

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Corso di laurea triennale in Statistica Gestione delle Imprese

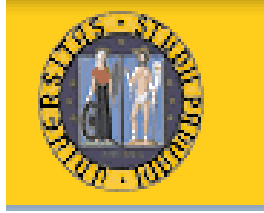
Laureando : Varotto Enrico

Anno Accademico : 2004-2005

Relatore : Chiarissimo Prof.re G. Celant

Titolo : Cenni di Controllo Statistico della Qualita'

- 1. - Prologo**
- 2. - Modelli della qualità del processo**
 - 2.1 – Definizione non formale della variabilità.**
 - 2.1.1 - I grafici rami e foglie.**
 - 2.1.2 - Distribuzione di frequenze e istogramma**
 - 2.1.3 - Distribuzioni di Probabilità**
 - 2.1.4 - Le principali distribuzione**
 - 2.1.5 – Approssimazione fondamentale di distribuzioni –
Il Teorema del Limite Centrale.**
- 3. - Teoria e metodi del controllo statistico di un processo produttivo**
 - 3.1 – Presentazione**
 - 3.2 - Origini di variabilità nella qualità.**
 - 3.3 - Principi statistici delle carte di controllo.**
 - 3.3.1 – Presentazione**
 - 3.3.2 - Selezione dei limiti di controllo**
 - 3.3.3 – Dimensione del campione e frequenza campionaria**
 - 3.4 - Differenti strumenti dei magnifici sette.**
- 4 - Carte di controllo per variabili.**
 - 4.1 - Presentazione**
 - 4.2 - Carte di controllo \bar{x} e R - Principi statistici delle carte di controllo**
 - 4.3 – Direttive per le carte di controllo**
- 5. - Carte di controllo per attributi**
 - 5.1 - Presentazione**
 - 5.2 - Carte di controllo per frazioni di non conformi**
 - 5.2.1 - Costruzione della carta di controllo**
 - 5.3. - Applicazioni non manifatturiere**
 - 5.4 - Direttive per l'applicazione delle carte di controllo**
- 6. - Cenni sui principi di base della programmazione degli esperimenti**
- 7. - Conclusioni**



Cenni di CONTROLLO STATISTICO DELLA QUALITA'

1. - Prologo

Questa tesina concerne l'impiego di metodi e di altre tecniche statistiche per la soluzione di problemi, finalizzati al miglioramento della qualità dei processi e dei prodotti .

Come enunciato nelle norma ISO 9001 nel punto 20 della suddetta si inseriscono nell'ambito della valutazione della qualità strumenti e tecniche di natura statistica finalizzate al miglioramento della qualità.

L'idea di miglioramento della qualità non riguarda solo ed unicamente prodotti di tipo industriale ma può trovare applicazione anche nei servizi del settore terziario quali la produzione di energia elettrica , il trasporto pubblico, l'attività bancaria o il servizio sanitario e tante altre attività produttive sia pubbliche che private.

Questa tesina cerca di presentare strumenti e metodi necessari per ottenere un miglioramento della qualità in tutti gli ambiti produttivi: da quello manifatturiero a quello della progettazione industriale, dalla finanza al marketing, fino al campo dei servizi.

La definizione classica sul concetto della qualità si basa sul presupposto che beni e servizi devono soddisfare le richieste di coloro che li utilizzano, ciò significa che la qualità deve essere appropriata all'uso. Ci sono due aspetti generali dell'essere appropriata all'uso: la qualità di progetto e la conformità alle normative.

Le tecniche della qualità sono un insieme di attività, operative, gestionali e tecnologiche, che un'azienda attua per assicurarsi che le caratteristiche di qualità di un prodotto siano quelle di livello nominale o richieste.

Molte aziende trovano difficile produrre e fornire agli acquirenti prodotti con caratteristiche di qualità che siano sempre uguali o le stesse perché è presente la variabilità nei processi produttivi, cui consegue che non sono mai presenti due prodotti uguali.

Poiché lo studio della variabilità è di competenza della statistica, sono fondamentali i metodi statistici per descrivere i processi produttivi. La classificazione dei dati avviene a seconda delle caratteristiche del processo produttivo analizzato e si distinguono perciò in caratteristiche di qualità attributi e variabili.

Le caratteristiche della qualità sono spesso valutate in relazione alle specifiche, ad esempio per un prodotto manifatturiero le specifiche sono le misure stabilite per alcune caratteristiche tangibili dei componenti e dei sottocomponenti che costituiscono il prodotto, come pure i valori desiderati per le caratteristiche di qualità del prodotto finale.

Il valore di misura che corrisponde al valore desiderato per una caratteristica di qualità è definito il valore nominale o per quella caratteristica. Si definiscono altresì il maggiore valore ammissibile o accettabile per una caratteristica che è definito il limite di specifica superiore (Upper specification limit-USL) e il valore minore accettabile per una caratteristica di qualità definito limite di specifica inferiore (Lower specification limit-LSL). Generalmente i prodotti che non rientrano nei limiti per alcune caratteristiche si definiscono non conformi alle specifiche e vengono scartati a seconda del grado di rilevanza della non conformità

Negli ultimi cinquant'anni l'idea di qualità è stata intesa soprattutto come capacità di un bene prodotto di soddisfare determinate prestazioni o requisiti, da definire a priori e da misurare in una forma in qualche modo oggettiva sulla base di difettosità del singolo bene o, più propriamente, in riferimento alla omogeneità della produzione in un determinato periodo di tempo. A questa visione, che privilegia gli aspetti tecnici e manifatturieri, si possono collegare le tecniche organizzative riguardanti la qualità e l'impiego degli strumenti statistici che si riferiscono ai piani di campionamento in fase di accettazione e collaudo, da un lato, e alla verifica dello stato di regolarità del processo di produzione, dall'altro, dando origine a quell'apparato di metodi e di tecniche noto con il nome di Controllo Statistico della Qualità (SPC, *Statistical Quality*

Control), alla cui iniziale formulazione ha contribuito il testo di Juran *Quality Control Handbook*.

Fanno parte dei metodi statistici del Controllo Qualità : il controllo statistico di un processo produttivo, la programmazione degli esperimenti e in minor misura il campionamento in accettazione. In questo contesto svilupperò soprattutto l'analisi del controllo statistico di un processo produttivo e non il campionamento in accettazione, mentre per la programmazione degli esperimenti si rimanda ad un'evoluzione a corsi più specifici anche se ne darò alcuni cenni.

La carta di controllo è una delle principali tecniche adottate per il controllo statistico di un processo produttivo o in sintesi SPC. Un esempio può essere specificato dal seguente

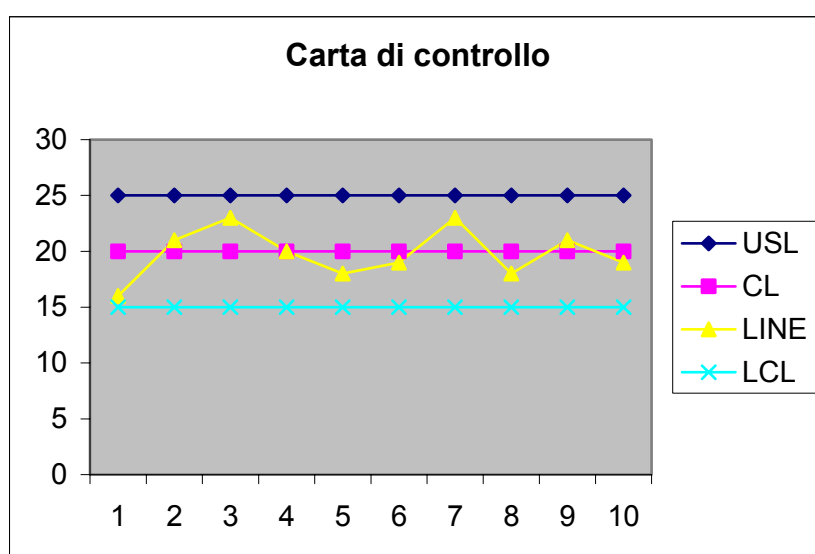


grafico in cui si riportano i valori medi delle misurazioni fatte su una caratteristica di qualità misurata con campioni in funzione del tempo. La carta ha una **linea centrale (CL)** e **limiti di controllo superiore e inferiore (UCL e LCL)**. La linea centrale indica il punto dove dovrebbe posizionarsi la caratteristica del processo produttivo se non fossero presenti fonti di variabilità anomale, mentre i limiti di controllo sono stati individuati sulla base delle semplici considerazioni statistiche che verranno presentate in seguito. Specificamente le carte di controllo vengono applicate a variabili in uscita in un sistema, anche se in alcuni casi possono essere utilizzate per variabili in entrata.

La carta di controllo è un utile tecnica per il monitoraggio del processo e un utile strumento per ridurre la variabilità del processo. Infatti, quando sono presenti fonti di variabilità anomale, può accadere di osservare alcuni punti al di fuori dei limiti di controllo: questa è un'indicazione della necessità di effettuare indagini per rimuovere e correggere gli eventuali errori intervenuti.

Un esperimento programmato è invece estremamente utile per scoprire quali sono state le variabili che hanno maggiormente influenzato la realizzazione del livello qualitativo osservato e per sapere in che misura è esso influenzato dalle variazioni di livello dei fattori studiati. Questo strumento è quindi essenziale per ridurre la variabilità nel livello della qualità del prodotto e nel determinare i livelli che devono assumere le variabili controllabili per avere una resa ottimale.

Il campionamento in accettazione è strettamente legato all'analisi e alla verifica del prodotto finito o delle materie prime impiegate. Il campionamento in accettazione è definibile come l'ispezione e la classificazione di un campione di unità, selezionate a caso da un lotto, per la valutazione della qualità dello stesso lotto. Si possono distinguere tre fasi di ispezione, ispezione realizzata immediatamente dopo la produzione e prima della consegna al cliente, l'ispezione in entrata, ovvero quando il controllo dei pezzi è effettuato prima della loro acquisizione, ed ispezione di rettifica, quando cioè i campioni esaminati possono portare all'accettazione o al rifiuto del lotto e in quest'ultimo caso i pezzi esaminati possono essere sottoposti a un'ulteriore lavorazione, o scartati.

2. - Modelli della qualità del processo

2.1 – Definizione non formale della variabilità.

2.1.1 - I grafici rami e foglie.

