = 0; i < size; i++) {
1048         variance += (data[i] - mean) * (data[i] - mean);
1049     }
1050     variance /= size;
1051
1052     //for(int lag = 0; lag < size; lag++){
1053
1054     for (i = 0; i < size - LAG; i++) {
1055         autocorr += (data[i] - mean) * (data[i + LAG] - mean);
1056     }
1057     autocorr /= (size - LAG) * variance;
1058
1059     printf("L'autocorrelazione è : %lf\n", autocorr);
1060
1061     return 0;
1062 }
1063 }
```

Figure 5.5: Codice della funzione "autocorr()" utilizzata per il calcolo dell'indice di autocorrelazione e la verifica della correttezza del valore imposto per il parametro B.

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 centro e con la funzione "estimate" mostrata in figura 5.5 il tempo medio di risposta e il tempo medio di attesa del sistema.

```

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

```

Figure 5.6: Codice della funzione "estimate" utilizzata per il calcolo delle statistiche in particolare della media e dei relativi intervalli di confidenza.

Chapter 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 verifiche specifiche uguaglianze per le statistiche job-averaged e time-averaged che verranno presentate nel paragrafo 6.2.

6.1 Confronto Analisi - Simulazione

Accettazione	Analisi	Simulazione
λ	0.456000	0.456139 ± 0.001787
$E(S)$	1.941748	1.946640 ± 0.008302
ρ	0.885437	0.887842 ± 0.005788
$E(T_Q)$	15.007405	14.978271 ± 1.104993
$E(T_S)$	16.949153	16.924911 ± 1.110241
$E(N)$	7.728813	7.734186 ± 0.525879
$E(N_Q)$	6.843376	6.846345 ± 0.521623

Table 6.1: Confronto statistiche tra l'analisi teorica e il simulatore per il centro Accettazione

Anamnesi	Analisi	Simulazione
λ	0.456000	0.456130 ± 0.001778
$E(S)$	1.666667	1.661024 ± 0.006333
ρ	0.760000	0.757481 ± 0.004284
$E(T_Q)$	4.558081	4.447173 ± 0.182288
$E(T_S)$	7.891414	7.769221 ± 0.190048
$E(N)$	3.598484	3.545653 ± 0.094474
$E(N_Q)$	2.078484	2.030690 ± 0.087547

Table 6.2: Confronto statistiche tra l'analisi teorica e il simulatore per il centro Anamnesi

Inoculazione	Analisi	Simulazione
λ	0.351120	0.351982 ± 0.001438
$E(S)$	2.008032	2.010513 ± 0.008612
ρ	0.705060	0.707526 ± 0.004417
$E(T_Q)$	3.969904	3.975502 ± 0.166617
$E(T_S)$	7.985969	7.996528 ± 0.176357
$E(N)$	2.804033	2.815838 ± 0.068343
$E(N_Q)$	1.393912	1.400786 ± 0.061768

Table 6.3: Confronto statistiche tra l'analisi teorica e il simulatore per il centro Inoculazione

Inoculazione Attenuato	Analisi	Simulazione
λ	0.104880	0.104869 ± 0.000363
$E(S)$	1.388889	1.387980 ± 0.004598
ρ	0.145667	0.145548 ± 0.000701
$E(T_Q)$	0.060219	0.058462 ± 0.002398
$E(T_S)$	2.837997	2.834421 ± 0.010227
$E(N)$	0.297649	0.297228 ± 0.001516
$E(N_Q)$	0.006315	0.006132 ± 0.000255

Table 6.4: Confronto statistiche tra l'analisi teorica e il simulatore per il centro Inoculazione Attenuato

6.1.1 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.

6.2 Verifica di consistenza

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:

$$\bar{d} = 16.924911 \text{ min}$$

$$\bar{w} = 14.978271 \text{ min}$$

$$\bar{s} = 1.946640 \text{ min}$$

Risulta quindi verificata l'uguaglianza precedentemente descritta poiché : $16.924911 = 14.978271 + 1.946640$

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

$$\bar{d} = 7.769221 \text{ min}$$

$$\bar{w} = 4.447173 \text{ min}$$

$$\bar{s} = 1.661024 \text{ min}$$

Risulta quindi verificata l'uguaglianza precedentemente descritta poiché : $7.769221 = 4.447173 + (1.661024 * 2)$

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

$$\bar{d} = 7.996528 \text{ min}$$

$$\bar{w} = 3.975502 \text{ min}$$

$$\bar{s} = 2.010513 \text{ min}$$

Risulta quindi verificata l'uguaglianza precedentemente descritta poiché : $7.996528 = 3.975502 + (2.010513 * 2)$

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

$$\bar{d} = 2.834421 \text{ min}$$

$$\bar{w} = 0.058462 \text{ min}$$

$$\bar{s} = 1.387980 \text{ min}$$

Risulta quindi verificata l'uguaglianza precedentemente descritta poiché : $2.834421 =$

$$0.058462 + (1.387980 * 2)$$

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:

$$\bar{q} = 6.846345 \text{ job}$$

$$\bar{l} = 7.734186 \text{ job}$$

$$\bar{y} = 0.887842 \text{ job}$$

Risulta quindi verificata l'uguaglianza precedentemente descritta poiché : $6.846345 = 7.734186 - 0.887842$

Nel centro **Anamnesi** si ha:

$$\bar{q} = 2.030690 \text{ job}$$

$$\bar{l} = 3.545653 \text{ job}$$

$$\bar{y} = 1.514962 \text{ job}$$

Risulta quindi verificata l'uguaglianza precedentemente descritta poiché : $2.030690 = 3.545653 - 1.514962$

Nel centro **Inoculazione** si ha:

$$\bar{q} = 1.400786 \text{ job}$$

$$\bar{l} = 2.815838 \text{ job}$$

$$\bar{y} = 1.415052 \text{ job}$$

Risulta quindi verificata l'uguaglianza precedentemente descritta poiché : $1.400786 = 2.815838 - 1.415052$

Nel centro **Inoculazione attenuato** si ha:

$$\bar{q} = 0.006132 \text{ job}$$

$$\bar{l} = 0.297228 \text{ job}$$

$$\bar{y} = 0.291096 \text{ job}$$

Risulta quindi verificata l'uguaglianza precedentemente descritta poiché : $0.006132 = 0.297228 - 0.291096$

6.3 Verifica sul tempo medio di risposta del sistema

Un'ulteriore verifica effettuata riguarda il confronto dei risultati ottenuti nell'analisi teorica e i risultati ottenuti lanciando la simulazione ad orizzonte infinito per il tempo medio di risposta del sistema. I risultati dell'analisi risultano:

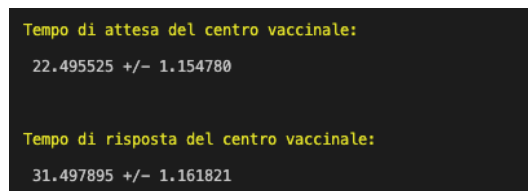
$$E(T_Q)_{globale} = 22.636163 \text{ min}$$

$$E(T_S)_{globale} = 31.642502 \text{ min}$$

I tempi ottenuti con la simulazione vengono mostrati nello screen in figura:

$$E(T_Q)_{globale} = 22.495525 \pm 1.154780$$

$$E(T_S)_{globale} = 31.497895 \pm 1.161821$$



```
Tempo di attesa del centro vaccinale:  
22.495525 +/- 1.154780  
  
Tempo di risposta del centro vaccinale:  
31.497895 +/- 1.161821
```

Figure 6.1: Output statistiche sul tempo medio globale di attesa e di risposta ottenuti con la simulazione ad orizzonte infinito

Chapter 7

Validazione

Per poter effettuare un confronto con i modelli analitici, validi per un periodo di osservazione tendenzialmente infinito, è stato scelto di applicare una simulazione di tipo steady-state in particolare il metodo delle batch means il quale divide il campione di dati in "blocchi" o batch di uguale dimensione e calcola la media di ogni blocco. La media delle medie dei blocchi viene utilizzata come stima della media del campione originale.

