

IL CONTROLLO STATISTICO PER PROCESSI A FLUSSI MULTIPLI: PROBLEMI E SOLUZIONI DI UN CASO AZIENDALE

G. Lasi, C. Mongiello, M. Scagliarini

1. INTRODUZIONE

Nell'industria moderna esistono molte situazioni dove si utilizzano impianti che permettono la produzione contemporanea di più unità di output identiche. In particolare nel settore alimentare, sono frequenti le macchine a più teste. I processi produttivi che utilizzano impianti di questo tipo sono detti *processi produttivi a flussi multipli*, spesso indicati come MSP (*multiple stream processes*), e i relativi flussi di output sono identificati dalle teste dei macchinari da cui provengono. In situazioni di questo tipo è quindi importante segnalare sia le eventuali anomalie presenti in un solo flusso, sia le anomalie che si possono presentare in alcuni o in tutti i flussi.

Il presente lavoro riguarda la progettazione e realizzazione del controllo statistico per un processo produttivo a flussi multipli, realizzata in un impianto dello stabilimento caseario di Bologna della Granarolo S.p.A. In questo studio non si è passati ad una implementazione vera e propria del controllo per flussi multipli sulla linea di produzione, ma ci si è limitati alla fase relativa alla stima dei parametri del processo e al controllo di un insieme di campioni preliminari. Gli obiettivi previsti erano: verificare la fattibilità tecnica di questo tipo di controllo statistico; esaminare gli eventuali problemi e proporre le soluzioni; saggiare le potenzialità della metodologia impiegata per un miglioramento delle prestazioni aziendali.

Il lavoro è strutturato come segue. Nel paragrafo 2 si introduce il tema del controllo statistico per processi a flussi multipli e si illustra la metodologia utilizzata. Il paragrafo 3 riguarda l'applicazione al caso in esame. Le conclusioni sono riportate nel paragrafo 4.

2. IL CONTROLLO STATISTICO DI PROCESSO PER MSP

Per controllare un processo produttivo a flussi multipli una possibile soluzione è costruire una carta di controllo per ognuno dei singoli flussi del processo, in modo da individuare sia le anomalie individuali, sia quelle comuni a tutte le teste.

Questa soluzione presenta però i limiti legati alle dimensioni del processo produttivo: all'aumentare dei flussi, diventa molto difficoltoso costruire e mantenere un numero sempre crescente di carte di controllo, e la probabilità di falsi allarmi cresce proporzionalmente a tale numero.

Un'elegante soluzione si deve a (Boyd, 1950), che ha proposto una procedura di controllo chiamata *Group Control Chart* in grado di separare le cause che provocano lo slittamento di tutti i flussi da quelle che influenzano solo uno o pochi flussi. Questa tecnica è stata successivamente ripresa da diversi autori, tra cui (Nelson, 1986), (Mortell e Runger, 1995), (Runger *et al.*, 1996a) e (Montgomery, 2001).

2.1 *Group Control Chart*

La *Group Control Chart* permette di raggiungere entrambi gli obiettivi del monitoraggio sui processi a flussi multipli: 1) segnalare quando la produzione di tutte le teste si discosta dal comune target prefissato; 2) segnalare quando la produzione di un flusso presenta valori estremi, indici della sua differenza dal resto dell'output. La tecnica che la *Group Control Chart* utilizza per assolvere il primo dei due scopi è denominata *Singular Control Scheme*, mentre la tecnica rivolta al secondo aspetto del controllo prende il nome di *Run Control Scheme*.

Nel *Singular Control Scheme* si utilizzano una carta \bar{x} ed una carta R costruite sulla base di campioni di ampiezza n estratti da ogni flusso. Il sistema d'ipotesi che si vuole controllare è il seguente

H₀: *tutti i flussi sono sotto controllo;*

H₁: *tutti i flussi sono fuori controllo.*

Sulla carta di controllo per il livello medio si riportano, per ogni istante di tempo osservato, il valore maggiore e minore tra le medie campionarie tra gli s flussi considerati, mentre sulla carta R si riporta il valore maggiore tra i range di flusso. Se tali valori estremi rientreranno nei limiti di controllo, a maggior ragione vi saranno comprese le sintesi relative ai restanti flussi. Al contrario, quando la massima o la minima media, così come il massimo range, eccederanno i limiti delle relative carte, verrà segnalato un fuori controllo.

