

Ottimizzazione Stocastica – prof.ssa Carla De Francesco

Esempio 1: Coda singola

Un piccolo negozio di alimentari ha una sola cassa, ed i clienti arrivano alla cassa in un tempo casuale da 1 a 8 minuti l'uno dall'altro. Ciascun possibile tempo di interarrivo ha la stessa probabilità, come descritto nella Tabella 1.1. Il tempo di servizio varia da 1 a 6 minuti con probabilità descritta nella Tabella 1.2. Il problema consiste nell'analizzare il sistema simulando gli arrivi ed i servizi di 20 clienti.

In realtà 20 clienti sono troppo pochi per permettere una simulazione affidabile della realtà e l'accuratezza dei risultati migliora aumentando la quantità di clienti.

Comunque, lo scopo dell'esercizio è quello di dimostrare come semplici simulazioni possono essere eseguite in una tabella, o manualmente o con un foglio elettronico, e non per consigliare cambiamenti al negozio.

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 dei tempi di servizio

Tempo di servizio (minuti)	Probabilità	Probabilità Cumulata
1	0,10	0,10
2	0,20	0,30
3	0,30	0,60
4	0,25	0,85
5	0,10	0,95
6	0,05	1,00

Le Tabelle 1.3 e 1.4 riportano i tempi di interarrivo e di servizio dei 20 clienti, generati secondo le rispettive variabili aleatorie. Le misurazioni iniziano nel momento in cui arriva il primo cliente.

I tempi d'interarrivo 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 (0,913) è maggiore di 0,875 e minore di 1 in riferimento alla colonna “Probabilità Cumulata” della Tabella 1.1. La situazione è analoga per la Tabella 1.4 in cui gli intervalli di probabilità sono nella terza colonna della Tabella 1.2.

Tabella 1.3: *Determinazione dei tempi di interarrivo*

Cliente	Numero casuale	Tempo di interarrivo	Clienti	Numero casuale	Tempo di interarrivo
1	0	0	11	0,109	1
2	0,913	8	12	0,093	1
3	0,727	6	13	0,607	5
4	0,015	1	14	0,738	6
5	0,948	8	15	0,359	3
6	0,309	3	16	0,888	8
7	0,922	8	17	0,106	1
8	0,753	7	18	0,212	2
9	0,235	2	19	0,493	4
10	0,302	3	20	0,535	5

Tabella 1.4: *Determinazione dei tempi di servizio*

Cliente	Numero casuale	Tempo di servizio	Cliente	Numero casuale	Tempo di servizio
1	0,84	4	11	0,32	3
2	0,11	2	12	0,94	5
3	0,74	4	13	0,79	4
4	0,53	3	14	0,05	1
5	0,17	2	15	0,79	4
6	0,79	4	16	0,84	4
7	0,91	5	17	0,52	3
8	0,67	4	18	0,55	3
9	0,89	5	19	0,29	2
10	0,38	3	20	0,50	3

Qui sotto è riportata la tabella completa della simulazione.

Cliente	Numero casuale	Tempo di interarrivo	Tempo di arrivo	Numero casuale	Tempo di servizio	Tempo inizio servizio	Tempo in coda	Tempo fine servizio	Tempo nel sistema	Tempo "idle"
1	0	0	0	0,84	4	0	0	4	4	0
2	0,913	8	8	0,11	2	8	0	10	2	4
3	0,727	6	14	0,74	4	14	0	18	4	4
4	0,015	1	15	0,53	3	18	3	21	6	0
5	0,948	8	23	0,17	2	23	0	25	2	2
6	0,309	3	26	0,79	4	26	0	30	4	1
7	0,922	8	34	0,91	5	34	0	39	5	4
8	0,753	7	41	0,67	4	41	0	45	4	2
9	0,235	2	43	0,89	5	45	2	50	7	0
10	0,302	3	46	0,38	3	50	4	53	7	0
11	0,109	1	47	0,32	3	53	6	56	9	0
12	0,093	1	48	0,94	5	56	8	61	13	0
13	0,607	5	53	0,79	4	61	8	65	12	0
14	0,738	6	59	0,05	1	65	6	66	7	0
15	0,359	3	62	0,79	4	66	4	70	8	0
16	0,888	8	70	0,84	4	70	0	74	4	0
17	0,106	1	71	0,52	3	74	3	77	6	0
18	0,212	2	73	0,55	3	77	4	80	7	0
19	0,493	4	77	0,29	2	80	3	82	5	0
20	0,535	5	82	0,50	3	82	0	85	3	0

