

DE**Q****UALITATE****FEBBRAIO 1997****£ 17.000 • Pubblicazione mensile diretta da Roberto Scaramuzza**

Tribunale di Roma 5.8.92 N° 479/92
Spedizione Abbonamento Postale
Comma 26, Art. 2, Legge 549/95, Roma

- “ IL QUALITY MANAGEMENT SYSTEM
DI UN'ORGANIZZAZIONE DI RICERCA
E SVILUPPO**
- “ GLI ELEMENTI DEL MARKETING MIX:
IL MODELLO DELLE 4P**
- “ KNOWLEDGE MANAGEMENT: UN
SISTEMA OPERATIVO LEARNING
BASED PER LA GESTIONE COMPETITIVA
DI IMPRESA**
- “ QUALITÀ, INFORMAZIONE TECNICA
E BASI DI DATI**

**NUOVO STUDIO TECNA****RIVISTA ITALIANA DELLA QUALITÀ**

L'APPROCCIO STATISTICO ALLA QUALIFICAZIONE DEI SISTEMI MULTI-CAVITÀ

Qualità, Time to Market e Costo sono i tre fattori prioritari per assicurare il successo di un nuovo prodotto. Questi tre fattori vengono fortemente definiti nella fase di industrializzazione ed inizio della produzione di un nuovo prodotto quando si deve verificare il rispetto delle specifiche previste dal progetto. L'accertamento del rispetto delle specifiche e delle caratteristiche di un prodotto è spesso fonte di contrasto tra cliente e fornitore e può portare alla necessità di eseguire un numero elevato di prove con un conseguente aumento dei costi e dei tempi di sviluppo

F. Cangialosi
Consulente di
Direzione
Dracena s.r.l. Palermo

I concetti di Qualità, Time to Market e Costo si applicano a tutti i rapporti clienti-fornitori, sia interni che esterni. Il fornitore vuole concludere al più presto la fase di industrializzazione e di pre-serie per certificare il completamento del suo lavoro, il rispetto delle specifiche e per avviare la produzione e consegna della merce. Non dimentichiamo che in vicinanza della data del lancio vi è sempre una forte pressione sui tempi di sviluppo e nessuno vuole essere accusato di creare dei ritardi e/o di immettere sul mercato prodotti difettosi.

Il cliente da parte sua vuole essere sicuro che il prodotto sia dimensionalmente corretto, che le sue caratteristiche siano quelle volute e che il processo di produzione sia sotto controllo.

Partendo dall'analisi delle problematiche sopra esposte, si descrive nel seguito un metodo statistico per la qualificazione dei sistemi multi-cavità o multi-testa per la produzione di oggetti in materiale plastico per soffiaggio o stampaggio che si propone di superare i conflitti cliente-fornitore.

Il metodo, tratto direttamente dall'esperienza industriale, è stato sviluppato ed applicato per la qualificazione di stampi per

Il Time to Market rappresenta il tempo necessario per progettare ed approntare nuovi prodotti.

La richiesta di un numero elevato di controlli viene posta come condizione per potere effettuare la consegna della merce e tutto ciò, inevitabilmente, porta ad un contenzioso con il fornitore sui costi ed i tempi.

Le caratteristiche dei materiali polimerici

la produzione di tappi o bottiglie con un numero di cavità da 4 a più di 100.

I materiali polimerici hanno la particolarità di ridurre il loro volume passando dallo stato fuso a quello solido. Tale fenomeno detto "shrinkage" è di fondamentale importanza sia nella fase di progettazione dello stampo che in quella di controllo del pezzo. In fase di progetto si determina la dimensione della cavità in modo da ottenere quella che si vuole sul pezzo; per fare ciò non vi sono regole matematiche ma solo conoscenze ed esperienze relative al materiale che si sta usando. In fase di accertamento delle caratteristiche del prodotto, invece, si possono seguire due diversi approcci:

1. controllare dimensionalmente le cavità o le teste di produzione;
2. controllare dimensionalmente il prodotto finito.

