

# GòFun Car Sharing

首汽共享汽车

## Progetto di PMCSN

Andrea Andreoli 0350012 – Massimo Buniy 0350022 – Lorenzo Grande 0350212



# Agenda

- **01 • Modellazione**

- Modello concettuale
  - Modello delle specifiche
  - Modello computazionale

- **02 • Verifica e validazione**

- Fase di verifica
  - Validazione

- **03 • Design degli esperimenti**

- Simulazione ad orizzonte finito
  - Simulazione ad orizzonte infinito

- **04 • Studio della distribuzione**

- Descrizione dei dati
  - Distribuzioni considerate
  - Confronto tra distribuzioni

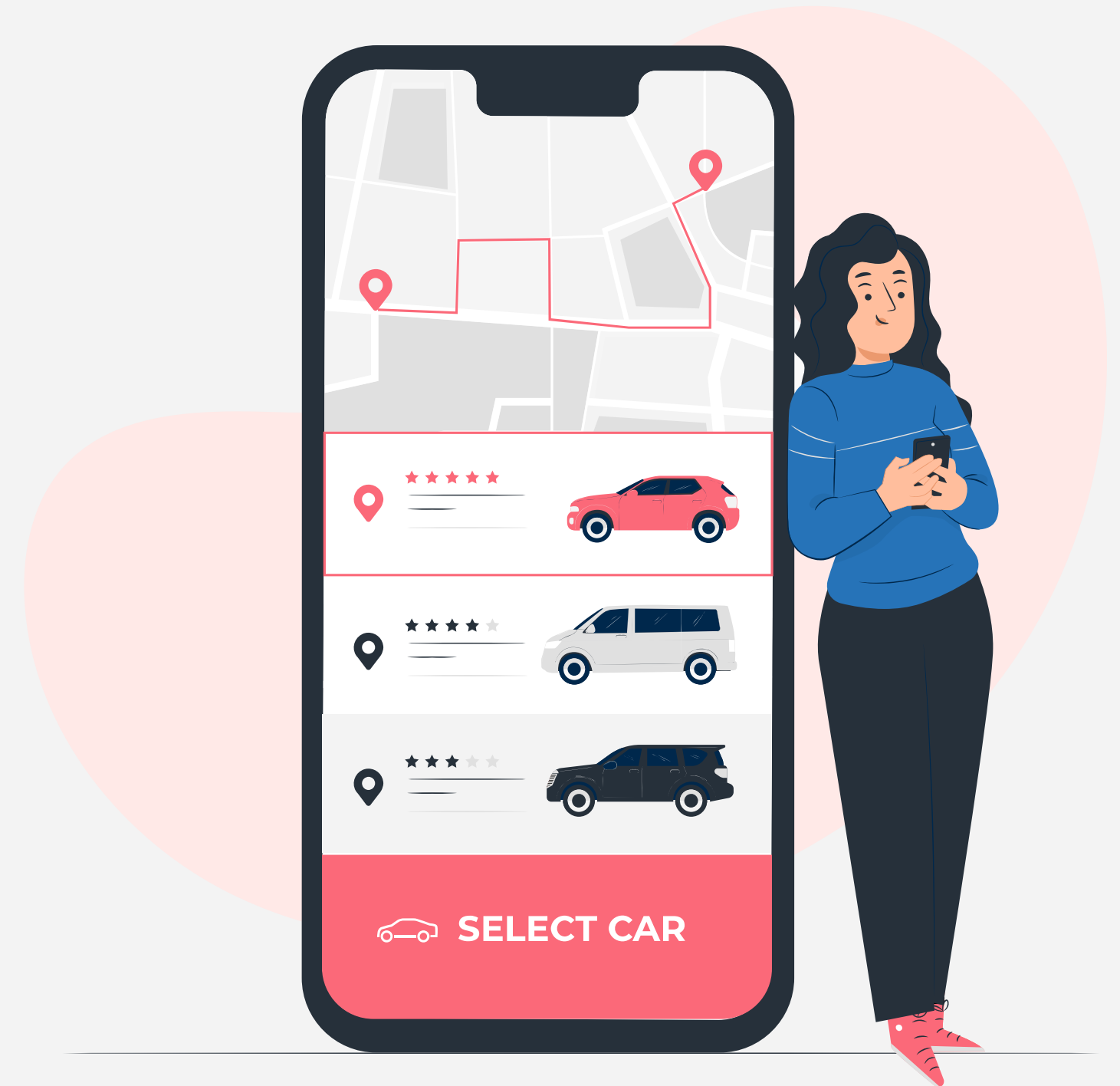


# Cos'è GoFun?

GoFun è un **servizio di car sharing** che si distingue soprattutto per il suo approccio sostenibile poiché nella sua flotta sono presenti solo auto elettriche

# Cosa offre?

GoFun offre un servizio di noleggio auto a **breve** termine, attraverso l'app mobile permette agli utenti di prenotare, sbloccare e utilizzare veicoli, pagando solo per il **tempo di utilizzo** e la **distanza percorsa**



# Obiettivo dello studio

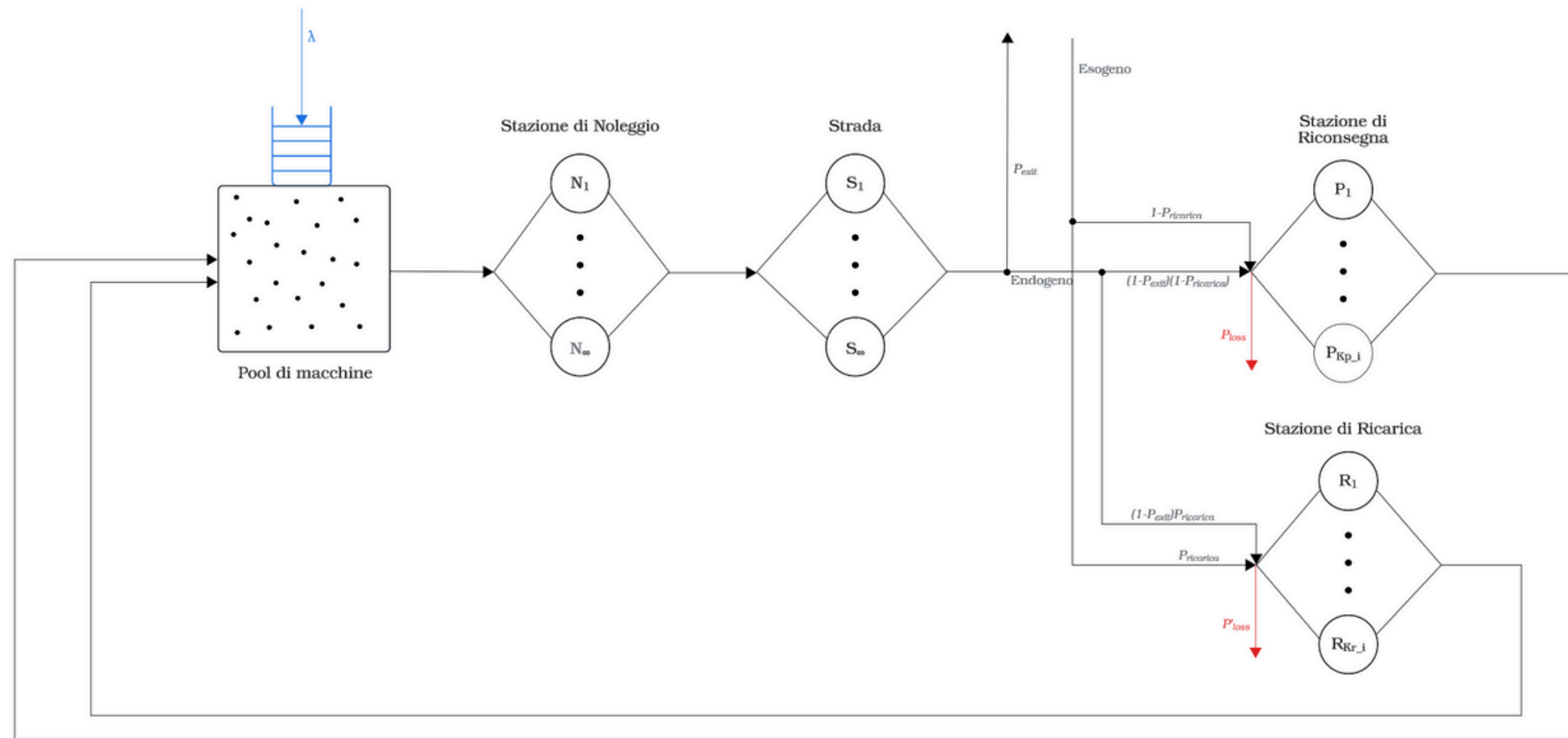
L'obiettivo è **massimizzare** i profitti dell'azienda attraverso una gestione ottimale delle automobili e delle infrastrutture di supporto



• 01 •

# Modellazione

# Modello concettuale



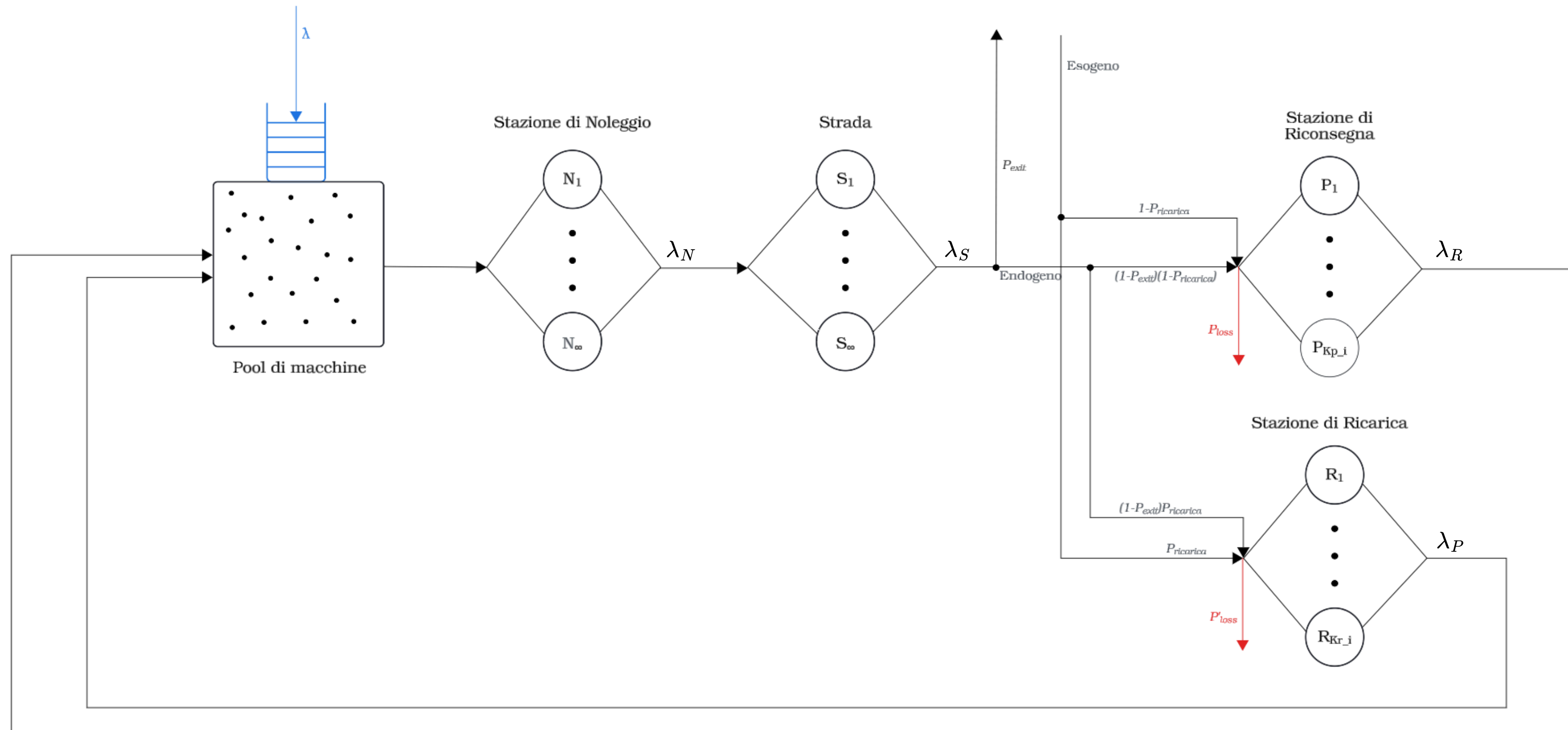
- Eventi principali:
  - Arrivo presso un centro (stazione)
  - Uscita da un centro (stazione)
- Il **sistema** è rappresentato dal servizio GoFun
- Un **job** è definito dalla coppia (utente, auto noleggiata)
- La coda di arrivi  $\lambda$  è di tipo **FIFO**

# Modello concettuale (2)

- Ad ogni istante di tempo, lo **stato** del sistema è determinato da:
  - Il numero di utenti in coda in attesa di noleggiare un'auto ( $\lambda$ )
  - Il numero di auto disponibili per il noleggio (**Pool di macchine**)
  - Il numero di auto attualmente in fase di noleggio da parte degli utenti (**Server in Stazione di Noleggio busy**)
  - Il numero di auto in circolazione (**Server della Strada busy**)
  - Il numero di auto in fase di ricarica (**Server della Stazione di Ricarica busy**)
  - Il numero di auto che rientrano nel centro (**Server della Stazione di Riconsegna busy**)