Calcolo dei valori d'interesse:

- Tempo di arrivo = somma cumulata dei tempi di interarrivo
- Tempo di inizio servizio (i) = max(tempo di fine servizio (i-1), tempo di arrivo (i))
- Tempo in coda (i) = tempo di inizio servizio (i) – tempo di arrivo (i)
- Tempo fine servizio (i) = tempo di inizio servizio (i) + tempo di servizio (i)
- Tempo nel sistema (i) = tempo di fine servizio (i) – tempo di arrivo (i)
- Tempo “idle” (i) = tempo di inizio servizio (i) – tempo di fine servizio (i-1)

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

- Il tempo medio di attesa per un cliente è nell'esempio 2,55 minuti e si calcola come il rapporto tra il tempo totale di attesa in coda diviso per il numero totale di clienti, cioè $51/20$.
- La probabilità che un cliente aspetti in coda è uguale al numero di clienti che aspettano in coda diviso per il numero totale di clienti, nell'esempio $11/20 = 0,55$.
- Il tempo totale di inattività del servente è il numero totale di minuti d'inattività, nell'esempio 17 minuti.
- Il tempo medio di servizio è uguale al rapporto tra il tempo totale di servizio e il numero di clienti serviti, nell'esempio $68/20 = 3,40$ minuti.
- Il tempo medio d'interarrivo è calcolato come la somma dei tempi d'interarrivo divisa per il numero di interarrivi, cioè il numero di clienti serviti meno uno, nell'esempio $82/19 = 4,32$ minuti.
- Il tempo medio d'attesa per i clienti che hanno atteso in coda è uguale al tempo totale dei clienti che hanno atteso in coda diviso per il numero dei clienti che sono stati in coda, nell'esempio $51/11 = 4,64$ minuti.
- Il tempo medio di presenza di un cliente nel sistema è uguale al tempo totale speso nel sistema diviso per il numero di clienti serviti, nell'esempio $119/20 = 5,95$ minuti.

Esempio 2: Il problema dei camerieri Able e Baker

Questo esempio illustra la procedura di simulazione nel caso in cui ci sia più di un servente in un drive-in in cui i camerieri prendono le ordinazioni e le consegnano in macchina. Le macchine arrivano con un intertempo casuale da 1 a 4 minuti con probabilità descritta nella Tabella 2.3. Ci sono due camerieri, Able e Baker. Able è più veloce a svolgere il suo lavoro. La distribuzione dei tempi di servizio di Able e Baker è descritta nelle Tabelle 2.1 e 2.2.

La simulazione procede in maniera simile all'Esempio 1 ma è più complessa in quanto ci sono due serventi. Una regola per semplificare il modello è che se entrambi i camerieri sono liberi, Able prende le ordinazioni. Una simulazione più lunga renderebbe più affidabili i risultati, ma per rendere più semplice l'esercizio viene effettuata solo per un'ora.

La simulazione procede in questo modo: un cliente arriva e lascia l'ordinazione a Able se questo è libero; in caso contrario la lascia a Baker. Se entrambi i camerieri sono occupati il cliente si mette in coda e aspetta che uno dei due si liberi lasciando l'ordinazione al primo che si libera. Dopo il servizio il cliente esce dal sistema.

Tabella 2.1:

Distribuzione dei tempi di servizio di Able

Tempo	Probabilità	Probabilità cumulata
2	0,30	0,30
3	0,28	0,58
4	0,25	0,83
5	0,17	1,00

Tabella 2.2:

Distribuzione dei tempi di servizio di Baker

Tempo	Probabilità	Probabilità cumulata
3	0,35	0,35
4	0,25	0,60
5	0,20	0,80
6	0,20	1,00

Tabella 2.3:

Distribuzione degli interarrivi

Tempo	Probabilità	Probabilità cumulata
1	0,25	0,25
2	0,40	0,65
3	0,20	0,85
4	0,15	1,00