Due unità di un bene prodotto da un processo produttivo non sono mai identiche, qualche variazione è inevitabile. Ad esempio il contenuto netto di lattine di una bibita varia da confezione a confezione, la tensione ai morsetti di una pila elettrica non è la stessa da una unità ad un'altra, lo stesso dicasi per il tranciamento di due tondini, le prove su cubetti di calcestruzzo, i valori di miscela di una bibita, ed ancora i controlli sulla potabilità dell'acqua, la misura non è mai la stessa. In questa prospettiva possiamo considerare la statistica come la scienza che dall'analisi dei dati trae delle conclusioni prendendo in considerazione la presenza della variabilità dei dati stessi. Ci sono diversi metodi grafici utili per sintetizzare e presentare i dati osservati che possono considerarsi un'indagine preliminare, fra queste tecniche vi è quella costituita dai grafici 'rami' e 'foglie' (**Stem and leaf plot**). Questa tecnica consiste che i dati vengano rappresentati mediante $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ e che ciascun numero x_i sia composto di almeno due cifre. Per ottenere un grafico 'rami foglie', si suddividano le cifre del numero x_i in due parti: l'una costituita da una o più cifre iniziali, il ramo; l'altra costituita dalle rimanenti foglie. Consideriamo l'esempio seguente di una produzione settimanale di bulloni indicati nella tabella seguente:

Settimana	Produzione	Settimana	Produzione
1	48	21	68
2	53	22	65
3	49	23	73
4	52	24	88
5	51	25	69
6	52	26	83
7	63	27	78
8	60	28	81
9	53	29	86
10	64	30	92
11	59	31	75
12	54	32	85
13	47	33	81
14	49	34	77
15	45	35	82

Cenni di Controllo Statistico della Qualità

16	<i>64</i>	36	<i>76</i>
17	<i>79</i>	37	<i>75</i>
18	<i>65</i>	38	<i>91</i>
19	<i>62</i>	39	<i>73</i>
20	<i>60</i>	40	<i>92</i>

Rami	Foglie	Frequenza
4	8 9 7 9 5	<i>5</i>
5	3 2 1 2 3 9 4	<i>7</i>
6	3 0 4 4 5 2 0 8 5 9	<i>10</i>
7	9 3 8 5 7 6 5 3	<i>8</i>
8	8 3 1 6 5 1 2	<i>7</i>
9	2 1 2	<i>3</i>

Il 50-esimo percentile della distribuzione dei dati osservati è detto mediana campionaria \underline{x} . La mediana può interpretarsi come quel valore che separa il campione in due metà di cui una è costituita dai valori inferiori e l'altra dai valori superiori ad esso. Il primo quartile, in analogia con quanto detto sulla mediana, è l'osservazione di rango 25%, mentre il terzo quartile, sempre con riferimento al concetto di mediana, è l'osservazione di rango 75 %. Avendo indicati con Q1 e Q3 rispettivamente il primo e il terzo quartile, la differenza interquartile (interquartile range), in simboli $IQR = Q3 - Q1$. Benché la rappresentazione mediante il grafico rami foglie sia un'ottima modalità per visualizzare la variabilità dei dati, essa non tiene conto dell'ordine temporale con cui vengono effettuate le osservazioni. Spesso però il tempo è un fattore importante che contribuisce alla variabilità, in particolare nei problemi che riguardano il miglioramento della qualità. Si potrebbe costruire un grafico che presenti i valori osservati in funzione del tempo; tale grafico è definito grafico della serie storica dei dati. Un metodo utile consiste nel combinare le procedure dei grafici delle serie storiche e quelli di rami e foglie, superando così limiti delle singole rappresentazioni, e ottenendo il cosiddetto **grafico digidot**.

2.1.2 - Distribuzione di frequenze e istogramma

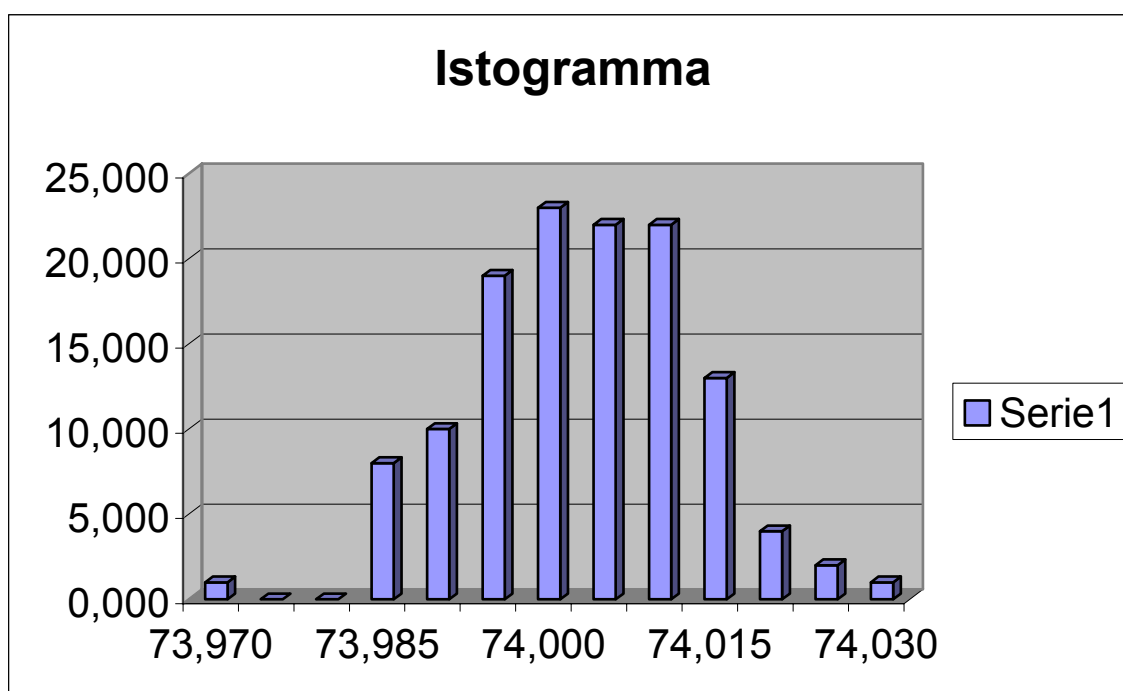
La tabella presenta 125 osservazioni relative al diametro interno delle fasce elastiche per pistoni di un motore automobilistico.

Numero del campione	osservazioni				
1	74,030	74,002	74,019	73,992	74,008
2	73,995	73,992	74,001	74,011	74,004
3	73,988	74,024	74,021	74,005	74,002
4	74,002	73,996	73,993	74,015	74,009
5	73,992	74,007	74,015	73,989	74,014
6	74,009	73,994	73,997	73,985	73,993
7	73,995	74,006	73,994	74,000	74,005
8	73,985	74,003	73,993	74,015	73,988
9	74,008	73,995	74,009	74,005	74,004
10	73,998	74,000	73,990	74,007	73,995
11	73,994	73,998	73,994	73,995	73,990
12	74,004	74,000	74,007	74,000	73,996
13	73,983	74,002	73,998	73,997	74,012
14	74,006	73,967	73,994	74,000	73,984
15	74,012	74,014	73,998	73,999	74,007
16	74,000	73,984	74,005	73,998	73,996
17	73,994	74,012	73,986	74,005	74,007
18	74,006	74,010	74,018	74,003	74,000
19	73,984	74,002	74,003	74,005	73,997
20	74,000	74,010	74,013	74,020	74,003
21	73,988	74,001	74,009	74,005	73,996
22	74,004	73,999	73,990	74,006	74,009
23	74,010	73,989	73,990	74,009	74,014
24	74,015	74,008	73,993	74,000	74,010
25	73,982	73,984	73,995	74,017	74,013

I dati sono raggruppati in 25 campioni con cinque osservazioni ciascuno. Si noti che vi è una certa variabilità tra i diametri delle fasce elastiche.

73,965	< x <	73,970	1,000	1,000	0,008
73,975	< x <	73,975	0,000	1,000	0,000
73,980	< x <	73,980	0,000	1,000	0,000
73,985	< x <	73,985	8,000	9,000	0,064
73,990	< x <	73,990	10,000	19,000	0,080
73,995	< x <	73,995	19,000	38,000	0,152
74,000	< x <	74,000	23,000	61,000	0,184
74,050	< x <	74,050	22,000	83,000	0,176
74,010	< x <	74,010	22,000	105,000	0,176
74,015	< x <	74,015	13,000	118,000	0,104
74,020	< x <	74,020	4,000	122,000	0,032
74,025	< x <	74,025	2,000	124,000	0,016
74,030	< x <	74,030	1,000	125,000	0,008
Σ			125,000		1,000

Una distribuzione di frequenza è una rappresentazione dei dati secondo la grandezza. E' un sommario più compatto dei dati rispetto alla raffigurazione rami e foglie. Un grafico delle frequenze osservate in funzione dei diametri delle fasce è mostrato da questa rappresentazione ed è detto **istogramma**.



L'istogramma costituisce una rappresentazione visiva dei dati in cui si possono più facilmente identificare tre proprietà:

- la forma,
- la posizione centrale,
- la dispersione.

E' utile disporre anche di indicatori numerici della tendenza centrale e della dispersione. Date delle osservazioni di un campione x_1, x_2, \dots, x_n ; la piu' importante misura di tendenza centrale in un campione è la media campionaria uguale a $\bar{x} = \sum x_i / n$ con n numerosita' campionaria. La **media campionaria** è semplicemente la media aritmetica delle n osservazioni del campione. Possiamo dire che la media campionaria rappresenta il punto baricentrico della massa delle osservazioni campionarie. La variabilità presente nel campione è misurata dalla varianza campionaria $S = \sum (x_i - \bar{x})^2 / (n-1)$. Si osservi che la varianza è semplicemente la somma dei quadrati degli scarti di ogni osservazione dalla media campionaria \bar{x} divisa per la numerosità campionaria meno uno. Se non c'è variabilità nel campione, per ogni osservazione si ha $x_i = \bar{x}$; allora l'indicatore assumerà valore 0. In generale quanto più grande è la varianza campionaria tanto maggiore risulta la variabilità presente nelle osservazioni campionarie. Viene comodo impiegare la deviazione standard campionaria radice quadrata della varianza perché essa risulta espressa nelle stesse unità di misura delle osservazioni.

2.1.3 - Distribuzioni di Probabilità

Un campione è un insieme di elementi scelti da una popolazione più ampia. Utilizzando metodi statistici si è in grado di analizzare i dati del campione di diametri di fascia fasce per pistone e trarre delle conclusioni in merito al processo di produzione di tali fasce. Una distribuzione di probabilità è un modello matematico che collega il valore della variabile alla probabilità che tale valore si trovi all'interno della popolazione. In altri termini, potremmo considerare il diametro di una fascia di pistone come una variabile casuale, poiché esso assume valori diversi nella popolazione in conseguenza di meccanismi casuali, e pertanto la distribuzione di probabilità del diametro dell'anello indica la probabilità che un dato valore del diametro si trovi entro la popolazione medesima. Si distinguono due tipi di distribuzioni di probabilità a seconda delle osservazioni e precisamente continue e discrete.

2.1.4 - Le principali distribuzione

TAVOLA A
Distribuzioni notevoli.