# Modello delle specifiche



# Modello delle specifiche (2)

## Equazioni di traffico

$$\lambda_N = \lambda + \lambda_P + \lambda_R$$

$$\lambda_S = \lambda_N$$

$$\lambda_P = (\lambda_E(1 - P_{\text{ricarica}}) + \lambda_S(1 - P_{\text{exit}})(1 - P_{\text{ricarica}}))(1 - P_{\text{loss}})$$

$$\lambda_R = (\lambda_E P_{\text{ricarica}} + \lambda_S(1 - P_{\text{exit}})P_{\text{ricarica}})(1 - P'_{\text{loss}})$$

## Matrice di routing

	Esterno	Stazione di Noleggio	Strada	Stazione di Riconsegna	Stazione di Ricarica
Esterno	0	1	0	$(1 - P_{\text{ricarica}})(1 - P_{\text{loss}})$	$P_{\text{ricarica}}(1 - P'_{\text{loss}})$
Stazione di Noleggio	0	0	1	0	0
Strada	$P_{\text{exit}}$	0	0	$(1 - P_{\text{exit}})(1 - P_{\text{ricarica}})(1 - P_{\text{loss}})$	$(1 - P_{\text{exit}})P_{\text{ricarica}}(1 - P'_{\text{loss}})$
Stazione di Riconsegna	0	1	0	0	0
Stazione di ricarica	0	1	0	0	0

- $P_{\text{ricarica}}$  è la probabilità che un'auto, al termine del periodo di noleggio, necessiti di ricaricare la batteria
- $P_{\text{exit}}$  è la probabilità che un veicolo noleggiato non faccia rientro al centro GoFun da cui è partito

# Modello computazionale

- **Controller**: contiene la logica relativa a ciascun nodo del sistema. In particolare, all'interno del package *controller*, troviamo il codice relativo alle simulazioni
- **Model**: contiene il codice che gestisce la lista degli eventi e la loro gestione. Al suo interno, infatti, troviamo le classi *MsqEvent*, *MsqSum* e *MsqT*
- **Utils**: contiene le classi relative alla gestione delle statistiche e il calcolo dei profitti e dei costi del servizio GoFun
- **Libs**: contiene il codice di base per la simulazione realizzata, in particolare, viene implementato codice per la generazione di distribuzioni, seed e tante altre cose utili

```
1 private double t;  
2 private int x;  
3 private boolean fromParking;
```

*MsqEvent*

```
1 private double service;  
2 private long served;
```

*MsqSum*

```
1 private double current;  
2 private double next;  
3 private double batchTimer;
```

*MsqT*

# Modello computazionale (2)

- Per effettuare la simulazione del sistema è stato utilizzato l'approccio **Next-Event Simulation**:
  - In tale approccio il tempo avanza in corrispondenza degli eventi
  - Un **evento** è un accadimento che può modificare lo stato del sistema
- **Gestione degli eventi**:
  - Per la gestione degli eventi è stato utilizzato l'approccio del libro *Discrete Event Simulation*.
  - Per tenere traccia degli eventi che occorrono è stata utilizzata una lista degli eventi con la seguente struttura:

```
1    private final List<MsqEvent> serverList = new ArrayList<>(2 +  
        SERVER_NUMBER);
```

# Modello computazionale (3)

- La classe *Noleggio* è un infinite server, quindi, la sua lista degli eventi è inizialmente del tipo:

$$(\lambda_{\text{ext}} \quad \lambda_{\text{int}})$$

```
1 private List<MsqEvent> serverList = new ArrayList<>(2);
```

- La classe *Strada* è un infinite server, quindi, la sua lista degli eventi è inizialmente del tipo:

$$(\lambda_{\text{int}})$$

```
1 private final List<MsqEvent> serverList = new ArrayList<>(1);
```

- La classe *Parcheggio* è un centro con server finiti, quindi, la sua lista degli eventi è inizialmente del tipo:

$$(\lambda_{\text{ext}} \quad \lambda_{\text{int}} \quad s_1 \quad s_2 \quad \dots \quad s_n)$$

```
1 private final List<MsqEvent> serverList = new ArrayList<>(2 +  
  PARCHEGGIO_SERVER);
```

- La classe *Ricarica* segue la stessa logica operativa della classe *Parcheggio*

• 02 •

# Verifica e validazione

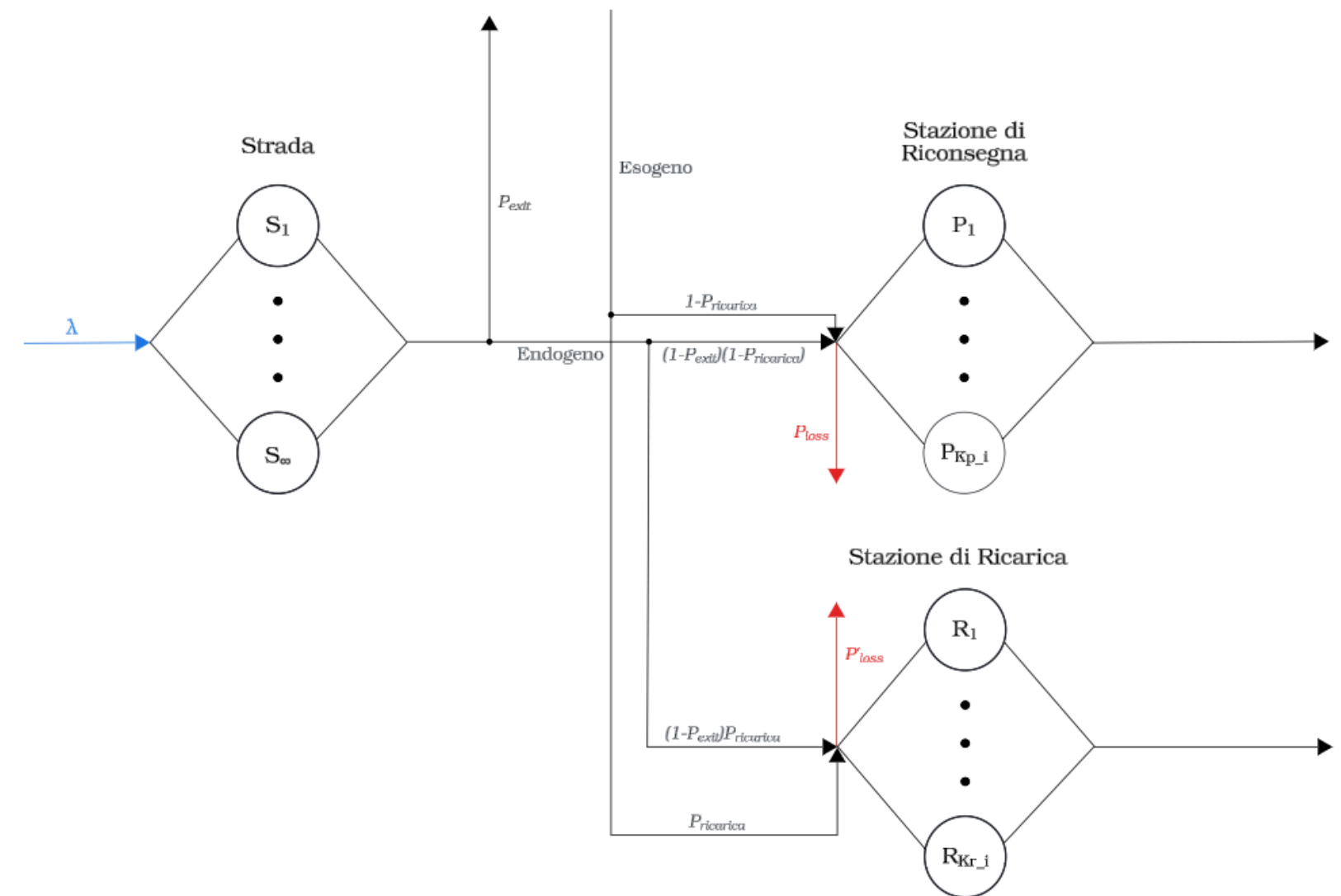
# Fase di Verifica

## Assunzioni:

- **Rimozione della pool di macchine**  
(si assume un numero infinito di macchine)

$$\lambda_S = \lambda$$

- **Eliminazione del feedback**  
(dopo aver completato il servizio, i veicoli non ritornano più all'interno della pool)





# Fase di Verifica (2)

Stazione di Riconsegna



Indice	Valore analitico	Valore simulazione	Intervallo di confidenza
$E(T_Q)$	0,00000	0,00000	$\pm 0,00000$
$E(N_Q)$	0,00000	0,00000	$\pm 0,00000$
$E(T_S)$	1,60000	1,60021	$\pm 0,00729$
$E(N_S)$	0,30240	0,28711	$\pm 0,00184$
$\rho$	0,00504	0,00479	$\pm 3,05913 \cdot 10^{-5}$

**Tabella 7.1:** Tabella dei risultati (minuti) della Stazione di Riconsegna

Stazione di Ricarica



Indice	Valore analitico	Valore simulazione	Intervallo di confidenza
$E(T_Q)$	0,00000	0,00000	$\pm 0,00000$
$E(N_Q)$	0,00000	0,00000	$\pm 0,00000$
$E(T_S)$	45,10599	45,13115	$\pm 0,19792$
$E(N_S)$	0,94723	0,94185	$\pm 0,00578$
$\rho$	0,06315	0,06279	$\pm 3,86210 \cdot 10^{-4}$

**Tabella 7.2:** Tabella dei risultati (minuti) della Stazione di Ricarica

Strada



Indice	Valore analitico	Valore simulazione	Intervallo di confidenza
$E(T_Q)$	0,00000	0,00000	$\pm 0,00000$
$E(N_Q)$	0,00000	0,00000	$\pm 0,00000$
$E(T_S)$	30,00000	30,03961	$\pm 0,12726$
$E(N_S)$	6,00000	6,00808	$\pm 0,03391$

**Tabella 7.3:** Tabella dei risultati (minuti) di Strada



# Fase di Verifica (3)

Nel processo di verifica sono stati effettuati i seguenti controlli di consistenza:

$$E(T_S) = E(T_Q) + E(S_i)$$

$$E(N_S) = E(N_Q) + m\rho$$

$$0 < \rho < 1$$

# Validazione

Vediamo alcune considerazioni effettuate per validare il modello sviluppato

Il sistema è caratterizzato dall'afflusso di circa 12 utenti all'ora, questo implica che, ipotizzando che ci siano sempre macchine disponibili, ci si aspetta di gestire circa **288 utenti** in un'intera giornata



In tali condizioni, il valore di utenti serviti è risultato essere nell'intervallo [244; 341] con un valore medio di **277,375**, molto vicino al valore teorico

E' stata effettuata una validazione anche sui flussi di veicoli nelle Stazioni di Riconsegna e di Ricarica



Dalla simulazione, emerge che il numero di veicoli che accede nella Stazione di Ricarica è significativamente **inferiore** rispetto a quelli che affluiscono alla Stazione di Riconsegna