Il primo metodo ha il vantaggio di non essere influenzato dallo shrinkage dei materiali, ma, oltre ad essere a volte prati-

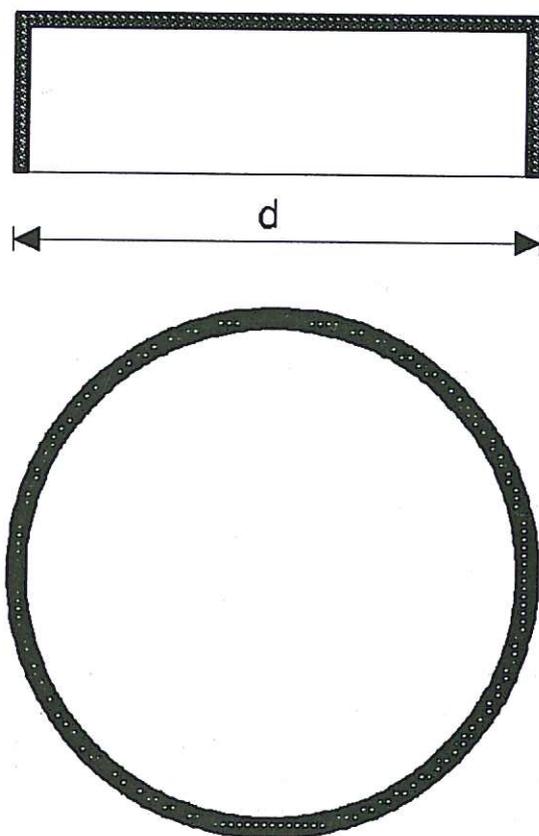


Figura 1 - Schema del pezzo da qualificare

Il metodo statistico messo a punto ed adottato

camente molto difficile, non assicura la soddisfazione del cliente: egli, infatti, è interessato soltanto al prodotto, alle sue caratteristiche e non al processo produttivo.

Nella nostra esperienza ci è sembrato più opportuno seguire il secondo approccio.

Per spiegare il metodo ci serviremo dell'esempio esposto nel seguito. Supponiamo di dovere produrre per stampaggio il pezzo riportato in Figura 1. Tale pezzo viene prodotto con uno stampo di dodici cavità.

La domanda che ci si pone è: *quali e quanti controlli dobbiamo effettuare per assicurare che i pezzi prodotti siano in linea con le specifiche, per calcolare la capacità del processo e per settare i parametri di produzione?*

Nella pratica industriale si trovano le risposte più svariate a tale quesito. Molti produttori si basano sulla loro "esperienza" o sui loro "esperti" e considerano sufficiente testare una decina di pezzi per cavità per decidere la qualificazione dello stampo. Altri preferiscono puntare sui "grandi numeri" e passano a setaccio il 100%, o quasi, della produzione di alcune ore per assicurarsi che il valore medio, minimo e massimo di una certa caratteristica sia all'interno dei valori di specifica. Altri ancora basano i loro controlli sul prodotto finito ricorrendo a piani di campionamento di accettazione con diversi livelli di errore accettabile (AQL).

Il metodo qui proposto ha il vantaggio di essere dinamico in quanto:

- punta la sua attenzione sul prodotto ed il processo che lo produce;
- analizza il prodotto in un arco di tempo piuttosto lungo;
- cerca il bilanciamento continuo di qualità, costi e tempi,

Tutti questi metodi, hanno il difetto di essere statici e di analizzare il prodotto solo in un tempo limitato di avvio della produzione.

Dimensione: d

		Numero della cavità											
Tempo (min)		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12
SHOTS	0	28.77	30.56	31.45	29.39	30.28	31.50	28.14	30.78	29.18	32.58	30.45	29.47
	15	30.21	29.55	30.21	28.47	29.25	29.65	29.25	30.96	31.16	29.61	28.42	29.38
	30	27.87	31.49	29.38	30.74	31.84	28.43	31.03	29.92	30.23	31.59	29.19	29.87
	45	29.01	30.34	28.96	31.95	29.71	27.75	29.94	30.73	29.06	30.40	28.24	28.27
	60	28.85	29.96	29.83	29.93	29.51	30.11	29.23	30.52	29.60	31.43	31.23	30.13
	Media	28.94	30.38	29.96	30.10	30.12	29.49	29.52	30.58	29.85	31.12	29.50	29.43
	Min	27.87	29.55	28.96	28.47	29.25	27.75	28.14	29.92	29.06	29.61	28.24	28.27
	Max	30.21	31.49	31.45	31.95	31.84	31.50	31.03	30.96	31.16	32.58	31.23	30.13
	Range	2.33	1.94	2.49	3.48	2.59	3.76	2.89	1.04	2.10	2.98	2.99	1.86
	Sdev	0.83	0.73	0.95	1.33	1.03	1.47	1.06	0.40	0.87	1.15	1.30	0.71