Distribuzione	Densità o probabilità	Domínio	Media	Varianza	Funzione caratteristica
Binomiale	$P_k = \binom{n}{k} \theta^k (1-\theta)^{n-k};$ $0 < \theta < 1$	$k = 0, 1, \dots, n$	$n\theta$	$n\theta(1-\theta)$	$(1-\theta + \theta e^{it})^n$
Poisson	$P_k = \frac{m^k}{k!} e^{-m}$	$k = 0, 1, 2, \dots$	m	m	$e^{m(e^{it}-1)}$
Uniforme discreta	$P_{x_k} = \frac{1}{b};$ $b \geq 1$	x_1, x_2, \dots, x_b	$\frac{\sum x_i}{b}$	$\frac{b \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}{b^2}$	$\frac{1}{b} \sum_{i=1}^b e^{itx_i}$
Geometrica	$P_k = (1-\theta)^k \theta;$ $0 < \theta < 1$	$k = 0, 1, \dots$	$\frac{1-\theta}{\theta}$	$\frac{1-\theta}{\theta^2}$	$\frac{\theta}{1-(1-\theta)e^{it}}$
Binomiale negativa	$P_k = \binom{r+k-1}{k} \theta^r (1-\theta)^k;$ $0 < \theta < 1$	$k = 0, 1, \dots$	$r \frac{1-\theta}{\theta}$	$r \frac{1-\theta}{\theta^2}$	$\left[\frac{\theta}{1-(1-\theta)e^{it}} \right]^r$
Uniforme continua	$f(x) = \frac{1}{b-a};$ $b > a$	$a \leq x \leq b$	$\frac{a+b}{2}$	$\frac{(b-a)^2}{12}$	$\frac{e^{itb} - e^{ita}}{it(b-a)}$
Gaussiana	$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}$	$-\infty < x < \infty$	m	σ^2	$e^{itm - \frac{\sigma^2 t^2}{2}}$
Esponenziale negativa	$f(x) = a e^{-ax};$ $a > 0$	$x \geq 0$	$\frac{1}{a}$	$\frac{1}{a^2}$	$\frac{a}{a-it}$
Laplace	$f(x) = \frac{1}{2b} e^{-\frac{ x-m }{b}}$	$-\infty < x < \infty$	m	$2b^2$	$\frac{e^{itm}}{2b(1+b^2 t^2)}$
Gamma	$f(x) = \frac{1}{\Gamma(n)} a^n x^{n-1} e^{-ax};$ $a > 0$	$x \geq 0$	$\frac{n}{a}$	$\frac{n}{a^2}$	$\left[\frac{a}{a-it} \right]^n$
Chi-quadrato	$f(\chi^2) = \frac{1}{2^{v/2} \Gamma\left(\frac{v}{2}\right)} \cdot$ $(\chi^2)^{\frac{v}{2}-1} e^{-\frac{1}{2}\chi^2}$ ($v =$ gradi di indipendenza)	$\chi^2 \geq 0$	v	$2v$	$\left[\frac{1}{1-2it} \right]^{v/2}$

2.1.5 - Approssimazione fondamentale fra distribuzioni. - Il Teorema del Limite Centrale.

La distribuzione normale è spesso impiegata come modello di probabilità idoneo per una generica variabile casuale. Se x_1, x_2, \dots, x_n sono variabili casuali indipendenti con media μ_i e varianza σ_i^2 , e se $y = x_1 + x_2 + \dots + x_n$ allora la distribuzione $y - \sum \mu_i / (\sigma \sqrt{n})$ tende ad una distribuzione normale di media 0 e varianza 1 $N(0,1)$ per n tendente ad infinito.

3.- Teoria e metodi del controllo statistico di un processo produttivo.

Questo capitoletto ha come scopo d'introdurre due parti. La prima parte è presentare gli strumenti statistici di base del controllo statistico di un processo produttivo(**SPC**, *Statistical Process Control*), noti anche con il nome di '**i magnifici sette**': ne verrà illustrata l'importanza nella ricerca di un effettivo miglioramento della qualità di prodotti e servizi. La seconda parte ha come obiettivo descrivere le basi statistiche delle carte di controllo di SHEWART: si avrà così modo di vedere come la scelta della dimensione campionaria e il posizionamento dei limiti di controllo siano essenziali per il miglioramento della qualità di base e per l'efficacia di una carta di controllo.

3.1 – Presentazione

Perché un prodotto possa soddisfare le esigenze dei consumatori deve essere il risultato di un processo produttivo stabile e ripetibile. Per raggiungere questo scopo il processo deve essere in grado di produrre pezzi tali che la variabilità del valore nominale specifico del prodotto sia la più bassa possibile: il controllo statistico di un processo produttivo è un insieme di potenti strumenti, utili per raggiungere la stabilità del processo e per migliorare la produttività attraverso la riduzione della variabilità.

L'SPC può essere applicato a qualsiasi processo. I sette più importanti strumenti statistici di cui si avvale sono:

1. Istogrammi e grafici 'rami e foglie'
2. Fogli di controllo
3. Grafici di Pareto
4. Diagrammi causa ed effetto
5. Diagrammi sulla concentrazione dei difetti
6. Grafici e dispersione
7. Carte di controllo

Questi strumenti spesso chiamati come si è detto i **magnifici sette**, sono una parte importante dell'SPC. La loro efficacia nel miglioramento della qualità dipende, tuttavia, soprattutto da come il management aziendale assimila e applica tali strumenti: devono essere addestrate all'uso di tali strumenti non solo le persone direttamente dedicate al miglioramento della qualità della produzione, ma anche e soprattutto quelle che dirigono l'azienda. Solo un'applicazione continua e sistematica dei 'magnifici sette', sostenuta dal management, consente di fare di questi strumenti una parte integrante del modo di pensare alla programmazione della produzione e al miglioramento della qualità.

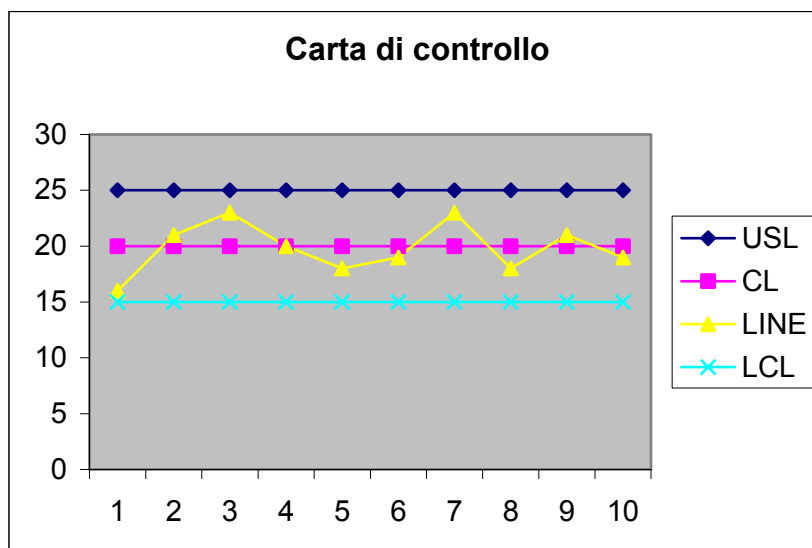
In questo capitoletto presenteremo una rassegna dei magnifici sette e tra questi quello forse più noto: la **carta di controllo**, che fu ideata negli anni Venti da SHEWART dei Bell Telephone Laboratories. Al fine di capire i principi statistici che formano le basi dell'SPC, deve essere innanzitutto introdotta la teoria sulla variabilità così come Shewart l'aveva pensata.

3.2 - Origini di variabilità nella qualità.

Ogni processo produttivo, indipendentemente da quanto ben progettato o ben aggiornato sia, è sempre soggetto ad una certa variabilità intrinseca o naturale. Questa variabilità naturale o rumore di fondo è il risultato dell'effetto cumulato di molti piccoli ma ineliminabili fattori costanti o casuali. Un processo la cui variabilità sia provocata solo da fattori casuali verrà detto sotto controllo.

Tra le varie fonti di variabilità ne esistono tuttavia alcune che influiscono sulla qualità risultante dei prodotti e possono essere solo occasionalmente presenti nel processo produttivo. Sono generalmente dovute a tre fattori principali: macchinari non ben funzionanti, errori dovuti agli operatori o materiali grezzi difettosi. La variabilità prodotta da questi fattori è molto più evidente di quella prodotta da fattori casuali e dà luogo in genere ad una prestazione del processo inaccettabile. Le fonti di variabilità che non sono riconducibili a fattori casuali vengono chiamate '*fattori specifici*'. Un processo che stia funzionando in presenza di fattori specifici verrà detto fuori controllo.

In genere i processi produttivi operano in situazioni di controllo, producendo pezzi di qualità accettabile per lunghi periodi di tempo. Possono tuttavia verificarsi fattori specifici, apparentemente casuali, tali da comportare la produzione di grandi quantità di pezzi non conformi agli standard qualitativi. Ad esempio quello illustrato nella figura seguente, quando il processo è sotto controllo, la maggior parte dei valori della grandezza oggetto di controllo cade tra i limiti di specifica superiore e inferiore (indicati USL e LSL rispettivamente); invece, quando il processo è fuori controllo un elevato numero di determinazioni campionarie cade al di fuori di queste specifiche.



L'obiettivo primario del controllo statistico di un processo produttivo è di individuare il più velocemente possibile il verificarsi di fattori specifici: quanto più veloce è l'individuazione delle cause, tanto prima potranno essere avviate azioni correttive, così da evitare la produzione di molti pezzi di qualità non accettabile. Le carte di controllo sono uno strumento ampiamente usato per questi fini. Vengono inoltre usate per controllare i parametri di un processo e per determinare la capacità del processo stesso. Per ultimo si ricordi che scopo del controllo statistico di un processo è di eliminare la variabilità all'interno del processo stesso: per quanto non sia possibile eliminarla completamente, le carte di controllo costituiscono un efficace strumento per attenuarla il più possibile.

3.3 - Principi statistici delle carte di controllo.