In particolare sono stati definiti 64 batch ed ogni batch ha grandezza 4096. 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. Viene quindi presentato il grafico utilizzato:

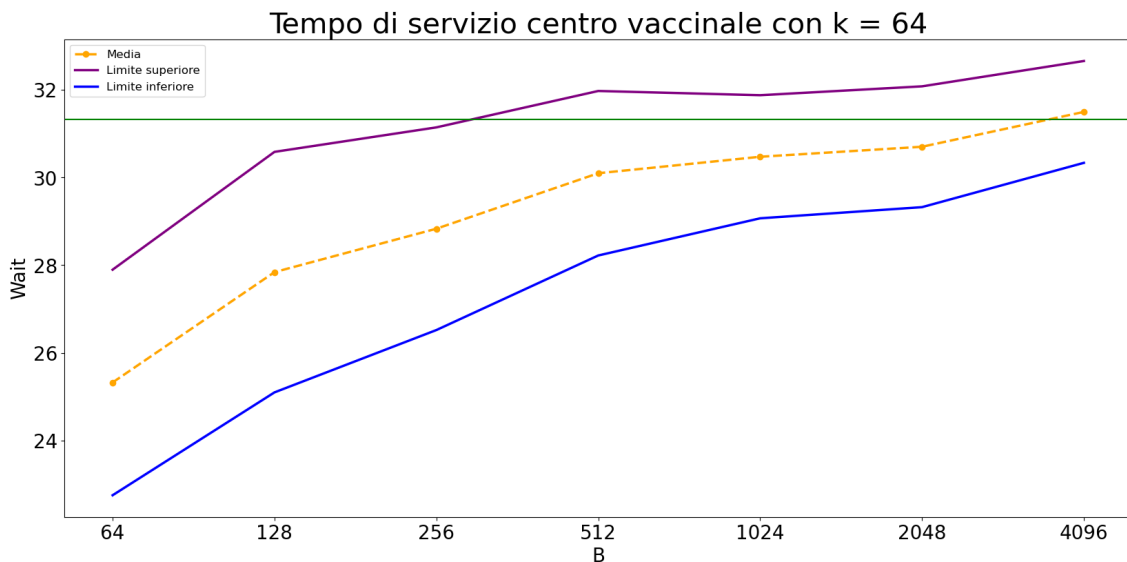
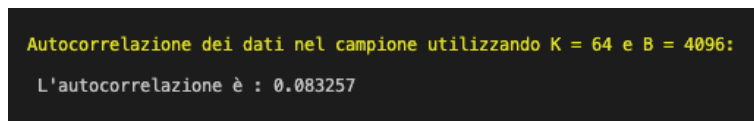


Figure 7.1: Andamento del tempo medio di risposta al variare della grandezza del batch

E' stato inoltre verificato con la funzione "autocorr()" che per tale valore di B l'autocorelazione tra i dati dei batch fosse inferiore a 0.2 per verificare che all'interno delle batch i dati siano indipendenti tra loro e quindi ottenere maggiore qualità nel calcolo delle medie e una approssimazione sufficientemente precisa dell'errore di campionamento. Per questi valori di B si ottiene la seguente autocorrelazione:

$$autocorrelazione = 0.083257$$

A screenshot of a terminal window with a dark background. It displays two lines of text in a yellow-green monospaced font. The first line reads "Autocorrelazione dei dati nel campione utilizzando K = 64 e B = 4096:" and the second line reads "L'autocorrelazione è : 0.083257".

```
Autocorrelazione dei dati nel campione utilizzando K = 64 e B = 4096:
L'autocorrelazione è : 0.083257
```

Figure 7.2: Screen valore di autocorrelazione

7.1 Test di coerenza

Per poter confermare la coerenza del sistema 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 $0.456job/min$ 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 $0.483job/min$.

