

# Progetto di Performance Modeling of Computer Systems and Networks

## A.A. 2023/2024

Donnini Francesco, Lupini Martina, Manenti Edoardo

Università degli studi di Roma "Tor Vergata"  
Ingegneria Informatica

3 settembre 2024



**TOR VERGATA**  
UNIVERSITY OF ROME  
—  
School of Engineering

1 Introduzione

2 Modello

3 Modello Migliorativo

# Roadmap

1 Introduzione

2 Modello

3 Modello Migliorativo

Il presente studio è incentrato sull'azienda **MAAC FINANCE SRL** (di seguito *MF*), società che opera in qualità di agente in attività finanziaria per la **SANTANDER CONSUMER BANK SPA** (di seguito *SCB*).



La *MF* promuove tutti i prodotti offerti da *SCB*. Tra questi verrà analizzata la procedura di gestione delle richieste di **Prestito Personale**. La scelta è stata dettata dal fatto che il P.P. rappresenta l'unico prodotto che prevede un rapporto diretto tra il cliente e l'agenzia, senza che altre entità (ad eccezione di *SCB*) influenzino il processo.

# Introduzione

Fasi di richiesta di un prestito personale

Analizziamo le vari **fasi per la richiesta di un prestito**:

## 1 ISTRUTTORIA:

Colloquio con il cliente per la **raccolta dei documenti** necessari. Effettuata dal *Reparto istruttorie di MF.*



## Introduzione

#### Fasi di richiesta di un prestito personale

## ② CONTROLLO AUTOMATICO

I dati raccolti e inseriti nella fase istruttoria vengono controllati dal *sistema elettronico automatico* di proprietà di SCB.



# Introduzione

## Fasi di richiesta di un prestito personale

### ❸ VALUTAZIONE DEL COMITATO DI CREDITO:

Se una richiesta viene accettata dal sistema automatico, passa al *vaglio* di un *comitato di credito* della SCB.



## Introduzione

## Fasi di richiesta di un prestito personale

## 4 FINALIZZAZIONE E LIQUIDAZIONE:

Se le richieste vengono accettate dal comitato, *MF* procede con la **firma del contratto** da parte del cliente e infine l'**esecuzione del bonifico** sull'IBAN dello stesso tramite il cosiddetto *Reparto Liquidazioni*.



- **Presenza nelle banche dati (es. CRIF):**
  - ▶ Affidabilità del cliente e assenza di rifiuti recenti.
- **Profilo lavorativo:**
  - ▶ Contratto a tempo indeterminato e continuità lavorativa.
- **Situazione reddituale:**
  - ▶ Impegni già esistenti compatibili con la richiesta (reddito minimo di sussistenza).



# Caratteristiche richieste prestito

## Cause di rifiuto

In ordine di frequenza, le cause di rifiuto sono:

- ① **Richieste di prestito in sospeso o rifiutate:** 25% dei casi.
- ② **Tipologia di contratto:** 15.011% dei casi.
- ③ **Anzianità di lavoro:** 11.1% dei casi.
- ④ **Rapporto rata/reddito:** 10% dei casi.

## Problema

Dai dati forniti da *MF* emerge che circa il **58% delle richieste** vengono rifiutate dal sistema automatico. Questo significa che, per più della metà delle richieste, la procedura di istruttoria viene eseguita **“inutilmente”**.

L'obiettivo del nostro studio è determinare un metodo per scartare a priori le richieste non valide.

I vantaggi sono:

- **Maggior credibilità dell'azienda verso la mandante:**

- ▶ Un maggior numero di richieste utili gestite indicherà una migliore qualità del portafoglio caricato da *MF* nei confronti della mandante *SCB*, la quale avrà così un indicatore economico più performante. Di conseguenza, *MF* verrà considerata un partner più affidabile e di valore dalla banca.

- **Risparmio di tempo e ottimizzazione delle risorse umane:**

- ▶ Una riduzione della gestione delle istruttorie per i contratti che non verranno accettati consentirà di risparmiare tempo e lavoro, permettendo così una migliore ottimizzazione delle risorse umane disponibili.

# Roadmap

1 Introduzione

2 Modello

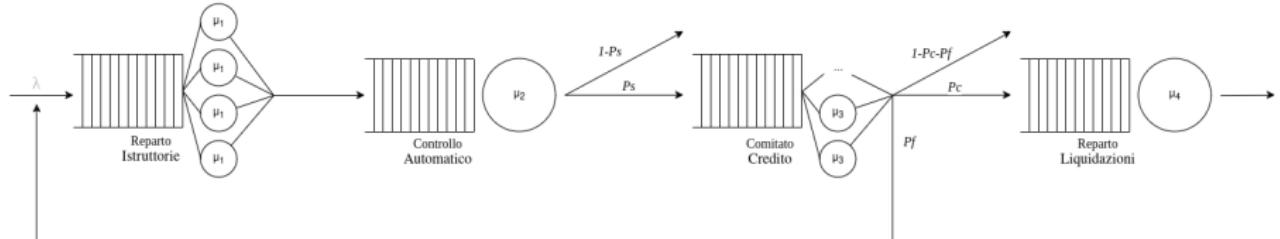
3 Modello Migliorativo

# Modello concettuale

## Astrazioni

| ELEMENTO           | DESCRIZIONE   |
|--------------------|---|
| Job                | Richiesta di prestito   |
| Server             | Dipendenti in un certo ufficio o sistema informatico                      |
| Tempo di residenza | Tempo impiegato da una richiesta ad essere liquidata                      |
| Tempi di servizio  | Tempi impiegati dai dipendenti per espletare le pratiche di una richiesta |

# Modello concettuale



## PROBABILITA' DI ROUTING:

- $P_S = 0.42$
- $P_C = 0.65$
- $P_f = 0.06$
- Disciplina di coda: FIFO

## EVENTI:

- ARRIVAL\_REPARTO\_ISTRUTTORIE
- COMPLETION\_REPARTO\_ISTRUTTORIE
- ARRIVAL\_SCORING\_AUTOMATIC
- COMPLETION\_SCORING\_AUTOMATIC
- ARRIVAL\_COMITATO\_CREDITO
- COMPLETION\_COMITATO\_CREDITO
- ARRIVAL\_REPARTO\_LIQUIDAZIONI
- COMPLETION\_REPARTO\_LIQUIDAZIONI

# Modello delle Specifiche

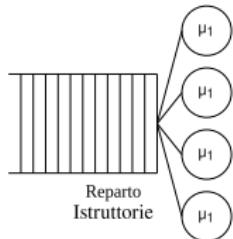
## Tasso arrivo

Il tempo di inter-arrivo segue una **distribuzione esponenziale**. Il tasso di arrivo medio,  $\lambda$ , è stato ricavato dai **dati forniti dall'azienda**. Da questi ultimi si evince che, in una giornata lavorativa di **8 ore**, giungono circa **6 richieste** di prestiti. Si ottiene dunque un tempo di inter-arrivo medio di:

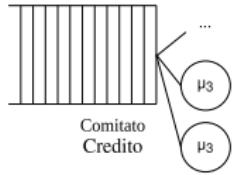
$$\frac{480 \text{ min}}{6} = 80 \text{ min} \Rightarrow \lambda = 0.0125 \frac{\text{job}}{\text{min}}$$

# Modello delle Specifiche

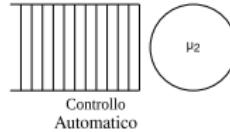
## Modellazione centri



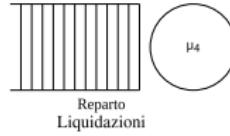
- Multiserver con 4 serventi
- Il servizio segue una distribuzione log normale troncata a 40 min con  $E[S_i] = 25$  min e  $\sigma^2 = 10$  min.