3.3.1 – Presentazione

Una tipica carta di controllo è quella riportata precedentemente che descrive una certa qualità di un prodotto misurata in diversi istanti temporali. La carta riporta una linea centrale che rappresenta il valore medio della qualità, in genere corrispondente al valore desiderato quando il processo è sotto controllo. Le altre due linee orizzontali vengono chiamate limite di controllo superiore (**UCL**, *Upper Control Limit*) e limite di controllo inferiore (**LCL**, *Lower Control Limit*). Questi limiti di controllo vengono scelti in modo tale che, se il processo è sotto controllo, quasi tutti i valori campionari cadranno al loro interno e nessun intervento correttivo sul processo sarà necessario. Se invece un punto cade al di fuori di tali limiti, questo dovrà essere interpretato come un'evidenza del fatto che il processo è fuori controllo e quindi si renderanno necessarie azioni correttive o di indagine sul processo per individuare ed eliminare le cause che hanno portato all'insorgere di quei fattori specifici. Si è soliti unire i punti campionari consecutivi con

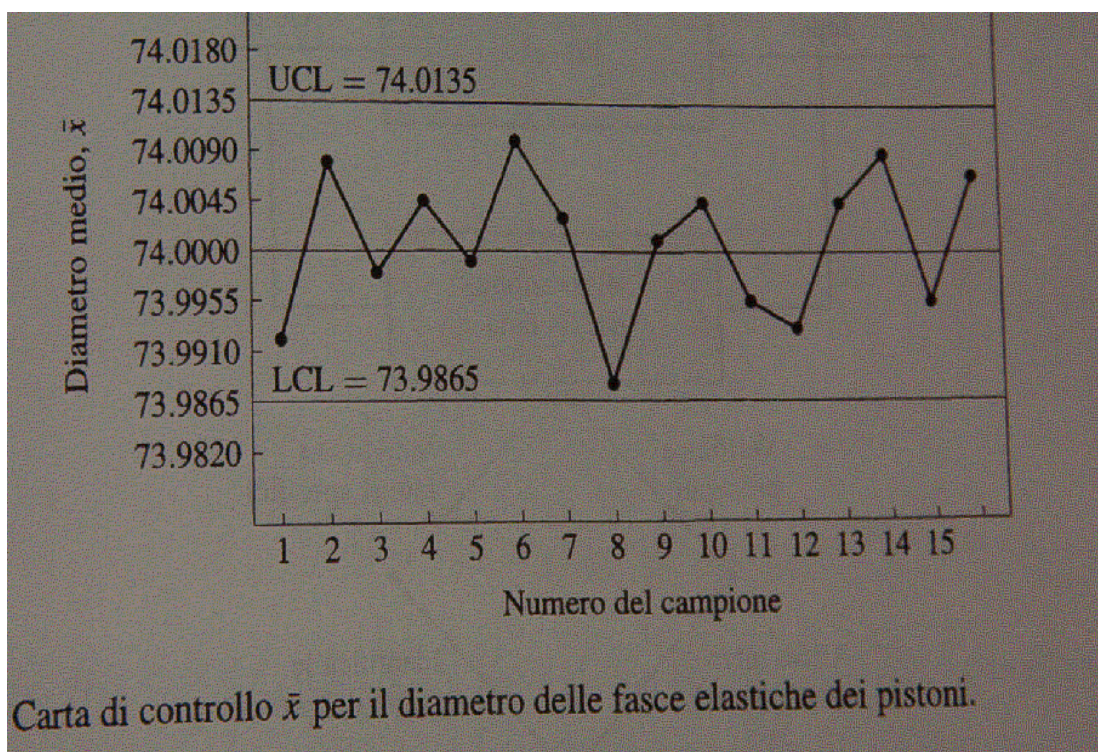
dei tratti continui, così da rendere più facile la visualizzazione dell'evoluzione del processo nel tempo..

Può capitare anche il caso in cui tutti i punti cadono all'interno dei limiti di controllo pur non essendo il processo sotto controllo.

C'è uno stretto legame tra carte di controllo e test d'ipotesi. Per illustrare questo legame, si supponga che l'asse verticale in figura della carta sopra riportato sia la media campionaria \bar{x} . Ora, se il valore osservato di \bar{x} cade tra i limiti di controllo, concluderemo che la media del processo è sotto controllo, cioè pari ad un valore μ_0 . D'altra parte, se \bar{x} supera uno dei limiti di controllo, concluderemo che la media del processo è fuori controllo, ovvero è pari ad un valore diverso da μ_1 diverso da μ_0 . In un certo senso, quindi una carta di controllo è un test per verificare l'ipotesi che il processo è sotto controllo. Un valore di \bar{x} all'interno dei limiti di controllo è equivalente all'accettazione dell'ipotesi che il processo è sotto controllo mentre un valore \bar{x} posto al di fuori dei limiti è equivalente al rifiuto dell'ipotesi statistica di processo sotto controllo.

La teoria relativa ai test d'ipotesi può comunque essere utilizzata per valutare l'efficacia di una carta di controllo. Pensiamo ad esempio alla probabilità dell'*errore di I° tipo* di una carta di controllo(concludere che il processo è fuori controllo quando è sotto controllo) e probabilità dell'*errore di II° tipo*(concludere che il processo è sotto controllo quando non lo è).

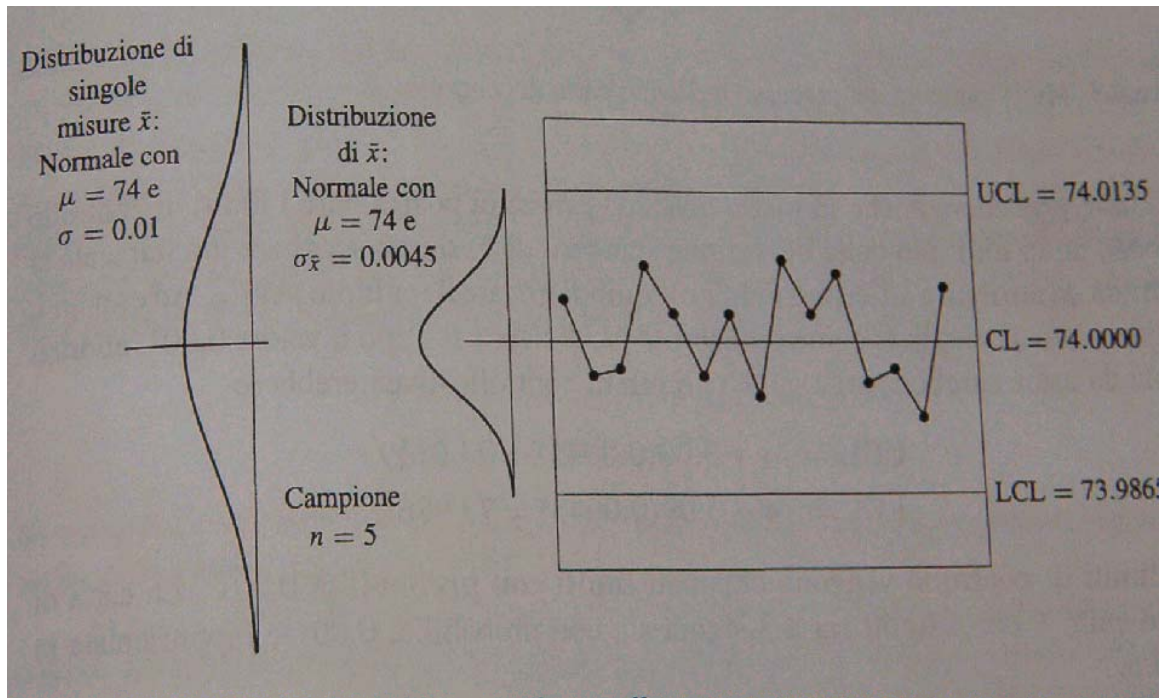
Un esempio di carta di controllo sulla media del diametro dei pistoni viene riportata nella figura seguente. A ogni ora un campione casuale composto da 5 unità viene analizzato; sui dati viene calcolato il valore medio \bar{x} del diametro, quindi riportato in grafico. Poiché questa carta utilizza la media campionaria per monitorare il processo, viene in genere chiamata carta di controllo per la media \bar{x} . Si può notare che tutti i valori campionari osservati cadono all'interno dei limiti di controllo, per cui la carta indica che il processo è sotto controllo.



Descriviamo ora come sono stati determinati i limiti di controllo. Le informazioni di cui si dispone sono: la media del processo, $\mu = 74$ mm, la deviazione standard medio, $\sigma = 0.01$ mm, e la dimensione del campione, $n = 5$. La deviazione standard della media campionaria μ e' $\sigma_x = \sigma / \sqrt{n} = 0.0045$.

Nell'ipotesi che il processo sia sotto controllo con un diametro medio di 74 mm, allora, usando il teorema del limite centrale, se si ipotizza che μ abbia distribuzione approssimativamente normale, si dovrebbe avere che $100(1-\alpha)\%$ dei campioni cadono, per quanto riguarda la μ , tra $74 \pm Z_{\alpha/2} (0.0045)$. Scelta arbitrariamente la costante $Z_{\alpha/2} = 3$ avremo i seguenti limiti di controllo:

UCL= 74.0135 e **LCL** 73.9865.



Questi limiti vengono comunemente chiamati limiti di controllo a **3-sigma**. Si noti che l'ampiezza dei limiti di controllo è inversamente proporzionale alla dimensione del campione n fissato un certo multiplo di **sigma** e che determinare i limiti di controllo è equivalente alla definizione della regione critica del test d'ipotesi:

$$H_0 : \mu = 74$$

$$H_1 : \mu \neq 74 \text{ con } \sigma = 0.01.$$

Possiamo ora proporre uno schema piu' generico di carta di controllo. Sia w una statistica campionaria che misura una certa caratteristica di un prodotto e si supponga che la media di w sia μ_w e la deviazione standard sia σ_w . Allora l'**UCL**, la linea centrale **CL** e **LCL** saranno:

$$\mathbf{UCL} = \mu_w + L \sigma_w$$

$$\mathbf{CL} = \mu_w$$

$$\mathbf{LCL} = \mu_w - L \sigma_w$$

Dove L è la distanza dei limiti di controllo dalla linea centrale, espressa in unità di deviazione standard. Le carte di controllo costruite secondo questi criteri vengono chiamate carte di controllo di SHEWHART.

La carta di controllo è uno strumento per descrivere in maniera sistematica ciò che viene chiamato controllo statistico e di conseguenza può essere usata, ad esempio, per il controllo di sorveglianza on-line: i dati campionari vengono raccolti periodicamente e rappresentati nella carta di controllo; se il valore x cade tra i limiti di controllo e se nel

tempo non evidenzia andamenti non casuali diremo che il processo è sotto controllo. Un altro uso della carta di controllo consiste nel verificare se i dati passati provengono da un processo sotto controllo e nel determinare se i dati futuri lo saranno.

Per i nostri scopi l'uso più importante è tuttavia quello di contribuire al miglioramento del processo. Si è trovato che, in genere:

- la maggior parte dei processi non opera in condizioni di controllo;
- di conseguenza, l'uso delle carte di controllo sarà principalmente volto a identificare la presenza di fattori specifici. Se questi fattori verranno eliminati dal processo, la variabilità sarà minore e il processo migliorerà;
- la carta di controllo si limiterà a individuare i fattori specifici. Spetta ai manager e agli operatori del processo intervenire per correggere tali fattori.

La carta di controllo può essere usata anche come strumento di stima. Ovvero, sulla base di una carta di controllo si possono stimare alcuni parametri del processo, come la media, la deviazione standard, la frazione di pezzi non conformi e così via. Queste stime possono essere usate per valutare la capacità del processo (*process-capability*) nel produrre pezzi accettabili. Gli studi di capacità del processo hanno una notevole importanza nella progettazione di un prodotto e nella definizione dei rapporti contrattuali tra acquirenti e fornitori.

Le carte di controllo possono essere usate in due modi, a seconda della caratteristica della variabile oggetto di studio. Se la caratteristica di un prodotto è rappresentabile su una scala continua di valori, viene detta variabile ed è possibile descriverla con una misura di centralità e una di variabilità: le carte di controllo per centralità e la variabilità di un processo vengono chiamate carte di controllo per variabili. La carta per la media \bar{x} è la più usata per controllare la centralità del processo, invece le carte basate sul range campionario o sulla deviazione standard campionaria sono quelle più usate per controllare la variabilità. Le carte di controllo per variabili verranno presentate successivamente. E' pur vero che molte caratteristiche dei prodotti non possono essere misurate né su scala continua né su scale genericamente quantitative. In questi casi ciascuna unità prodotta viene valutata conforme a seconda che possieda o meno certi attributi o a seconda del numero di difetti presenti nell'unità prodotta. Le carte di controllo costruite sulla base di queste grandezze vengono chiamate carte di controllo per attributi e verranno discusse successivamente.