Singolo valore o media di due o più shots consecutivi

Figura 2 - Raccolta dei dati nella fase di start-up

mediante un procedimento di apprendimento continuo, per cui gli sforzi sono concentrati solo lì dove portano dei benefici.

I principali benefici del metodo sono:

- riduzione del numero delle prove (e quindi dei costi),
- riduzione del tempo di avvio della produzione,
- aumento del livello di qualità,
- maggiore affidabilità del processo produttivo,
- migliore comprensione dei fattori che influenzano il processo.

Il metodo proposto si articola in tre fasi:

1. start-up;
2. Qualificazione;
3. verifica.

Ognuna delle tre fasi si articola nei seguenti passi operativi:

- a) scelta delle caratteristiche (dimensioni o performance) da controllare;
- b) campionamento;
- c) analisi statistica dei dati.

Nella fase di start-up si cerca di rispondere alle domande:

- tutte le cavità dello stesso stampo producono pezzi "uguali"?
 - tutte le cavità appartenenti a stampi diversi producono pezzi "uguali"?
- a) Innanzi tutto bisogna procedere alla selezione delle caratteristiche (dimensionali o di performance) da controllare; vari metodi possono essere usati:
- richiesta specifica del cliente;

Le tre fasi di
applicazione della
metodologia proposta

La fase di start-up

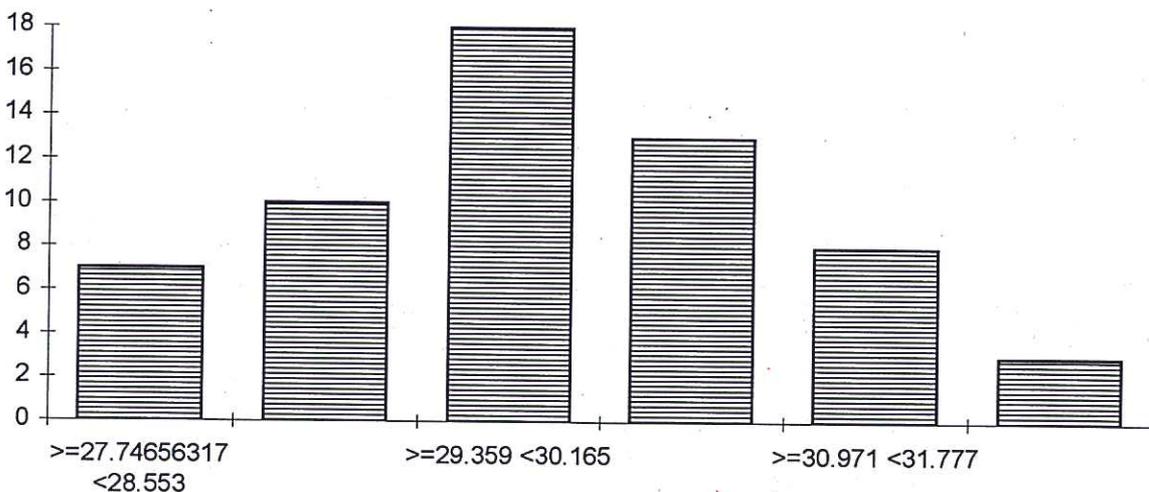


Figura 3 - Istogramma per analizzare i dati raccolti nella fase di start-up

- classificazione delle caratteristiche/difetti mediante un indice di severità;

- classificazione delle caratteristiche a seconda del loro impatto sulla funzionalità o sull'estetica.

b) Quindi dopo avere avviato la produzione per un tempo sufficiente affinché tutti i parametri di settaggio abbiano raggiunto uno stato stazionario, si può procedere al prelievo di una o più serie di pezzi prodotti nello stesso ciclo di stampaggio (shot). Si continua poi con un prelievo ogni 15 minuti per il periodo di un ora.