Il *Run Control Scheme* si realizza sempre utilizzando le carte di controllo costruite per il *Singular Control Scheme*. L'accorgimento è associare ad ogni punto riportato sulla carta di controllo il numero j ($j=1,2,\dots,s$) del flusso corrispondente, in modo da segnalare un'anomalia in uno solo o pochi flussi: se il valore massimo (o minimo) appartiene sistematicamente alla stessa testa per più tempi successivi, c'è motivo di credere che tale testa sia sistematicamente diversa dalle altre (quindi fuori controllo). Formalmente, indicato con y il numero di tempi consecutivi in cui il generico flusso j assume il massimo (o il minimo) valore è necessario stabilire un limite superiore per y .

La regola di decisione per il *Run Control Scheme* è quindi basata sulla lunghezza della sequenza di massimi (o minimi) consecutivi. Indicando con r la "lunghezza

critica”: se $y < r$ si deduce che non è intervenuta nessuna anomalia nel processo produttivo, e si accetta l’ipotesi

H_0 : il flusso j non è sistematicamente diverso dagli altri;

viceversa quando $y = r$ significa che per troppi istanti di tempo consecutivi quel flusso ha prodotto il massimo (o il minimo) valore, quindi siamo in presenza di un processo fuori controllo statistico

H_1 : il flusso j è sistematicamente diverso dagli altri e va aggiustato.

Come ricordato anche da (Runger *et al.*, 1996a) il punto delicato è stabilire il criterio di decisione, ovvero la scelta del numero r . Infatti un limite r troppo basso potrebbe portare a segnalare un problema quando in realtà il processo produttivo funziona regolarmente (falso allarme), mentre con un valore troppo alto di r potrebbe non essere possibile segnalare un’eventuale anomalia.

Sotto l’ipotesi nulla (H_0) l’*Average Run Length unilaterale (ARL)*, numero medio di campioni da estrarre prima di ottenere un segnale di fuori controllo, è dato da:

$$ARL = \frac{s^r - 1}{s - 1} \tag{1}$$

L’autore della formula (Nelson, 1986), suggerisce di adottare un valore di *ARL* approssimativamente pari all’*ARL* di una *Carta Shewhart* unilaterale. Nella Tabella 1 sono riportati alcuni valori dell’*ARL* ricavati dalla (1) associati a diversi valori di s e r .

TABELLA 1

Valori di ARL per un processo in controllo, associati a diverse combinazioni di s ed r

Lunghezza sequenza N° flussi s	r			
	3	4	5	6
2	7	15	31	63
3	13	40	121	364
4	21	85	341	1365
5	31	156	781	3906
6	43	259	1555	
7	57	400	2801	
8	73	585	4681	
9	91	820		
10	111	1111		

Da ciò segue che se si desidera costruire la *Group Control Chart* con la “regola del 3σ ” il valore di *ARL* suggerito da (Nelson, 1986) è 740. Supponendo, per esempio, che il processo produttivo analizzato abbia $s=4$ flussi di output, la Tabella 1 mostra che un *ARL* pari a 740 non può essere ottenuto. In questo caso la scelta del valore di r si effettua approssimando per difetto la probabilità di un falso allarme, e di conseguenza la scelta cade su $r=6$ a cui corrisponde un $ARL=1365$, valore superiore e più prossimo a 740 tra quelli ottenibili in corrispondenza di 4 flussi.

2.2 Implementazione del "Singular" e "Run Control Scheme"

Si consideri un impianto composto da s flussi e una caratteristica di qualità X normalmente distribuita con media e variabilità uguale in tutti i flussi: $X \sim N(\mu, \sigma^2)$. Si supponga inoltre di essere nella situazione più generale possibile ovvero di non conoscere i parametri del processo produttivo: è quindi necessario stimarli utilizzando un insieme di campioni preliminari.

