



Esercitazione - testo

Consideriamo il montaggio di un interruttore tripolare. Nella Tabella seguente sono riportate le operazioni elementari con i tutti i parametri necessari per procedere all'applicazione dell'algoritmo di Kottas Lau per il bilanciamento della linea.

No.	Operazione elementare	M_k [min]	σ^2_k	Precedenze	Costo I_k [Euro/pezzo]
1	posizionare l'involucro inferiore n.3 nella attrezzatura di montaggio	0,18	0,04		1,90
2	inserire i terminali n.5 all'interno dell'involucro inferiore n.3	0,58	0,12	1	1,74
3	inserire il corpo principale n.6 all'interno dell'involucro n.3	0,33	0,06	1	1,73
4	esecuzione delle prove di funzionamento e taratura dell'interruttore	0,93	0,3	2 e 3	1,61
5	montare gli isolatori n.4 all'interno dell'involucro n.3	0,51	0,12	4	1,07
6	montare le coperture n.1 sopra i terminali n.5	0,34	0,06	4	1,00
7	montare la leva di comando n.8 sul corpo principale n.6	0,18	0,05	4	0,94
8	montare l'involucro superiore n.2 sull'involucro inferiore n.3	0,33	0,08	5, 6 e 7	0,85
9	avvitare le viti n.7 sull'involucro superiore n.2	0,74	0,15	8	0,73
10	esecuzione delle prove di funzionamento	0,70	0,12	9	0,33
11	togliere l'interruttore dalla attrezzatura e posizionarlo per l'imballaggio	0,16	0,04	10	0,03

Tempo ciclo $T_c = 1,22$ minuti,
 $C =$ costo orario del lavoro = € 10



Soluzione (1/12)

Vediamo come è possibile ottenere il bilanciamento di questa linea di montaggio attraverso il metodo delle desiderabilità marginale, detto anche metodo di Kottas-Lau.

Come prima cosa occorre calcolare il costo della manodopera per l'esecuzione dell'operazione k- esima.

No.	Operazione elementare	M_k [min]	Costo L_k [Euro/pezzo]
1	posizionare l'involucro inferiore n.3 nella attrezzatura di montaggio	0,18	0,03
2	inserire i terminali n.5 all'interno dell'involucro inferiore n.3	0,58	0,10
3	inserire il corpo principale n.6 all'interno dell'involucro n.3	0,33	0,06
4	esecuzione delle prove di funzionamento e taratura dell'interruttore	0,93	0,16
5	montare gli isolatori n.4 all'interno dell'involucro n.3	0,51	0,09
6	montare le coperture n.1 sopra i terminali n.5	0,34	0,06
7	montare la leva di comando n.8 sul corpo principale n.6	0,18	0,03
8	montare l'involucro superiore n.2 sull'involucro inferiore n.3	0,33	0,06
9	avvitare le viti n.7 sull'involucro superiore n.2	0,74	0,12
10	esecuzione delle prove di funzionamento	0,70	0,12
11	togliere l'interruttore dalla attrezzatura e posizionarlo per l'imballaggio	0,16	0,03

Il metodo si basa quindi sul definire se ogni operazione è:

- **sicura:** se $z_k \geq 2,575$
- **desiderabile:** se $z_k \geq z_k^*$
- **critica:** se $z_k < z_k^*$.

$$L_k = \frac{M_k \times C}{60}$$



Soluzione (2/12)

Quindi il passo successivo consiste nel calcolare prima $F(z^*_k) = 1 - L_k/I_k$ e poi z^*_k dalla tabella z.

No.	Operazione elementare	Costo L_k [Euro/pezzo]	Costo I_k [Euro/pezzo]	$F(z^*_k)$	z^*_k
1	posizionare l'involucro inferiore n.3 nella attrezzatura di montaggio	0,03	1,90	0,98	2,15
2	inserire i terminali n.5 all'interno dell'involucro inferiore n.3	0,10	1,74	0,94	1,58
3	inserire il corpo principale n.6 all'interno dell'involucro n.3	0,06	1,73	0,97	1,82
4	esecuzione delle prove di funzionamento e taratura dell'interruttore	0,16	1,61	0,9	1,29
5	montare gli isolatori n.4 all'interno dell'involucro n.3	0,09	1,07	0,92	1,38
6	montare le coperture n.1 sopra i terminali n.5	0,06	1,00	0,94	1,55
7	montare la leva di comando n.8 sul corpo principale n.6	0,03	0,94	0,97	1,85
8	montare l'involucro superiore n.2 sull'involucro inferiore n.3	0,06	0,85	0,93	1,47
9	avvitare le viti n.7 sull'involucro superiore n.2	0,12	0,73	0,84	0,98
10	esecuzione delle prove di funzionamento	0,12	0,33	0,64	0,35
11	togliere l'interruttore dalla attrezzatura e posizionarlo per l'imballaggio	0,03	0,03	0	-3



Soluzione (3/12)

Si passa quindi al bilanciamento della linea, assegnando le varie operazioni, rispettando i seguenti criteri:

1. Le operazioni sicure possono essere assegnate alla stazione in ordine di costo di completamento fuori linea (I_k) decrescente.
2. Le operazioni desiderabili possono essere assegnate alla stazione in ordine di costo di completamento fuori linea (I_k) decrescente.
3. Le operazioni critiche possono essere assegnate solo a stazioni vuote.
4. Tutte le precedenze devono essere rispettate.
5. Quando si assegna una operazione ad una stazione già aperta, occorre verificare che insieme alle operazioni già assegnate questa non sia critica.