- Infinite server
- Il tempo di servizio è modellato con una distribuzione log normale troncata a 1440 min con  $E[S] = 480$  min e  $\sigma^2 = 180$  min.



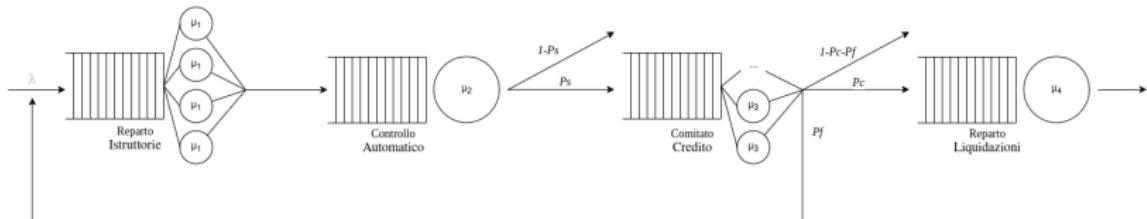
- Single server
- Il tempo di servizio segue una distribuzione esponenziale con  $E[S] = 1$  min.



- Single server
- Il tempo di servizio è modellato con una distribuzione log normale troncata a 60min con  $E[S] = 30$  min ,  $\sigma^2 = 15$  min.

# Modello delle Specifiche

## Equazioni di Traffico e Tabella Routing



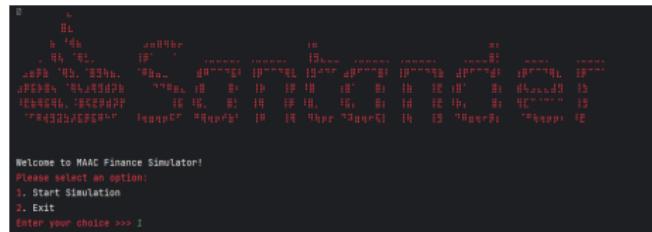
$$\begin{cases} \lambda_1 = \lambda + \lambda_3 \cdot p_F \\ \lambda_2 = \lambda_1 \\ \lambda_3 = \lambda_2 \cdot p_S \\ \lambda_4 = \lambda_3 \cdot p_C \end{cases}$$

|                             | Esterno         | Reparto istruttoria | Sistema automatico | Comitato credito | Reparto liquidazione |
|-----------------------------|-----------------|---------------------|--------------------|------------------|----------------------|
| <b>Esterno</b>              | 0               | 1                   | 0                  | 0                | 0                    |
| <b>Reparto istruttoria</b>  | 0               | 0                   | 1                  | 0                | 0                    |
| <b>Sistema automatico</b>   | $1 - p_S$       | 0                   | 0                  | $p_S$            | 0                    |
| <b>Comitato credito</b>     | $1 - p_C - p_F$ | $p_F$               | 0                  | 0                | $p_C$                |
| <b>Reparto liquidazione</b> | 1               | 0                   | 0                  | 0                | 0                    |

La simulazione adotta l'approccio del **Next-Event Simulation**. Il programma è stato scritto in Java seguendo un approccio **object-oriented**. Per la realizzazione dei grafici è stato utilizzata la libreria `matplotlib` di Python.

Il codice è organizzato come segue:

- controller.
- centers.
- model.
- utils.
- libraries.
- configuration.



- Le classi che implementano i vari centri derivano da una delle seguenti classi astratte: SingleServer, MultiServer e InfiniteServer.
- Ogni classe astratta fornisce un'implementazione parziale dei metodi `processArrival` e `processCompletion` utilizzati per gestire arrivi e completamenti rispettivamente.
- Ogni classe derivata deve implementare i metodi `spawnCompletionEvent`, `spawnNextCenterEvent` e `getService` (invocati da `processArrival` e `processCompletion`) che determinano il comportamento del centro a fronte di un completamento - i.e. Che tipo di distribuzione dei tempi di servizio segue? Quali nuovi eventi devono essere creati?

# Strutture Dati

## MsqEvent e EventQueue

```
public class MsqEvent {  
    public double time;  
    public final EventType type;  
    public Applicant applicant;  
    public int serverId;  
    public double service;  
}
```

- **time**: indica il tempo in cui si verifica l'evento.
- **type**: indica il tipo di evento.
- **applicant**: struttura dati che tiene traccia delle caratteristiche della richiesta in esame.
- **serverId**: viene utilizzato nel caso di un evento di completamento nel multiserver: tiene traccia del server che ne deve processare il completamento.
- **service**: se l'evento è di completamento mantiene la durata del servizio altrimenti è 0.

Per selezionare l'evento da processare si utilizza la classe **EventQueue** che implementa una coda *FIFO*. Sostanzialmente gli eventi vengono ordinati in base al loro attributo **time** e quando viene invocato il metodo **pop()** viene estratto dalla coda quello con tempo minore.

```
public class Applicant {  
    final int streamIndex;  
    boolean haAnzianitaDiLavoro;  
    boolean isRapportoRataRedditoOk;  
    boolean haContrattoIndeterminato;  
    boolean nonHaRichiesteORifiutiRecenti;  
    boolean haCorrispondenzaInBancaDati;  
    public boolean isAcceptedBySysScoring()  
    public void setHasCorrispondenzaInBancaDati()  
}
```

- `isAcceptedBySysScoring()`: determina se il centro di *Scoring Automatico* debba accettare o meno la richiesta.
- `setHasCorrispondenzaInBancaDati()`: il centro di *Scoring Automatico* imposta seguendo la relativa distribuzione se i dati specificati nella richiesta sono effettivamente legittimi oppure no.

# Verifica

La fase di verifica si assicura che il modello computazionale sia implementato correttamente. Per far ciò si confrontano i risultati ottenuti dalla simulazione con i risultati analitici considerando un intervallo di confidenza del 95%.