La procedura generalmente seguita è la seguente. Da ognuno degli s flussi si estrae un campione di numerosità n . L'operazione viene ripetuta a intervalli regolari di tempo per un numero T di istanti campionari. In questo modo si osservano ($s \times T$) campioni, per un totale di ($n \times s \times T$) unità.

In questo schema la generica osservazione è indicata con x_{jti} , dove $j=1,2,\dots,s$ rappresenta il j -esimo flusso, $i=1,2,\dots,n$ la i -esima unità del campione di appartenenza, e $t=1,2,\dots,T$ il t -esimo istante campionario.

Per ogni campione estratto al tempo t dal flusso j , si calcolano il valore medio e il range:

$$\bar{x}_{jt} = \frac{\sum_{i=1}^n x_{jti}}{n} \quad (2)$$

$$R_{jt} = x_{jti} \max - x_{jti} \min \quad (3)$$

dove $x_{jti} \max$ e $x_{jti} \min$ sono rispettivamente il maggiore e il minor valore tra le n unità del campione estratto al tempo t dal flusso j .

Da qui si possono ottenere, come medie aritmetiche, le sintesi di ogni flusso

$$\bar{x}_j = \frac{\sum_{t=1}^T \bar{x}_{jt}}{T} \quad (4)$$

$$\bar{R}_j = \frac{\sum_{t=1}^T R_{jt}}{T} \quad (5)$$

e dell'intero processo di produzione

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^s \bar{x}_j}{s} \quad (6)$$

$$\bar{R} = \frac{\sum_{j=1}^s \bar{R}_j}{s} \quad (7)$$

Se si sceglie di utilizzare la “regola del 3σ ” (Montgomery, 2001) i limiti di controllo della *Group Control Chart* sono dati da:

Carta \bar{x}

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R} \quad (8)$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R} \quad (9)$$

Carta R

$$UCL = D_4 \cdot \bar{R} \quad (10)$$

dove A_2 e D_4 sono le usuali costanti per i limiti 3σ tabulate in funzione della numerosità campionaria n (Montgomery, 2001).

3. IL CASO DELLA GRANAROLO S.P.A.

Lo studio è stato realizzato in un impianto produttivo del reparto mascarpone/ricotta dello stabilimento caseario bolognese di Granarolo S.p.A. L'impianto è composto da 4 dosatori (teste) per il riempimento contemporaneo di altrettante confezioni di ricotta da 250 g. Per migliorare le prestazioni tali linee produttive, è di grande utilità valutare l'influenza dei diversi dosatori sul peso delle confezioni, e controllare separatamente le teste dei macchinari, in modo da identificare ed eliminare i fattori che ne causano il malfunzionamento.

La caratteristica di qualità osservata è il peso della confezione misurata in grammi. I pesi sono registrati dalla bilancia posizionata nello specifico reparto e dedicata al controllo del peso statistico secondo quanto richiesto dalla normativa vigente. Questa bilancia è caratterizzata da un campo di misura che va da 0 a 12000 grammi, con una risoluzione e un errore di misura entrambi pari a 0,1 grammi.

3.1 Costruzione della *Group Control Chart*

Da ognuno degli $s=4$ flussi di produzione è stato estratto, un campione di $n=3$ confezioni di ricotta da 250 g. L'estrazione è stata ripetuta per $T=20$ volte, ad intervalli regolari compatibili con i tempi di produzione. Si valutano in questo modo 12 confezioni per ogni istante di campionamento, per un totale di $N=240$ unità osservate.

La generica osservazione è il peso in grammi della confezione e viene indicato

in simboli con x_{jti} , dove $j=1,2,\dots,s$ rappresenta il j -esimo flusso, $i=1,2,\dots,n$ la i -esima unità del campione di appartenenza, e $t=1,2,\dots,T$ indica l'istante di campionamento.

