#### Tivar: determinazione del parametro di produttività (es. produzione di dadi)

Dopo il controllo di qualità, i blocchi di metallo arrivano ad una macchina in un tempo casuale (discreto) da 1 a 8 ore l'uno dall'altro. Ciascun possibile tempo di interarrivo ha la stessa probabilità, come descritto nella Tabella 1.1. Il tempo di lavorazione varia da 1 a 6 ore con probabilità descritta nella Tabella 1.2. Da ogni blocco si ricavano 300 grammi di dadi. Analizzare il sistema simulando gli arrivi e le lavorazioni di 20 blocchi.

*Attenzione: in realtà 20 arrivi sono troppo pochi per permettere una simulazione affidabile della realtà e l'accuratezza dei risultati migliora aumentando la quantità di blocchi. Comunque, lo scopo dell'esempio è quello di dimostrare come semplici simulazioni possono essere eseguite in una tabella, o manualmente o con un foglio elettronico, portando alla valutazione di diverse grandezze che descrivono il sistema simulato.*

# **Tabella 1.1**: Distribuzione degli interarrivi

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Tempo di interarrivo  (minuti) | Probabilità | *Probabilità Cumulata* |
| 1 | 0,125 | *0,125* |
| 2 | 0,125 | *0,250* |
| 3 | 0,125 | *0,375* |
| 4 | 0,125 | *0,500* |
| 5 | 0,125 | *0,625* |
| 6 | 0,125 | *0,750* |
| 7 | 0,125 | *0,875* |
| 8 | 0,125 | *1,000* |

***Tabella 1.2****: Distribuzione del tempo di servizio*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Tempo di servizio (minuti) | Probabilità | *Probabilità Cumulata* |
| 1 | 0,100 | *0,100* |
| 2 | 0,200 | *0,300* |
| 3 | 0,300 | *0,600* |
| 4 | 0,250 | *0,850* |
| 5 | 0,100 | *0,950* |
| 6 | 0,050 | *1,000* |

In Tabella 1.3 è riportata la tabella della simulazione[[1]](#footnote-1).

## **Tabella 1.3**: Risultati della simulazione di 20 arrivi

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Blocco | Numero casuale | Tempo di interarrivo | Tempo di arrivo | Numero casuale | Tempo di lavoraz. | Tempo inizio lavoraz. | Tempo in coda | Tempo fine lavoraz. | Tempo nel sistema | Tempo "idle" |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0,84 | 4 | 0 | 0 | 4 | 4 | 0 |
| 2 | 0,913 | 5 | 5 | 0,11 | 3 | 5 | 0 | 8 | 3 | 1 |
| 3 | 0,727 | 1 | 6 | 0,74 | 2 | 8 | 2 | 10 | 4 | 0 |
| 4 | 0,015 | 5 | 11 | 0,53 | 4 | 11 | 0 | 15 | 4 | 1 |
| 5 | 0,948 | 3 | 14 | 0,17 | 2 | 15 | 1 | 17 | 3 | 0 |
| 6 | 0,309 | 5 | 19 | 0,79 | 1 | 19 | 0 | 20 | 1 | 2 |
| 7 | 0,922 | 5 | 24 | 0,91 | 4 | 24 | 0 | 28 | 4 | 4 |
| 8 | 0,753 | 5 | 29 | 0,67 | 3 | 29 | 0 | 32 | 3 | 1 |
| 9 | 0,235 | 4 | 33 | 0,89 | 2 | 33 | 0 | 35 | 2 | 1 |
| 10 | 0,302 | 3 | 36 | 0,38 | 3 | 36 | 0 | 39 | 3 | 1 |
| 11 | 0,109 | 5 | 41 | 0,32 | 3 | 41 | 0 | 44 | 3 | 2 |
| 12 | 0,093 | 3 | 44 | 0,94 | 3 | 44 | 0 | 47 | 3 | 0 |
| 13 | 0,607 | 6 | 50 | 0,79 | 4 | 50 | 0 | 54 | 4 | 3 |
| 14 | 0,738 | 6 | 56 | 0,05 | 6 | 56 | 0 | 62 | 6 | 2 |
| 15 | 0,359 | 8 | 64 | 0,79 | 4 | 64 | 0 | 68 | 4 | 2 |
| 16 | 0,888 | 6 | 70 | 0,84 | 3 | 70 | 0 | 73 | 3 | 2 |
| 17 | 0,106 | 7 | 77 | 0,52 | 2 | 77 | 0 | 79 | 2 | 4 |
| 18 | 0,212 | 7 | 84 | 0,55 | 2 | 84 | 0 | 86 | 2 | 5 |
| 19 | 0,493 | 4 | 88 | 0,30 | 3 | 88 | 0 | 91 | 3 | 2 |
| 20 | 0,535 | 3 | 91 | 0,50 | 5 | 91 | 0 | 96 | 5 | 0 |