			Able			Baker					
Cliente	Interarrivi	Tempo d'arrivo	Tempo di inizio servizio	Tempo di servizio	Tempo di fine servizio	Tempo di inizio servizio	Tempo di servizio	Tempo di fine servizio	Tempo in coda	Istante in cui si libera Able	Istante in cui si libera Baker
1	-	0	0	5	5				0	5	0
2	2	2				2	3	5	0	5	5
3	4	6	6	3	9				0	9	5
4	4	10	10	5	15				0	15	5
5	2	12				12	6	18	0	15	18
6	2	14	15	3	18				1	18	18
7	3	17	18	2	20				1	20	18
8	3	20	20	4	24				0	24	18
9	3	23				23	4	27	0	24	27
10	1	24	24	3	27				0	27	27
11	2	26	27	3	30				1	30	27
12	2	28				28	4	32	0	30	32
13	2	30	30	5	35				0	35	32
14	1	31				32	3	35	1	35	35
15	2	33	35	4	39				2	39	35
16	2	35				35	4	39	0	39	39
17	2	37	39	4	43				2	43	39
18	3	40				40	5	45	0	43	45
19	2	42	43	2	45				1	45	45
20	2	44	45	4	49				1	49	45
21	4	48				48	3	51	0	49	51
22	1	49	49	3	52				0	52	51
23	2	51				51	5	56	0	52	56
24	3	54	54	3	57				0	57	56
25	1	55				56	6	62	1	57	62
26	4	59	59	3	62				0	62	62

- I tempi d'interarrivo e i tempi di servizio sono calcolati come nell'esempio precedente.
- Il tempo di inizio servizio di Able relativo al cliente (i) è calcolato in questo modo: se l'istante in cui si libera Able dal servizio del cliente (i-1) è minore o uguale all'istante in cui si libera Baker (i-1) oppure il tempo d'arrivo del cliente (i) è maggiore del massimo del tempo in cui si liberano entrambi camerieri allora il tempo di inizio servizio di Able (i) è pari al massimo tra il tempo di fine servizio di Able (i-1) e il tempo d'arrivo del cliente (i), altrimenti la cella viene lasciata vuota.
- Il tempo di fine servizio, relativo all'i-esimo cliente, di Able o Baker è uguale al tempo d'inizio servizio (i) + il tempo di servizio (i), se la cella del tempo d'inizio non è vuota.
- Il tempo di inizio servizio di Baker relativo al cliente (i) è calcolato in questo modo: se il tempo di fine servizio di Able (i-1) è maggiore di quello di Baker (i-1), cioè Able si libera più tardi di Baker, ed è maggiore del tempo d'arrivo del cliente (i), allora il tempo di inizio servizio di Baker (i) è il massimo tra il tempo d'arrivo dell'i-esimo cliente e il tempo di fine servizio di Baker (i-1), altrimenti la cella viene lasciata vuota.

- Il tempo in coda per il cliente (i) è calcolato come il massimo dei due tempi di inizio del servizio di Able e Baker meno il tempo d'arrivo del cliente (i).

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

- La percentuale di tempo (56 su 62 minuti) in cui Able è impegnato è calcolata come rapporto tra la somma dei tempi di servizio di Able e la durata complessiva della simulazione e nell'esempio è pari al 90%.
- La percentuale di tempo (43 su 62 minuti) in cui Baker è impegnato è calcolato come rapporto tra la somma dei tempi di servizio di Baker e la durata complessiva della simulazione e nell'esempio è pari al 69%.
- Nove dei 26 clienti (circa il 35%) devono aspettare in coda. Il tempo medio in coda per tutti i clienti è solo di 0.42 minuti = tempo totale in coda / numero clienti serviti.
- Questi nove, che hanno atteso in coda, hanno aspettato in media 1.22 minuti calcolato come rapporto tra tempo totale di attesa in coda e numero di clienti che hanno aspettato in coda.

Esempio 3: Il problema dello strillone

Un classico esempio di magazzino riguarda l'acquisto e la vendita di giornali. L'edicolante compra i giornali a 33 centesimi l'uno e li vende a 50 centesimo l'uno. I giornali non venduti a fine giornata comportano un reso di 5 centesimi ciascuno. I giornali possono essere acquistati in blocchi da 10 unità, quindi l'edicolante può acquistarne 50, 60 e così via. Ci sono tre tipi di giornate, "buone", "discrete", "brutte" con probabilità di 0.35, 0.45 e 0.20 rispettivamente. La distribuzione della domanda dei giornali per questi tre tipi di giornate è descritta nella Tabella 3.2. Il problema consiste nel determinare il numero ottimo di giornali che l'edicolante dovrebbe comprare. Questo verrà realizzato simulando la domanda per 20 giorni e registrando i profitti dalle vendite giornaliere.