Dalle rilevazioni campionarie si sono calcolate le sintesi per l'intero processo di produzione e la stima della variabilità incognita (σ_0) del processo produttivo, che rappresentano i valori di riferimento per il monitoraggio

$$\bar{x} = 258,68 \quad (11)$$

$$\bar{R} = 3,71 \quad (12)$$

$$\hat{\sigma}_0 = \frac{\bar{R}}{d_2} = 2,191 \quad (13)$$

La *Group Control Chart* prevede quindi la costruzione di due carte di controllo: la carta \bar{x} per controllare il livello medio del processo produttivo e la carta R per controllare la variabilità del processo produttivo.

Nella carta \bar{x} i limiti di controllo ottenuti risultano:

$$UCL = \bar{x} + 3 \frac{\hat{\sigma}_0}{\sqrt{n}} = \bar{x} + A_2 \cdot \bar{R} = 258,68 + 1,023 \cdot 3,71 = 262,48 \quad (14)$$

$$LCL = \bar{x} - 3 \frac{\hat{\sigma}_0}{\sqrt{n}} = \bar{x} - A_2 \cdot \bar{R} = 258,68 - 1,023 \cdot 3,71 = 254,88 \quad (15)$$

Per la *Carta R* si ottiene

$$UCL = D_4 \cdot \bar{R} = 2,575 \cdot 3,71 = 9,56 \quad (16)$$

Nella Figure 1a e 1b sono riportate le *Carte* \bar{x} e R della *Group Control Chart*, costruite come descritto. Nella *Carta* \bar{x} sono riportati i valori maggiore e minore delle medie temporali di flusso, mentre nella *Carta R* è riportato, per ogni istante campionario, il valore maggiore tra i range temporali di flusso. I punti sui grafici delle carte sono corredati dal numero j del flusso che li ha prodotti. Questa particolare notazione è necessaria per il *Run Control Scheme*.

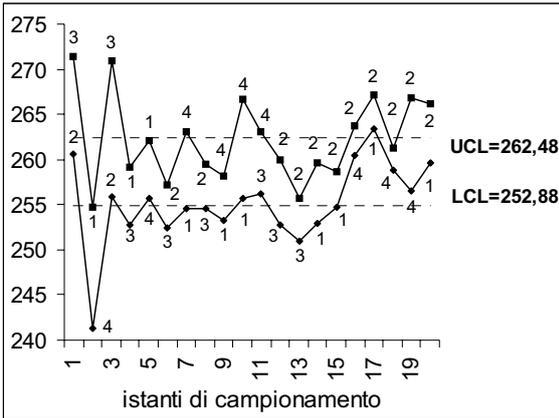


Figura 1a – Carta \bar{x} .

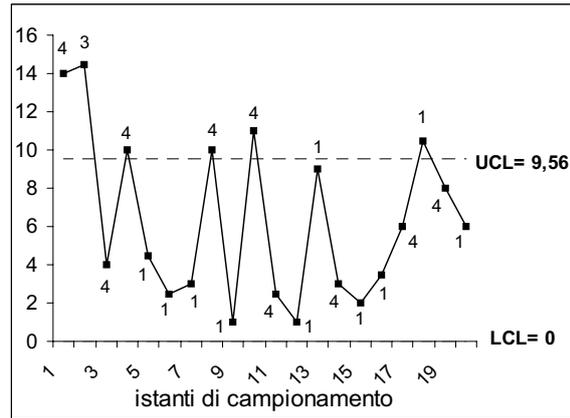


Figura 1b – Carta R.

Dall'esame delle carte di controllo è immediato notare che non tutti i valori sono compresi tra i limiti di controllo definiti: essendo rappresentati solo gli estremi massimo e minimo di ogni flusso, una tale anomalia porterebbe a considerare fuori controllo l'intero processo produttivo. La Carta \bar{x} in particolare presenta numerosi valori eccedenti i limiti di controllo superiore ed inferiore. Tuttavia, un esame del processo produttivo e dei dati rilevati, effettuato con i responsabili dell'azienda, ha portato ad escludere la presenza di cause sistematiche, mentre è emerso un aspetto che merita particolare attenzione. Analizzando il comportamento nel tempo delle quattro medie temporali di flusso \bar{x}_{jt} (Figura 2), si può notare una evidente tendenza dei valori medi a covariare, mentre è presente una non trascurabile variabilità nel tempo. L'entità della correlazione tra i valori medi della caratteristica di qualità relativi ai quattro flussi è quantificata nella Tabella 2 dove sono riportate le stime dei coefficienti di correlazione.