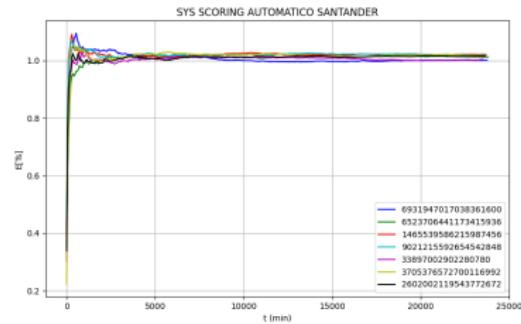
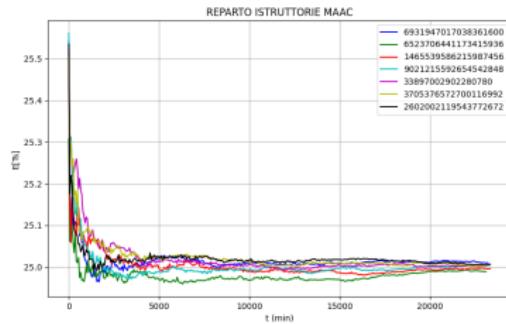
| Indice         | Valore Analitico         | Valore Empirico          | CI                           |
|----------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|
| $E[Ns]_{RIM}$  | 0.320609                 | 0.321202                 | $\pm 0.001171$               |
| $E[Ts]_{RIM}$  | 25.002359                | 25.016879                | $\pm 0.072493$               |
| $E[Nq]_{RIM}$  | $3.02506 \cdot 10^{-5}$  | $3.293217 \cdot 10^{-5}$ | $\pm 7.727734 \cdot 10^{-6}$ |
| $E[Tq]_{RIM}$  | 0.002359                 | 0.002553                 | $\pm 5.944166 \cdot 10^{-4}$ |
| $\rho_{RIM}$   | 0.080145                 | 0.080304                 | $\pm 2.922916 \cdot 10^{-4}$ |
| $E[Ns]_{SSAS}$ | 0.012997                 | 0.013018                 | $\pm 4.051250 \cdot 10^{-4}$ |
| $E[Ts]_{SSAS}$ | 1.012997                 | 1.013867                 | $\pm 0.002708$               |
| $E[Nq]_{SSAS}$ | $1.667548 \cdot 10^{-4}$ | $1.688850 \cdot 10^{-4}$ | $\pm 5.228671 \cdot 10^{-6}$ |
| $E[Tq]_{SSAS}$ | 0.012997                 | 0.013152                 | $\pm 4.051250 \cdot 10^{-4}$ |
| $\rho_{SSAS}$  | 0.012823                 | 0.012849                 | $\pm 4.771441 \cdot 10^{-5}$ |
| $E[Ns]_{CCS}$  | 2.585146                 | 2.579470                 | $\pm 0.010406$               |
| $E[Ts]_{CCS}$  | 480.000000               | 479.791166               | $\pm 1.396283$               |
| $E[Nq]_{CCS}$  | 0.0                      | 0.0                      | -                            |
| $E[Tq]_{CCS}$  | 0.0                      | 0.0                      | -                            |
| $\rho_{CCS}$   | 0.924615                 | 0.924409                 | $\pm 0.0012184$              |
| $E[Ns]_{RLM}$  | 0.117345                 | 0.117035                 | $\pm 5.111143 \cdot 10^{-4}$ |
| $E[Ts]_{RLM}$  | 33.520360                | 33.475323                | $\pm 0.10952$                |
| $E[Nq]_{RLM}$  | 0.012324                 | 0.012265                 | $\pm 1.809516 \cdot 10^{-4}$ |
| $E[Tq]_{RLM}$  | 3.520360                 | 3.507110                 | $\pm 0.0487833$              |
| $\rho_{RLM}$   | 0.0123237                | 0.104770                 | $\pm 3.811849 \cdot 10^{-4}$ |

In questa fase ci assicuriamo che il modello computazionale sia conforme e consistente con il caso di studio preso in considerazione.

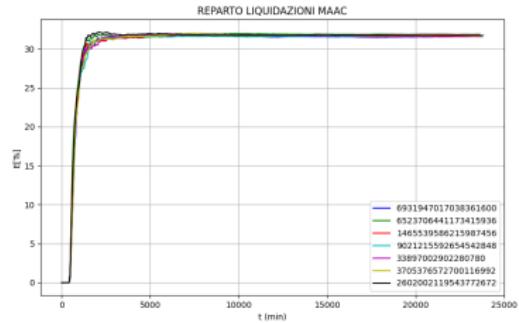
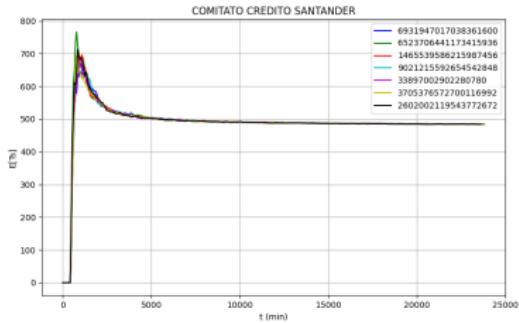
- **Percentuale accettazione SSA:** Dai dati forniti risulta che il 42% delle richieste viene accettata dal sistema di scoring e la percentuale di accettazione osservata dalla misurazione è pari al 41.857572%.
- **Utilizzazioni:** *MF* non si occupa solo di prestiti ma offre molti altri servizi. Di conseguenza, i dipendenti non occupano la totalità del loro turno lavorativo per espletare le pratiche relative alle richieste di prestito personale. Infatti nella simulazione le utilizzazioni medie dei centri *Reparto istruttorie* e *Reparto liquidazioni* sono basse. Anche *Scoring automatico* non è occupato totalmente dalle richieste provenienti da *MF*. Anch'esso ha un'utilizzazione molto bassa riportata nella simulazione.
- **Richieste liquidate:** Il numero totale di richieste di prestito portate a liquidazione registrato nella simulazione coincide con quello fornito dai dati.

# Analisi preliminare

Si studia lo stato transitorio e si verifica se e quando il sistema converge allo stato stazionario. Si effettuano più simulazioni del sistema in esame con lo stesso stato iniziale utilizzando però *seeds rng* diversi ed indipendenti. La metrica osservata è  $E[T_s]$ .



# Analisi preliminare



Dall'osservazione dei grafici relativi ad un periodo di 10 settimane lavorative ( $\simeq 24.000$  min), dei grafici emerge che il sistema converge circa dopo 20.000 min. Il centro più lento nella convergenza risulta essere il *Comitato di credito*.

## Simulazione a orizzonte finito

- La simulazione è stata condotta utilizzando un orizzonte temporale di **una settimana lavorativa**, corrispondente a un totale di 2,400 minuti.
- È stato utilizzato il metodo delle **replicazioni** (150).
- Affinchè non ci sia overlap tra i seed iniziali di ciascuna replicazione si utilizza lo stato finale dell'istanza corrente del random generator stream (`Rngs`) relativo alla replicazione appena terminata come stato iniziale per la replicazione successiva.
- La condizione di terminazione è che si raggiunga il tempo limite di osservazione.

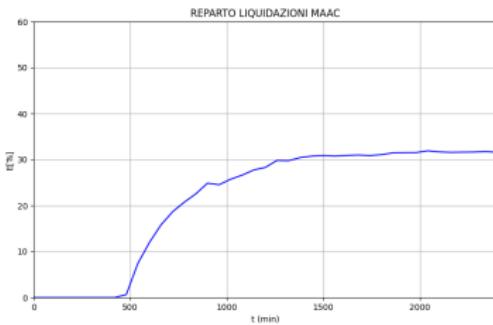
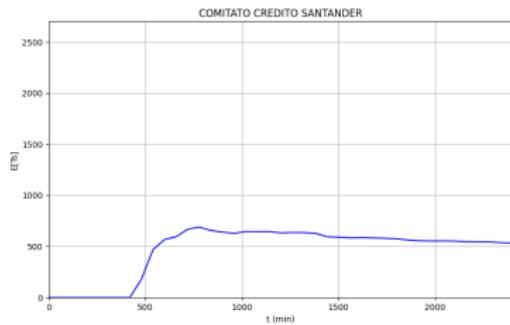
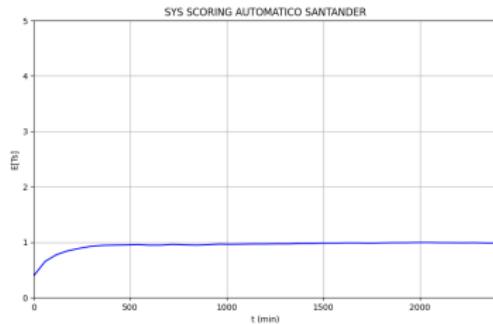
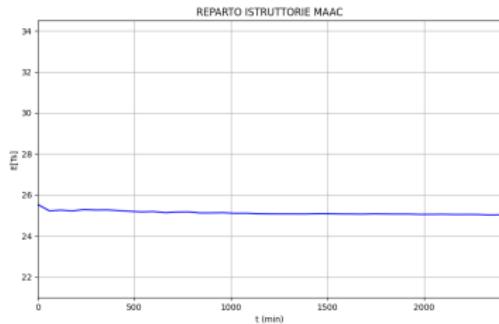
Statistiche riassuntive simulazione ad orizzonte finito del modello base:

| Centro | $E[Ns]$                           | $E[Ts]$                            | $E[Nq]$                           | $E[Tq]$                           | $\rho$                            |
|--------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| RIM    | $0.3273 \pm 6.3250 \cdot 10^{-4}$ | $25.0216 \pm 2.3263 \cdot 10^{-2}$ | $0.0001 \pm 2.9703 \cdot 10^{-8}$ | $0.0047 \pm 2.2996 \cdot 10^{-4}$ | $0.0827 \pm 4.0482 \cdot 10^{-5}$ |
| SSAS   | $0.0129 \pm 1.9656 \cdot 10^{-6}$ | $0.9859 \pm 6.1441 \cdot 10^{-3}$  | $0.0002 \pm 2.1780 \cdot 10^{-8}$ | $0.0133 \pm 1.2996 \cdot 10^{-4}$ | $0.0127 \pm 1.8493 \cdot 10^{-6}$ |
| CCS    | $2.2648 \pm 6.5234 \cdot 10^{-2}$ | $479.6687 \pm 2.2132$              | -                                 | -                                 | $0.8839 \pm 1.3109 \cdot 10^{-3}$ |
| RLM    | $0.0984 \pm 2.1833 \cdot 10^{-4}$ | $31.5648 \pm 1.1917$               | $0.0053 \pm 1.5090 \cdot 10^{-5}$ | $1.4698 \pm 7.6538 \cdot 10^{-1}$ | $0.0932 \pm 1.5775 \cdot 10^{-4}$ |

N.B]: gli intervalli di confidenza sono stati calcolati come  $t^* \cdot (\frac{s}{\sqrt{n-1}})$

# Simulazione a orizzonte finito

I grafici mostrano l'evoluzione di  $E[T_S]$  nel tempo (in questo caso si considera il valore medio delle run).



# Simulazione a orizzonte infinito

L'obiettivo di una simulazione ad orizzonte infinito è quello di stimare le caratteristiche del sistema quando si trova in regime stazionario.

## SCELTE EFFETTUATE:

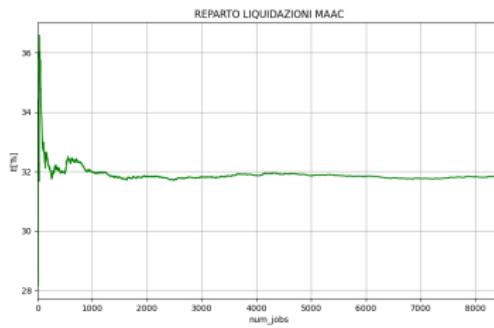
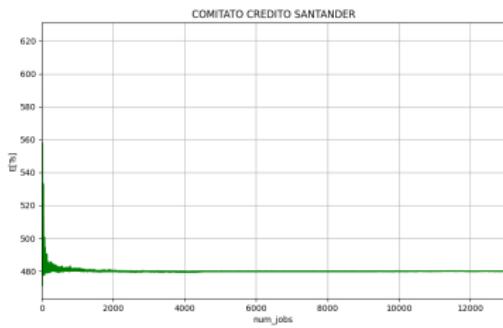
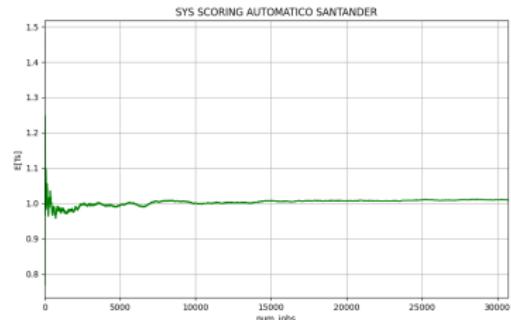
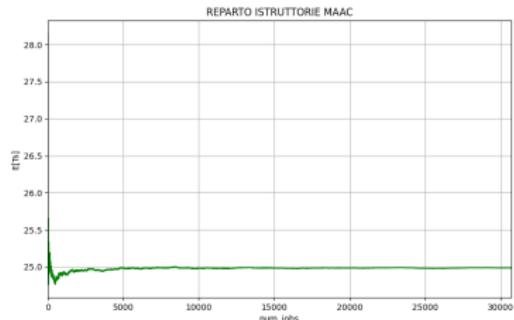
- Periodo iniziale di **warmup** per evitare lo *start-up problem*.
- Metodo delle **batch means** con  $b = 4096$  e  $k = 128$ , così scelti affinché l'autocorrelazione sia inferiore a 0.2.
- La condizione di terminazione è che ogni centro abbia elaborato almeno  $b \cdot k$  richieste.

Statistiche riassuntive simulazione ad orizzonte infinito del modello base:

| Centro | $E[Ns]$                           | $E[Ts]$                            | $E[Nq]$                            | $E[Tq]$                           | $\rho$                            |
|--------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| RIM    | $0.3212 \pm 7.8071 \cdot 10^{-6}$ | $25.0169 \pm 2.9928 \cdot 10^{-2}$ | $0.0000 \pm 3.4009 \cdot 10^{-10}$ | $0.0026 \pm 2.0122 \cdot 10^{-6}$ | $0.0803 \pm 4.8655 \cdot 10^{-7}$ |
| SSAS   | $0.0130 \pm 1.3823 \cdot 10^{-8}$ | $1.0139 \pm 4.1763 \cdot 10^{-5}$  | $0.0000 \pm 1.5570 \cdot 10^{-10}$ | $0.0132 \pm 9.3470 \cdot 10^{-7}$ | $0.0128 \pm 1.2966 \cdot 10^{-8}$ |
| CCS    | $2.5795 \pm 6.1672 \cdot 10^{-4}$ | $479.7912 \pm 11.1031$             | -                                  | -                                 | $0.9244 \pm 8.4538 \cdot 10^{-6}$ |
| RLM    | $0.1170 \pm 1.4878 \cdot 10^{-6}$ | $33.4753 \pm 6.8321 \cdot 10^{-2}$ | $0.0123 \pm 1.8647 \cdot 10^{-7}$  | $3.5071 \pm 1.3553 \cdot 10^{-2}$ | $0.1048 \pm 8.2750 \cdot 10^{-7}$ |

# Simulazione a orizzonte infinito

Graficando il tempo medio di risposta  $E[T_S]$  rispetto al numero di jobs processati, possiamo vedere il fenomeno di *warmup* all'inizio.