Alla fine del tempo di prelievamento T_p ($t_1+t_2+ \dots +t_i$) avremo un numero di campioni pari a: (cf. Figura 2)

$$N = M \times S \times C$$

con:

M: numero degli stampi

S: numero degli shot

C: numero delle cavità

c) Con il numero N di misure si può costruire un istogramma (figura 3) per analizzare se la distribuzione è di tipo normale. In caso di distribuzione anomala vanno ricercate le cause prima di procedere oltre.

Come detto, dobbiamo innanzi tutto verificare se tutte le cavità possono essere considerate "statisticamente uguali". Per fare ciò possiamo usare gli strumenti classici del controllo statistico di processo: le carte di controllo \bar{X} e R. I limiti di controllo (UCL e LCL) riportati sulle carte ci permettono di separare le cause di variabilità naturale da quelle accidentali. Tutto quello che ricade entro i limiti di controllo rientra nella variabilità naturale e può considerarsi statisticamente uguale.

Se raggruppiamo tutte le osservazioni provenienti da una cavità possiamo costruire le carte di controllo \bar{X} e R (figura 4).

In effetti queste non sono delle vere carte di controllo in quanto l'ascissa rappresenta soltanto una cavità di riferimento e non una successione temporale e quindi l'andamento del valore di \bar{X} secondo la successione delle cavità non ha alcun significato.

Se la carta \bar{X} è "in controllo" significa che le medie dei valori relativi a campioni provenienti da diverse cavità sono statisticamente uguali. Se un punto è fuori controllo vuol dire che qualche cavità è oggetto di un problema specifico che deve essere risolto (il problema può riguardare sia la cavità sia il processo).

Se la carta R è in controllo vuol dire che nel tempo T_p preso in esame tutte le cavità sviluppano la stessa variabilità naturale. Se la carta R non è in controllo, e siamo sicuri che non vi sono errori di misura, c'è una particolare cavità che è diversa dalle

La sequenza di prelievamento campioni è la seguente:

$t_1=0'$

$t_2=15'$

$t_3=30'$

$t_4=45'$

$t_5=60'$

S1, S2, S3, S4, S5 sono i relativi shot.

La variabilità è una legge di natura: non esistono due oggetti identici. La variabilità può riscontrarsi all'interno dello stesso pezzo, tra pezzi diversi o nel tempo.

La variabilità in un processo produttivo può essere determinata dalla macchina, dal materiale, dall'ambiente o dall'operatore.

La variabilità che fluttua in maniera casuale è detta "naturale"; mentre la variazione di notevole entità che può essere identificata è detta "accidentale".

L'impiego delle carte di controllo di tipo convenzionale

altre per la variabilità che produce nel tempo T_p .

In base ai dati fin qui raccolti si può calcolare in via preliminare la capability del processo (C_p e C_{pk}).

Superata la fase di start-up si può iniziare quella di "qualificazione", nel corso della quale occorre trovare le risposte alle due domande:

- è il processo sotto controllo?
- la caratteristica (o le caratteristiche) scelta è all'interno dei limiti di specifica?