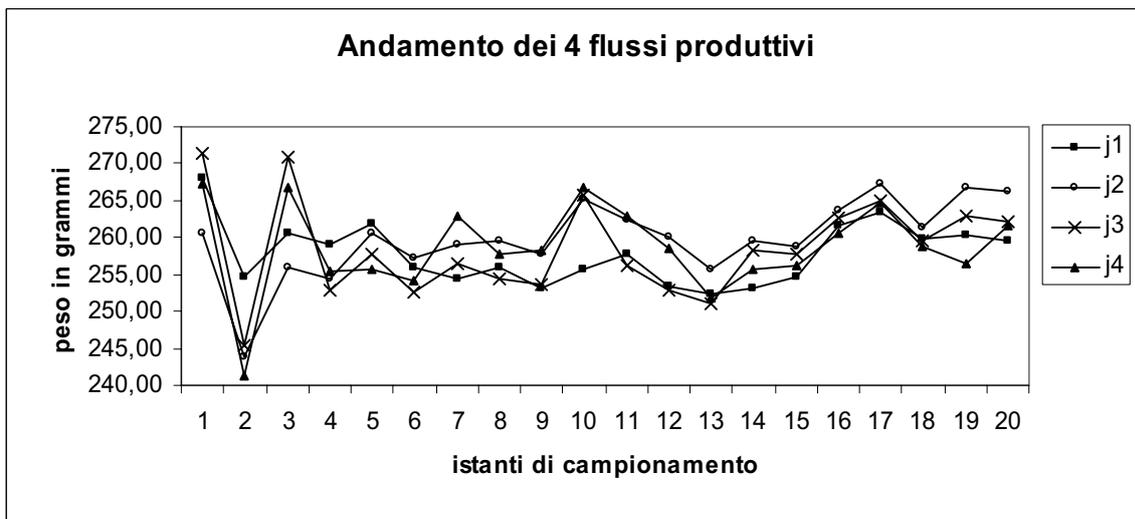


Figura 2 – Serie dei pesi medi campionari dei 4 flussi produttivi.

TABELLA 2

Valori stimati del coefficiente di correlazione tra i 4 flussi produttivi

Flusso	1	2	3	4
1	1			
2	0,38	1		
3	0,68	0,61	1	
4	0,41	0,55	0,74	1

Questo risultato è un “problema tipico” del *Singular Control Scheme*, ma non influisce sul *Run Control Scheme*.

Un’efficace spiegazione di questa situazione è data da Mortell e Runger (1995). I due autori per rappresentare i processi a flussi multipli utilizzano il seguente modello:

$$X_{jti} = \mu + A_t + e_{jti} \quad (17)$$

X_{jti} rappresenta la i -esima osservazione estratta al tempo t dal flusso j , con $j=1,2,\dots,s$, $i=1,2,\dots,n$, $t=1,2,\dots,T$.

Il termine A_t è una quantità aleatoria che indica la differenza tra la media calcolata su tutti i flussi al tempo t e il valore target del processo μ : la componente A_t rappresenta quindi caratteristiche del prodotto al tempo t le cui variazioni influenzano tutti i flussi e sotto l’ipotesi H_0 , di assenza di variazioni nei flussi, si assume che $A_t \sim N(0, \sigma_a^2)$.

Il termine e_{jti} è una sequenza di variabili aleatorie indipendenti e identicamente distribuite che rappresenta le differenze tra la i -esima osservazione del j -esimo flusso e la media calcolata su tutti i flussi al tempo t . Sotto l’ipotesi H_0 di controllo del flusso j al tempo t si assume che $e_{jti} \sim N(0, \sigma^2)$. Il termine e_{jti} va dunque interpretato come l’allontanamento del j -esimo flusso dalle caratteristiche comuni a tutti i flussi. Nel modello (17) si assume inoltre che le variabili A_t e e_{jti} siano indipendenti.