• 03 •

# Design degli esperimenti

# Simulazione

## Condizioni iniziali del sistema

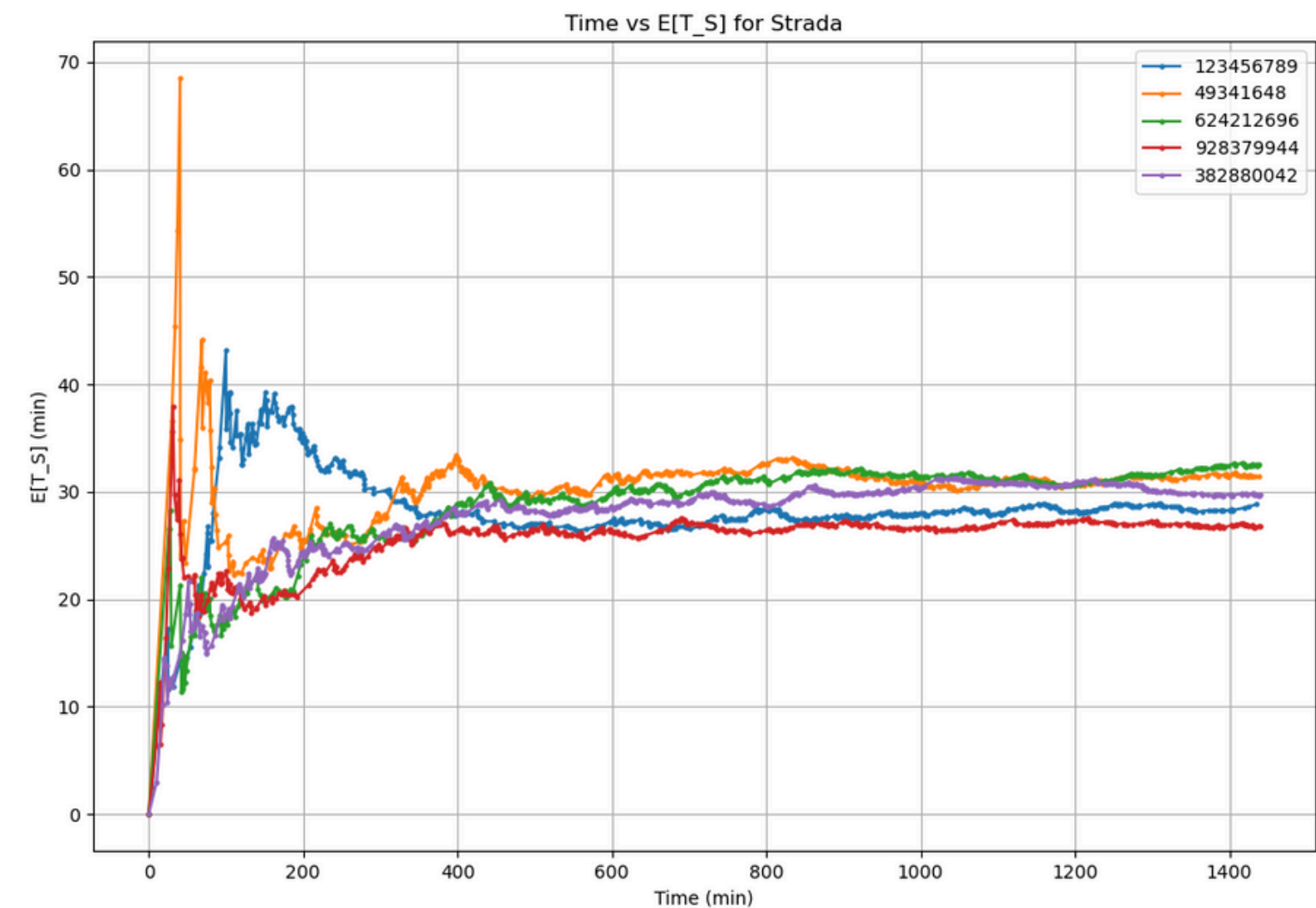
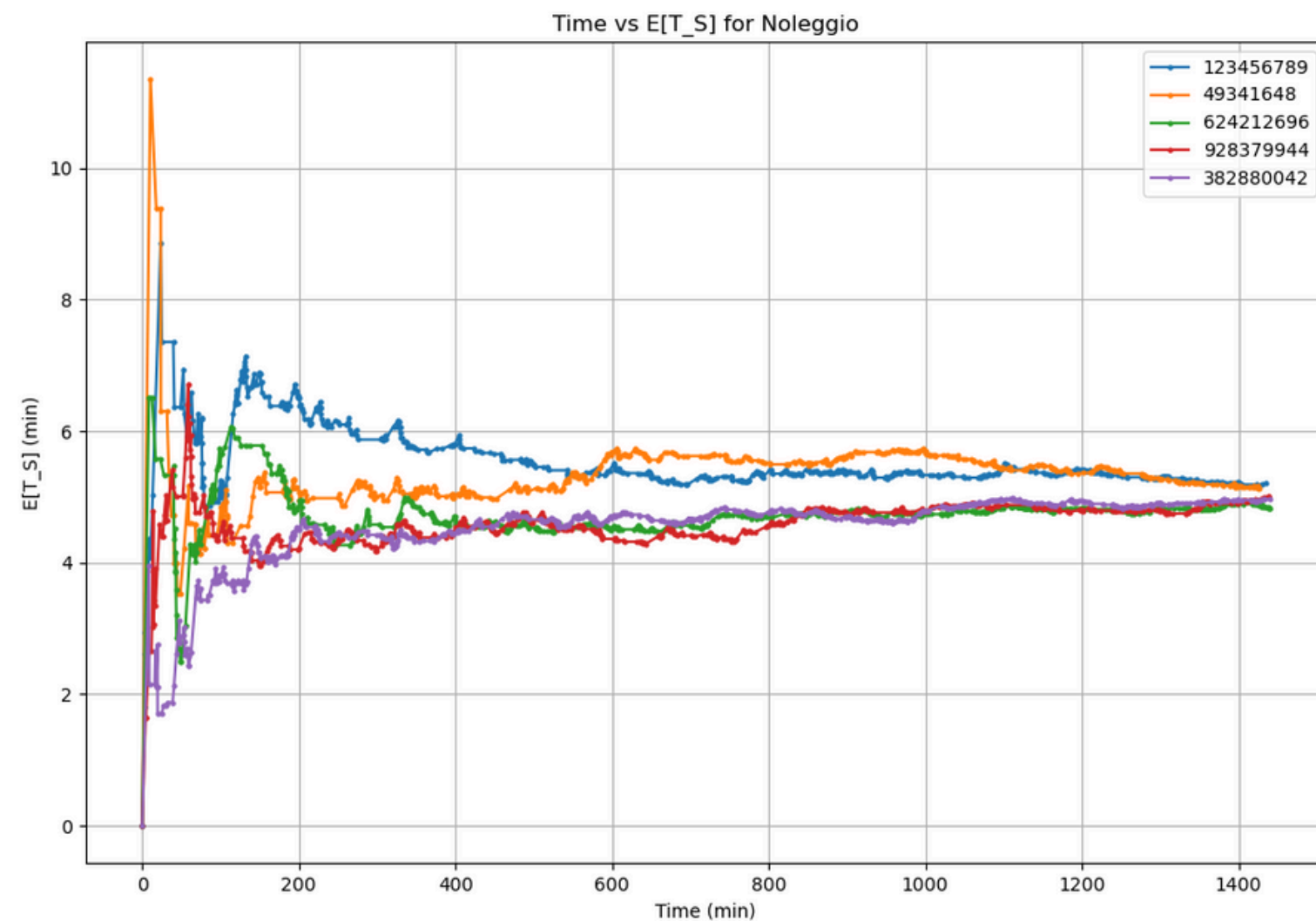
- 75 parcheggi disponibili, di cui 15 dedicati alla ricarica delle auto elettriche
- 15 auto disponibili nel noleggio

## Analisi dei profitti

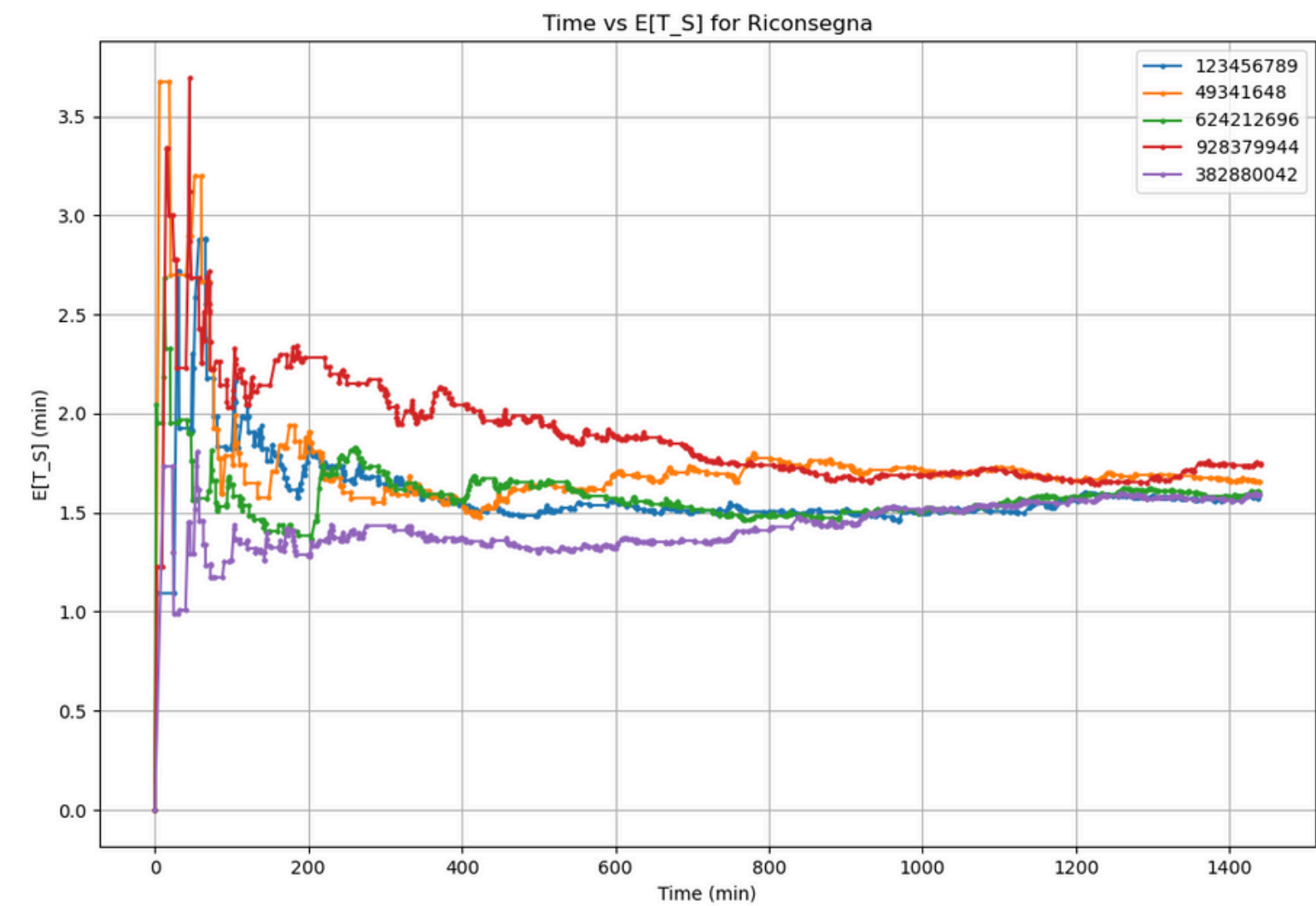
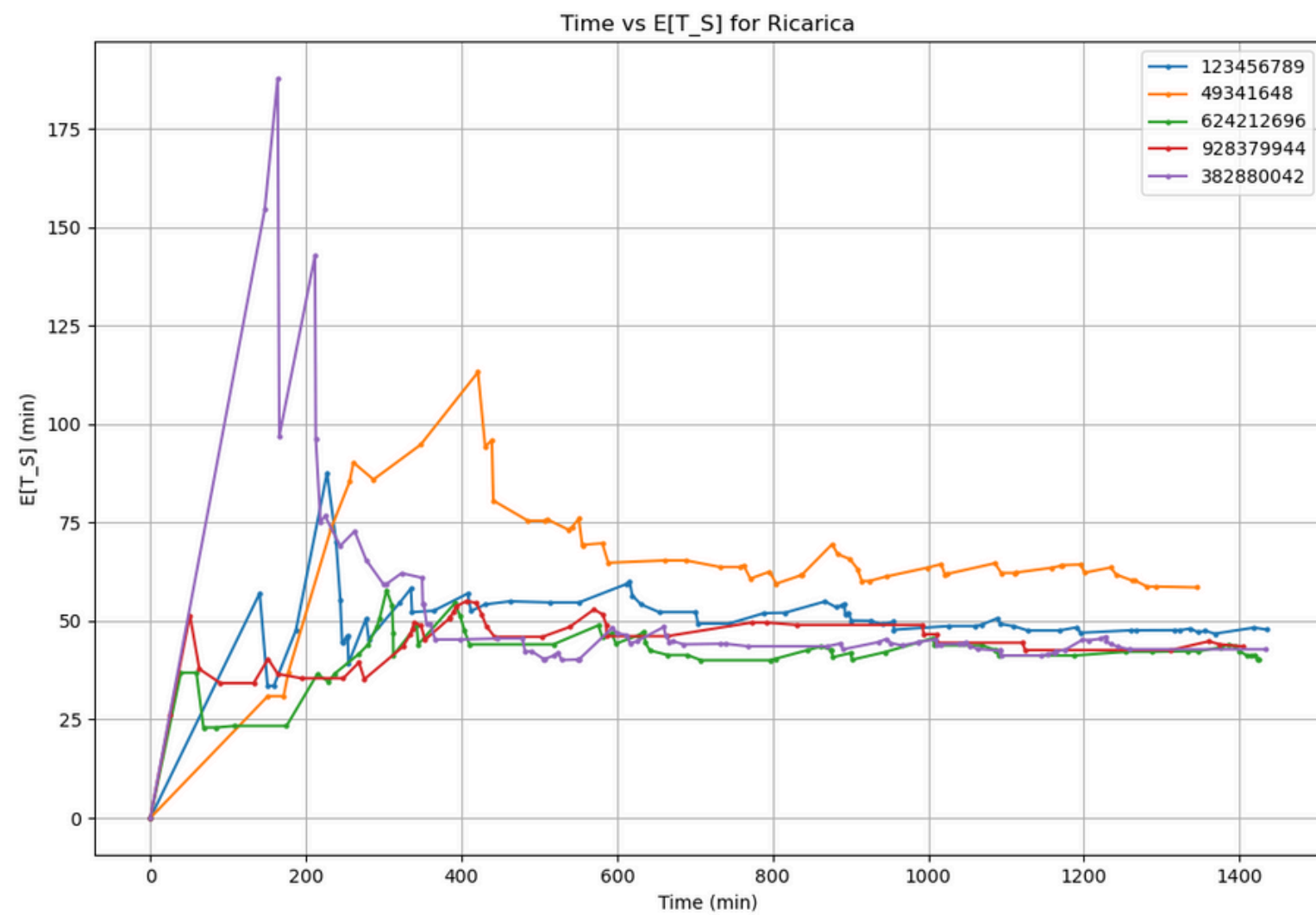
- Penalità identificata come costo nel caso in cui viene effettuata una gestione inefficiente del centro

# Simulazione ad orizzonte finito

- Tecnica delle **replicazioni**: sono state effettuate **64** repliche con seed differenti



# Simulazione ad orizzonte finito (2)



# Simulazione ad orizzonte finito (3)

## Analisi del profitto giornaliero:

- **Entrate** medie: ¥23.324,2472
- **Costo** medio: ¥16.792,1203
- **Profitto** medio: ¥5.933,6406