Un passo importante nell'uso delle carte di controllo è la progettazione. Con questa espressione intendiamo la scelta della dimensione campionaria, dei limiti di controllo e

della frequenza di campionamento. Nella maggior parte dei problemi di controllo della qualità si è soliti progettare una carta principalmente sulla base di considerazioni statistiche. Ad esempio, è noto che aumentare la dimensione campionaria riduce la probabilità di commettere un errore di II° tipo, aumentando quindi la capacità della carta di segnalare una situazione di fuori controllo.

Le carte di controllo hanno avuto un'ampia applicazione un po' in tutto il mondo. Cinque sono le ragioni di tale successo:

1. Sono una comprovata tecnica per migliorare la produttività: un efficiente controllo della qualità riduce gli sprechi e la necessità di dover ripetere un lavoro. Queste sono le principali cause della riduzione della produttività. Se tali cause vengono eliminate la produttività cresce, i costi diminuiscono e la capacità produttiva (misurata come numero di pezzi di qualità accettabile per unità di tempo) aumenta.
2. Sono efficaci per prevenire la produzione di pezzi difettosi: aiutano a tenere il processo sotto controllo e quindi consentono di andare incontro al principio farlo giusto fin dalla prima volta. Non è sicuramente conveniente dover selezionare i pezzi buoni da quelli difettosi una volta che questi sono stati prodotti.
3. Evitano di dover apportare inutili aggiustamenti sul processo produttivo: una carta di controllo riesce a mettere in evidenza la presenza di variazioni anomale. Se si corregge un processo periodicamente, senza l'ausilio di una carta di controllo, allora si andrà spesso incontro ad aggiustamenti inutili e dannosi, che potrebbero comportare un deterioramento dell'efficienza del processo. In altri termini, la carta di controllo soddisfa il principio se non è rotto, non aggiustarlo.
4. Forniscono informazioni diagnostiche: l'andamento dei punti campionari di una carta fornisce in genere utili informazioni a operatori e ingegneri esperti per intervenire preventivamente sul processo prima che si regoli, migliorando la resa del processo.
5. Forniscono informazioni sulla capacità del processo e sulla stabilità nel tempo : tali informazioni sono utili ai progettisti del prodotto.

L'avvento dei computer ha reso facile l'uso delle carte di controllo in ogni settore produttivo. Con tali strumenti la raccolta, l'archiviazione e l'analisi dei dati è diventata più semplice a beneficio anche dell'interpretazione e della gestione delle carte stesse.

3.3.2 - Selezione dei limiti di controllo

La definizione dei limiti di controllo è uno dei passaggi più critici nella progettazione di una carta. Quanto più i limiti vengono posizionati lontano dalla linea centrale della carta di controllo, tanto minore sarà il rischio di *errori I° tipo*, ovvero il rischio che un punto si posizioni al di fuori dei limiti, indicando una situazione di fuori controllo, quando invece nessun fattore specifico si è manifestato. D'altro canto l'ampliare i limiti di controllo comporta un aumento del rischio di *errori di II° tipo*, ovvero il rischio che un punto cada all'interno dei limiti di controllo quando di fatto il processo non è sotto controllo. Se i limiti vengono invece avvicinati alla linea centrale si otterrà l'effetto opposto: il rischio di errori I° tipo aumenterà mentre quello di II tipo diminuirà.

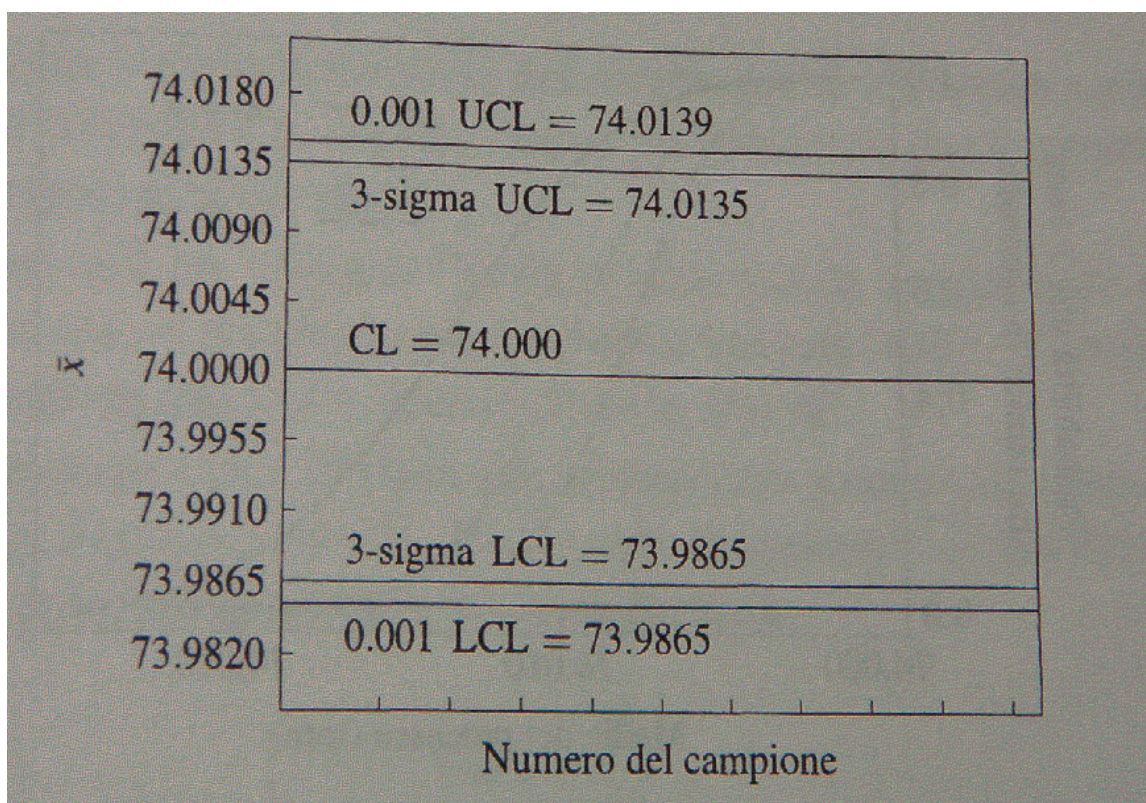
Per la carta \bar{x} considerata nell'esempio precedente, se si ipotizza che il diametro della fascia elastica del pistone abbia distribuzione normale e che i limiti di controllo siano a 3-sigma, utilizzando la tavola della variabile casuale normale standardizzata si trova che l'errore di I tipo è 0.0027, ovvero un errato segnale di fuori controllo o falso allarme verrà osservato in probabilità 27 volte ogni 10000 campioni. Inoltre la probabilità che un punto superi uno dei limiti posti a 3-sigma quando il processo è sotto controllo è solamente 0.00135.

E' possibile procedere anche in modo diverso: invece di posizionare i limiti di controllo sulla base di un multiplo della deviazione standard di \bar{x} , si può scegliere direttamente la probabilità da attribuire all'errore di I° tipo e quindi trovare il multiplo per sigma. Ad esempio, se decidessimo di scegliere come probabilità per l'errore di I° tipo il valore 0.001, allora il multiplo da usare sarebbe pari a 3.09 e limiti di controllo diventerebbero:

$$UCL = 74 + 3.09(0.0045) = 74.0139$$

$$LCL = 74 - 3.09(0.0045) = 73.9861.$$

Questi limiti di controllo vengono chiamati limiti con probabilità 0.01. La carta di controllo sulla \bar{x} con i limiti sia 3-sigma sia con probabilità 0.001 è rappresentata in figura seguente:

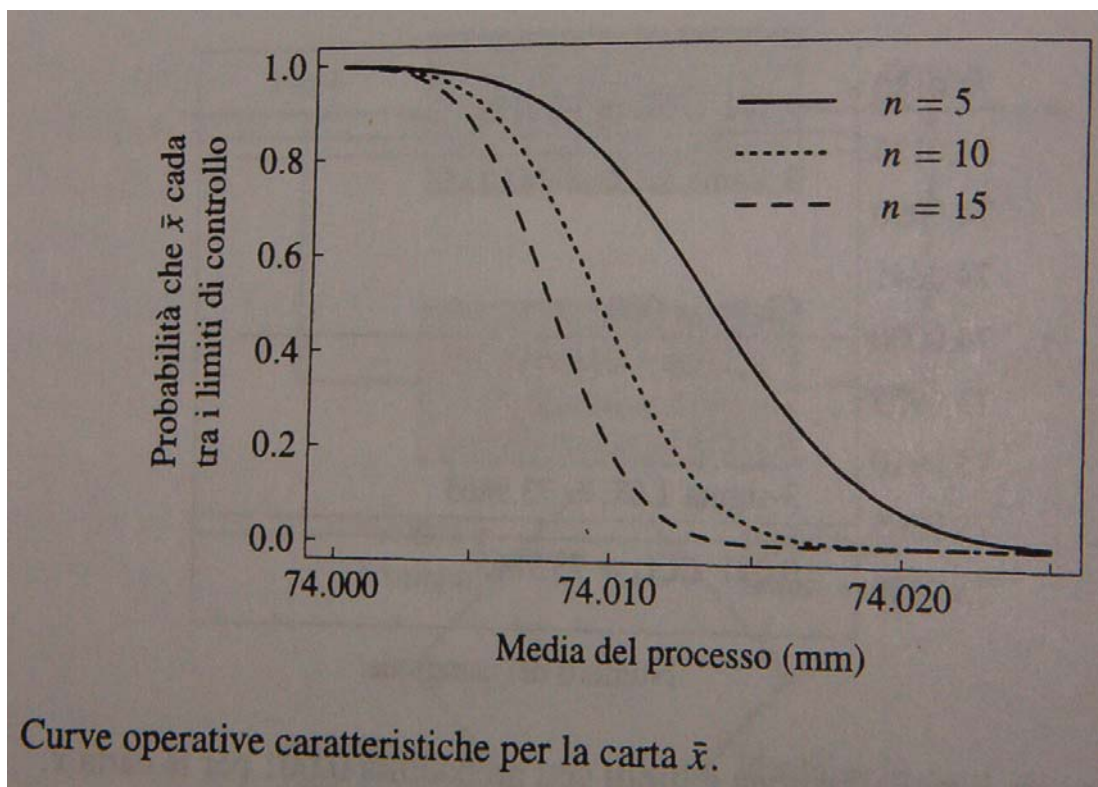


Indipendentemente dalla distribuzione della caratteristica oggetto di controllo, negli Stati Uniti si è soliti individuare i limiti di controllo come multiplo della deviazione standard di una statistica. Il multiplo solitamente scelto è 3, quindi nelle carte di controllo i limiti a 3-sigma sono abitualmente impiegati indipendentemente dal tipo di carta usata. Invece, nel Regno Unito e in altri paesi dell'Europa Occidentale i limiti vengono usualmente definiti con livello di probabilità pari a 0.001.