### Calcolo dei valori d’interesse:

### Tempo di arrivo = somma cumulata dei tempi di interarrivo

* Tempo di inizio lavorazione (i) = max(tempo di fine lavorazione (i-1), tempo di arrivo (i))
* Tempo in coda (i) = tempo di inizio lavorazione (i) – tempo di arrivo (i)
* Tempo fine lavorazione (i) = tempo di inizio lavorazione (i) + tempo di lavorazione (i)
* Tempo nel sistema (i) = tempo di fine lavorazione (i) – tempo di arrivo (i)
* Tempo “idle” (i) = tempo di inizio servizio (i) – tempo di fine servizio (i-1)

Possiamo determinare la produttività settimanale considerando la produttività media oraria in blocchi  
(= 20 / 96 = 0,208) e moltiplicandola per 40 ore settimanali, ottenendo 8,333 blocchi a settimana pari a 2,500 kg di dadi.

Altre quantità che si possono ricavare da questa simulazione sono le seguenti:

* Il tempo medio di attesa per un blocco è nell’esempio 0,15 ore (9 minuti) e si calcola come il rapporto tra il tempo totale di attesa in coda diviso per il numero totale di blocchi, cioè 3/20.
* La probabilità che un blocco aspetti in coda è uguale al numero di blocchi che aspettano in coda diviso per il numero totale di blocchi, nell’esempio pari a 2/20 = 0,1.
* Il tempo totale di inattività del servente (la macchina) è il numero totale di minuti d’inattività, nell’esempio 33 ore.
* Il tempo medio di servizio (lavorazione) è uguale al rapporto tra il tempo totale di servizio e il numero di blocchi serviti (lavorati), nell’esempio 63/20 = 3,15 ore.
* Il tempo medio d’interarrivo è calcolato come somma dei tempi d’interarrivo divisa per il numero di interarrivi, cioè il numero di blocchi serviti meno uno, nell’esempio 91/19 = 4,79 ore.
* Il tempo medio d’attesa per i blocchi che hanno atteso in coda è uguale al tempo totale dei blocchi che hanno atteso in coda diviso per il numero dei blocchi che sono stati in coda, nell’esempio 3/2 = 1,50 ore.
* Il tempo medio di presenza di un blocco nel sistema è uguale al tempo totale speso nel sistema diviso per il numero di blocchi serviti, nell’esempio 66/20 = 3,30 ore.

1. I tempi d’interarrivo e i tempi di servizio vengono calcolati a partire da numeri casuali con distribuzione uniforme tra 0 e 1. Ad esempio: il tempo d’interarrivo del secondo cliente è uguale a 8 perché il corrispondente numero casuale (0,91) è maggiore di 0,875 e minore di 1 in riferimento alla colonna “Probabilità Cumulata” della Tabella 1.1; il tempo di servizio del secondo cliente è uguale a 2 perché il corrispondente numero casuale (0,114) è maggiore di 0,100 e minore di 0,300 in riferimento alla colonna “Probabilità Cumulata” della Tabella 1.2. [↑](#footnote-ref-1)