a) Come già visto precedentemente bisogna selezionare, an-

La fase di qualificazione

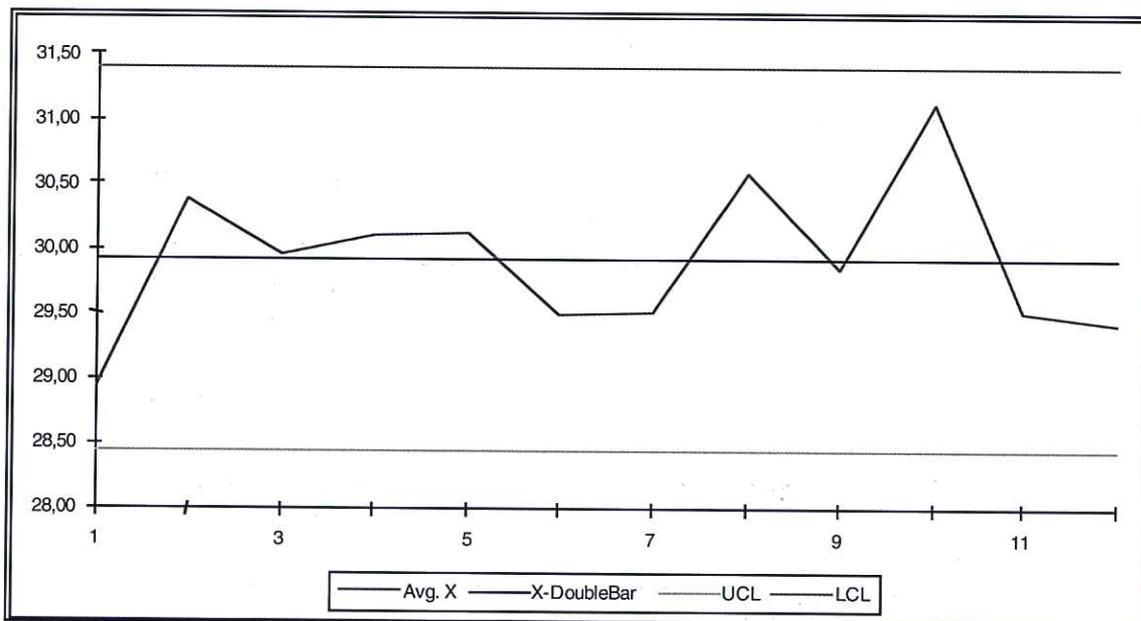
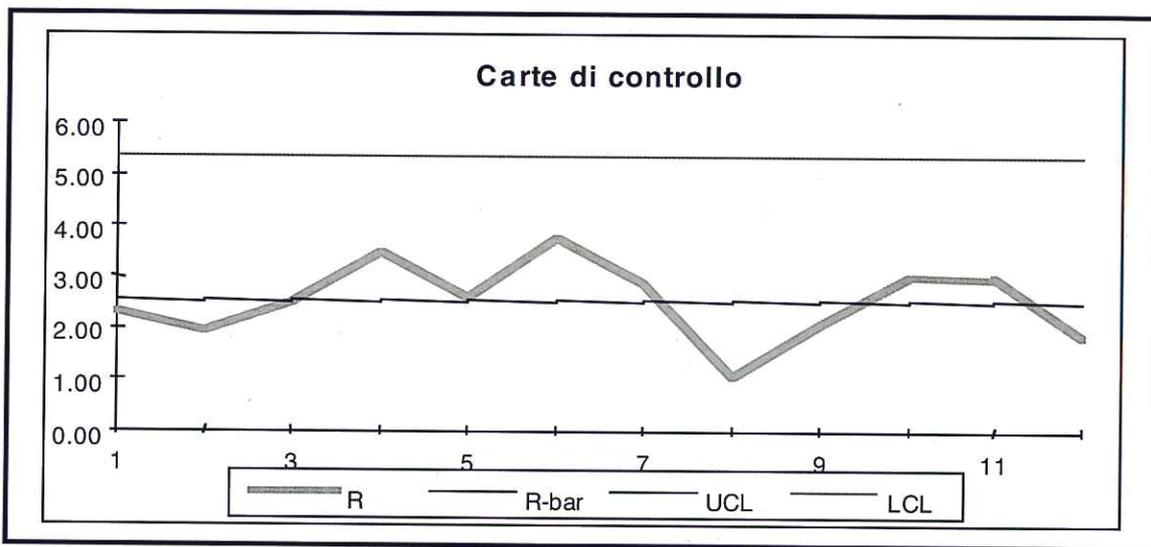


Figura 4 - Istogramma per analizzare i dati raccolti nella fase di start-up

che in base ai risultati ottenuti nella fase di start-up, le caratteristiche dimensionali o di performance da analizzare. In questa fase si possono eliminare dall'analisi le caratteristiche poco critiche o sufficientemente sotto controllo già nella fase di start-up.

b) Ad intervalli regolari di 30 minuti si effettua il prelievo dei campioni provenienti da uno shot (Figura 5).

c) Tutti i pezzi sono stati prodotti nello stesso istante e quindi con caratteristiche simili, pertanto la media di tutti i valori di una certa caratteristica riferita alle varie cavità può essere considerata rappresentativa della variabilità del processo.