3.3.3 - Dimensioni del campione e frequenza di campionamento.

Nel progettare una carta di controllo bisogna specificare la dimensione del campione da analizzare e la frequenza di campionamento. In generale, quanto più grande è il campione tanto più facile sarà individuare piccoli spostamenti o regolazioni del processo.

Questo si nota nella figura seguente, dove viene rappresentata la curva operativa caratteristica per diverse dimensioni campionarie della carta \bar{x} rappresentata due figure precedenti



Dalla figura emerge che a titolo di esempio, la probabilità di individuare uno scostamento da 74.00 mm a 74.01 mm aumenta all'aumentare della dimensione campionaria n : per scegliere la dimensione campionaria ottimale bisogna quindi avere presente qual è lo scostamento del processo che si vuole individuare più velocemente. Se si è interessati ad uno scostamento minimo, la dimensione campionaria dovrà essere più grande di quella che risulterebbe necessaria se l'interesse fosse per uno scostamento ampio.

Dobbiamo inoltre determinare la frequenza di campionamento. La situazione ottimale sarebbe quella di poter esaminare grandi campioni di frequente, ma questa è una situazione sicuramente poco accettabile dal punto di vista economico. Si tratta di un problema di allocazione degli sforzi di campionamento: o si esaminano piccoli campioni di frequente o si esaminano grandi campioni a intervalli più distanziati. In genere si preferisce la prima soluzione, specie in industrie i cui processi producono grandi volumi di pezzi o dove possono manifestarsi svariati tipi di fattori. Ciò è favorito anche dall'avvento di strumenti di controllo e di calcolo sempre più efficienti, che consentono di testare velocemente il singolo pezzo prodotto.

Due strumenti utili per calcolare l'ottimale dimensione campionaria e la frequenza di campionamento sono la **lunghezza media delle sequenze** (ARL , *Average Run Length*) e il **tempo medio al segnale** (ATS , *Average Time to Signal*).

L'ARL è il numero medio di punti che devono essere osservati prima che un punto cada al di fuori dei limiti di controllo. Per la carta di controllo di Shewart, l'ARL può essere facilmente calcolata in base alla seguente formula:

$$ARL = 1/p$$

Dove p è la probabilità che un punto superi i limiti di controllo. Per la carta di controllo \bar{x} con limiti a 3-sigma, la probabilità che un punto cada al di fuori dei limiti è $p = 0.0027$.

Perciò, quando il processo è sotto controllo l'ARL risulta:

$$ARL = 1/p = 1/0.0027 = 370$$

Ovvero, se il processo rimane sotto controllo, un segnale (da interpretarsi quindi come falso allarme) di fuori controllo si presenterà in media ogni 370 campioni.

Il tempo medio al segnale ATS è invece il prodotto dell'ARL per l'intervallo medio di tempo intercorrente tra due campioni, e indica il tempo medio intercorrente tra due segnali di fuori controllo. Se i campioni vengono esaminati a intervalli di tempo costante (supponiamo, in ore, h), allora $ATS = ARL * h$

Riprendendo l'esempio sul diametro dei pistoni e ipotizzando di effettuare un campionamento ogni ora, dalla equazione precedente si ha che la presenza di un segnale di falso allarme avviene in media ogni 370 ore.

Ora consideriamo, sulla base di tali espressioni, come si comporta una carta nell'individuare uno scostamento della media dal suo valore di riferimento. Si supponga di usare un campione di dimensione $n=5$ e che, quando il processo va fuori controllo, la media si sposti a 74.015 mm. Utilizzando la curva operativa caratteristica della figura precedente si ha che, se la media del processo è 74.015mm, la probabilità che x cada tra i limiti di controllo è approssimativamente pari a 0.50. Perciò, p nell'equazione è 0.5 e l'ARL di fuori controllo è

$$ARL_1 = 1/p = 1/0.5 = 2$$

La carta di controllo richiederà quindi in media 2 campioni per individuare lo scostamento nel processo, e poiché la frequenza di campionamento è di un'ora ($h=1$), l'ATS sarà pari a:

$$ATS = ARL * h = 2$$

Si supponga che questi valori non siano accettabili perchè uno spostamento del diametro medio a 74.015mm comporta un costo eccessivo a causa degli scarti e dei ritardi nell'assemblaggio finale dei pistoni. Come possiamo ridurre il tempo necessario per l'individuazione di un segnale di fuori controllo? Una soluzione consiste nell'aumentare la frequenza di campionamento. Ad esempio, se campioniamo ogni mezz'ora avremo

$ATS = ARL * h = 1$, ovvero solo un'ora trascorrerà in media tra la regolazione e la sua individuazione. La seconda possibilità è di aumentare la dimensione campionaria. Ad esempio, se usiamo $n = 10$ in base alla figura che mostra la curva operativa mostra che la probabilità che x cada tra i limiti di controllo, quando la media del processo è 74.015 mm, è approssimativamente 0.1 ovvero $p = 0.9$ e, dalla equazione dell'ARL si ha

$$ARL = 1/p = 1/0.09 = 1,11.$$

Se campioniamo ogni ora, l'ATS sarà pari a:

$$ATS = ARL * h = 1,11 \text{ ore.}$$

3.4 – Differenti strumenti dei magnifici sette.

Sebbene la carta di controllo sia un potente strumento per il controllo e il miglioramento della qualità, risulta di fatto più efficace se viene usata in un contesto dove si ha un'ampia integrazione degli strumenti di SPC: questi dovrebbero essere usati diffusamente e quotidianamente a ogni livello dell'impresa. I magnifici sette, già introdotti precedentemente vengono riportati per un approfondimento:

- Istogrammi e grafici rami e foglie
- Fogli di controllo
- Grafici di Pareto
- Diagrammi di causa ed effetto
- Diagrammi sulla concentrazione dei difetti
- Grafici a dispersione
- Carte di controllo

Ora considereremo un apprendimento dei seguenti strumenti

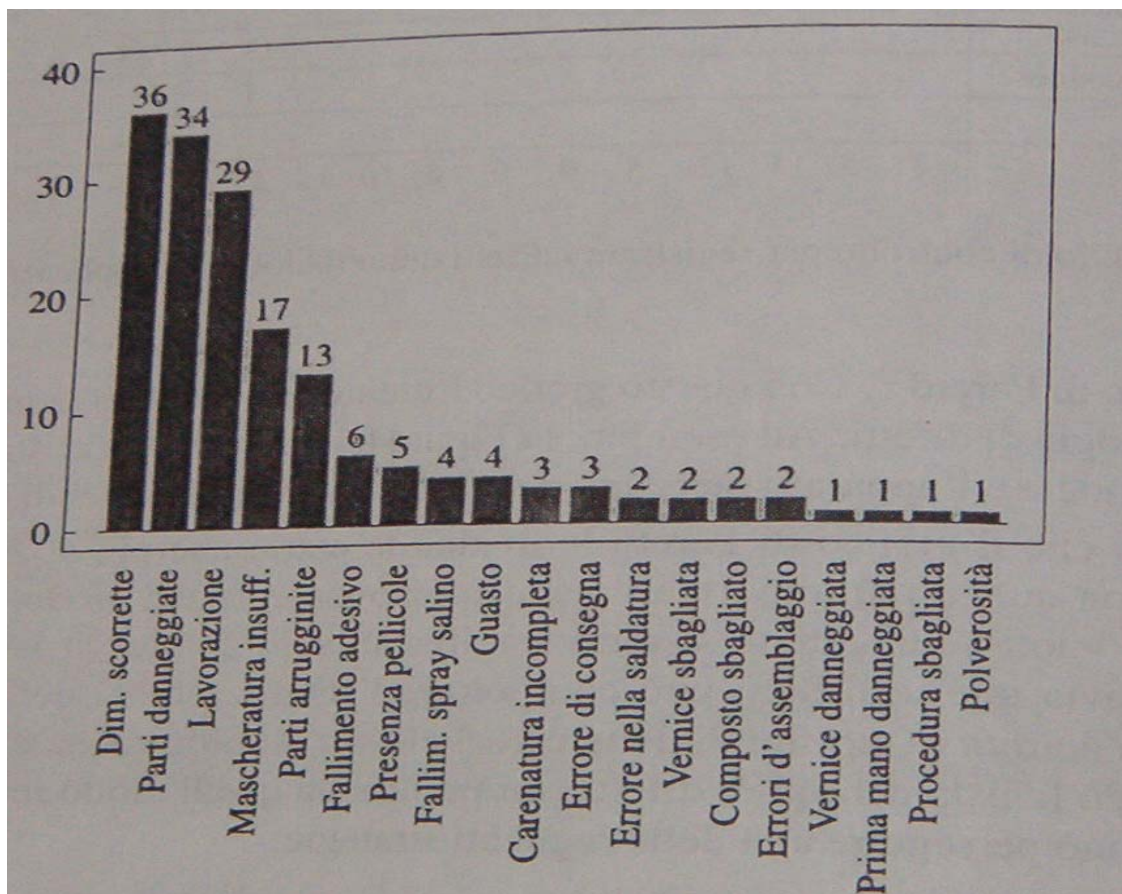
Fogli di Controllo: i primi passi per l'implementazione dell'SPC richiedono che si provveda ad una raccolta di dati riguardanti il processo in oggetto di controllo: per tale scopo un utile strumento è il foglio di controllo. Un esempio di foglio di controllo è riportato nella figura seguente:

Defect	1988												1989					Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	
Parts damaged		1		3	1	2		1		10	3		2	2	7	2		34
Machining problems			3	3				1	8		3		8	3				29
Supplied parts rusted			1	1			2	9										13
Masking insufficient		3	6	4	3	1												17
Misaligned weld	2																	2
Processing out of order	2														2			4
Wrong part issued		1						2										3
Unfinished fairing			3															3
Adhesive failure				1							1		2		1	1		6
Powdery alodine					1													1
Paint out of limits						1							2					2
Paint damaged by etching			1															1
Film on parts						3		1	1									5
Primer cans damaged								1										1
Voids in casting									1	1								2
Delaminated composite										2								2
Incorrect dimensions											13	7	13	1		1	1	36
Improper test procedure											1							1
Salt-spray failure													4					4
TOTAL	4	5	14	12	5	9	9	6	10	14	20	7	29	7	7	6	2	166

è stato sviluppato da un'ingegnere presso un'industria aerospaziale, per indagare sui difetti di un serbatoio usato nei loro prodotti. La rilevazione, effettuata in ordine di tempo, è risultata particolarmente utile per individuare un trend nella manifestazione dei difetti. Ad esempio, se si osserva un aumento dei difetti nel periodo estivo, la ragione può risiedere nell'impiego di lavoratori stagionali, meno affidabili di coloro che abitualmente lavorano sul prodotto.

Quando si progetta un foglio di controllo, è importante definire in modo chiaro il tipo di informazione che deve essere raccolta, la data, l'operatore che effettua la raccolta e qualsiasi altra nota che renda più intelligibile la provenienza del dato. In alcuni casi potrà essere d'aiuto un periodo di test per verificare l'efficacia del foglio di controllo.