# Roadmap

1 Introduzione

2 Modello

3 Modello Migliorativo

# Modello migliorativo

## Introduzione

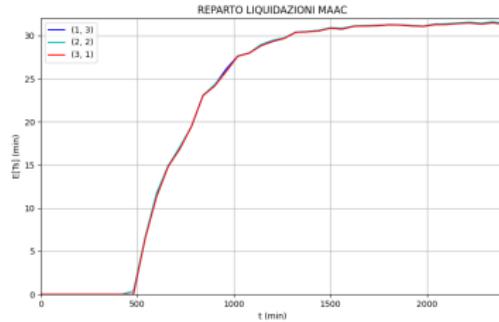
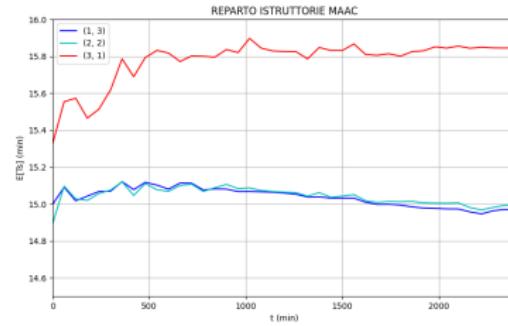
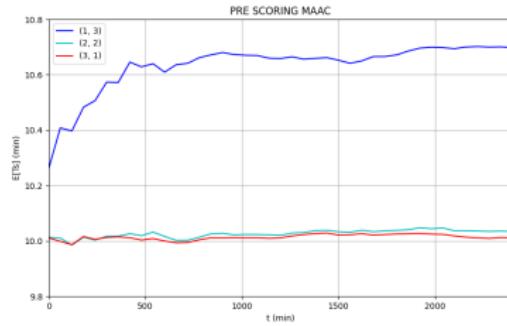
- Il modello migliorativo proposto prevede l'introduzione di un controllo preliminare, denominato **pre-scoring**, che permetta di identificare e scartare a priori le richieste che presentano le suddette criticità, aumentando così l'efficienza del processo e riducendo il numero di istruttorie avviate inutilmente.



- Per implementare il pre-scoring, si propone di suddividere i dipendenti del reparto istruttorie in modo che alcuni si occupino del pre-scoring e gli altri continuino con la procedura di istruttoria tradizionale, portando avanti i due processi senza aumentare le risorse umane impiegate.

# Modello migliorativo

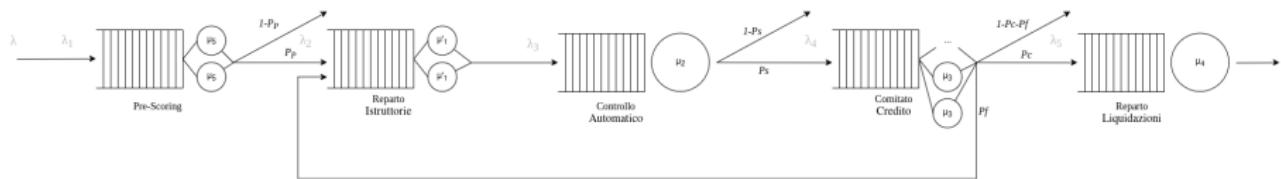
## Configurazioni Considerate



- 1 servente in pre-scoring e 3 in reparto istruttorie
- 2 serventi in pre-scoring e 2 in reparto istruttorie
- 3 serventi in pre-scoring e 1 in reparto istruttorie

# Modello concettuale

## Schema



## PROBABILITA' DI ROUTING:

- $P_P = 0.51$
- $P_S = 0.82$
- $P_C = 0.65$
- $P_F = 0.06$
- Disciplina di coda: FIFO

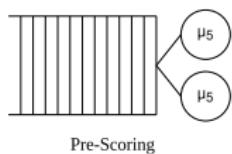
## EVENTI:

- ARRIVAL\_PRE\_SCORING
- COMPLETION\_PRE\_SCORING
- ARRIVAL\_REPARTO\_ISTRUTTORIE
- COMPLETION\_REPARTO\_ISTRUTTORIE
- ARRIVAL\_SCORING\_AUTOMATICO
- COMPLETION\_SCORING\_AUTOMATICO
- ARRIVAL\_COMITATO\_CREDITO
- COMPLETION\_COMITATO\_CREDITO
- ARRIVAL\_REPARTO\_LIQUIDAZIONI
- COMPLETION\_REPARTO\_LIQUIDAZIONI

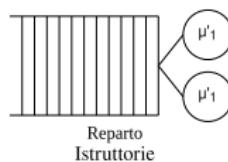
# Modello delle Specifiche

## Modellazione dei centri

Gli unici centri che cambiano modellazione sono *Prescoring* e *Reparto istruttorie*:



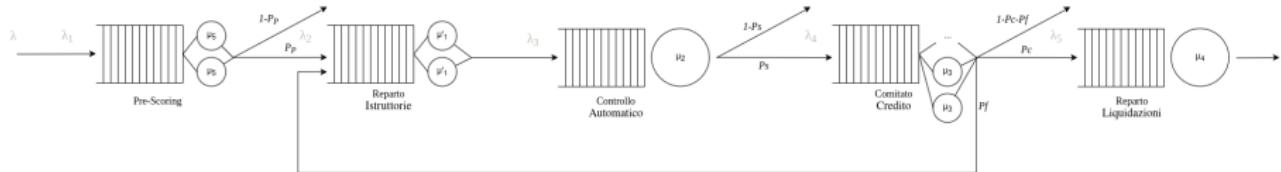
- Multiserver con 2 serventi
- Il servizio segue una distribuzione log normale troncata a 25 min con  $E[S] = 10$  min e  $\sigma^2 = 2$  min.



- Multiserver con 2 serventi
- Il servizio segue una distribuzione log normale troncata a 25 min con  $E[S] = 15$  min e  $\sigma^2 = 5$  min.

# Modello delle Specifiche

## Equazioni di Traffico e Tabella Routing



$$\begin{cases} \lambda_1 = \lambda \\ \lambda_2 = \lambda_1 \cdot p_P + \lambda_4 \cdot p_F \\ \lambda_3 = \lambda_2 \\ \lambda_4 = \lambda_3 \cdot p_S \\ \lambda_5 = \lambda_4 \cdot p_C \end{cases}$$

|                             | Esterno         | Pre-Scoring | Reparto istruttoria | Sistema automatico | Comitato credito | Reparto liquidazione |
|-----------------------------|-----------------|-------------|---------------------|--------------------|------------------|----------------------|
| <b>Esterno</b>              | 0               | 1           | 0                   | 0                  | 0                | 0                    |
| <b>Pre-Scoring</b>          | $1 - p_P$       | 0           | $p_P$               | 0                  | 0                | 0                    |
| <b>Reparto istruttoria</b>  | 0               | 0           | 0                   | 1                  | 0                | 0                    |
| <b>Sistema automatico</b>   | $1 - p_S$       | 0           | 0                   | 0                  | $p_S$            | 0                    |
| <b>Comitato credito</b>     | $1 - p_C - p_F$ | 0           | $p_F$               | 0                  | 0                | $p_C$                |
| <b>Reparto liquidazione</b> | 1               | 0           | 0                   | 0                  | 0                | 0                    |

Il modello computazione non subisce variazioni nella sua struttura se non nell'aggiunta della classe relativa al centro di pre-scoring.