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

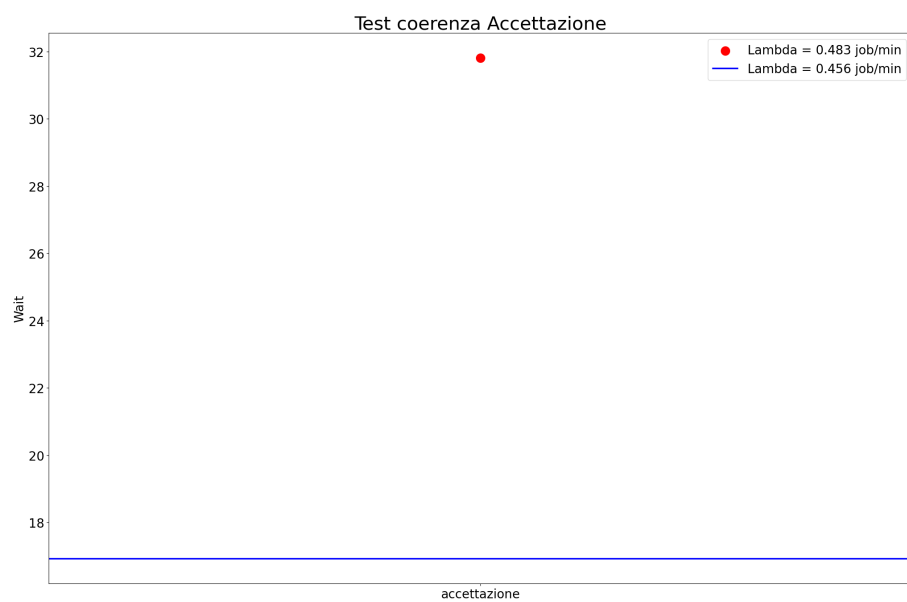


Figure 7.3: Variazione del tempo medio di risposta al variare del tasso di arrivo per il centro di accettazione

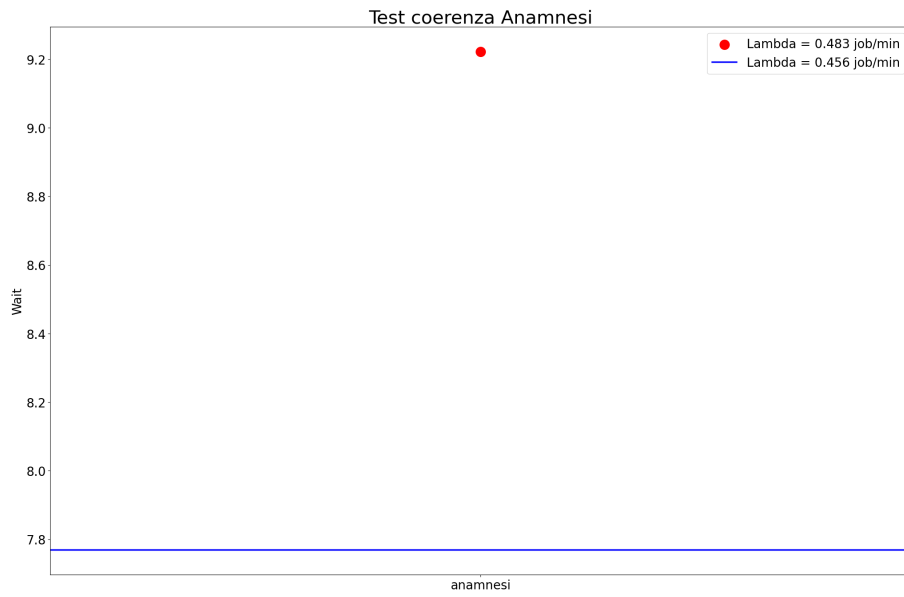


Figure 7.4: Variazione del tempo medio di risposta al variare del tasso di arrivo per il centro di anamnesi

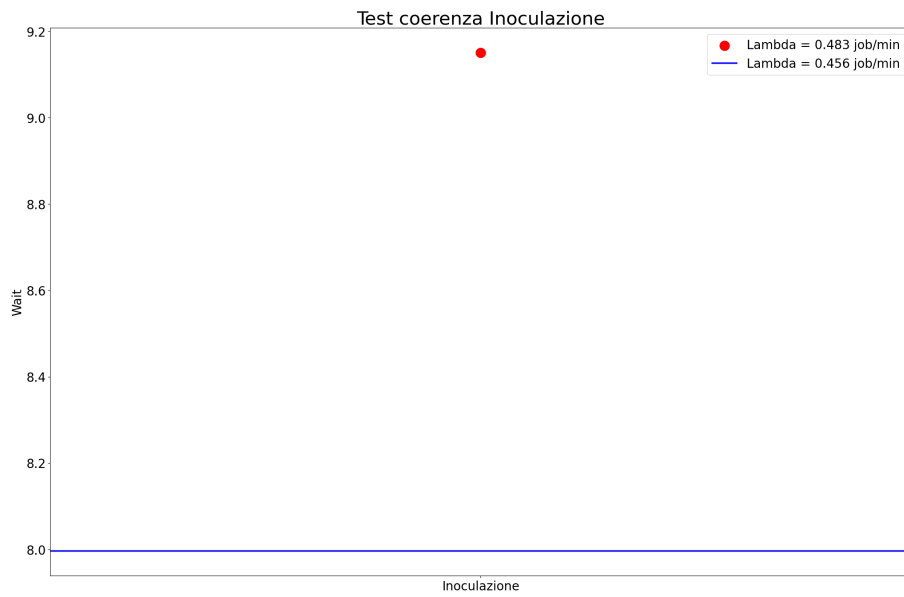


Figure 7.5: Variazione del tempo medio di risposta al variare del tasso di arrivo per il centro di inoculazione

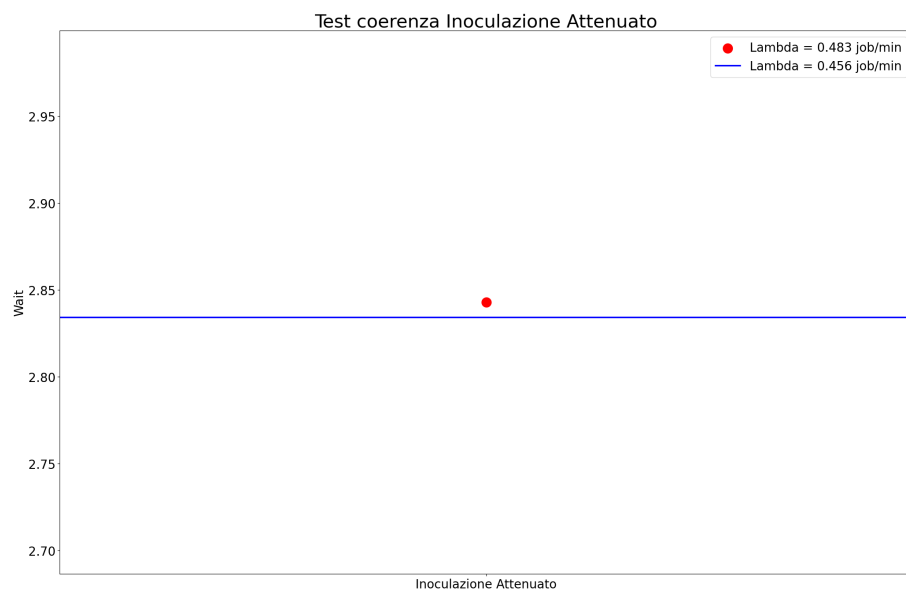


Figure 7.6: Variazione del tempo medio di risposta al variare del tasso di arrivo per il centro di inoculaizone attenuato

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

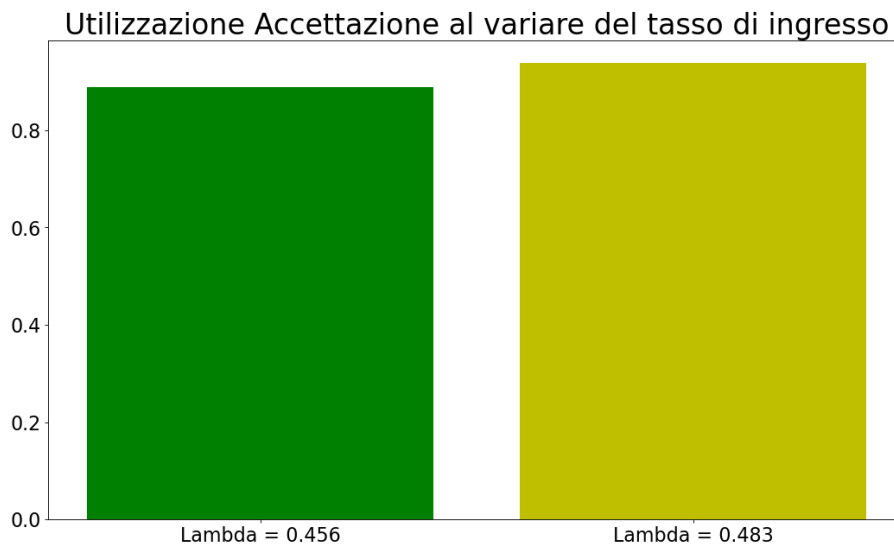


Figure 7.7: Variazione dell'utilizzazione al variare del tasso di arrivo per il centro di accettazione

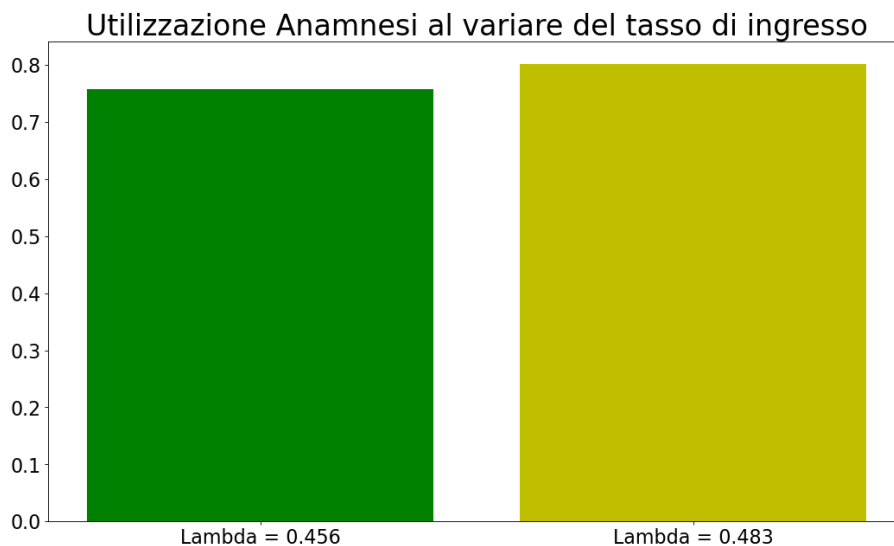


Figure 7.8: Variazione dell'utilizzazione al variare del tasso di arrivo per il centro di anamnesi

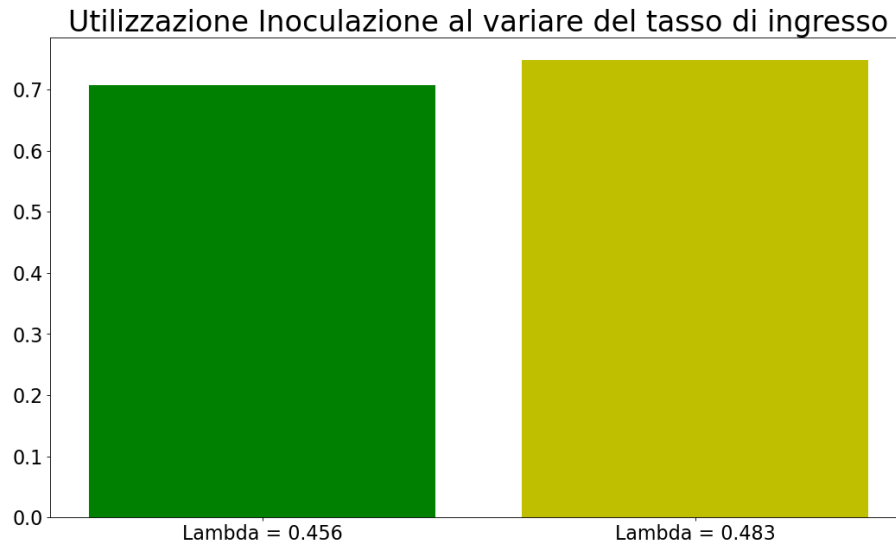


Figure 7.9: Variazione dell'utilizzazione al variare del tasso di arrivo per il centro di inoculazione

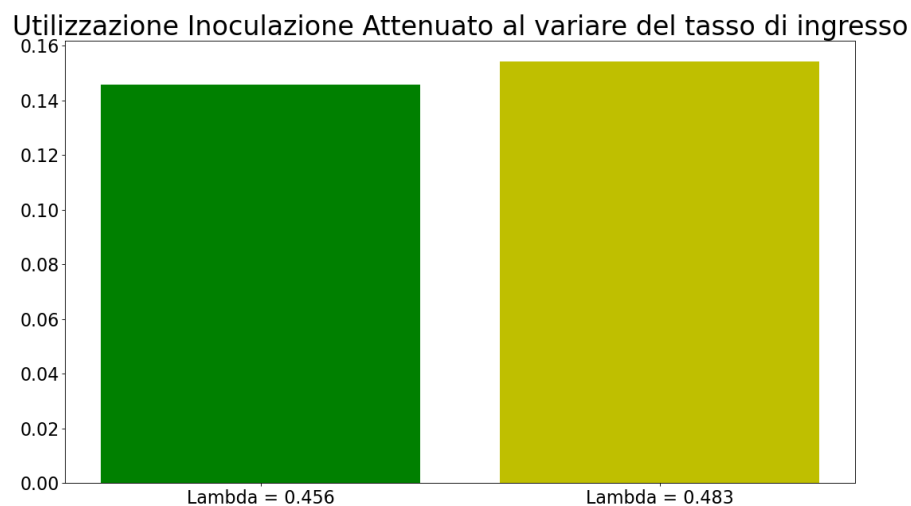