Il profitto è calcolato secondo questa regola:

Profitto = (ricavo dalla vendita) - (costo di acquisto dei giornali) - (profitto perso per l'eccesso di domanda) + (ricavo della resa)

Il ricavo della vendita è di 50 centesimi a giornale, il costo di acquisto per ogni giornale è di 33 centesimi, mentre il ricavo perso a causa dell'eccesso di domanda è di 17 centesimi per ogni giornale domandato ma non venduto; tale costo di carenza rende il problema più interessante. Il ricavo dalla resa di ogni giornale è di 5 centesimi.

Tabella 3.1:

Distribuzione dei tipi di giornata

Tipo di giornata	Probabilità	Probabilità cumulata
Buona	0,35	0,35
Discreta	0,45	0,80
Brutta	0,20	1,00

Tabella 3.2:

Distribuzione della domanda dei giornali

Domanda	Probabilità		Probabilità		Probabilità	
	Buona	cumulata	Discreta	cumulata	Brutta	cumulata
40	0,03	0,03	0,10	0,10	0,44	0,44
50	0,05	0,08	0,18	0,28	0,22	0,66
60	0,15	0,23	0,40	0,68	0,16	0,82
70	0,20	0,43	0,20	0,88	0,12	0,94
80	0,35	0,78	0,08	0,96	0,06	1,00
90	0,15	0,93	0,04	1,00	0,00	1,00
100	0,07	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00

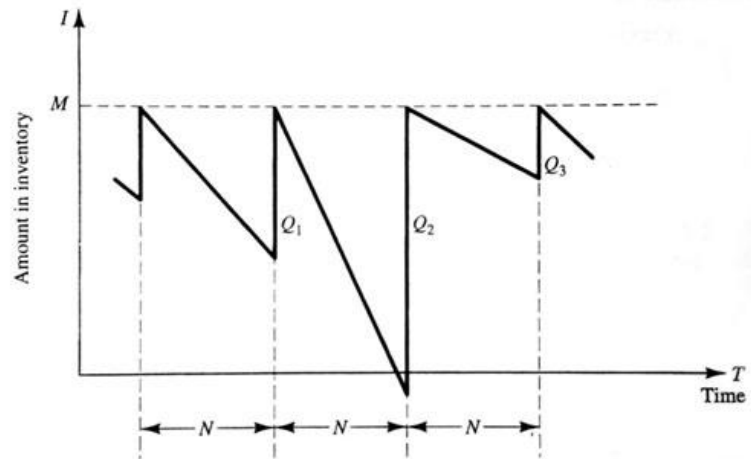
Simulazione di 20 giornate, supponendo di acquistare 70 giornali

Giorno	Numero casuale (Tipo di giornata)	Tipo di giornata	Numero casuale (domanda)	Domanda	Ricavo	Mancato profitto (per eccesso di domanda)	Ricavo dai giornali resi	Profitto giornaliero
1	0,94	Brutta	0,80	60	30	-	0,50	7,40
2	0,77	Discreta	0,20	50	25	-	1	2,90
3	0,49	Discreta	0,15	50	25	-	1	2,90
4	0,45	Discreta	0,87	70	35	-	-	11,90
5	0,43	Discreta	0,98	90	35	3,40	-	8,50
6	0,32	Buona	0,65	80	35	1,70	-	10,20
7	0,49	Discreta	0,86	70	35	-	-	11,90
8	0,99	Brutta	0,73	60	30	-	0,50	7,40
9	0,16	Buona	0,24	70	35	-	-	11,90
10	0,24	Buona	0,60	80	35	1,70	-	10,20
11	0,31	Buona	0,60	80	35	1,70	-	10,20
12	0,14	Buona	0,29	70	35	-	-	11,90
13	0,41	Discreta	0,18	50	25	-	1	2,90
14	0,61	Discreta	0,90	80	35	1,70	-	10,20
15	0,85	Brutta	0,93	70	35	-	-	11,90
16	0,08	Buona	0,73	80	35	1,70	-	10,20
17	0,15	Buona	0,21	60	30	-	0,50	7,40
18	0,97	Brutta	0,45	50	25	-	1	2,90
19	0,52	Discreta	0,76	70	35	-	-	11,90
20	0,78	Discreta	0,95	80	35	1,70	-	10,20
TOTALI					645	13,60	5,50	174,90