Inoltre, nella classe `Applicant` viene aggiunta una nuova operazione per simulare il controllo del pre-scoring:

```
public class Applicant {  
    // ...  
    public boolean isAcceptedByPreScoring()  
}
```

- `isAcceptedByPreScoring()` determina se il centro *Pre-Scoring* debba accettare o meno la richiesta.

# Verifica

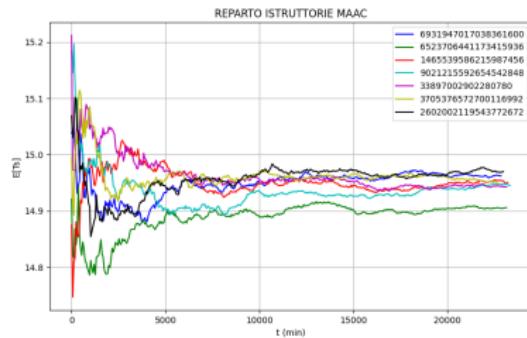
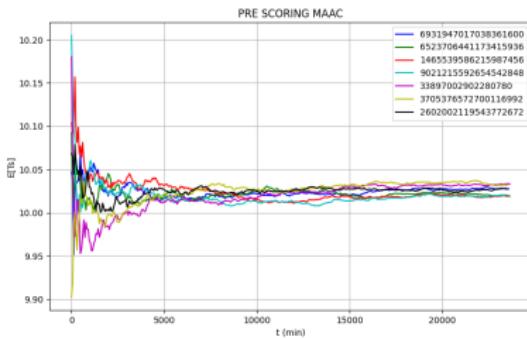
La verifica del modello migliorato viene condotta come nel modello di base.

| Indice         | Valore Analitico          | Valore Empirico          | CI                            |
|----------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| $E[Ns]_{PSM}$  | 0.125490                  | 0.125397                 | $\pm 5.186422 \cdot 10^{-4}$  |
| $E[Ts]_{PSM}$  | 10.039216                 | 10.050499                | $\pm 0.026054$                |
| $E[Nq]_{PSM}$  | $4.901961 \cdot 10^{-4}$  | $4.894375 \cdot 10^{-4}$ | $\pm 2.905834 \cdot 10^{-5}$  |
| $E[Tq]_{PSM}$  | 0.039216                  | 0.039222                 | $\pm 0.002327$                |
| $\rho_{PSM}$   | 0.062500                  | 0.062457                 | $\pm 2.568774 \cdot 10^{-4}$  |
| $E[Ns]_{RIM}$  | 0.100828                  | 0.1007998                | $\pm 3.968535 \cdot 10^{-4}$  |
| $E[Ts]_{RIM}$  | 15.038027                 | 15.0374697               | $\pm 0.038131$                |
| $E[Nq]_{RIM}$  | $2.549797 \cdot 10^{-4}$  | $2.419609 \cdot 10^{-4}$ | $\pm 1.5476089 \cdot 10^{-5}$ |
| $E[Tq]_{RIM}$  | 0.038028                  | 0.03607997               | $\pm 0.002287$                |
| $\rho_{RIM}$   | 0.050287                  | 0.050281                 | $\pm 1.823899 \cdot 10^{-4}$  |
| $E[Ns]_{SSAS}$ | 0.006750                  | 0.006733                 | $\pm 2.961547 \cdot 10^{-5}$  |
| $E[Ts]_{SSAS}$ | 1.006750                  | 1.004431                 | $\pm 0.0030638$               |
| $E[Nq]_{SSAS}$ | $4.5258872 \cdot 10^{-5}$ | $4.329008 \cdot 10^{-5}$ | $\pm 2.201329 \cdot 10^{-5}$  |
| $E[Tq]_{SSAS}$ | 0.006750                  | 0.0064584                | $\pm 3.276902 \cdot 10^{-4}$  |
| $\rho_{SSAS}$  | 0.006705                  | 0.00668996               | $\pm 2.9290803 \cdot 10^{-5}$ |
| $E[Ns]_{CCS}$  | 2.639041                  | 2.640216                 | $\pm 0.0109653$               |
| $E[Ts]_{CCS}$  | 480.000000                | 479.997892               | $\pm 1.3399124$               |
| $E[Nq]_{CCS}$  | 0.0                       | 0.0                      | -                             |
| $E[Tq]_{CCS}$  | 0.0                       | 0.0                      | -                             |
| $\rho_{CCS}$   | 0.928570                  | 0.929520                 | $\pm 0.001233$                |
| $E[Ns]_{RLM}$  | 0.120086                  | 0.1203798                | $\pm 5.089745 \cdot 10^{-4}$  |
| $E[Ts]_{RLM}$  | 33.602566                 | 33.587349                | $\pm 0.112159$                |
| $E[Nq]_{RLM}$  | 0.012875                  | 0.012966                 | $\pm 1.900901 \cdot 10^{-4}$  |
| $E[Tq]_{RLM}$  | 3.602566                  | 3.617256                 | $\pm 0.0515748$               |
| $\rho_{RLM}$   | 0.107211                  | 0.107414                 | $\pm 3.830607 \cdot 10^{-4}$  |

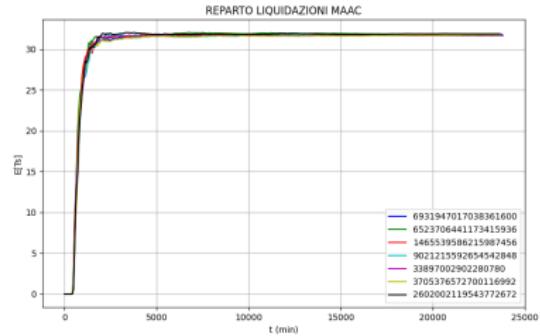
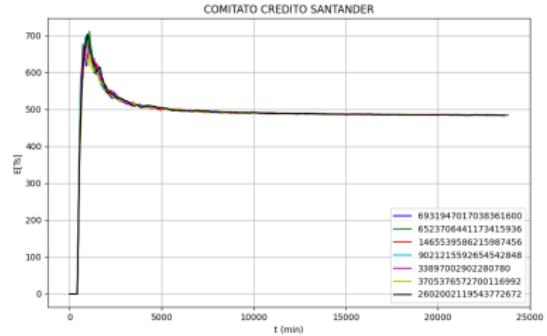
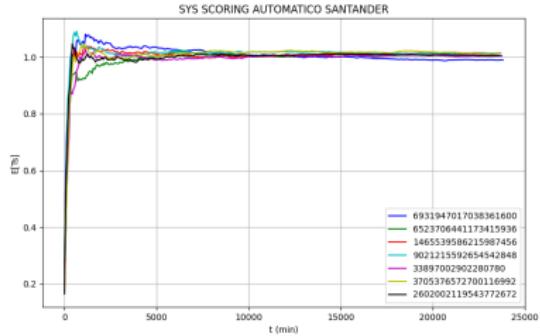
- Per le stesse motivazioni menzionate nel modello base, tutti i centri presentano una bassa utilizzazione.
- Inoltre, dal momento che le richieste vengono filtrate a priori, in *Reparto istruttorie e Scoring automatico* l'utilizzazione risulta essere più bassa rispetto a quella del modello base (ragionevole con quanto ci si aspetta).
- I numeri di contratti liquidati rimangono uguali a quelli del modello base (il che dimostra la buona riuscita del filtraggio in pre-scoring) e coerenti con le aspettative.