Figure 7.10: Variazione dell'utilizzazione al variare del tasso di arrivo per il centro di inoculazione attenuato

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:

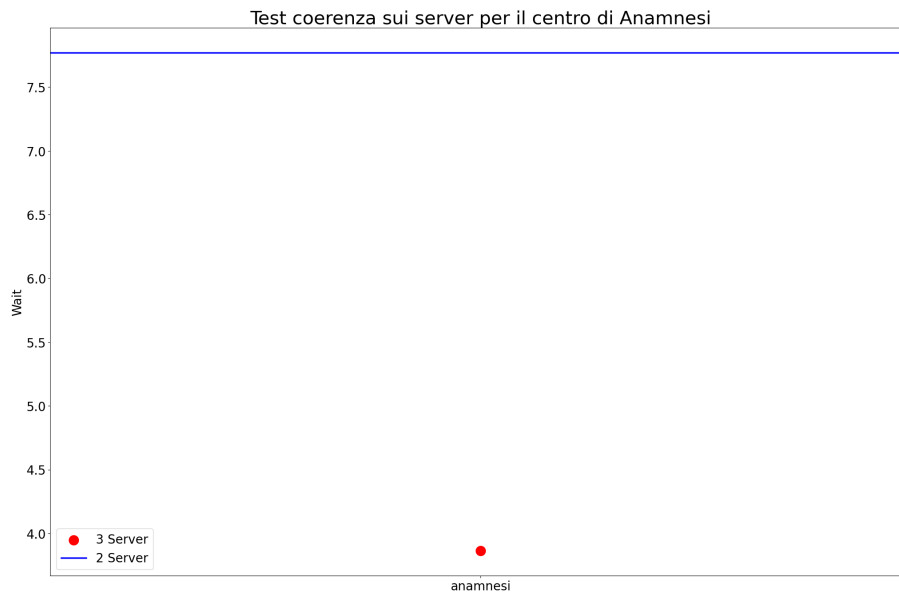


Figure 7.11: Valutazione della coerenza del centro di anamnesi aumentando il numero di server

Anche questo test può confermare l'ipotesi, questa volta il cerchio rosso sta ad indicare il tempo medio di risposta avendo applicato al sistema la configurazione $\{1,3,2,2\}$ e la linea indica il tempo medio di risposta avendo definito la configurazione $\{1,2,2,2\}$. Il cerchio rosso, coerentemente, risulta infatti al di sotto della linea azzurra.

7.2 Definizione 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:

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

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.

Questa configurazione minima tuttavia non garantisce il rispetto del QoS infatti fa ottenere un tempo di risposta medio del sistema pari a 31.497895 min con un limite massimo imposto dal QoS di 25 minuti.

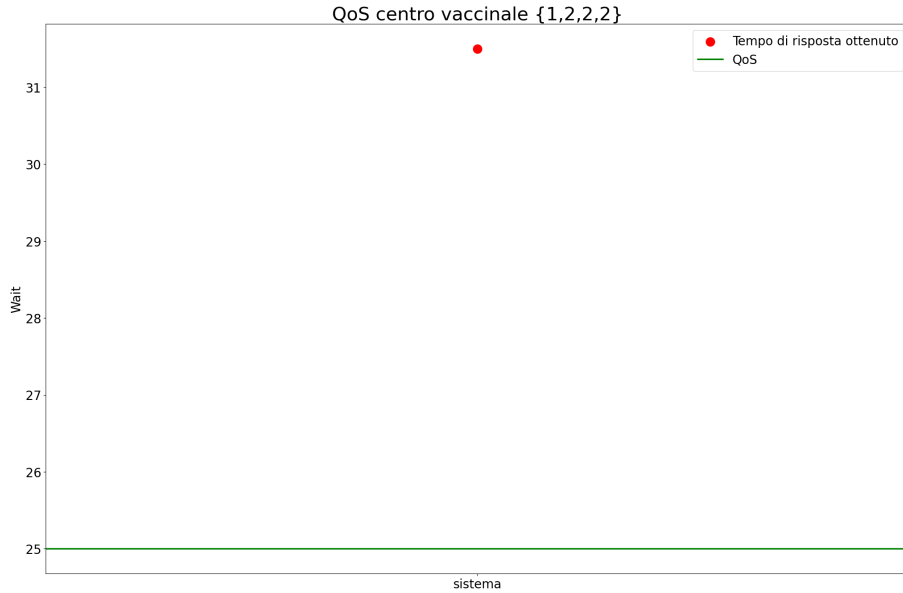


Figure 7.12: Grafico del QoS non rispettato

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.

7.3 Configurazione Ottima

La prima configurazione che viene testata partendo da quella iniziale $\{1,2,2,2\}$ è la seguente $\{1,3,2,2\}$ dal momento che il tasso di arrivo nel centro di anamnesi è uguale a quello iniziale 0.456 job/min poiché ogni paziente, attraversata la fase di accettazione, prosegue verso il centro di anamnesi e non potendo per ora modificare il numero di server nel centro di accettazione dato che è stato modellato con una coda singola a server singolo.

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

$$E(T_s) = 27.298544 \text{ min}$$

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 7.13: Grafico del QoS non rispettato

La seconda configurazione testata è la seguente $\{1,3,3,2\}$. Aumentando quindi di una unità il numero di server nel centro di Inoculazione passando quindi da 2 server a 3 server si ottiene il seguente tempo di risposta globale medio del sistema:

$$E(T_s) = 25.228805min$$

Con questa configurazione ancora non si riesce a rispettare il QoS, il tempo di risposta medio è infatti inferiore rispetto alla precedente configurazione ma non sufficientemente da garantire il rispetto del QoS imposto a 25 minuti.

Il grafico mostra infatti il cerchio rosso ancora al di sopra della soglia fissata.