- Il ricavo dalla vendita è calcolato come il prezzo di vendita moltiplicato per il minimo tra la domanda e il numero di giornali acquistati dall'edicolante.
- Il profitto perso per eccesso di domanda si ha quando la domanda è maggiore del numero di giornali acquistati e si calcola come: $(\text{domanda} - \text{giornali acquistati}) \times (\text{ricavo unitario} - \text{costo unitario})$, in caso contrario è 0.
- Il ricavo dalla resa si ha quando la domanda è minore del numero di giornali acquistati e si calcola come: $(\text{quantità di giornali non venduti}) \times (\text{prezzo di resa})$
- Il profitto giornaliero è calcolato come: $(\text{ricavo dalla vendita}) - (\text{costo di acquisto dei giornali}) - (\text{profitto perso dall'eccesso di domanda}) + (\text{ricavo dalla resa})$.

Esempio 4: Simulazione di un sistema di magazzino

Un'importante classe di problemi di simulazione riguarda i sistemi di immagazzinamento. Un semplice sistema di magazzino è raffigurato nel grafico qui riportato.



Questo sistema di magazzino, detto *sistema a riordino periodico*, ha un periodo di rifornimento costante di lunghezza N . Alla fine di ogni periodo viene effettuato un ordine per riportare il livello di magazzino alla quantità costante M . Ad esempio, alla fine del primo periodo viene ordinata una quantità pari a Q_1 . In questo magazzino la durata del tempo tra l'ordine e l'arrivo della merce è pari a zero. Il livello di domanda è di tipo probabilistico e quindi non è possibile sapere a priori quale sarà l'ordine successivo. La domanda è uniformemente distribuita. Nella realtà la domanda non è mai uniforme ma è variabile nel tempo. Si noti che nel secondo ciclo il magazzino va sotto scorta; in questo caso ci sono degli ordini inevasi; quando arriverà la merce ordinata, la domanda degli ordini inevasi sarà soddisfatta per prima.

Per valutare la performance del sistema di gestione del magazzino, può essere utilizzato il criterio del *costo del magazzino*, che ha diverse componenti. Una componente è il costo per l'immobilizzazione di capitali, associato all'interesse pagato sui fondi monetari presi in prestito, o comunque impegnati, per comprare la merce (questo costo deriva dalla perdita per non avere impiegato i fondi necessari per altri scopi di investimento). Altri costi potrebbero essere dovuti al trasporto della merce verso il magazzino, o ai costi per gli spazi di immagazzinamento (affitto, servizi di sicurezza e così via). Un'alternativa a conservare grandi quantità in magazzino è quella di fare più frequenti rifornimenti e quindi più frequenti acquisti. Questo ha un costo associato: il costo d'ordine. Ancora, c'è anche un costo di mancanza di materiale (costo di *stock-out*): questo può realizzarsi come mancati profitti di vendita, o come conseguenza per i ritardi di consegna (i clienti potrebbero arrabbiarsi, con la conseguente perdita di prestigio e la possibile perdita del cliente). Notare che i parametri N e M devono essere tarati per minimizzare il costo del magazzino, raggiungendo il compromesso ottimale. Ad esempio, avere grandi quantità in magazzino minimizza la possibilità di stock-out, ma comporta elevati costi di immobilizzazione del capitale o di affitto degli spazi.

Il costo totale (o il profitto totale) di un magazzino indica il livello di qualità, e ovviamente dipende dalla politica di gestione utilizzata. Per esempio, nella politica di gestione a riordino periodico sopra delineata (che non è l'unica possibile) si può decidere il livello massimo di magazzino M o la lunghezza del periodo N .

In un sistema di magazzino (M, N) , gli eventi che possono accadere sono: la domanda del materiale del magazzino, l'emissione di un ordine di merce alla fine di ogni periodo, l'arrivo del rifornimento. Quando il *lead-time* (tempo che intercorre tra l'emissione di un ordine e l'arrivo delle relative scorte in magazzino) è zero, come in figura, i due ultimi eventi avvengono simultaneamente.

Nel seguente esempio, si considera proprio un sistema di gestione delle scorte a riordino periodico. Si supponga che il livello massimo M di magazzino sia di 11 unità e il periodo di rifornimento N sia di 5 giorni. Il problema è quello di stimare, con la simulazione, la media delle unità rimaste in magazzino e il numero di giorni in cui è presente la condizione di magazzino sotto scorta (mancanza di materiale o *stock-out*). La distribuzione della domanda giornaliera è descritta nella Tabella 4.1. In questo esempio il *lead time* è di tipo casuale, come descritto nella Tabella 4.2. Si assume che gli ordini siano emessi alla fine della settimana lavorativa e che le unità vengano ricevute durante la settimana successiva. Lead time uguale a 2 giorni, ad esempio, significa che la merce sarà disponibile all'inizio del secondo giorno della settimana successiva all'ordine, e sarà quindi conteggiata all'apertura del magazzino nel secondo giorno. Per fare una stima della media delle unità presenti a fine settimana nel magazzino devono essere simulati molti cicli. In questo esercizio ne vengono simulati solo cinque.