Con i dati raccolti si può procedere alla costruzione delle carte \bar{X} e R (Figura 6). È noto che una buona carta \bar{X} o R richiede almeno 25 sottogruppi e nel caso del nostro esempio può essere una buona indicazione un intervallo di prelievamento di 30 minuti per 16 ore (corrispondenti in genere a due turni di produzione). La carta R indica la variabilità all'interno dello stesso shot, mentre la carta \bar{X} indica la variabilità dello shot nel tempo. Se nella carta \bar{X} si notano punti fuori controllo vuol dire che in un dato istante le cavità all'interno dello stesso shot non si sono comportate allo stesso modo: un errore di misura o un problema accidentale occorso sul processo possono esserne le cause.

Se il processo è sotto controllo e la distribuzione è normale si può procedere al calcolo degli indici di capability C_p e C_{pk} . Se la qualificazione è superata, i limiti di controllo delle carte rimangono fissati per i futuri controlli.

Scopo della fase di verifica è quello di trovare una risposta ai quesiti:

- è il processo sotto controllo nel lungo periodo?
- tutte le caratteristiche selezionate sono entro i limiti di specifica nel lungo periodo?

Se la dimensione del sottogruppo (cioè del numero delle cavità dello stampo) supera il numero di 10 sarebbe consigliabile passare dalla carta R alla carta s (deviazione standard) che tiene meglio conto della dispersione dei valori all'interno del sottogruppo.

La fase di verifica

Shot	Tempo (h)	Numero della cavità												Media	Min	Max	Range	Stdev	
		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12						
1	0,00	30,52	30,59	30,50	30,46	30,57	30,56	30,55	30,57	30,56	30,49	30,59	30,59	30,55	30,46	30,59	0,13	0,04337	
2	1,00	30,50	30,51	30,53	30,50	30,57	30,55	30,50	30,59	30,58	30,58	30,57	30,53	30,54	30,50	30,59	0,09	0,03494	
3	2,00	30,52	30,64	30,62	30,58	30,58	30,54	30,60	30,56	30,58	30,64	30,58	30,59	30,59	30,52	30,64	0,12	0,03651	
4	3,00	30,54	30,54	30,54	30,57	30,52	30,54	30,55	30,52	30,57	30,60	30,57	30,58	30,55	30,52	30,60	0,08	0,02462	
5	4,00	30,52	30,55	30,62	30,56	30,55	30,56	30,52	30,53	30,53	30,55	30,60	30,53	30,55	30,52	30,62	0,10	0,03099	
6	5,00	30,53	30,52	30,56	30,54	30,54	30,54	30,49	30,48	30,54	30,53	30,65	30,56	30,54	30,48	30,65	0,17	0,04221	
7	6,00	30,55	30,59	30,54	30,56	30,57	30,53	30,52	30,53	30,56	30,54	30,63	30,55	30,56	30,52	30,63	0,11	0,03029	
-	-	-	-	-	-	(omissis)						-	-	-	-	-	-	-	-
27	13,30	30,53	30,54	30,53	30,52	30,52	30,51	30,50	30,53	30,53	30,50	30,59	30,51	30,53	30,50	30,59	0,09	0,02392	
28	14,00	30,53	30,56	30,56	30,45	30,58	30,52	30,49	30,54	30,53	30,56	30,64	30,52	30,54	30,45	30,64	0,19	0,04710	
29	14,30	30,52	30,64	30,62	30,58	30,58	30,54	30,60	30,60	30,56	30,58	30,64	30,58	30,59	30,52	30,64	0,12	0,03651	
30	15,00	30,54	30,54	30,54	30,57	30,52	30,54	30,55	30,52	30,57	30,60	30,57	30,58	30,55	30,52	30,60	0,08	0,02462	
32	15,30	30,52	30,55	30,62	30,56	30,55	30,56	30,52	30,53	30,53	30,55	30,60	30,53	30,55	30,52	30,62	0,10	0,03099	
32	16,00	30,55	30,56	30,51	30,49	30,55	30,54	30,52	30,55	30,53	30,52	30,63	30,52	30,54	30,49	30,63	0,14	0,03502	
Media		30,53	30,56	30,56	30,53	30,55	30,54	30,53	30,55	30,55	30,55	30,61	30,55	30,55	30,45	30,65			