**Considerazione:** per realizzare il nostro obiettivo di massimizzazione del profitto risulta essere poco utile l'analisi transitoria del sistema

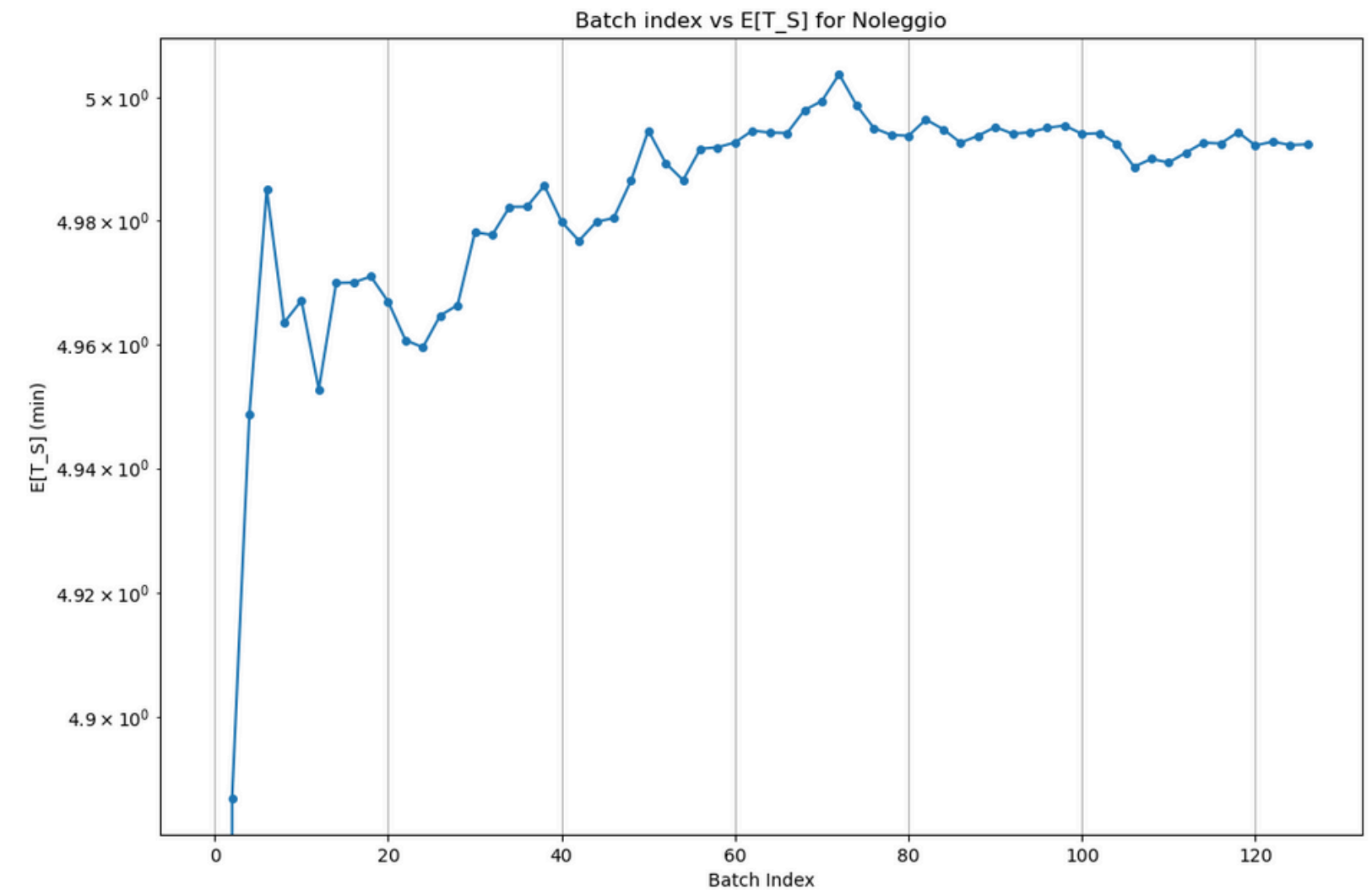
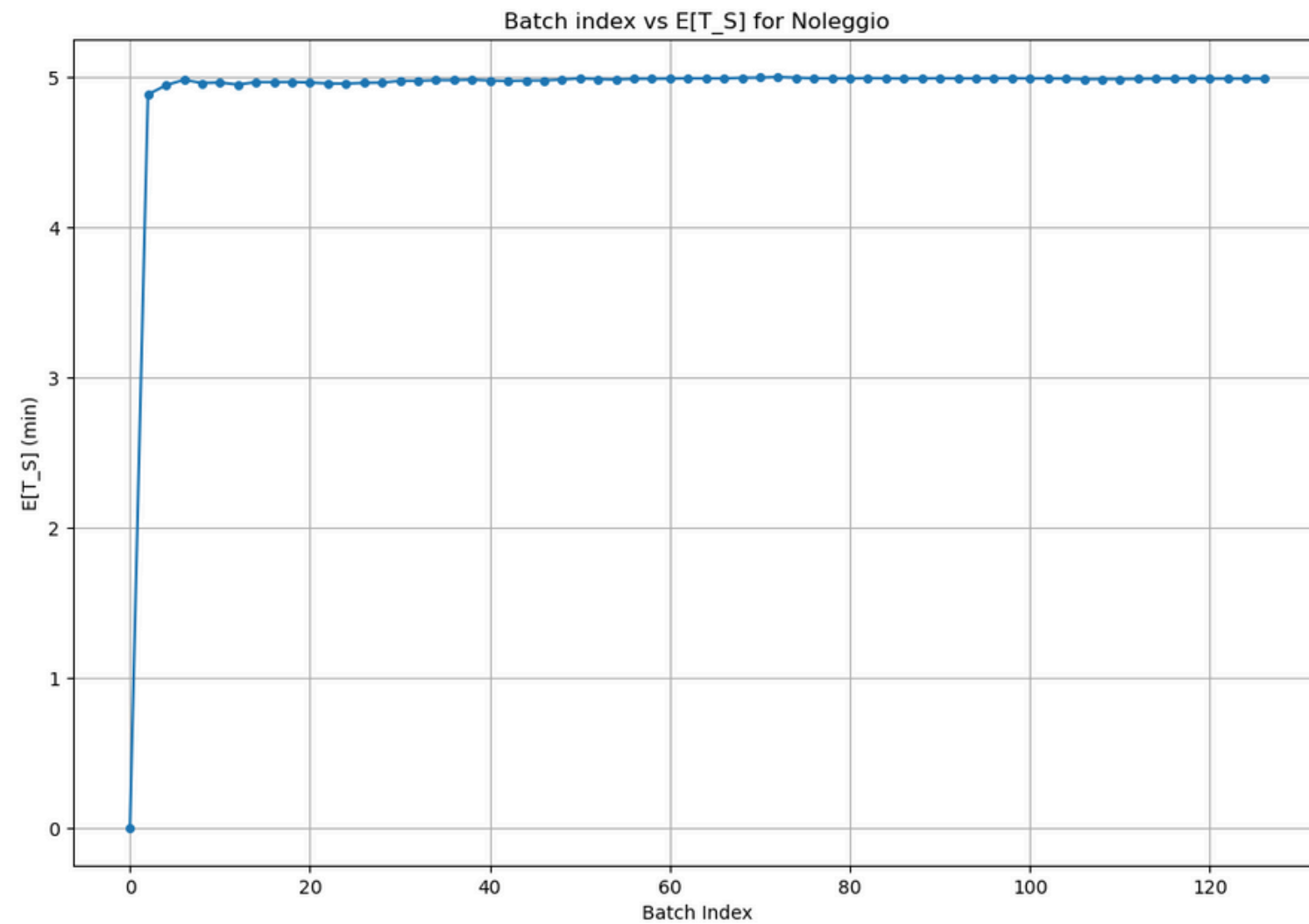
# Simulazione ad orizzonte infinito

- Tecnica **Batch Means**
- Dimensione  $\mathcal{B}$  di ciascun batch pari a **1512**
- Numero di batch  $\mathcal{K}$  utilizzati per le stime pari a **128**
- Intervallo di confidenza del **95%** calcolato come:

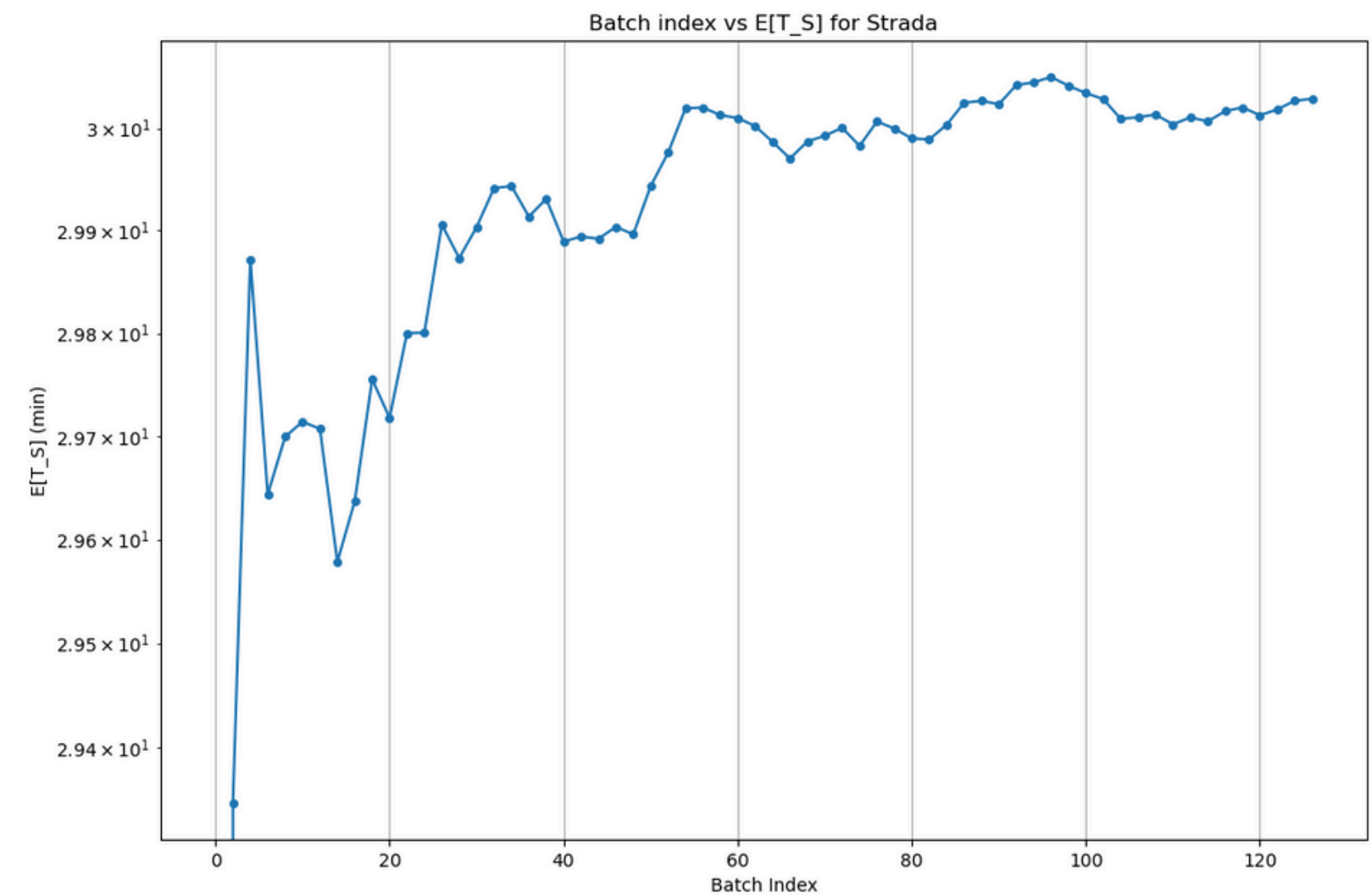
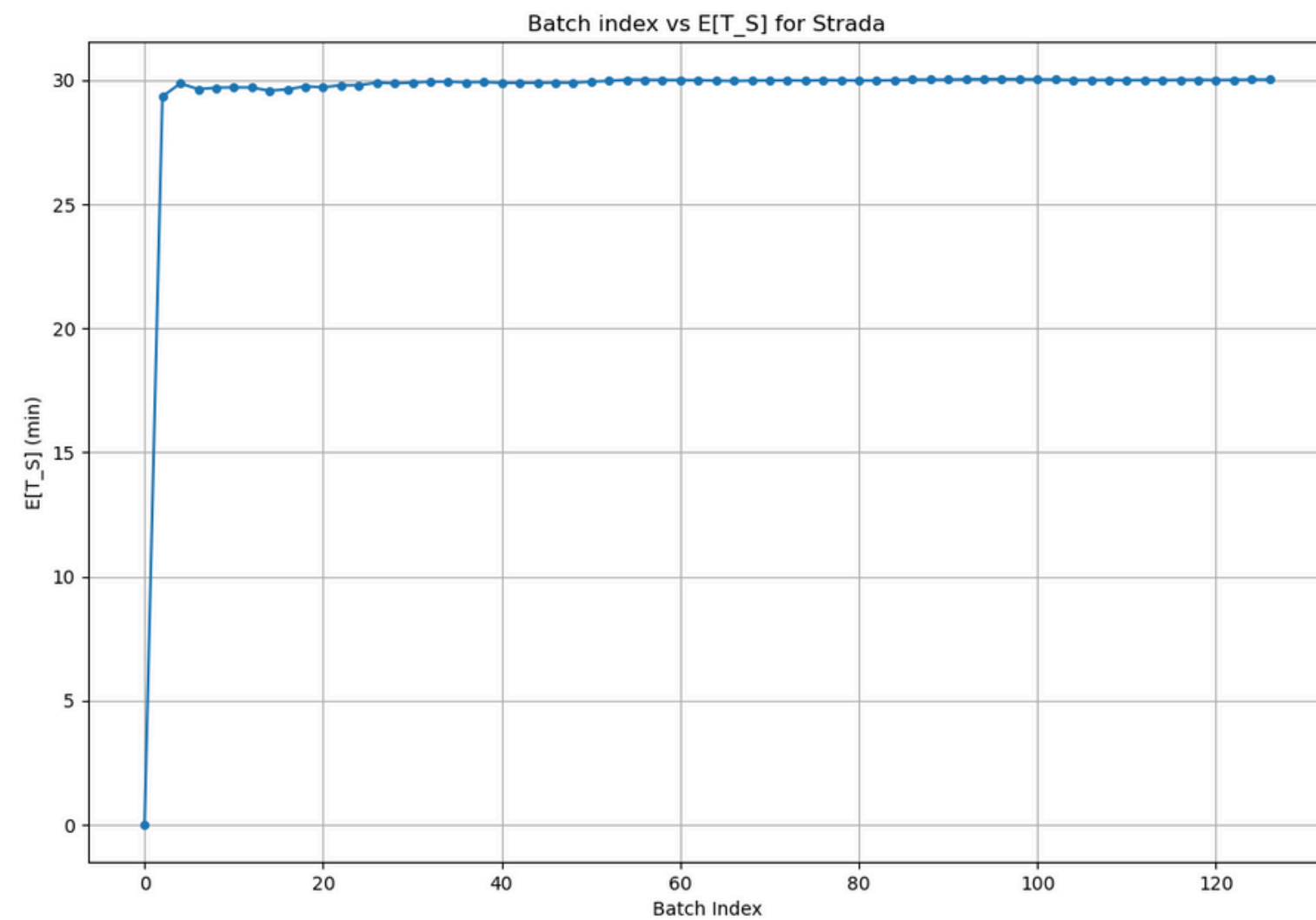
$$t^* \cdot \left( \frac{s}{\sqrt{n-1}} \right)$$