No.	M_k [min]	σ^2_k	Precedenze	Costo I_k [Euro/pezzo]	z^*_k
1	0,18	0,04		1,90	2,15
2	0,58	0,12	1	1,74	1,58
3	0,33	0,06	1	1,73	1,82
4	0,93	0,3	2 e 3	1,61	1,29
5	0,51	0,12	4	1,07	1,38
6	0,34	0,06	4	1,00	1,55
7	0,18	0,05	4	0,94	1,85
8	0,33	0,08	5, 6 e 7	0,85	1,47
9	0,74	0,15	8	0,73	0,98
10	0,70	0,12	9	0,33	0,35
11	0,16	0,04	10	0,03	-3



Soluzione (4/12)

Stazione 1

Si assegna necessariamente l'operazione 1, in quanto è la prima dell'intero processo, e se ne verifica la condizione:

$$z_1 = \frac{1,22 - 0,18}{\sqrt{0,04}} = 5,2 > 2,575 > 2,15$$

L'operazione 1 è sicura.

Verificando dalla lista delle precedenze, vediamo che le operazioni assegnabili alla stazione 1 sono solo la 2 e la 3. Procediamo a verificarne la desiderabilità.

No.	M_k [min]	σ^2_k	Costo I_k [Euro/pezzo]	z^*_k	$z_{1,k}$
2	0,58	0,12	1,74	1,58	$z_{1,2} = \frac{1,22 - 0,18 - 0,58}{\sqrt{0,04 + 0,12}} = 1,15 < 1,58$
3	0,33	0,06	1,73	1,82	$z_{1,3} = \frac{1,22 - 0,18 - 0,33}{\sqrt{0,04 + 0,06}} = 2,25 > 1,82$

Solo l'operazione 3 è desiderabile e viene assegnata alla stazione. L'operazione 2 è non desiderabile. Considerando che non ci sono, dalla lista delle precedenze, altre operazioni assegnabili a questa stazione, essa viene chiusa.



Soluzione (5/12)

Stazione 2

Si procede assegnando necessariamente l'operazione 2, in quanto l'unica non soggetta a precedenza, e se ne verifica la condizione:

$$z_2 = \frac{1,22 - 0,58}{\sqrt{0,12}} = 1,85 > 1,58$$

L'operazione 2 è desiderabile.

Verificando dalla lista delle precedenze, vediamo che l'unica operazione assegnabile alla stazione 2 è la 4. Procediamo a verificarne la desiderabilità.

No.	M_k [min]	σ^2_k	Costo I_k [Euro/pezzo]	z^*_k	$z_{i,k}$
4	0,93	0,3	1,61	1,29	$z_{2,4} = \frac{1,22 - 0,58 - 0,93}{\sqrt{0,12 + 0,3}} = -0,45 < 1,29$

L'operazione 4 è non desiderabile insieme all'operazione 2.

Considerando che non ci sono, dalla lista delle precedenze, altre operazioni assegnabili a questa stazione, essa viene chiusa.



Soluzione (6/12)

Stazione 3

Si procede assegnando necessariamente l'operazione 4, in quanto l'unica non soggetta a precedenza, e se ne verifica la condizione:

$$z_4 = \frac{1,22 - 0,93}{\sqrt{0,3}} = 0,53 < 1,29$$

L'operazione 4 è critica, ma essendo l'unica assegnata alla stazione non si può fare altrimenti. La stazione 3 viene chiusa.



Soluzione (7/12)

Stazione 4

Dalla lista delle precedenze, si verifica che ci sono ben tre operazioni che possono essere assegnate a questa stazione. Si procede alla verifica.

No.	M_k [min]	σ^2_k	Costo I_k [Euro/pezzo]	z^*_k	$z_{i,k}$
5	0,51	0,12	1,07	1,38	$z_5 = \frac{1,22 - 0,51}{\sqrt{0,12}} = 2,05 > 1,38$
6	0,34	0,06	1	1,55	$z_6 = \frac{1,22 - 0,34}{\sqrt{0,06}} = 3,59 > 2,575$
7	0,18	0,05	0,94	1,85	$z_7 = \frac{1,22 - 0,18}{\sqrt{0,05}} = 4,65 > 2,575$

Le operazioni 6 e 7 sono entrambe sicure. Si assegna alla stazione quella con maggiore costo di completamento fuori linea (I_k), cioè la numero 6. Si assegna quindi anche la numero 7 e si procede alla verifica di desiderabilità:

$$z_{6,7} = \frac{1,22 - 0,34 - 0,18}{\sqrt{0,06 + 0,05}} = 2,11 > 1,85$$

La condizione di desiderabilità è rispettata, quindi si procede ad assegnare anche l'operazione 7. Si procede poi ad assegnare l'operazione 5 e si verifica la desiderabilità:

$$z_{6,7,5} = \frac{1,22 - 0,34 - 0,18 - 0,51}{\sqrt{0,06 + 0,05 + 0,12}} = 0,40 < 1,38$$

La condizione di desiderabilità non è rispettata, quindi non si può procedere ad assegnare l'operazione 5 a questa stazione. Considerando che non ci sono, dalla lista delle precedenze, altre operazioni assegnabili a questa stazione, essa viene chiusa.