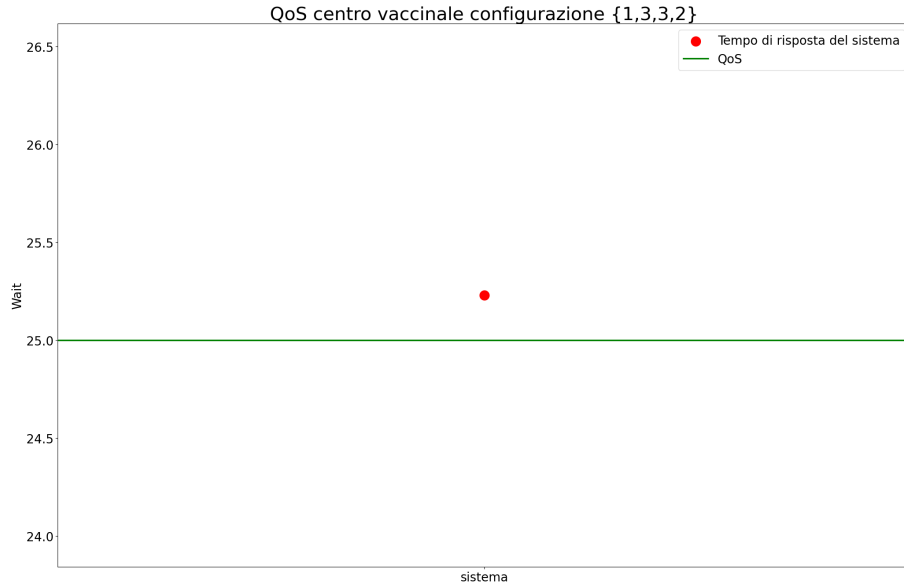


Figure 7.14: Grafico del QoS non rispettato

La terza configurazione testata è la seguente $\{1,4,3,2\}$. Aumentando quindi di una unità (rispetto alla configurazione precedente) il numero di server nel centro di anamnesi si riesce a rispettare il QoS imposto. Il tempo medio di risposta globale che si ottiene è infatti:

$$E(T_s) = 24.636665min$$

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

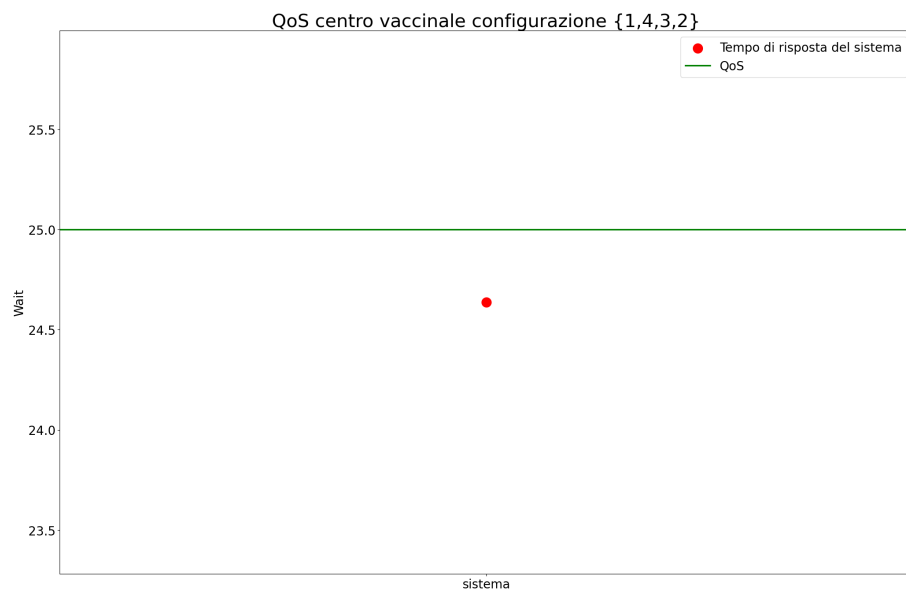


Figure 7.15: Grafico del QoS rispettato

7.4 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:

$$E(T_s) = 17.767197min$$

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

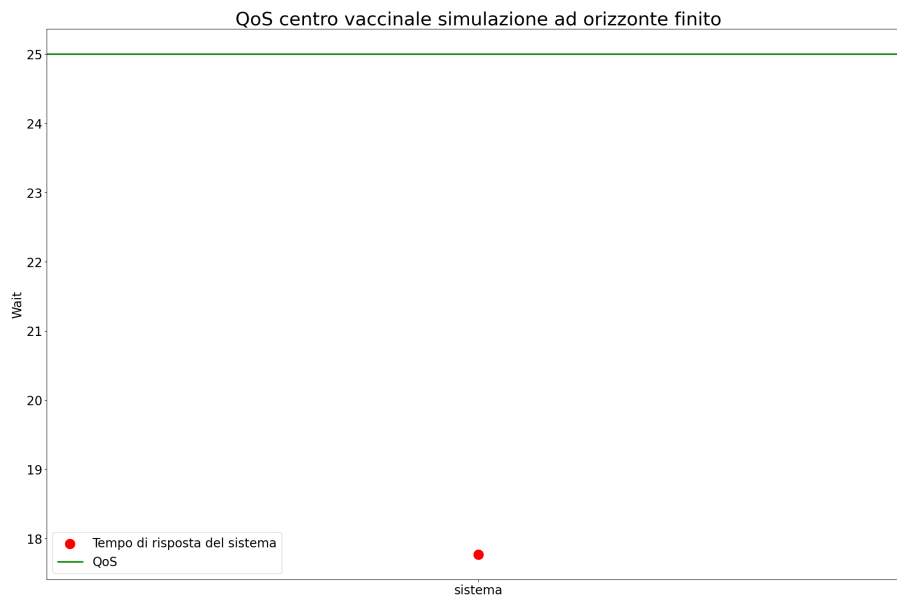


Figure 7.16: Grafico del QoS rispettato nella simulazione ad orizzonte finito

Chapter 8

Sistema Migliorato

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 mantenendo 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.

I settori vengono quindi così modellati:

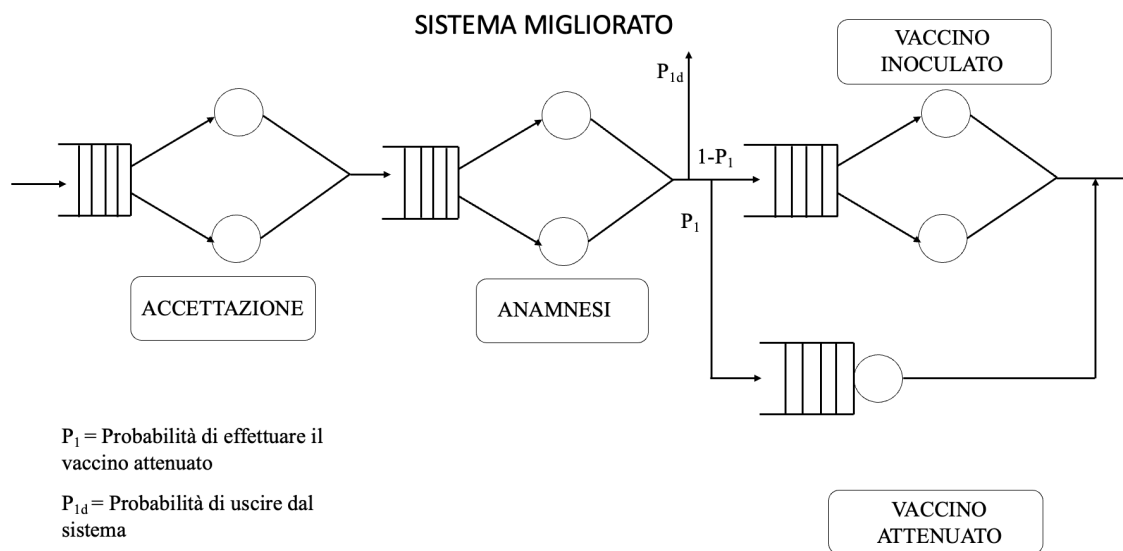


Figure 8.1: Modello concettuale del sistema

Chapter 9

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 capitolo successivo.