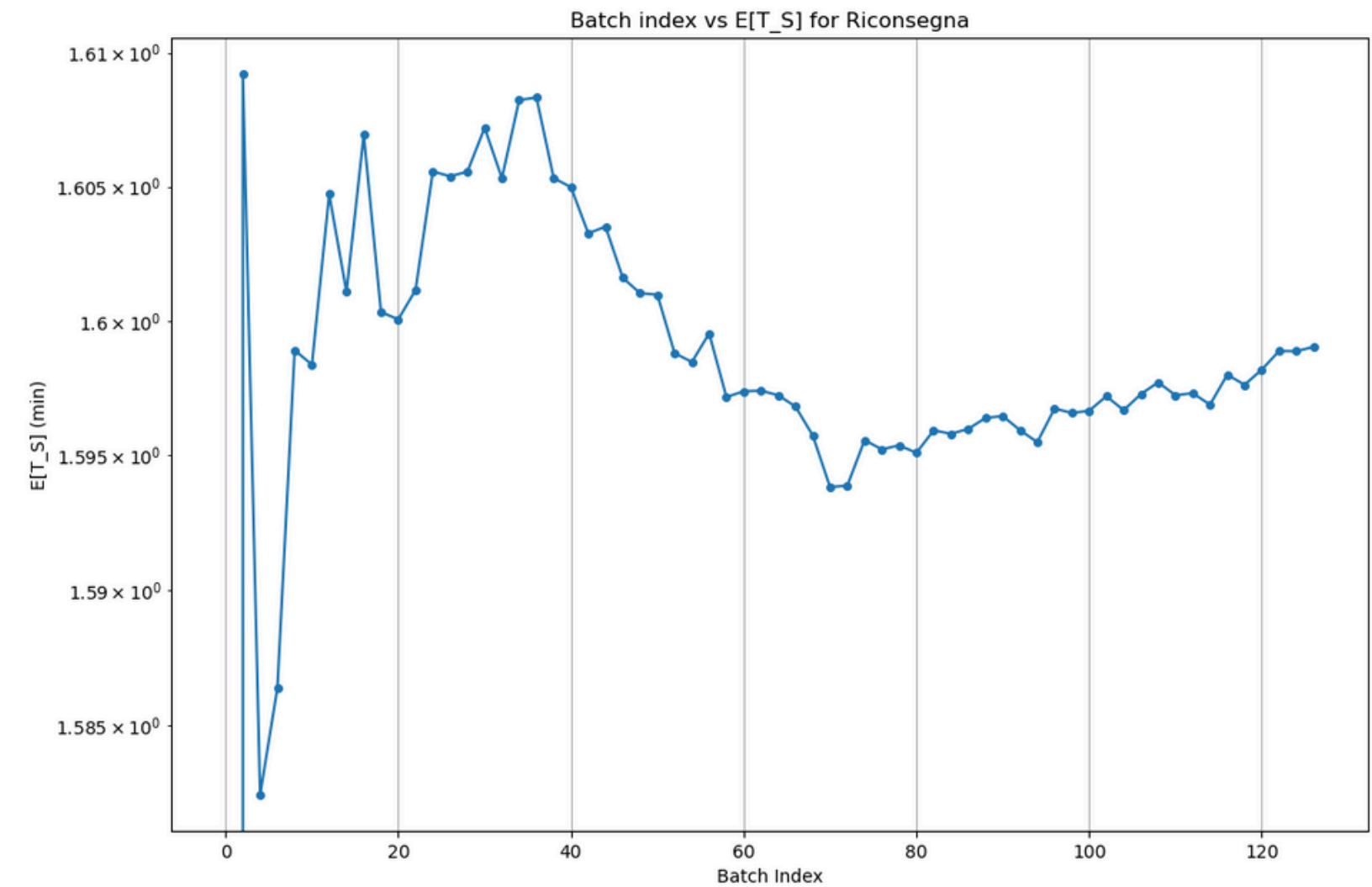
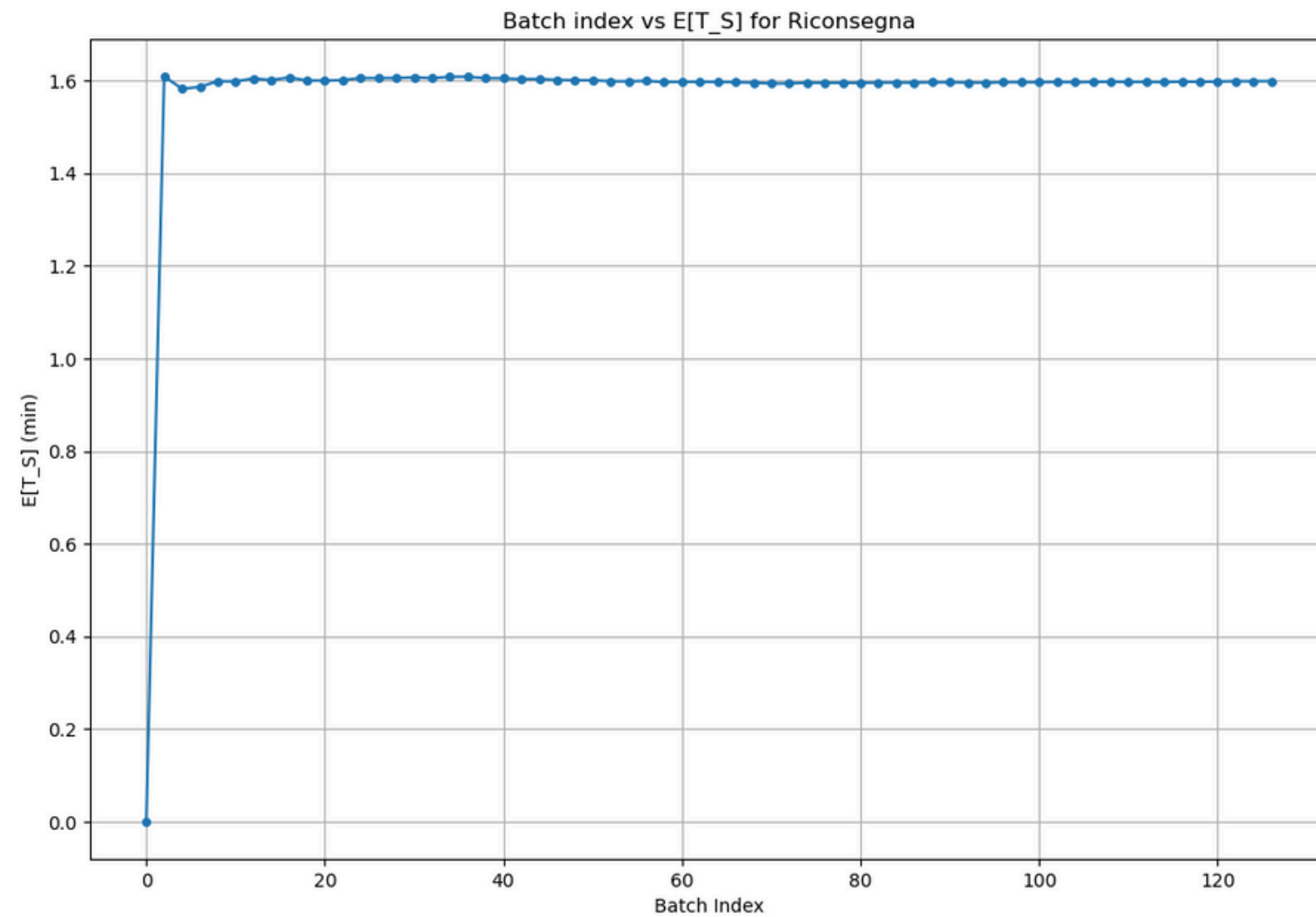
# Simulazione ad orizzonte infinito (2)