Figura 5 - Raccolta dati nella fase di qualificazione

a) A questo stadio avendo già fissati i parametri di processo si potranno prendere in esame solo le caratteristiche estremamente critiche. Per le altre dimensioni possono essere impiegati piani di controllo meno severi basati anche sull'esperienza passata sul processo.

b) Tutti i pezzi provenienti dalle varie cavità vengono considerati come un lotto omogeneo e si procede alla costruzione delle carte \bar{X} e R. L'intervallo di prelevamento dovrebbe essere di non meno di 1 ora per catturare le variazioni nel lungo periodo; per variabili poco critiche si può assumere anche 2 o 4 ore come intervalli di prelevamento. Tale controllo dovrebbe essere effettuato per almeno 6-8 settimane di produzione continua per tenere conto delle variazioni che si possono avere nel processo produttivo a causa di vari cambiamenti (diversi lotti di materia-

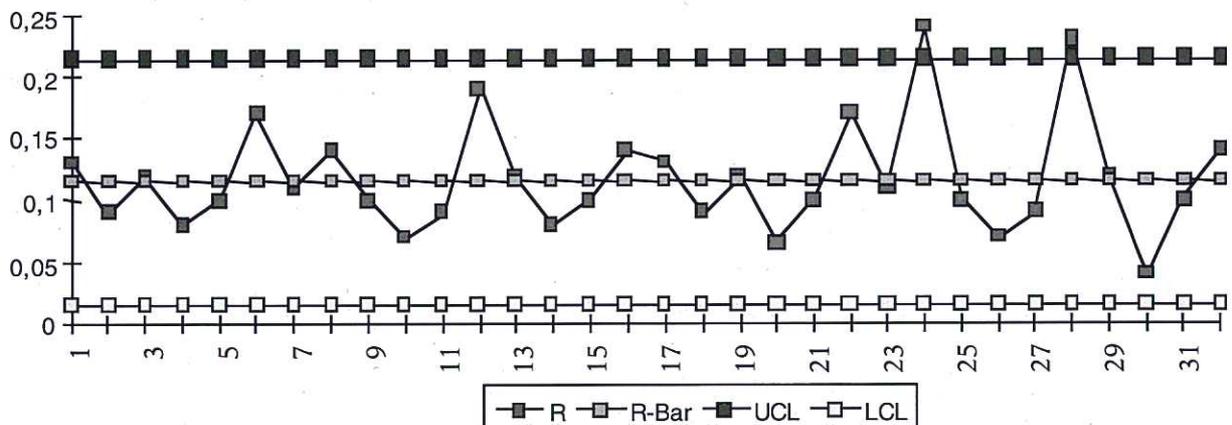
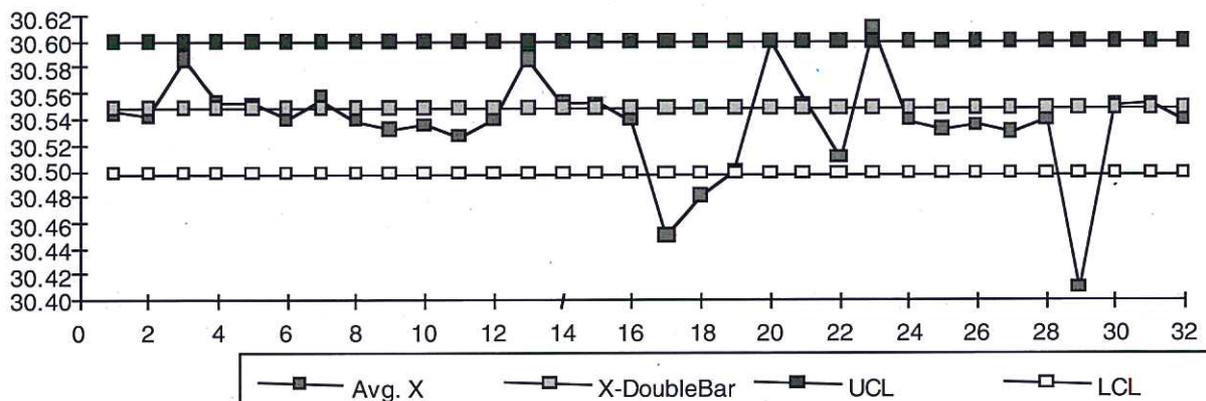