9.1 Confronto Analisi - Simulazione

Vengono quindi mostrate le tabelle riassuntive:

Accettazione	Analisi	Simulazione
Λ	0.456000	0.455584 ± 0.001775
$E(S)$	0.970874	0.971780 ± 0.003706
ρ	0.442718	0.442667 ± 0.002476
$E(T_Q)$	0.473360	0.466555 ± 0.014484
$E(T_S)$	2.415108	2.410114 ± 0.019423
$E(N)$	1.101289	1.097952 ± 0.010568
$E(N_Q)$	0.215852	0.212619 ± 0.006853

Table 9.1: Confronto statistiche tra l'analisi teorica e il simulatore per il centro Accettazione

Anamnesi	Analisi	Simulazione
Λ	0.456000	0.455580 ± 0.001775
$E(S)$	1.666667	1.660571 ± 0.005409
ρ	0.760000	0.756414 ± 0.004083
$E(T_Q)$	4.558081	4.433481 ± 0.198179
$E(T_S)$	7.891414	7.754622 ± 0.204200
$E(N)$	3.598484	3.534402 ± 0.099061
$E(N_Q)$	2.078484	2.021573 ± 0.093574

Table 9.2: Confronto statistiche tra l'analisi teorica e il simulatore per il centro Anamnesi

Inoculazione	Analisi	Simulazione
Λ	0.351120	0.351539 ± 0.001483
$E(S)$	2.008032	2.012986 ± 0.007953
ρ	0.705060	0.707529 ± 0.004033
$E(T_Q)$	3.969904	4.011399 ± 0.154112
$E(T_S)$	7.985969	8.037370 ± 0.162572
$E(N)$	2.804033	2.826955 ± 0.064442
$E(N_Q)$	1.393912	1.411897 ± 0.057968

Table 9.3: Confronto statistiche tra l'analisi teorica e il simulatore per il centro Inoculazione

Inoculazione Attenuato	Analisi	Simulazione
Λ	0.104880	0.104681 ± 0.000438
$E(S)$	2.777777	2.781798 ± 0.009650
ρ	0.291333	0.291179 ± 0.001558
$E(T_Q)$	1.141946	1.115131 ± 0.020026
$E(T_S)$	3.919724	3.896928 ± 0.025814
$E(N)$	0.411100	0.407943 ± 0.003490
$E(N_Q)$	0.119767	0.116764 ± 0.002287

Table 9.4: Confronto statistiche tra l'analisi teorica e il simulatore per il centro Inoculazione Attenuato

9.2 Verifica di consistenza

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:

$$\bar{d} = 2.410114 \text{ min}$$

$$\bar{w} = 0.466555 \text{ min}$$

$$\bar{s} = 0.971780 \text{ min}$$

Risulta quindi verificata l'uguaglianza precedentemente descritta poiché : $2.410114 = 0.466555 + (0.971780 * 2) \text{ min}$

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

$$\bar{d} = 7.754622 \text{ min}$$

$$\bar{w} = 4.433481 \text{ min}$$

$$\bar{s} = 1.660571 \text{ min}$$

Risulta quindi verificata l'uguaglianza precedentemente descritta poiché : $7.754622 = 4.433481 + (1.660571 * 2) \text{ min}$

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

$$\bar{d} = 8.037370 \text{ min}$$

$$\bar{w} = 4.011399 \text{ min}$$

$$\bar{s} = 2.012986 \text{ min}$$

Risulta quindi verificata l'uguaglianza precedentemente descritta poiché : $8.037370 = 4.011399 + (2.012986 * 2) \text{ min}$

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

$$\bar{d} = 3.896928 \text{ min}$$

$$\bar{w} = 1.115131 \text{ min}$$

$$\bar{s} = 2.781798 \text{ min}$$

Risulta quindi verificata l'uguaglianza precedentemente descritta poiché : $3.896928 = 1.115131 + 2.781798 \text{ min}$

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:

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

$$\bar{l} = 1.097952 \text{ job}$$

$$\bar{y} = 0.897334 \text{ job}$$

Risulta quindi verificata l'uguaglianza precedentemente descritta poiché : $0.212619 = 1.097952 - (0.897334) \text{ job}$

Nel centro **Anamnesi** si ha:

$$\bar{q} = 2.021573 \text{ job}$$

$$\bar{l} = 3.534402 \text{ job}$$