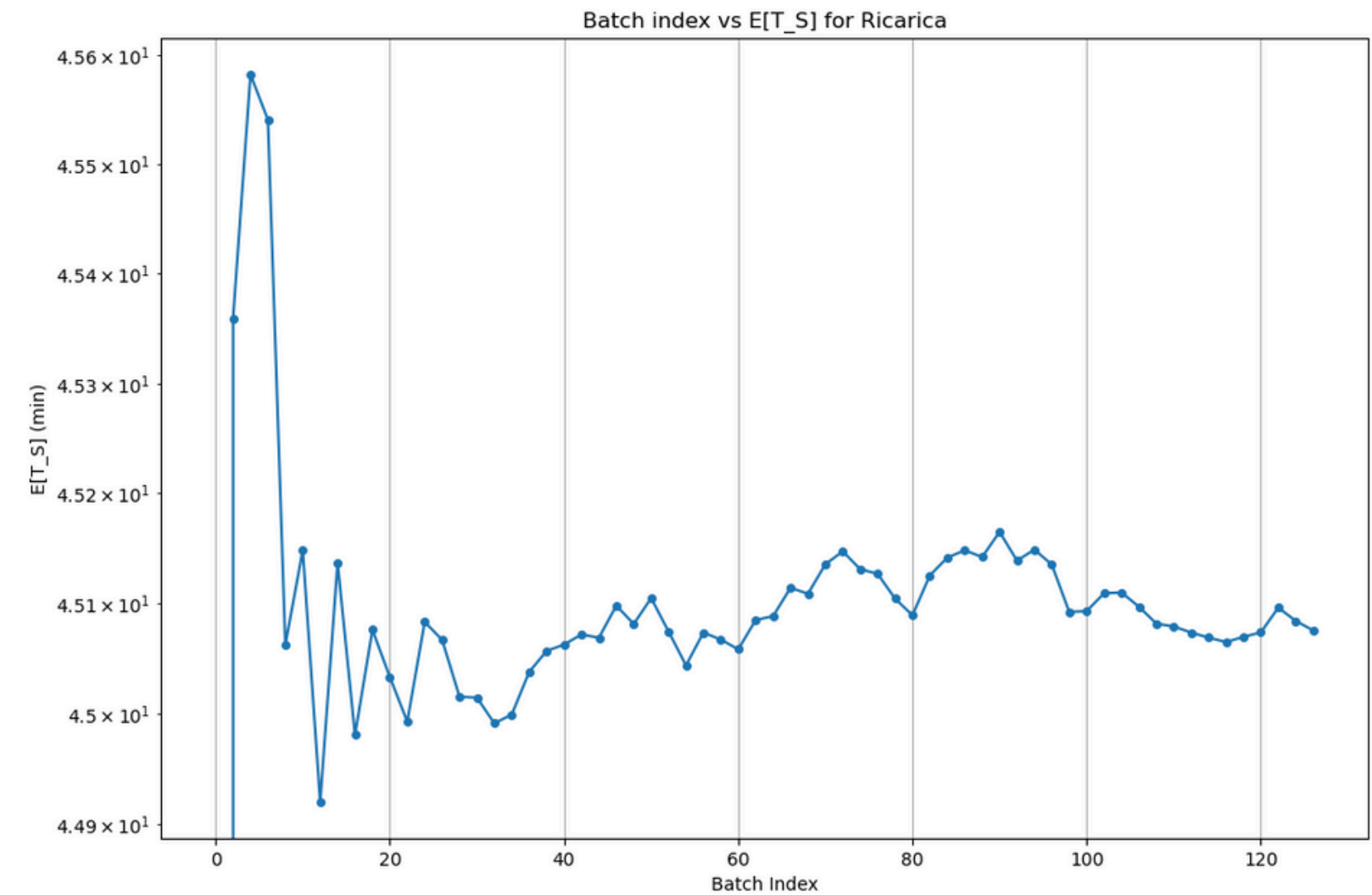
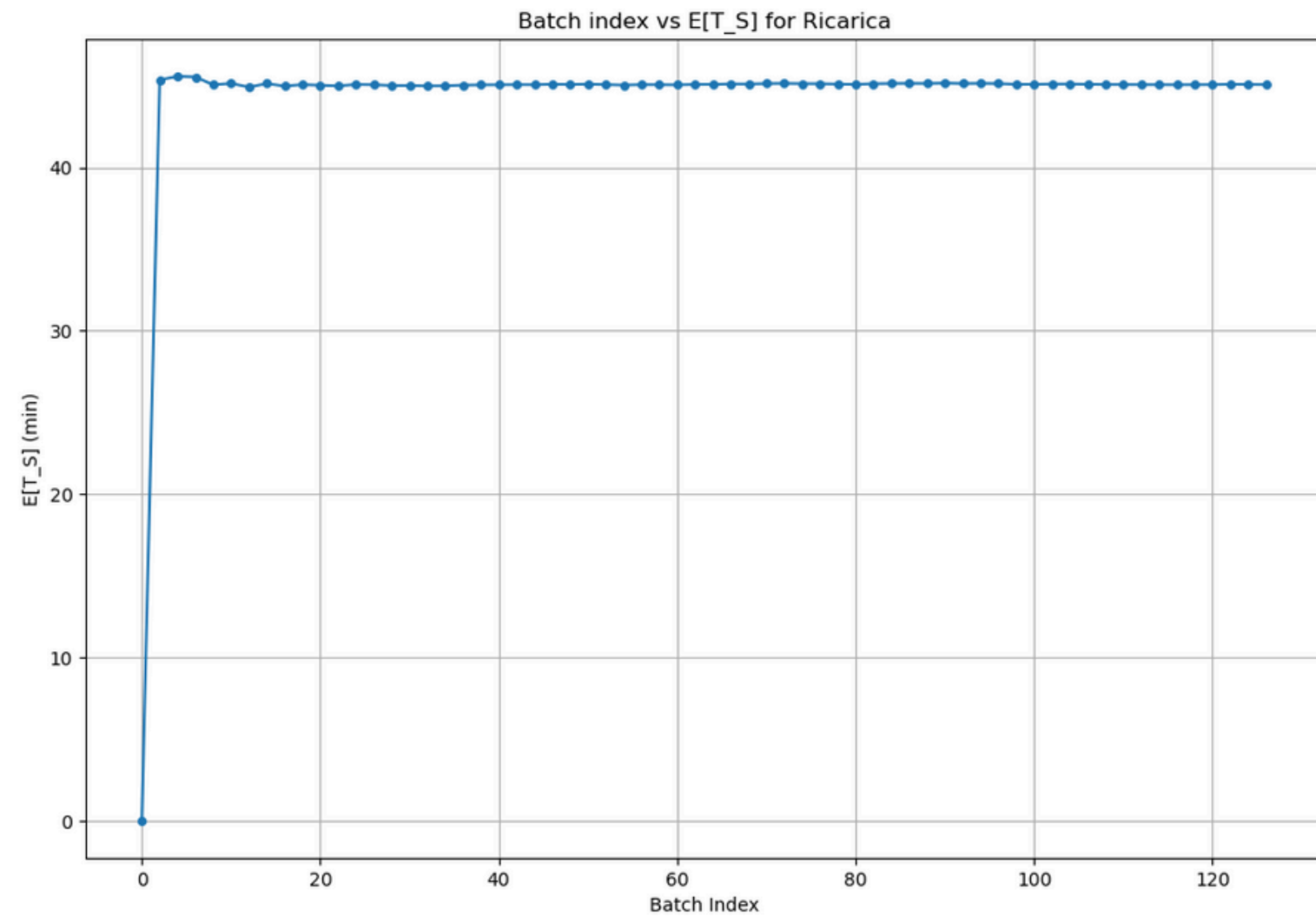
# Simulazione ad orizzonte infinito (3)



# Simulazione ad orizzonte infinito (4)



# Simulazione ad orizzonte infinito (5)



# Ottimizzazione dei profitti (1)

**Obiettivo:** Identificare la terna ottima  $(k_i^*; j_i^*; initial\_cars^*)$  che massimizza la funzione di profitto

Dove:

- $k_i^*$  rappresenta il numero di posti di parcheggio
- $j_i^*$  rappresenta il numero di posti di parcheggio
- $initial\_cars^*$  rappresenta il numero di posti di parcheggio

**Vantaggio della simulazione:** Invece di effettuare uno studio analitico del modello matematico, utilizziamo un approccio basato su numerose simulazioni per identificare i parametri ottimali

# Ottimizzazione dei profitti (2)

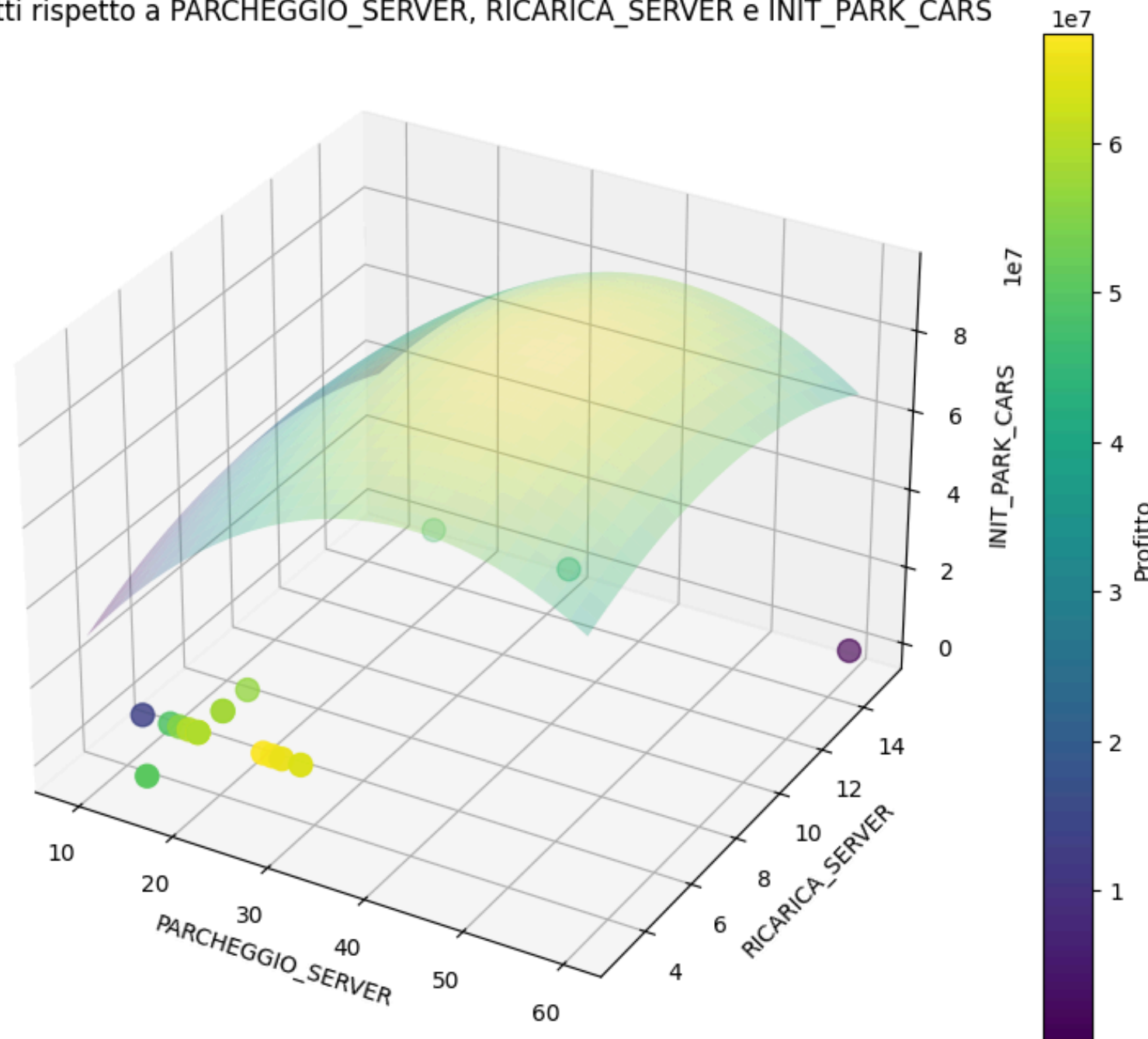
**Approccio iterativo:** Fissate due delle tre variabili in gioco si va ad osservare come variare la funzione di obiettivo al variare della terza variabile

- **Prima fase:**
  1. Si è fissata una coppia di variabili e scelto un valore iniziale per la variabile libera per poi eseguire una prima simulazione.
  2. Eseguita una ricerca binaria al fine di identificare, tramite simulazione, il valore della variabile che massimizzava la funzione obiettivo.
- **Seconda e terza fase:** Tale procedimento è stato poi ripetuto in una seconda e terza fase in cui abbiamo fatto variare le due restanti variabili

# Ottimizzazione dei profitti (3)

Abbiamo ottenuto il seguente andamento della funzione di costo:

Profitti rispetto a PARCHEGGIO\_SERVER, RICARICA\_SERVER e INIT\_PARK\_CARS



- Profitto iniziale: ¥6.996.456
- Profitto raggiunto: ¥6.727589 \*  $10^7$
- Terna ottima: (22,5,9)
  - 22 posti parcheggio
  - 5 posti di ricarica
  - 9 auto disponibili nel centro

• 04 •

# Studio della distribuzione



# Istrogramma dei temi di inter-arrivo

Seed campionati

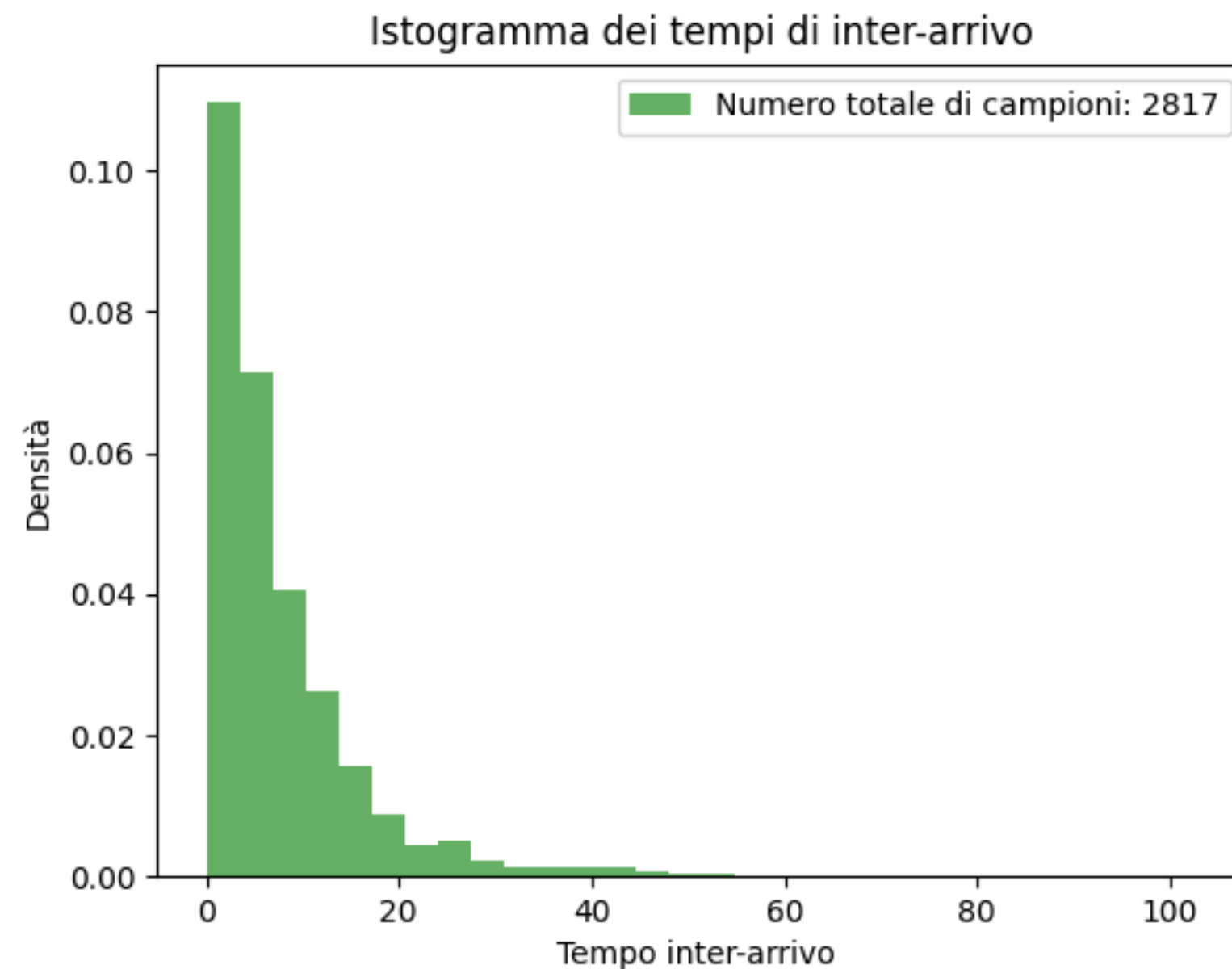
123456789

49341648

624212696

928379944

382880042



# Fitter (Python)

Beta	●	●	Esponenziale Weibull
Beta Prime	●	●	Fisher-Snedecor
Burr	●	●	Esponenziale generalizzata
Burr XII	●	●	Gamma generalizzata
Chi Quadrato	●	●	Half-normale generalizzata
Erlang	●	●	Guassiana inversa generalizzata
Esponenziale	●	●	Pareto generalizzata
Esponenziale modificata	●	●	Gompertz generalizzata