L’intervento di uno shift su tutti i flussi, è rappresentato nel modello come una variazione nella media di A_t ; uno shift sul solo flusso j invece, è rappresentato come una variazione nella media di e_{jti} .

La statistica test utilizzata nella *Group Control Chart* è la media campionaria del flusso j calcolata in ogni tempo:

$$\bar{X}_{jt} = \mu + A_t + \bar{e}_{jt} \quad (18)$$

la cui varianza è data da:

$$V(\bar{X}_{jt}) = \sigma_a^2 + \frac{\sigma^2}{n} \quad (19)$$

segue che i limiti di controllo della carta \bar{x} risultano:

$$UCL = \mu + 3(\sigma_a^2 + \sigma^2/n)^{\frac{1}{2}} \tag{20}$$

$$LCL = \mu - 3(\sigma_a^2 + \sigma^2/n)^{\frac{1}{2}} \tag{21}$$

È importante quindi stimare entrambe le componenti della variabilità: σ_a^2 e σ^2 .

Questo punto, così ben evidenziato da Mortell e Runger (1995), è disatteso dalla procedura classica per la costruzione della *Group Control Chart*. La stima della variabilità deriva dalla sintesi dei range R_{jt} calcolati sui campioni di n elementi estratti in ogni tempo t dai singoli flussi di output: in questo modo si considera solo la variabilità istantanea e di conseguenza si sottostima σ_a^2 .

3.2 Modifica al metodo di stima della variabilità

Per risolvere il problema della sottostima della variabilità si è pensato di modificare il metodo utilizzato per stimare la variabilità incognita, σ_0 del processo produttivo.

Indicando con

$$Sqm = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^s \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T (x_{jti} - \bar{x})^2}{(N - 1)}} \tag{22}$$

lo scarto quadratico medio calcolato su tutte le $N=240$ osservazioni, uno stimatore corretto per σ_0 è dato da (Mittag e Rinne, 1997):

$$\hat{\sigma}_0 = \frac{Sqm}{c_4} \tag{23}$$

Nel nostro caso:

$$Sqm=5,97 \tag{24}$$

Con un'ampiezza campionaria complessiva pari a $N=240$ si ha:

$$c_4 \cong 1 \tag{25}$$

per cui:

$$\hat{\sigma}_0 = \frac{Sqm}{c_4} \cong \frac{5,97}{1} \cong 5,97 \tag{26}$$

I nuovi limiti di controllo per la carta \bar{x} del *Singular Control Scheme* risultano:

$$UCL = \bar{x} + 3 \frac{\hat{\sigma}_0}{\sqrt{n}} = 269,03 \quad (27)$$

$$LCL = \bar{x} - 3 \frac{\hat{\sigma}_0}{\sqrt{n}} = 248,34 \quad (28)$$

La carta \bar{x} con i nuovi limiti di controllo è rappresentata in Figura 3. Il nuovo metodo di costruzione ha permesso di non trascurare la componente di variabilità temporale, evitando così il problema causato da una sottostima della variabilità complessiva del processo produttivo.