Figura 6 - Carte di controllo per analizzare i dati raccolti nella fase di qualificazione

li, diversi operatori, affidabilità dei sistemi di controllo delle macchine, ecc.).

c) L'analisi delle carte \bar{X} e R è la stessa prima menzionata, utilizzando come riferimento ai limiti di controllo fissati durante la qualificazione. Con i dati ricavati si calcola l'indice di capacità del processo su scala giornaliera o settimanale per procedere alle opportune regolazioni (Figura 7).

Nella fase di start-up la precisione dell'analisi aumenta se anziché prendere un solo shot preleviamo 2 o più shot consecutivi. Ciascun valore della Figura 7 è la media di più valori e quindi è più rappresentativo del processo.

L'intervallo di prelevamento t_p ed il tempo di campionamento T_p possono essere variati se è nota qual è la frequenza della variabilità intrinseca del processo. I tempi indicati nell'esposizione del metodo si applicano ai più comuni processi di stampaggio e soffiaggio, ma, ad esempio, possono essere allun-

Alcuni suggerimenti:

1. Numero di shot consecutivi

2. Intervallo di campionamento

All'aumentare dei campioni prelevati aumentano i costi.

Regolazione del Processo

	Cp < 1,33	Cp = 1,33	Cp > 1,33
Cpk < 1,33	<p>Il processo non è adeguato per produrre prodotti all'interno dei limiti di specifica</p> <p>Fermare il processo</p>	<p>Regolare il processo</p> <p>Selezionare la produzione</p> <p>Monitorare il processo</p>	<p>Regolare il processo</p> <p>Selezionare la produzione recente</p>
Cpk = 1,33		<p>Il processo è appena sufficiente</p> <p>Monitorare accuratamente il processo</p>	<p>Come sopra</p>
Cpk > 1,33			<p>Il processo è adeguato ai limiti di specifica ed è correttamente regolato</p>

Figura 7 - Indicazioni per la regolazione del processo

gati nel caso di macchine assai precise che permettono di tenere sotto controllo i parametri di produzione (temperatura, pressione, tempo di iniezione, ecc.) con oscillazioni minime.

3. Numero di campioni

Avendo dimostrato nella fase di start-up, che tutte le cavità sono statisticamente uguali, durante la qualificazione e la verifica si possono considerare non tutti i campioni dello shot ma solo alcuni.

E' preferibile prendere i campioni non in maniera casuale, ma con un certo criterio (le cavità di numero dispari, le cavità 1, 4, 7 ...) per potere sempre ricostruire la storia dei campioni in caso di qualche problema o difetto.

Ad esempio, in uno stampo di 12 cavità si possono analizzare solo i campioni provenienti da 4 o 6 cavità.

4. Distribuzione dei campioni

Il metodo esposto si riferisce ad un processo con distribuzione normale poiché questo è il caso più comune che si presenta nello stampaggio o soffiaggio di materie plastiche, ma il metodo con le opportune modifiche può essere adattato ad altri tipi di distribuzione.

5 Qualificazione di più stampi

Nel caso di qualificazione di più stampi uguali si può: ripetere l'applicazione del metodo per ogni stampo; applicare il metodo ad uno stampo virtuale che ha un numero di cavità pari alla somma delle cavità dei singoli stampi.

Il primo metodo è preferibile quando la produzione viene effettuata su macchine diverse in quanto si acquistano maggiori dati sui singoli processi di produzione.

Infine per concludere un avviso: questo come tutti i metodi statistici va applicato cum grano salis e non meccanicamente. Non perdiamo mai di vista l'obiettivo principale di un sistema di controllo: capire il processo per assicurare la qualità del prodotto e garantire la soddisfazione del cliente.