Soluzione (8/12)

Stazione 5

Si procede assegnando necessariamente e automaticamente l'operazione 5, in quanto l'unica non soggetta a precedenza e di cui abbiamo già verificato la desiderabilità.

Verificando dalla lista delle precedenze, vediamo che l'unica operazione assegnabile alla stazione 5, insieme all'operazione 5 è la 8. Procediamo a verificarne la desiderabilità.

No.	M_k [min]	σ_k^2	Costo I_k [Euro/pezzo]	z^*_k	$z_{1,k}$
8	0,33	0,08	0,85	1,47	$z_{5,8} = \frac{1,22 - 0,51 - 0,33}{\sqrt{0,12 + 0,08}} = 0,85 < 1,47$

L'operazione 8 è non desiderabile insieme all'operazione 5.

Considerando che non ci sono, dalla lista delle precedenze, altre operazioni assegnabili a questa stazione, essa viene chiusa.



Soluzione (9/12)

Stazione 6

Si procede assegnando necessariamente l'operazione 8, in quanto l'unica non soggetta a precedenza. Ne verifichiamo la desiderabilità.

$$z_8 = \frac{1,22 - 0,33}{\sqrt{0,08}} = 3,15 > 2,575$$

L'operazione 8 è sicura e viene assegnata alla stazione 6. Verificando dalla lista delle precedenze, vediamo che l'unica operazione assegnabile alla stazione 6, insieme all'operazione 8 è la 9. Procediamo a verificarne la desiderabilità.

No.	M_k [min]	σ^2_k	Costo I_k [Euro/pezzo]	z^*_k	$z_{1,k}$
9	0,74	0,15	0,73	0,98	$z_{8,9} = \frac{1,22 - 0,33 - 0,74}{\sqrt{0,08 + 0,15}} = 0,31 < 0,98$

L'operazione 9 è non desiderabile insieme all'operazione 8. Considerando che non ci sono, dalla lista delle precedenze, altre operazioni assegnabili a questa stazione, essa viene chiusa.



Soluzione (10/12)

Stazione 7

Si procede assegnando necessariamente l'operazione 9, in quanto l'unica non soggetta a precedenza. Ne verifichiamo la desiderabilità.

$$z_9 = \frac{1,22 - 0,74}{\sqrt{0,15}} = 1,24 > 0,98$$

L'operazione 9 è desiderabile e viene assegnata alla stazione 7. Verificando dalla lista delle precedenze, vediamo che l'unica operazione assegnabile alla stazione 7, insieme all'operazione 9 è la 10. Procediamo a verificarne la desiderabilità.

No.	M_k [min]	σ_k^2	Costo I_k [Euro/pezzo]	z^*_k	$z_{i,k}$
10	0,70	0,12	0,33	0,35	$z_{9,10} = \frac{1,22 - 0,74 - 0,7}{\sqrt{0,15 + 0,12}} = -0,42 < 0,35$

L'operazione 10 è non desiderabile insieme all'operazione 9. Considerando che non ci sono, dalla lista delle precedenze, altre operazioni assegnabili a questa stazione, essa viene chiusa.



Soluzione (11/12)

Stazione 8

Si procede assegnando necessariamente l'operazione 10, in quanto l'unica non soggetta a precedenza. Ne verifichiamo la desiderabilità.

$$z_{10} = \frac{1,22 - 0,7}{\sqrt{0,12}} = 1,50 > 0,35$$

L'operazione 10 è desiderabile e viene assegnata alla stazione 8. Verifichiamo la desiderabilità anche dell'ultima operazione.

No.	M_k [min]	σ^2_k	Costo I_k [Euro/pezzo]	z^*_k	$z_{1,k}$
11	0,16	0,04	0,03	-3	$z_{10,11} = \frac{1,22 - 0,7 - 0,16}{\sqrt{0,12 + 0,04}} = 0,9 > -3$



Soluzione (12/12)

L'operazione 11 è desiderabile insieme all'operazione 10 e viene quindi assegnata alla stazione 8. Non ci sono più operazioni da assegnare e quindi l'algoritmo è concluso. Di seguito la tabella riassuntiva con le assegnazioni.

Stazione	Operazioni assegnate	Condizione
1	1	Sicura
	3	Desiderabile
2	2	Desiderabile
3	4	Critica
4	6	Sicura
	7	Desiderabile
5	5	Desiderabile
6	8	Sicura
7	9	Desiderabile
8	10	Desiderabile
	11	desiderabile