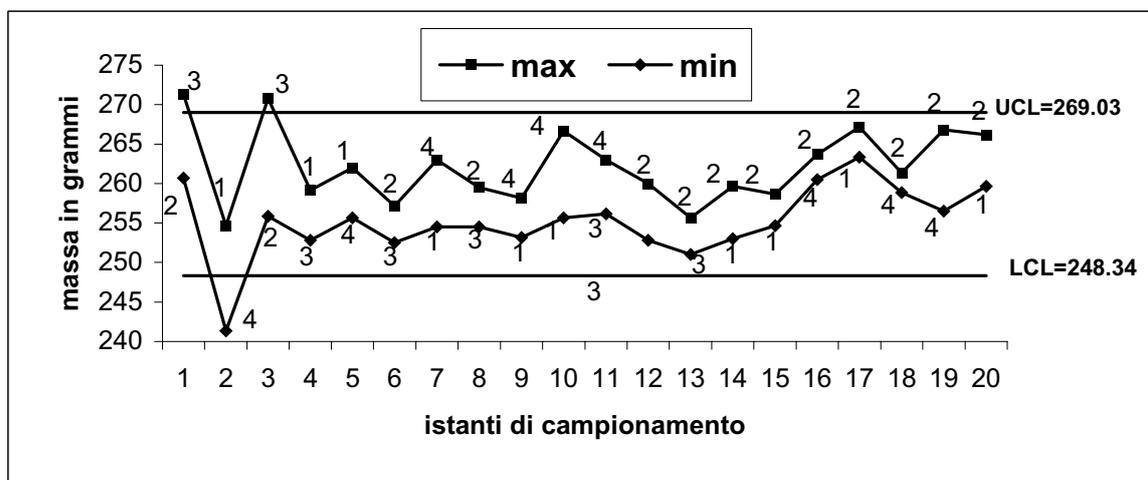


Figura 3 – Carta \bar{x} costruita con lo stimatore di variabilità $\hat{\sigma}_0$.

Nella Figura 3 gli unici valori che superano i limiti di controllo si concentrano nei primi tre istanti di campionamento, e la loro anomalia è spiegata dalla necessità iniziale di tarare l'impianto. Si è ritenuto questo aspetto fisiologico e non preoccupante; dal quarto istante temporale in poi infatti, tutti i pesi estremi rappresentati nella Carta \bar{x} rimangono all'interno dei limiti calcolati, confermando lo stato di controllo dell'impianto produttivo.

Per quanto riguarda la Carta R, si è ritenuto opportuno non modificare tale carta di controllo per i seguenti motivi. La funzione di questo strumento è controllare la variabilità istantanea del processo produttivo, quindi lo schema di costruzione della carta di controllo risulta ben adatto allo scopo. Inoltre, vista la bassa numerosità campionaria ($n=3$) non è conveniente utilizzare come statistica test la deviazione standard campionaria S . Passando all'esame dei risultati, si nota che sono presenti alcuni valori della statistica test che superano il limite di controllo superiore. Un'attenta analisi sulla variabilità del processo produttivo, effettuata tramite uno studio sulla capacità degli strumenti e del sistema di misura, ha evidenziato che questi sporadici aumenti della variabilità hanno un effetto trascurabile sulla stabilità dell'intero processo produttivo. È quindi ragionevole interpretare

un segnale di fuori controllo quando due valori consecutivi della statistica test superano il limite UCL. Situazione che, escludendo come per la Carta \bar{x} i primi istanti di controllo, non si verifica.

3.3 Run Control Scheme

Come ricordato in precedenza, sul grafico delle carte di controllo compare il numero del flusso che ha prodotto il valore campionario.

L'applicazione del *Run Control Scheme* è visualizzata nella Figura 3 e nella Figura 1b. Dall'esame delle carta \bar{x} si nota che dal dodicesimo istante campionario in poi la testa numero 2 ha prodotto sistematicamente confezioni di peso superiore a tutte le altre. Secondo il *Run Control Scheme* quindi, dopo 6 istanti campionari consecutivi nei quali un flusso assume il massimo (o il minimo) valore, cioè al tempo 17, si ha un "segnale di allarme o fuori controllo", indice di un anomalo funzionamento del dosatore in questione. La segnalazione del fuori controllo ha permesso di individuare il dosatore malfunzionante, di risalire alla causa e apportare la giusta correzione in tempi tali da limitare conseguenze indesiderate.

Analogamente lo schema di controllo costruito è in grado di identificare un flusso che produce sistematicamente prodotti di peso inferiore a quello nominale, evitando all'azienda danni più gravi non solo in termini di costi, ma anche di tempo e immagine.

4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Lo studio illustrato nel presente lavoro costituisce il passo preliminare per l'applicazione vera e propria di un controllo su un processo produttivo a flussi multipli. Tuttavia riteniamo importanti i risultati raggiunti.

In primo luogo la tecnica di controllo è implementabile sulla linea di produzione senza particolari "problemi tecnici".