Il grafico di Pareto : è uno degli strumenti più utili nell'SPC: riporta l'istogramma e l'associata distribuzione di frequenza cumulata di dati qualitativi ordinati per categoria. Per illustrare tale grafico, si considerino i dati raccolti sulla difettosità dei serbatoi riportati nella figura precedente. Il grafico del numero totale dei difetti per tipo di difetto dà luogo alla figura seguente, che prende appunto il nome di grafico di Pareto.



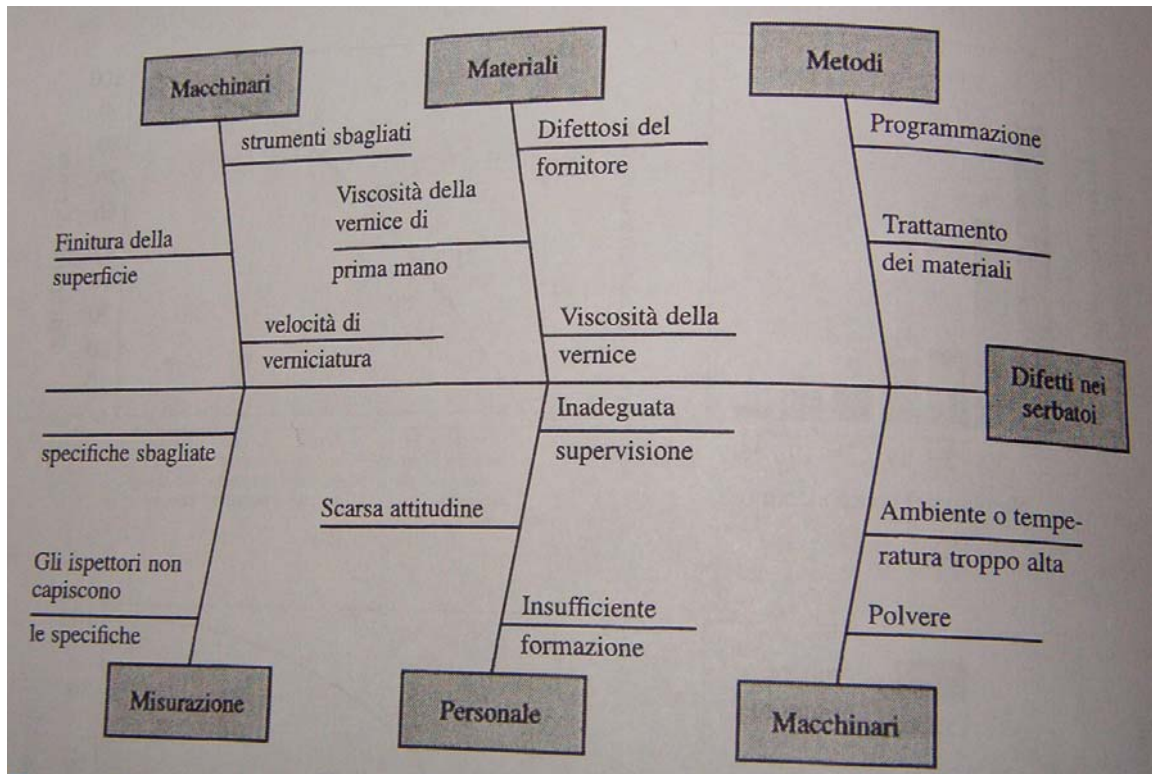
Con questo grafico l'utente può facilmente individuare la più frequente tipologia di difetti, ad esempio mostra che la dimensione errata, le parti danneggiate e l'apparato meccanico sono le cause più comuni di difettosità.

Si osservi che il grafico di Pareto individua le cause che più di frequente si sono manifestate, non quelle più importanti per il funzionamento del prodotto. Ad esempio, in figura vuoti nella gettata si sono manifestati solo 2 volte su 166 ovvero, 1.2% dei casi. Tuttavia questo tipo di difetto può comportare l'inutilizzabilità del serbatoio, il che costituisce una perdita in termini di denaro così elevata da farlo ritenere il più importante tra tutti. Quando la lista dei tipi di difetti comprende sia quelli molto seri sia quelli meno importanti, si può perseguire una delle seguenti strategie:

- usare schemi che attribuiscono un peso ai vari tipi di difetti,
- affiancare il grafico di Pareto con un altro grafico di Pareto per costo o esposizione alla perdita.

Diagrammi causa ed effetto: una volta che un errore, un problema o un elemento difettoso è stato identificato e isolato, devono essere cercate le cause potenziali di questo indesiderabile effetto. In situazioni dove le cause non sono ovvie, il diagramma di causa ed effetto costituisce un efficace strumento per la loro individuazione. Un esempio è

quello riportato nella seguente figura e riguarda la stessa industria aerospaziale di cui si è parlato prima.



I passaggi per la costruzione di diagrammi causa ed effetto sono i seguenti:

- definire il problema o l'effetto da analizzare,
- preparare il team che deve eseguire l'analisi,
- predisporre la casella dell'effetto e una linea centrale,
- specificare le tipologie delle più importanti cause e unirle con tratti come caselle connesse alla linea centrale,
- identificare le possibili cause e classificarle nelle tipologie individuate al passo precedente, se necessario, creare altre tipologie,
- ordinare le cause in base alla maggiore o minore probabilità che possano creare il problema oggetto di analisi,
- intraprendere misure correttive.

Nell'analizzare il problema dei serbatoi difettosi, il team ha individuato come principali tipologie di cause di difettosità i macchinari, i materiali, i metodi, il personale, gli strumenti di misura e l'ambiente. Sono stati poi individuati i sottocasi di ogni tipologia riportati in figura sopra. Tra le varie tipologie di cause si è ritenuto che le più probabili fossero quelle relative ai materiali e ai metodi.

Quanto più dettagliati sono i diagrammi di causa ed effetto, tanto più efficaci essi saranno nell'aiutare il management nella soluzione del problema. Inoltre la realizzazione di un

diagramma causa ed effetto fa sì che il personale si concentri sulla soluzione del problema e non sulla ricerca di capri espiatori.

Diagramma sulla concentrazione dei difetti: è un particolare disegno della struttura del prodotto, su cui vengono riportate tutte le visuali rilevanti del prodotto stesso. I diversi tipi di difetti vengono evidenziati su questo disegno, con lo scopo di verificare se la loro collocazione può costituire un'utile informazione sulle cause potenziali del difetto rilevato.

Una volta che sono stati raccolti i diagrammi sulla concentrazione dei difetti per un numero sufficientemente elevato di unità prodotte, spesso si riesce a individuare alcune tipologie che aiutano a capire le cause e gli effetti. I diagrammi sulla concentrazione dei difetti sono stati applicati con successo in industrie edili, grafiche, tessili, di trasporto meccaniche ed elettroniche.

Grafici a dispersione: sono utili per individuare potenziali relazioni funzionali tra variabili. Si considerino due variabili, x e y ; di queste vengono raccolte coppie di dati (x_i, y_i) , per $i=1,2,\dots,n$, che vengono rappresentate su un piano cartesiano. L'andamento del grafico a dispersione spesso indica quale relazione sussiste (se ne esiste una) tra le variabili.

Se il grafico mostra una forte correlazione positiva tra le variabili, ovvero tanto maggiore è la quantità di una, tanto maggiore sarà la quantità di materiale dell'altra. Si può dire quasi che la relazione è di tipo causa ed effetto, anche se questa affermazione non è corretta sempre perchè correlazione non implica necessariamente causalità: ad esempio, entrambe le variabili potrebbero essere legate ad una terza variabile che potrebbe essere responsabile della correlazione.

4. - Carte di controllo per variabili.

Successivamente verranno presentate carte di controllo per caratteristiche qualitative misurate su scala numerica, come ad esempio la lunghezza, l'ampiezza, la temperatura, il volume che prendo il nome di carte di controllo per variabili. Tra queste, quelle sulla media campionaria \bar{x} e sul range R sono ampiamente usate per monitorare la media e la variabilità delle variabili di interesse.

4.1 - Presentazione

Oggetto di questo paragrafo è il controllo di caratteristiche qualitative che possono essere misurate numericamente. Una caratteristica misurabile, come una dimensione, il peso o il volume, viene chiamata variabile; di questa, in un contesto di SPC, è solitamente necessario poter controllare sia la media sia la variabilità, monitorare in genere con carte

chiamate \bar{x} R dove R sta per range campionario o in alternativa \bar{x} S con S sta ad indicare la deviazione standard.

4.2 Carte di controllo \bar{x} e R -Principi statistici delle carte di controllo

Si supponga che una caratteristica quantitativa, X, sia distribuita secondo la legge di una variabile casuale normale con media μ e deviazione standard σ , dove sia μ sia σ si ipotizzano note. Se indichiamo con x_1, x_2, \dots, x_n un campione di dimensione n, proveniente da X, allora il valor medio del campione è:

$$\bar{X} = (x_1 + x_2 + \dots + x_n) / n$$

Si dimostra che \bar{X} ha distribuzione normale con media μ e deviazione standard $\sigma_{\bar{x}} = \sigma / \sqrt{n}$. Da questo segue che la probabilità che un'altra media campionaria di dimensione pari a n cada tra :

$$\mu + Z_{(\alpha/2)} * \sigma_{\bar{x}} = \mu + Z_{(\alpha/2)} * \sigma / \sqrt{n}$$

$$\mu - Z_{(\alpha/2)} * \sigma_{\bar{x}} = \mu - Z_{(\alpha/2)} * \sigma / \sqrt{n}$$

è pari a $1-\alpha$. Perciò se μ e σ sono note, se si sostituisce a $Z_{(\alpha/2)}$ con il numero 3, così da poter utilizzare i limiti di controllo 3-sigma, le equazioni potrebbero essere interpretate come limiti di controllo superiore e inferiore di una carta di controllo per la media campionaria: se una media campionaria cade al di fuori di questi limiti, è un segnale che la media del processo non è più pari a μ .

Finora abbiamo ipotizzato che la distribuzione della caratteristica oggetto di controllo sia normale. I risultati sopra riportati sono comunque approssimativamente utilizzabili anche quando la legge di distribuzione della variabile X non è normale, questo grazie al teorema del limite centrale.

Di fatto, l'ipotesi introdotta in precedenza di ritenere noti i valori di μ e σ , non è quasi mai soddisfatta. Di conseguenza questi parametri devono essere stimati sulla base di un certo numero di campioni preliminari(in genere 20 ...25), opportunamente estratti in un periodo in cui il processo viene ritenuto sotto controllo. A tale scopo e in modo del tutto generale, si supponga che siano disponibili m campioni, ciascuno contenete n determinazioni casuali della caratteristica qualitativa oggetto d'interesse. Tipicamente, n è un numero piccolo, spesso pari a 4,5 o 6: una così piccola dimensione campionaria è giustificabile se sono stati utilizzati sottogruppi razionali o se i costi di campionamento e di ispezione associati a variabili quantitative sono piuttosto alti. Si indichino, quindi, così X_1, X_2, \dots, X_m le medie di ciascun campione. Se la media del processo non è nota il miglior stimatore è la media degli m campioni:

$$\underline{X} = (X_1 + X_2 + \dots + X_m) / m$$

e \bar{X} verrà usata come linea centrale per la carta X.