# Analisi preliminare

Si studia lo stato transitorio e si verifica se e quando il sistema converge allo stato stazionario. Si effettuano più simulazioni del sistema in esame con lo stesso stato iniziale utilizzando però *seeds rng* diversi ed indipendenti. La metrica osservata è  $E[T_s]$ .



# Analisi preliminare



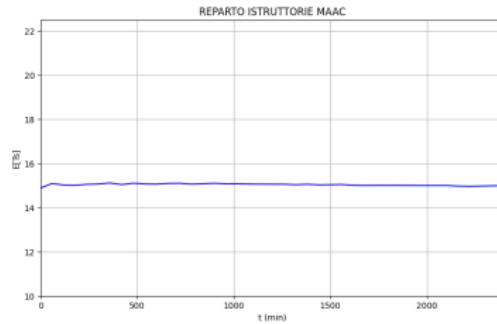
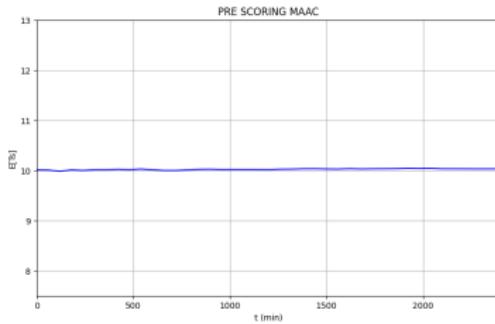
# Simulazione a orizzonte finito

La simulazione è stata condotta utilizzando un orizzonte temporale di **una settimana lavorativa** (2,400 minuti) ed è stato utilizzato il metodo delle **replicazioni** (150).

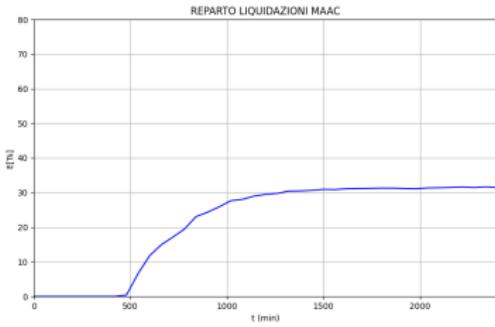
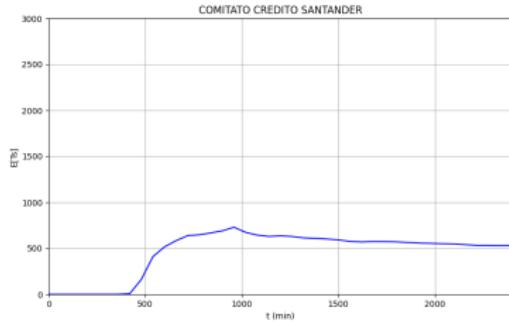
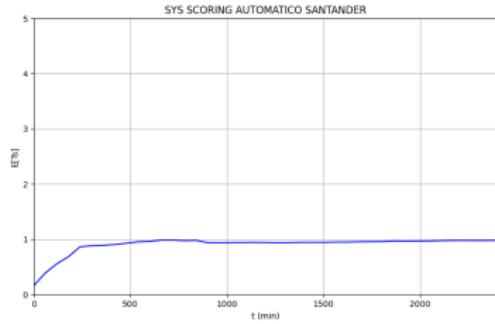
Statistiche riassuntive simulazione ad orizzonte finito del modello migliorato:

| Centro | $E[Ns]$                           | $E[Ts]$                            | $E[Nq]$                           | $E[Tq]$                           | $\rho$                            |
|--------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| PSM    | $0.1311 \pm 9.0932 \cdot 10^{-5}$ | $10.0338 \pm 1.3162 \cdot 10^{-2}$ | $0.0003 \pm 1.2558 \cdot 10^{-7}$ | $0.0219 \pm 6.3241 \cdot 10^{-4}$ | $0.0657 \pm 2.2636 \cdot 10^{-5}$ |
| RIM    | $0.1057 \pm 1.2832 \cdot 10^{-4}$ | $14.9758 \pm 8.1758 \cdot 10^{-2}$ | $0.0002 \pm 1.1002 \cdot 10^{-7}$ | $0.0225 \pm 1.3192 \cdot 10^{-3}$ | $0.0531 \pm 3.1994 \cdot 10^{-5}$ |
| SSAS   | $0.0069 \pm 1.0137 \cdot 10^{-6}$ | $0.9813 \pm 1.3013 \cdot 10^{-2}$  | $0.0001 \pm 7.0699 \cdot 10^{-9}$ | $0.0097 \pm 2.4378 \cdot 10^{-4}$ | $0.0068 \pm 9.9669 \cdot 10^{-7}$ |
| CCS    | $2.3437 \pm 6.8011 \cdot 10^{-2}$ | $479.5846 \pm 2.2005$              | -                                 | -                                 | $0.8913 \pm 1.2057 \cdot 10^{-3}$ |
| RLM    | $0.0998 \pm 2.0917 \cdot 10^{-4}$ | $31.5323 \pm 1.0084$               | $0.0053 \pm 1.0790 \cdot 10^{-5}$ | $1.4389 \pm 6.6736 \cdot 10^{-1}$ | $0.0944 \pm 1.5461 \cdot 10^{-4}$ |

I grafici mostrano l'evoluzione di  $E[T_S]$  nel tempo (in questo caso si considera il valore medio delle run).



# Simulazione a orizzonte finito

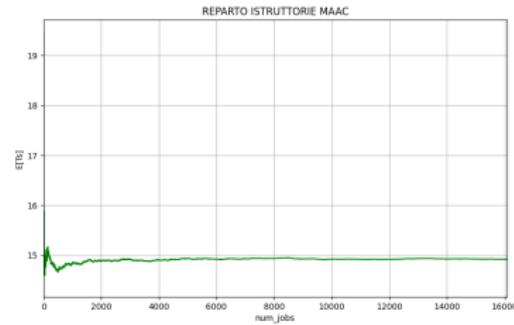
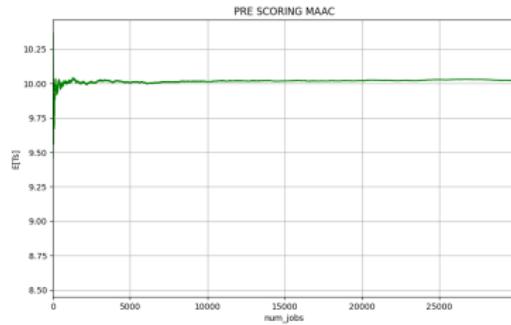