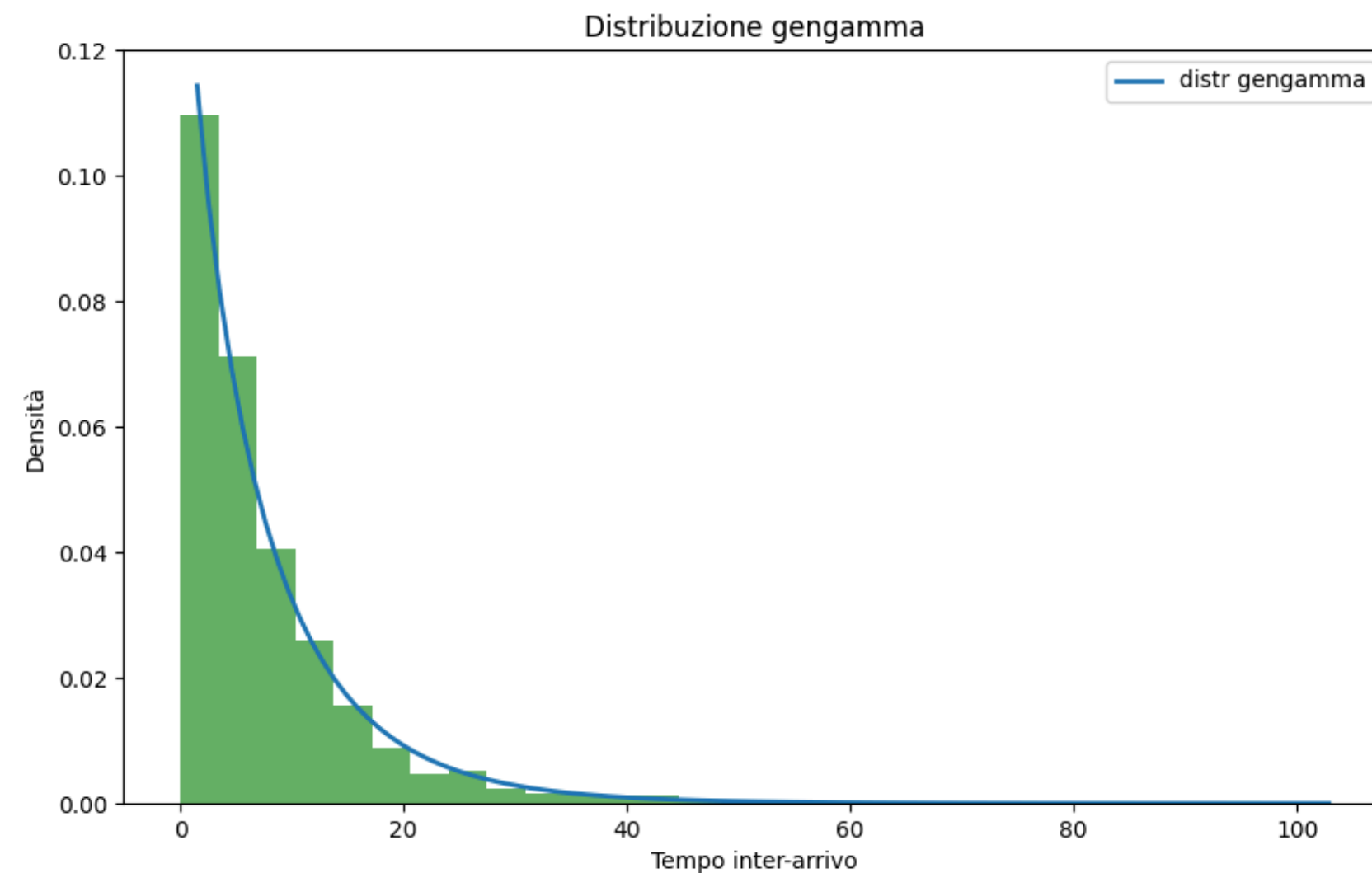
# Test di Kolgomorov-Smirnov

Beta	0.0762	●	●	0,1610	Esponenziale Weibull
Beta Prime	0.2363	●	●	0,1119	Fisher-Snedecor
Burr	0.0942	●	●	0,0126	Esponenziale generalizzata
Burr XII	0.2804	●	●	0,2834	Gamma generalizzata
Chi Quadrato	0,1045	●	●	0,1483	Half-normale generalizzata
Erlang	1,56e-08	●	●	0,0942	Guassiana inversa generalizzata
Esponenziale	0,0126	●	●	0,2257	Pareto generalizzata
Esponenziale modificata	0,0083	●	●	0,0864	Gompertz generalizzata

# Distribuzioni analizzate

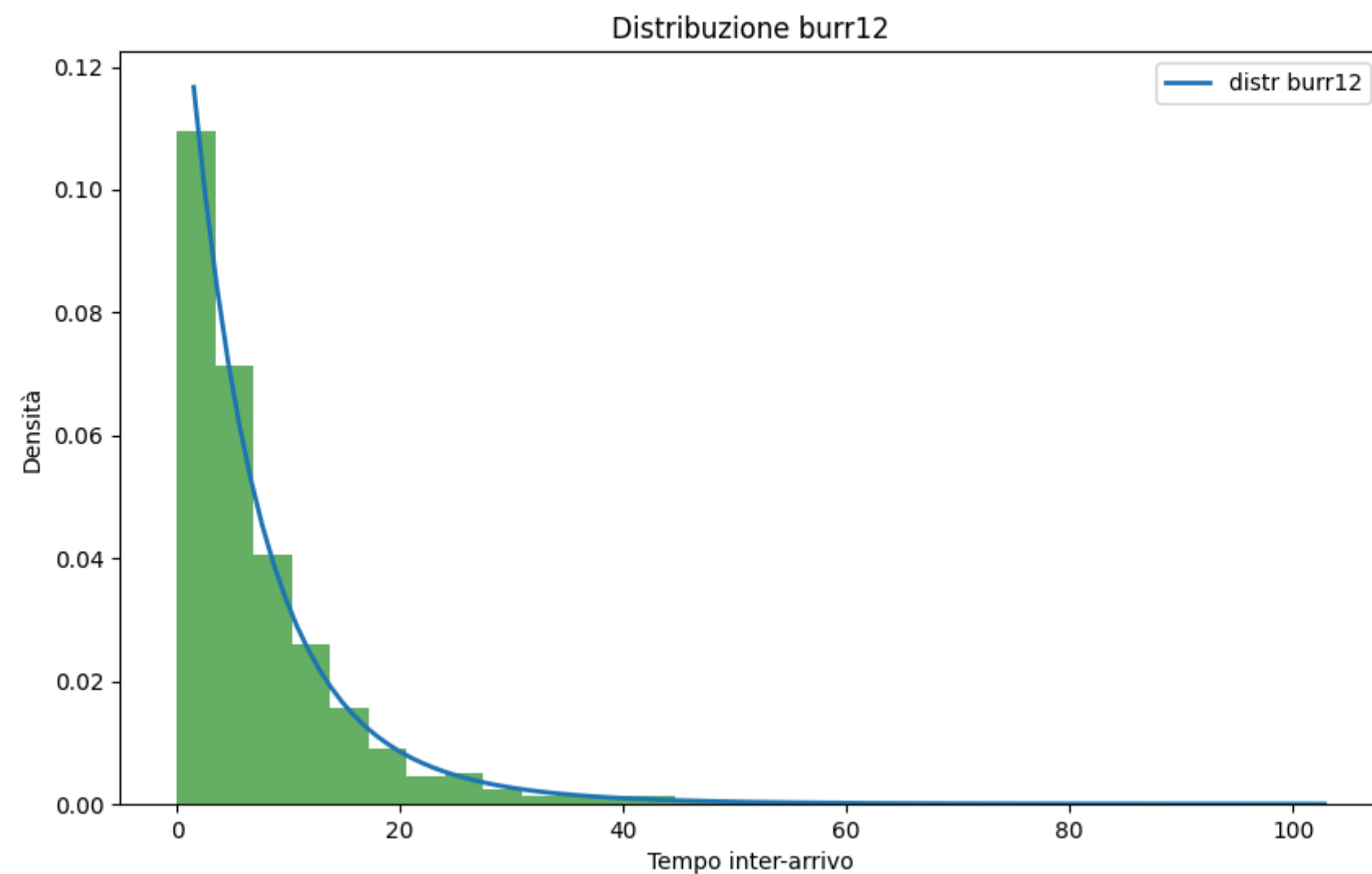
Beta	0.0762	●	●	0,1610	Esponenziale Weibull
Beta Prime	0.2363	●	●	0,1119	Fisher-Snedecor
Burr	0.0942	●	●	<del>0,0126</del>	<del>Esponenziale generalizzata</del>
Burr XII	0.2804	●	●	0,2834	Gamma generalizzata
Chi Quadrato	0,1045	●	●	0,1483	Half-normale generalizzata
<del>Erlang</del>	<del>1,56e-08</del>	●	●	0,0942	Guassiana inversa generalizzata
<del>Esponenziale</del>	<del>0,0126</del>	●	●	0,2257	Pareto generalizzata
<del>Esponenziale modificata</del>	<del>0,0083</del>	●	●	0,0864	Gompertz generalizzata

# Distribuzione Generalized Gamma



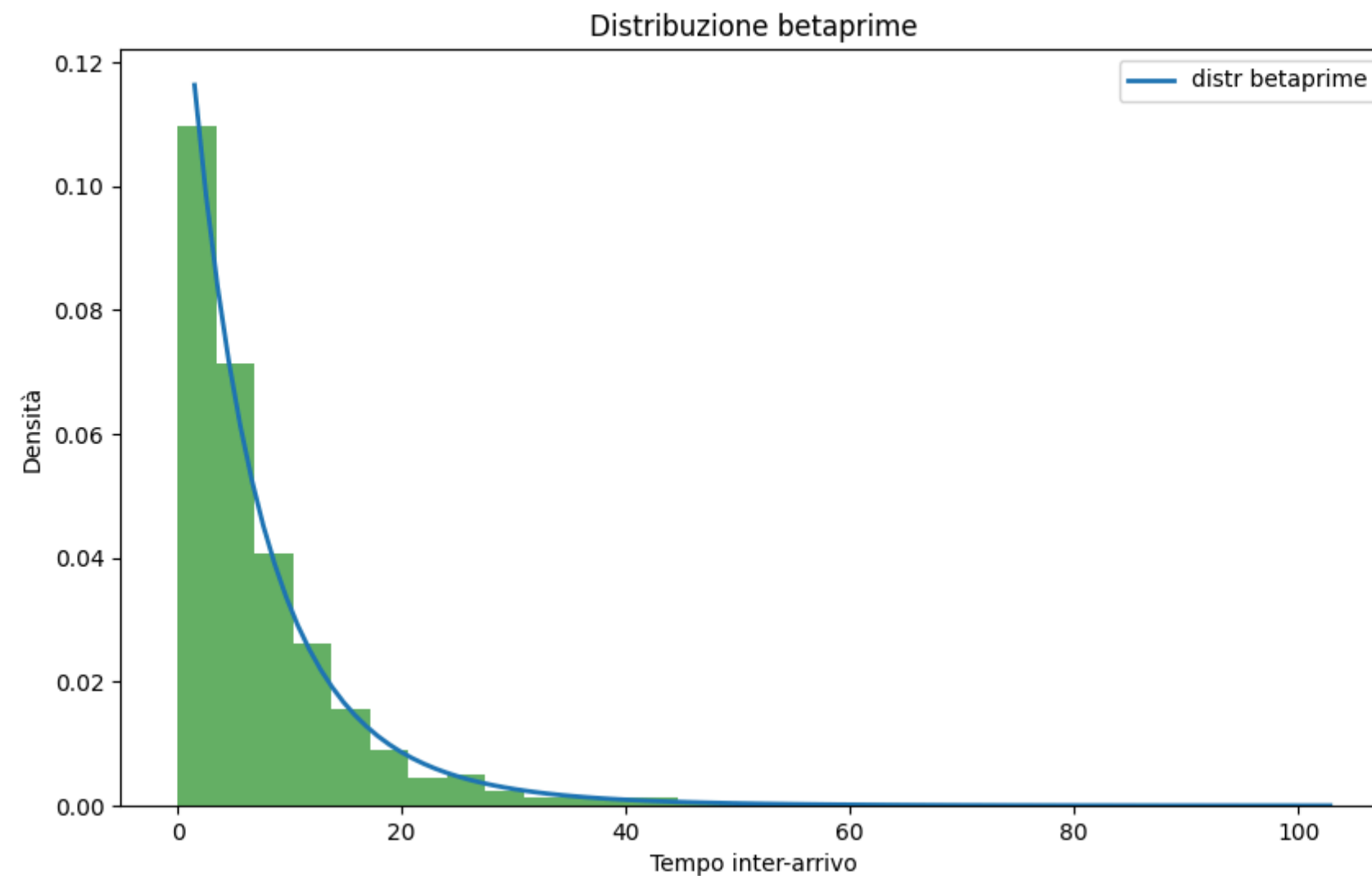
$$\text{● } f(x; a, d, p) = \frac{p}{a^d \Gamma(d/p)} x^{d-1} e^{-(x/a)^p}$$