$$\bar{y} = 1.512828 \text{ job}$$

Risulta quindi verificata l'uguaglianza precedentemente descritta poiché : $2.021573 = 3.534402 - 1.512828 \text{ job}$

Nel centro **Inoculazione** si ha:

$$\bar{q} = 1.411897 \text{ job}$$

$$\bar{l} = 2.826955 \text{ job}$$

$$\bar{y} = 1.415058 \text{ job}$$

Risulta quindi verificata l'uguaglianza precedentemente descritta poiché : $1.411897 = 2.826955 - 1.415058 \text{ job}$

Nel centro **Inoculazione attenuato** si ha:

$$\bar{q} = 0.116764 \text{ job}$$

$$\bar{l} = 0.407943 \text{ job}$$

$$\bar{y} = 0.291179 \text{ job}$$

Risulta quindi verificata l'uguaglianza precedentemente descritta poiché : $0.116764 = 0.407943 - 0.291179 \text{ job}$

9.3 Verifica sul tempo medio di risposta del sistema

Un'ulteriore verifica effettuata riguarda il confronto dei risultati ottenuti nell'analisi teorica e i risultati ottenuti lanciando la simulazione ad orizzonte infinito per il tempo medio di risposta del sistema. I risultati dell'analisi risultano:

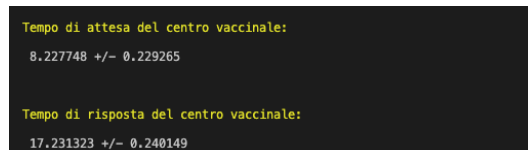
$$E(T_Q)_{globale} = 8.350915 \text{ min}$$

$$E(T_S)_{globale} = 17.357254 \text{ min}$$

I tempi ottenuti con la simulazione vengono mostrati nello screen in figura:

$$E(T_Q)_{globale} = 8.227748 \pm 0.229265$$

$$E(T_S)_{globale} = 17.231323 \pm 0.240149$$



```
Tempo di attesa del centro vaccinale:  
8.227748 +/- 0.229265  
  
Tempo di risposta del centro vaccinale:  
17.231323 +/- 0.240149
```

Figure 9.1: Output statistiche sul tempo medio globale di servizio e di attesa ottenuti con la simulazione ad orizzonte infinito nel sistema migliorato

Chapter 10

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 17.231323 *min* il miglioramento risulta essere quindi evidente. Graficamente:

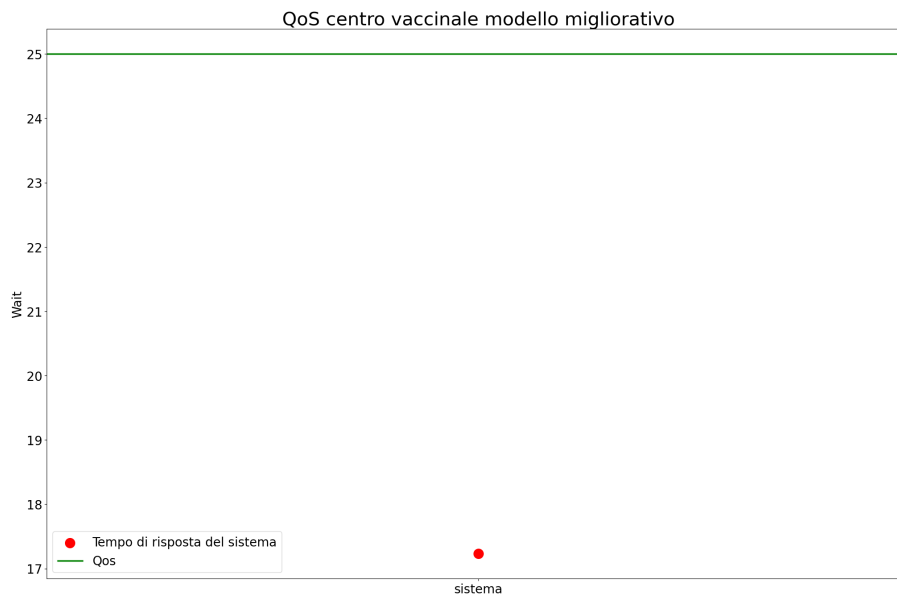


Figure 10.1: QoS rispettato nel modello migliorativo con la configurazione $\{2,2,2,1\}$

10.1 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.

$$E(T_s) = 15.913649 \pm 0.826267 \text{ min}$$

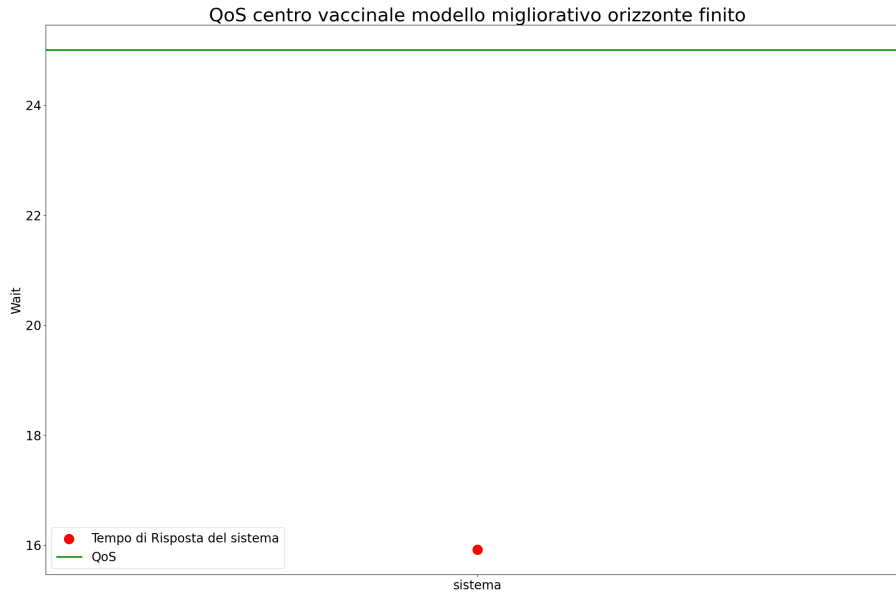


Figure 10.2: QoS rispettato nel modello migliorativo con la configurazione $\{2,2,2,1\}$ per la simulazione ad orizzonte finito

10.2 Confronto con precedente modello

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:

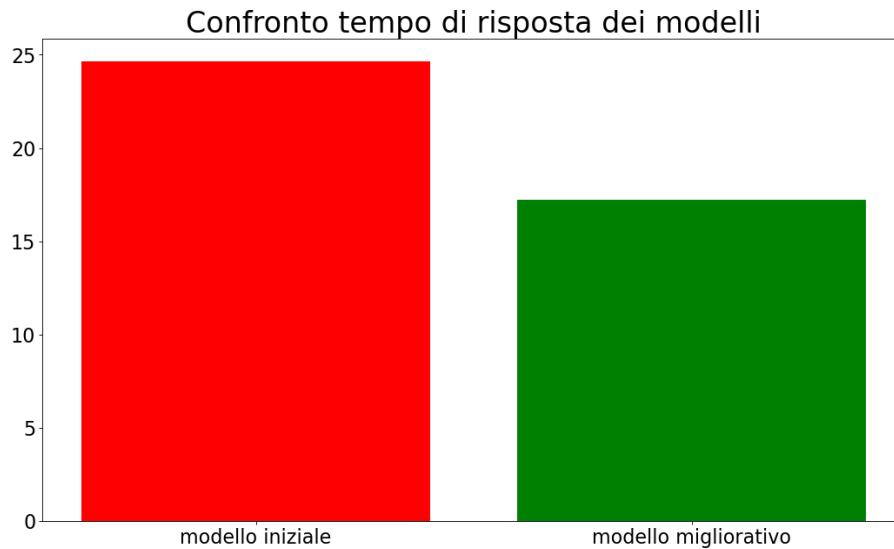


Figure 10.3: Confronto delle statistiche sul tempo medio di risposta tra il modello iniziale e il modello migliorativo

Come è possibile osservare nel modello iniziale il tempo medio di risposta, per la simulazione ad orizzonte infinito, è 24.636665 minuti mentre nel modello migliorativo è 17.231323 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 6.848936 minuti.

Chapter 11

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 avvento nel modello precedentemente descritto ma lasciare invariato il centro di inculazione attenuato. Visto il poco afflusso di pazienti nel centro di inculazione 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.

$$E(T_S)_{globale} = 16.973909 \pm 0.184028min$$

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

$$E(T_S)_{globale} = 17.231323 \pm 0.240149$$

Il guadagno quindi in termini di tempo è di 0.257414 *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.