La simulazione inizia con un livello di magazzino di 3 unità, un ordine di 8 unità e un *lead time* di 3 giorni. Questa è la tabella completa della simulazione in Excel.

Settimana	Giorno	Magazzino iniziale	Numero casuale (domanda)	Domanda	Magazzino finale	Shortage	Ordine	Numero casuale (lead time)	Lead time
					3		8		3
1	1	3	0,24	1	2	0	-	0,50	2
	2	2	0,34	1	1	0	-		
	3	9	0,65	2	7	0	-		
	4	7	0,81	3	4	0	-		
	5	4	0,54	2	2	0	9		
2	1	2	0,03	0	2	0	-	0,95	4
	2	11	0,87	3	8	0	-		
	3	8	0,27	1	7	0	-		
	4	7	0,73	3	4	0	-		
	5	4	0,69	2	2	0	9		
3	1	2	0,47	2	0	0	-	0,30	2
	2	0	0,45	2	0	2	-		
	3	0	0,48	2	0	4	-		
	4	9	0,17	1	4	0	-		
	5	4	0,09	0	4	0	7		
4	1	4	0,42	2	2	0	-	0,40	2
	2	9	0,87	3	6	0	-		
	3	6	0,26	1	5	0	-		
	4	5	0,36	2	3	0	-		
	5	3	0,40	2	1	0	10		
5	1	1	0,07	0	1	0	-	0,80	3
	2	11	0,63	2	9	0	-		
	3	9	0,19	1	8	0	-		
	4	8	0,88	3	5	0	-		
	5	5	0,94	4	1	0	10		

Tabella 4.1:		
Distribuzione della domanda		
Domanda	Probabilità	Probabilità cumulata
0	0,1	0,1
1	0,25	0,35
2	0,35	0,7
3	0,21	0,91
4	0,09	1

Tabella 4.2:		
Lead time		
Lead time	Probabilità	Probabilità cumulata
2	0,6	0,6
3	0,3	0,9
4	0,1	1

- Il valore iniziale del magazzino per i giorni escluso il primo (per cui si suppone uguale a 3) è calcolato come il valore dell'inventario finale del giorno precedente, a cui si aggiunge l'ordine effettuato la settimana precedente, se il giorno corrente è uguale al *lead time* generato all'ultimo ordine.
- La domanda è generata da un numero casuale ed il suo valore è rintracciato tramite la funzione CERCA.VERT in un'apposita tabella (la sua distribuzione di probabilità è riportata nella tabella 4.1).
- Il valore finale del magazzino al giorno (i) è calcolato come il massimo tra valore iniziale del magazzino (i) – domanda (i) – *shortage* (i-1) e 0.
- Il valore di *shortage* al giorno (i) è calcolato come il massimo tra valore di *shortage* (i-1) + domanda (i) – magazzino iniziale (i) e 0.
- L'ordine viene effettuato l'ultimo giorno della settimana ed è pari al massimo livello di magazzino ($M = 11$) – magazzino finale al giorno (N) + *shortage* al giorno (N).
- Il *lead time* è calcolato tramite un numero casuale in una tabella che riporta la sua funzione di probabilità (4.2) usando la funzione CERCA.VERT.

La simulazione vista è stata effettuata in un periodo di sole 5 settimane, tuttavia è possibile ricavare alcune informazioni, come ad esempio il livello medio di magazzino, pari alla media dei valori finali del magazzino nei 25 giorni della simulazione ($88/25 = 3,52$). Si nota anche che nella 3° settimana il magazzino va sotto scorta, e la condizione di *stock-out* si protrae per 2 giorni: questo è dovuto al fatto che il *lead time* associato all'ordine precedente è 4, perciò la merce ordinata nella 2° settimana arriva al magazzino solo il 4° giorno della 3° settimana; una volta arrivata il magazzino risale a 9 unità, è perciò possibile soddisfare la domanda corrente e riportare il livello di *shortage* a 0.