L'esperienza svolta ha permesso di individuare un potenziale problema e, fatto non trascurabile, trovarne una soluzione. Il problema è relativo alla stima della variabilità del processo produttivo che, secondo la metodologia usualmente utilizzata, potrebbe essere sottostimata. La soluzione adottata, descritta nel paragrafo 3.2, consiste nell'ottenere uno stimatore corretto per σ_0 basato sullo scarto quadratico medio di tutte le osservazioni campionarie. A questo proposito vale la pena di fare una precisazione. La dimensione N del campione complessivo è influenzata dal numero di istanti di campionamento considerati T . Generalmente è consigliato basare le stime dei parametri su un insieme di campioni preliminari almeno pari a 25. Nel nostro caso ci siamo limitati a $T=20$ per motivi legati ai tempi di produzione: estendere la fase di "prerun" ulteriormente avrebbe lasciato poco tempo per un eventuale controllo vero e proprio del processo produttivo. La scelta adottata è comunque ragionevole in quanto solo nei primi istanti di tempo il processo ha mostrato instabilità.

Infine, per il miglioramento delle prestazioni aziendali, l'applicazione della metodologia su vasta scala avrebbe delle potenzialità notevoli. Basti pensare che gli impianti a flussi multipli della Granarolo S.p.A. sono numerosi, e tali strumenti in grado di rilevarne il malfunzionamento in tempo reale consentirebbero il miglioramento continuo delle performance produttive.

Gruppo Granarolo Spa, Bologna

GRAZIELLA LASI

*Dipartimento di Scienze Statistiche "Paolo Fortunati"
Alma Mater Studiorum Università di Bologna*

CARLOTTA MONGIELLO
MICHELE SCAGLIARINI

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Gruppo Granarolo S.p.A. per la collaborazione e disponibilità. Gli autori ringraziano il referee per gli utili suggerimenti. Il presente lavoro è stato svolto con il parziale contributo del MIUR (progetto n° 2004137478_001).

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- D. F. BOYD (1950), *Applying the Group Control Chart for \bar{X} and R*, "Industrial Quality Control", Vol. 7, pp. 22-25.
- H. J. MITTAG, H. RINNE (1993), *Statistical methods of quality assurance*, Chapman & Hall, London.
- D. C. MONTGOMERY (2001), *Introduction to statistical quality control*, 4.ed, McGraw-Hill, New York.
- L. S. NELSON (1986), *Control chart for multiple stream processes*, "Journal of Quality Technology", Vol. 18, No. 4, pp. 255-256.
- R. R. MORTELL, G. C. RUNGER (1995), *Statistical process control of multiple stream processes*, "Journal of Quality Technology", Vol. 27, No. 1, pp. 1-12.
- G. C. RUNGER, F. B. ALT, D. C. MONTGOMERY (1996a), *Controlling multiple stream processes with principal components*, "International Journal of Production Research", Vol. 34, No 11, pp. 2991-2999.
- G. C. RUNGER, F. B. ALT, D. C. MONTGOMERY (1996b), *Contributors to a multivariate statistical process control chart signal*, "Communication in Statistics-Theory and Methods", 25(10), pp. 2203-2213.
- T. P. RYAN (2000), *Statistical methods for quality improvement*, John Wiley & Sons, New York.

RIASSUNTO

Il controllo statistico per processi produttivi a flussi multipli: problemi e soluzioni di un caso aziendale

Il controllo statistico per processi produttivi a flussi multipli è un tema importante nell'ambito del controllo statistico della qualità ed in letteratura si trovano interessanti contributi sull'argomento. Nel presente articolo la metodologia denominata Group Control Chart è utilizzata in un caso reale. Gli obiettivi sono: verificare la fattibilità tecnica di que-

sto tipo di controllo statistico; esaminare gli eventuali problemi e proporre le soluzioni; saggiare le potenzialità della metodologia impiegata per un miglioramento delle prestazioni aziendali.

SUMMARY

Statistical process control for multiple stream processes: problems and solutions in a real case

Statistical process control for *Multiple Stream Processes* is an important topic in the field of statistical quality control and in the literature there are interesting papers. In this article the methodology called Group Control Chart is used in a case study. The purposes of this study are: to verify technical feasibility of this kind of statistical control; to examine the potential problems and suggest the suitable solutions; to understand the impact on the firm performance of an extensive application of the monitoring procedure.