# Distribuzione Burr XII



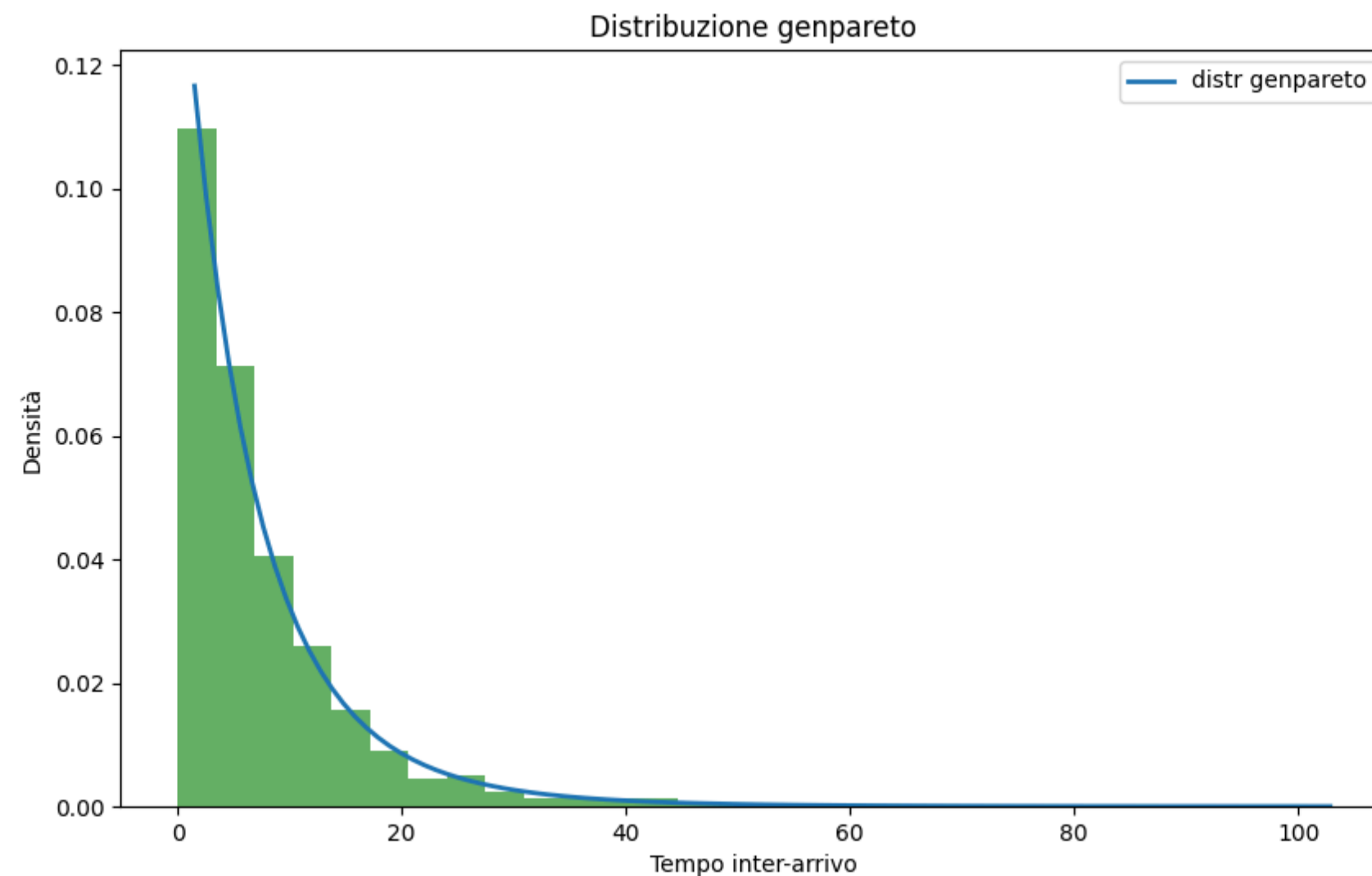
●  $f(x; c, k) = ck \frac{x^{c-1}}{(1 + x^c)^{k+1}}$

# Distribuzione Beta prime



$$f(x; \alpha, \beta) = \frac{x^{\alpha-1}(1+x)^{-\alpha-\beta}}{B(\alpha, \beta)}$$

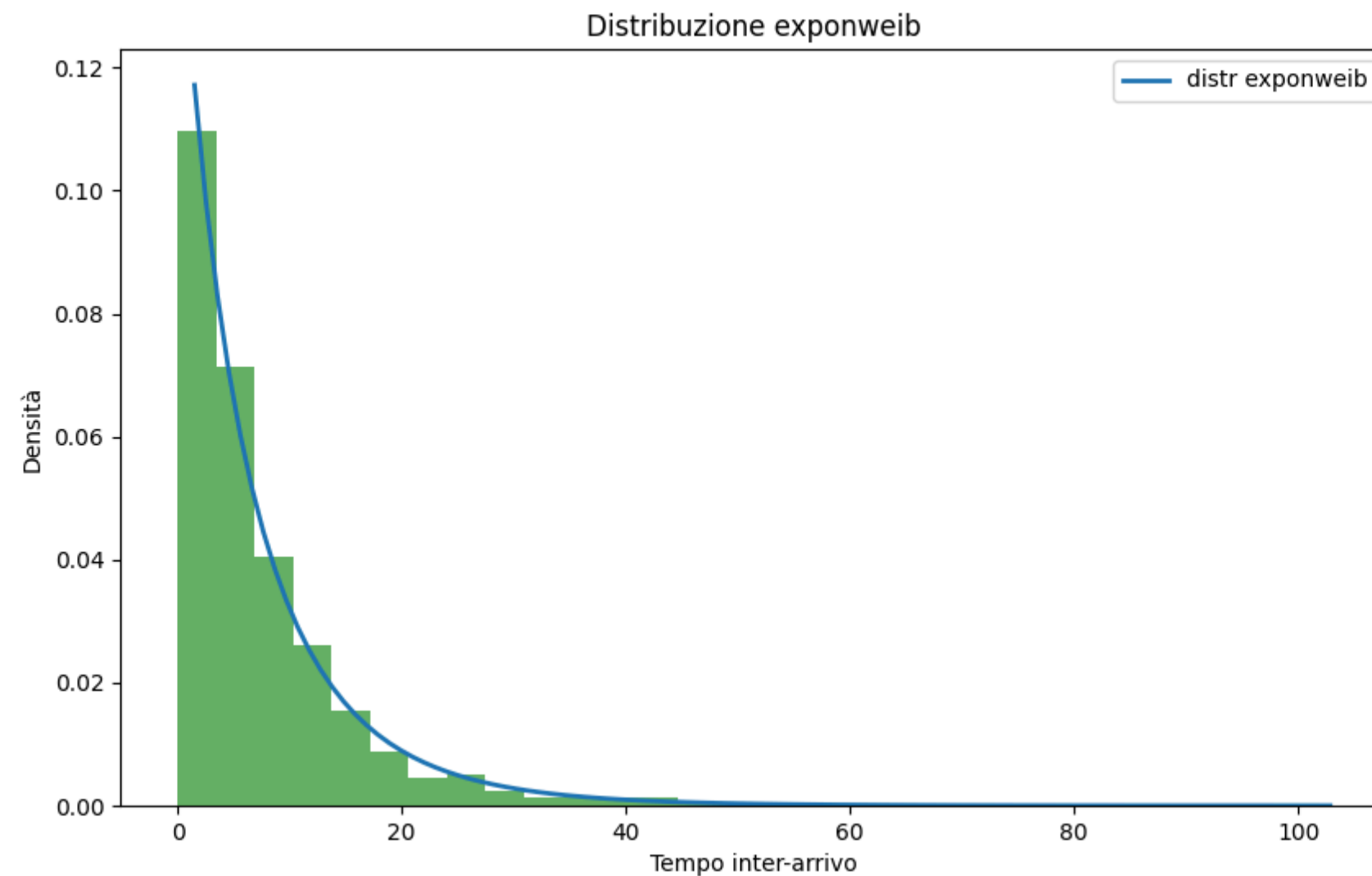
# Distribuzione Generalized Pareto



$$f(x; \xi, \sigma, \theta) = \frac{1}{\sigma} \left( 1 + \xi \frac{x - \mu}{\sigma} \right)^{-\frac{1}{\xi} - 1}$$



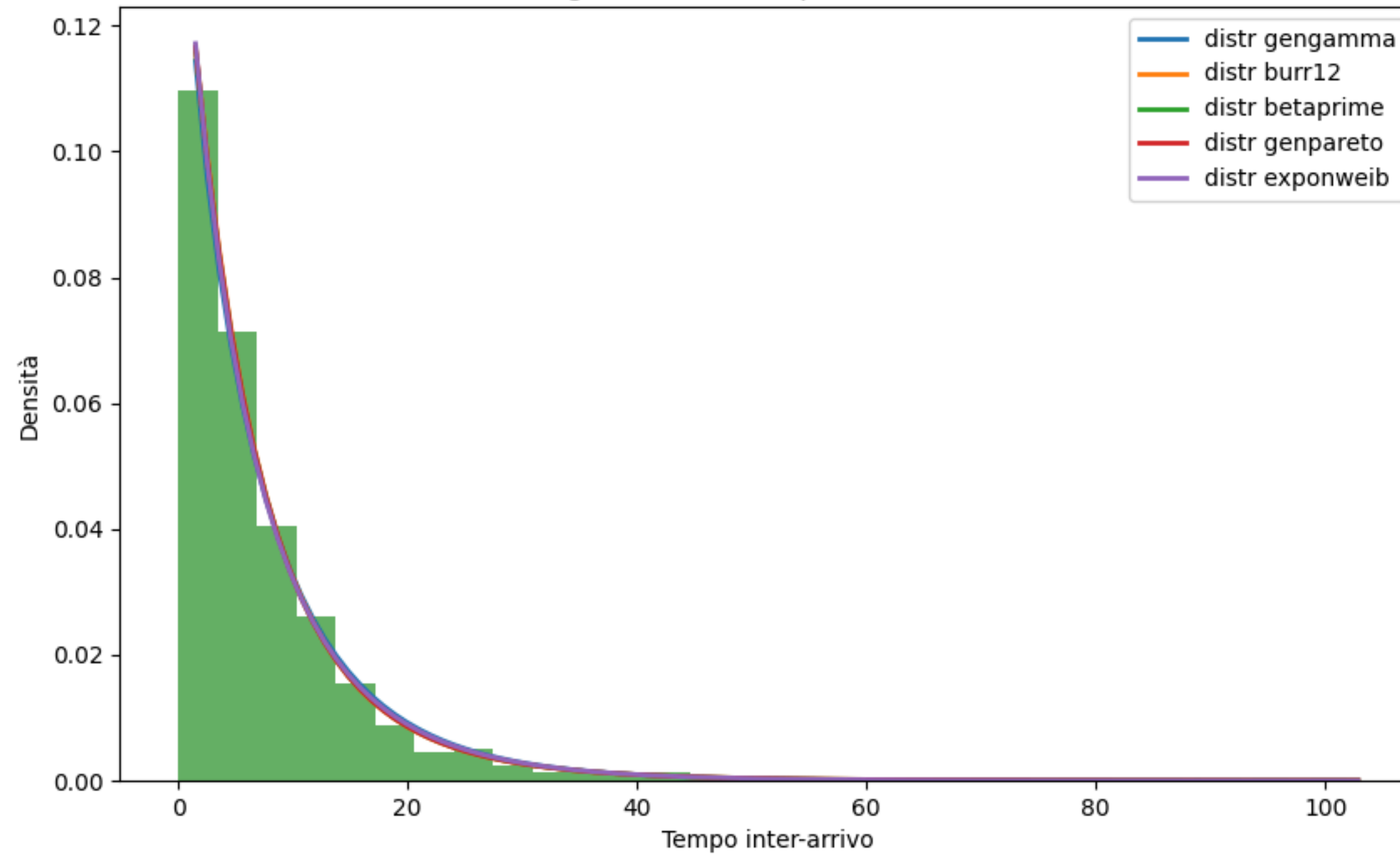
# Distribuzione Exponentiated Weibull



$$\begin{aligned} f(x; k, \lambda, \alpha) &= \\ &= \alpha \frac{k}{\lambda} \left( \frac{x}{\lambda} \right)^{k-1} \left( 1 - e^{-(x/\lambda)^k} \right)^{\alpha-1} e^{-(x/\lambda)^k} \end{aligned}$$

# Confronto

Istogramma dei tempi di inter-arrivo





# Conclusioni

Con un approccio simulativo il  
profitto medio, inizialmente pari a  
¥6.996.456,  
è aumentato fino a ¥67.275.890,  
con un incremento del 863%

# Grazie!

Andrea Andreoli  
Massimo Buniy  
Lorenzo Grande

*Università degli Studi di Roma  
Tor Vergata*



<https://github.com/Lollogiga/ProgettoPMCSN>