# Simulazione a orizzonte infinito

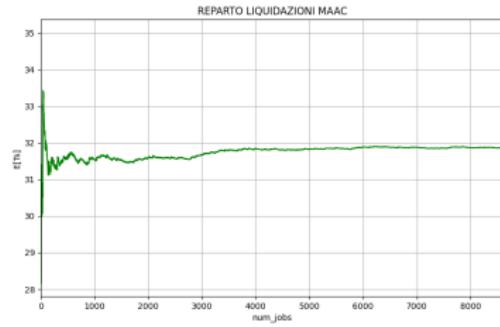
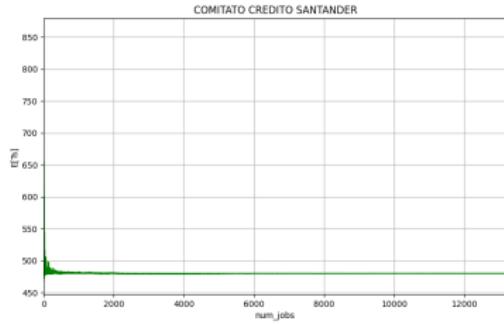
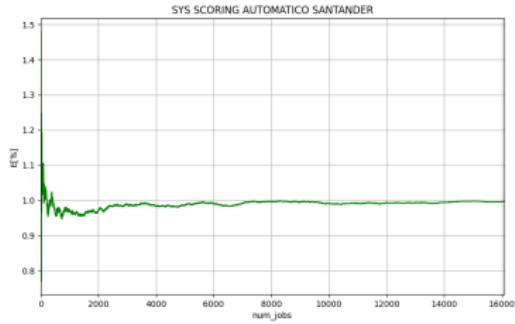
Anche in questo caso è stato adottato un periodo iniziale di **warmup** per evitare lo **start-up problem**. Si utilizza il metodo delle **batch means** con  $b = 4096$  e  $k = 128$ , così scelti affinché l'autocorrelazione sia inferiore a 0.2. Statistiche riassuntive simulazione ad orizzonte infinito del modello migliorato:

| Centro | $E[Ns]$                           | $E[Ts]$                            | $E[Nq]$                            | $E[Tq]$                           | $\rho$                            |
|--------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| PSM    | $0.1254 \pm 1.5319 \cdot 10^{-6}$ | $10.0505 \pm 3.8659 \cdot 10^{-3}$ | $0.0005 \pm 4.8073 \cdot 10^{-9}$  | $0.0392 \pm 3.0826 \cdot 10^{-5}$ | $0.0625 \pm 3.7579 \cdot 10^{-7}$ |
| RIM    | $0.1008 \pm 7.7903 \cdot 10^{-7}$ | $15.0375 \pm 8.2805 \cdot 10^{-3}$ | $0.0002 \pm 1.3640 \cdot 10^{-9}$  | $0.0361 \pm 2.9788 \cdot 10^{-5}$ | $0.0503 \pm 1.8945 \cdot 10^{-7}$ |
| SSAS   | $0.0067 \pm 4.9950 \cdot 10^{-9}$ | $1.0044 \pm 5.3460 \cdot 10^{-5}$  | $0.0000 \pm 2.7597 \cdot 10^{-11}$ | $0.0065 \pm 6.1154 \cdot 10^{-7}$ | $0.0067 \pm 4.8861 \cdot 10^{-9}$ |
| CCS    | $2.6402 \pm 6.8476 \cdot 10^{-4}$ | $479.9979 \pm 10.2247$             | -                                  | -                                 | $0.9295 \pm 8.6652 \cdot 10^{-6}$ |
| RLM    | $0.1204 \pm 1.4753 \cdot 10^{-6}$ | $33.5873 \pm 7.1628 \cdot 10^{-2}$ | $0.0130 \pm 2.0561 \cdot 10^{-7}$  | $3.6173 \pm 1.5149 \cdot 10^{-2}$ | $0.1074 \pm 8.3566 \cdot 10^{-7}$ |

I grafici mostrano il tempo medio di risposta  $E[Ts]$  rispetto al numero di jobs processati.



# Simulazione a orizzonte infinito

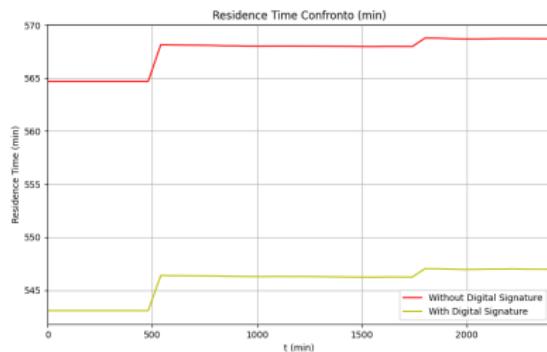


# Confronto Residence Time

con e Senza Firma Digitale

Recentemente, la mandante *SCB* ha autorizzato la transizione alla firma digitale consentendo di accelerare notevolmente il processo di liquidazione.

Attualmente l'uso della firma digitale non è applicato in modo sistematico all'interno di *MF*. Tramite simulazione vogliamo analizzare i benefici della transizione totale a questa modalità di pagamento.



Nel caso con firma digitale il tempo impiegato nell'ultimo centro è notevolmente ridotto, portando a un residence time complessivo inferiore.

## Conclusioni

## Primo obiettivo raggiunto

## L'INTRODUZIONE DEL CENTRO *Pre-Scoring*:

- **Strategicamente**, ha permesso di raddoppiare la percentuale di richieste accettate dal sistema automatico, passando dal 42% all'82%. Questo risultato si traduce in un significativo aumento della "qualità" dei contratti trasmessi da *MF* alla mandante *SCB*, rafforzando la posizione di *MF* come partner affidabile e di alto valore.



# Conclusioni

Secondo obiettivo raggiunto

| Centro               | Job Serviti (Avg) | Busy Time  |
|----------------------|-------------------|------------|
| Reparto Istruttorie  | 31.340000         | 783.957865 |
| Scoring Automatico   | 31.340000         | 30.42243   |
| Comitato Credito     | 13.206667         | 6334.44399 |
| Reparto Liquidazioni | 8.360000          | 252.01390  |

| Centro               | Job Serviti (Avg) | Busy Time  |
|----------------------|-------------------|------------|
| Pre-Scoring          | 30.446667         | 304.75469  |
| Reparto Istruttorie  | 16.386667         | 245.38663  |
| Scoring Automatico   | 16.386667         | 15.94205   |
| Comitato Credito     | 13.593333         | 6517.59113 |
| Reparto Liquidazioni | 8.560000          | 257.51494  |

- Operativamente, ha portato al dimezzamento del numero di contratti gestiti dal *Reparto Istruttorie* (e di conseguenza caricati sul *Sistema di Scoring Automatico*), passando da 31.34 a 16.39 job serviti, senza però compromettere il numero totale di contratti liquidati. La somma dei tempi di operatività dei centri relativi a *MF* è scesa da *1035.97176 minuti* a *807.65626 minuti*, con un risparmio netto di *228.3155 minuti*, pari a circa *3.81 ore*.

$$\text{Risparmio annuo} = \frac{0.76 \times 242 \text{ ore}}{8 \text{ ore/giorno}} = 23 \text{ giorni lavorativi} \simeq 1 \text{ mese di attività!}$$



TOR VERGATA  
UNIVERSITY OF ROME

School of Engineering

Grazie per l'attenzione!

Il codice della simulazione può essere consultato su GitHub: [PMCSN\\_Proj](#)

*Francesco Donnini   Martina Lupini   Edoardo Manenti*

**MAAC**  
*Finance*

 Santander