Per costruire i limiti di controllo, abbiamo tuttavia bisogno anche di una stima della deviazione standard σ . E' possibile stimare σ usando le deviazioni standard o i range degli m campioni. Per il momento ci concentreremo solo sul metodo basato sui range. Si ricorda che, se x_1, x_2, \dots, x_n è un campione di dimensione n, il range del campione è la differenza tra la più grande e la più piccola determinazione campionaria; ovvero:

$$R = x_{\max} - x_{\min}$$

Siano R_1, R_2, \dots, R_m i range degli m campioni. Lo stimatore del range del processo, da usare per la costruzione dei limiti di controllo, è il range medio :

$$\underline{R} = (R_1 + R_2 + \dots + R_m) / m$$

I limiti per la carta X sono in definitiva i seguenti:

$$UCL = \underline{X} + A_2 \underline{R}$$

$$CL = \underline{X}$$

$$LCL = \underline{X} - A_2 \underline{R}$$

La costante A_2 è tabulata per diversi valori di n in appendice.

La variabilità del processo può essere monitorata, riportando i valori del range di ogni campione su carta di controllo R. La linea centrale e i limiti di controllo per la carta R0 sono i seguenti:

$$UCL = D_4 \underline{R}$$

$$CL = \underline{R}$$

$$LCL = D_3 \underline{R}$$

Le costanti D_3 e D_4 sono tabulate per diversi valori di n in appendice.

4.3 - Direttive per la progettazione di carte di controllo

Direttive per la progettazione di carte di controllo:

- nel progettare le carte X e R bisogna stabilire la dimensione campionaria, i limiti di controllo e la frequenza di campionamento. A tale scopo l'analista deve raccogliere informazioni sufficientemente dettagliate sulle caratteristiche statistiche del processo e sui costi che comporta la progettazione di una carta. Tra questi ultimi figurano i costi di campionamento, quelli di controllo dei materiali, delle eventuali azioni correttive del processo e quelli derivanti dall'avere una produzione non sotto controllo. Date queste informazioni si può costruire una carta di controllo che rispetti anche criteri di economicità. Se una carta X viene progettata solo per individuare scostamenti del valore medio di ampiezza relativamente grande, ovvero maggiori o uguali a 2σ , allora saranno sufficienti campioni di dimensione $n = 4,5$ o 6. D'altro

canto, se si è interessati a piccoli scostamenti, allora i campioni dovranno avere dimensione maggiore, ad esempio $n = 15$ o 25 . E' pur vero che se vengono prelevati campioni piccoli c'è un minor rischio di incorrere in uno scostamento del processo quando il campione viene estratto riducendo l'effetto della media campionaria che tende a oscurare l'eventuale regolazione. Se si usano campioni di ampiezza maggiore e se non si vuole incorrere in tale rischio, si suggerisce di usare i limiti di sorveglianza o qualsiasi altro strumento volto a rendere ancor più sensibile il segnale proveniente dalla carta di controllo e comunque, è bene non usare mai tali regole in modo meccanico. Se si è interessati a piccoli scostamenti del valor medio sarà utile scegliere le carte CUSUM o EWMA. La carta R non è in grado di cogliere scostamenti della deviazione standard quando si utilizzano piccoli campioni. Ad esempio, campioni di dimensione $n = 5$ hanno solo il 40% di probabilità di individuare scostamenti della deviazione standard da σ a 2σ . Campioni di dimensione maggiore consentono di ovviare a questo problema, tenendo però presente che il range campionario perde efficienza all'aumentare di n e che per $n > 10$ o 12 è meglio usare le carte S al posto delle carte R. Da un punto di vista statistico le curve operative caratteristiche delle carte X ed R sono utili per scegliere la dimensione campionaria. Con tali curve si riesce a valutare l'efficacia di una carta di controllo nel rilevare, per diversi valori di n , scostamenti di varia entità dal valore di riferimento. I problemi di scelta della dimensione campionaria e della frequenza di campionamento rientrano nella scelta dell'allocazione delle risorse economiche disponibili. Le strategie più comuni consistono o nell'uso di campioni di dimensione piccola ma estratti di frequente o nell'uso di campioni di dimensione ampia ma estratti a intervalli temporali più spazati. Ad esempio, l'alternativa può essere tra il scegliere campioni di dimensione 5 ogni mezz'ora o campioni di dimensione 20 ogni 2 ore. E' impossibile stabilire quale delle due strategie è migliore, tuttavia la pratica industriale attuale è più favorevole alla prima soluzione: se l'intervallo temporale tra due campioni è troppo ampio, potrebbe esserci la possibilità di produrre un elevato numero di pezzi non conformi, prima che questi vengano scoperti. Se il costo da sostenere per ogni pezzo difettoso è elevato sarà meglio ridurre l'intervallo temporale intercorrente tra l'estrazione di due campioni. Il tasso di produzione è un'altra grandezza che incide sulla scelta della dimensione campionaria e sulla frequenza di campionamento. Se il tasso di produzione è ad esempio di 5000 pezzi ogni ora, sarà necessaria una frequenza di campionamento molto più elevata di quanto dovrà esserlo

se la produzione ha un tasso meno elevato. La ragione è che nel primo caso vengono prodotti molti pezzi in poco tempo e, se il processo uscisse di controllo, sarebbero prodotte molte unità difettose se non ci si accorgesse del guasto nel processo. Inoltre se il tasso di produzione è elevato, i costi di raccolta del campione sono in genere contenuti, in quanto scegliere un campione di dimensione 25 piuttosto che 5 non comporta una sensibile differenza a livello di tempo. Quindi, nell'ipotesi che i costi di ispezione per unità non siano eccessivi, potranno essere scelti campioni di dimensione moderatamente ampia. E' noto inoltre che l'uso dei limiti a 3-sigma è una scelta molto diffusa. Ciò non toglie che talora si dovrebbe optare per soluzioni differenti. Se la presenza di falsi allarmi o errori di I tipo(avere un segnale di fuori controllo quando il processo non lo è) comporta costi elevati di indagine, è opportuno allargare l'ampiezza dei limiti di controllo, ad esempio a $3,5\sigma$. D'altra parte, se i segnali di fuori controllo sono facili da verificare e comportano costi limitati, sarà possibile ridurre i limiti a $2,5\sigma$.

5. - Carte di controllo per attributi

Molte caratteristiche relative alla qualità di un prodotto non possono essere rappresentate numericamente. In tali casi si è soliti classificare ciascun oggetto esaminato solamente come conforme o non conforme ad una certa caratteristica qualitativa prescelta. I termini difettoso o non difettoso vengono spesso usati per identificare tale classificazione. Caratteristiche di questo tipo prendono il nome di attributi. Alcuni esempi sono la proposizione di processori non funzionanti in uno specifico processo produttivo, il numero di difetti per unità di superficie di un tessuto e così via.

Ora presenteremo tre carte di controllo per attributi ampiamente usate nella pratica. La prima riguarda la carta di controllo per frazione di non conformi o di prodotto difettoso ottenuto da un processo produttivo, detta anche carta p. In alcune situazioni è più semplice esaminare il numero di difetti o di non conformità osservate piuttosto che la frazione di non conformi. La seconda carta, chiamata carta di controllo per non conformità, o carta c, è stata ideata proprio per trattare quest'ultimo caso. Infine verrà presentata la carta di controllo per non conformità per unità, o carta u, utile quando il numero medio di non conformità per unità costituisce un riferimento più conveniente per il controllo di un processo.

5.1 Presentazione

Precedentemente abbiamo presentato le carte di controllo per variabili, tuttavia non sono sempre impiegabili, poiché non tutte le caratteristiche qualitative possono essere espresse come variabili. Come esempio, si consideri un contenitore di vetro per un prodotto liquido, che deve essere classificato conforme o non conforme, a seconda che soddisfi certi requisiti su una o più caratteristiche qualitative. Questo è un esempio di grandezza esprimibile come attributo e la carta di controllo associata riguarderà la frazione di conformi o non conformi. In alternativa, per alcuni processi produttivi, è possibile esaminare una unità di prodotto e contare i difetti o le non conformità su tale unità. Questo tipo di dati viene ampiamente impiegato, ad esempio, nelle industrie che producono semiconduttori. Successivamente viene presentata la corrispondente carta per numero o per media di non conformità per unità prodotta.

Le carte di controllo per attributi non sono così informative come le carte per variabili. L'informazione contenuta in una misura è in genere più informativa di quella che si ottiene classificando una unità semplicemente come conforme o non conforme. In ogni caso le carte di controllo per attributi hanno importanti applicazioni, specie nelle società di servizi o per migliorare la qualità nei settori manifatturieri, essendo le grandezze che le caratterizzano non facilmente misurabili su scala numerica.

5.2 - Carte di controllo per frazioni di non conformi

La frazione di non conformi viene definita come il rapporto tra numero di unità non conformi presenti in una popolazione e numero di pezzi che compongono quella popolazione. Un'unità prodotta può avere diverse caratteristiche qualitative che possono essere esaminate simultaneamente. Se il pezzo non soddisfa una o più caratteristiche viene classificato come non conforme. La frazione viene espressa in decimali o in percentuale, quest'ultima in genere usata quando devono essere presentati dei risultati al management o alla produzione, essendo questi più abituati a pensare in termini di percentuali. Mentre è comune lavorare con la frazione di non conformi, analogamente è possibile analizzare la frazione di conformi, ottenendo una misura della resa del processo. Le basi statistiche che sottostanno alle carte di controllo per frazioni di non conformi sono riconducibili alla distribuzione binomiale. Si supponga che una certa produzione operi nel tempo in modo stabile, così che la probabilità di ottenere un pezzo non conforme sia identicamente pari a p e che le unità prodotte siano tra loro indipendenti. In tale caso ciascuna unità prodotta è la realizzazione di una variabile casuale di bernoulli di parametro p . Se si esamina un campione di dimensione n e se D è il numero di unità

prodotte che non sono conformi, allora D ha distribuzione binomiale di parametri n e p come riportato nella figura delle distribuzioni notevoli presentata in precedenza.

E' noto che la media e la varianza di una variabile casuale binomiale D sono $\mu=np$ $\sigma=np(1-p)$.

La frazione di non conformi campionaria viene definita come il rapporto fra il numero di unità non conformi presenti nel campione e la dimensione del campione n;ovvero $P0=D/n$

5.2.1 Costruzione della carta di controllo

Abbiamo introdotto i fondamenti statistici che sottostanno alle carte di Shewhart. Indicata con w una statistica che misura una certa caratteristica qualitativa e indicate con μ e σ rispettivamente la sua media e varianza, l'impostazione generale delle carte di Shewhart è la seguente

$$UCL = \mu + L\sigma$$

$$CL = \mu$$

$$LCL = \mu - L\sigma$$

Dove L, di solito posto pari a 3, è la distanza, espressa in unità di deviazione standard di w, dei limiti di controllo dalla linea centrale.

Si supponga che la vera frazione di non conformi p sia nota o che il management abbia definito un valore standard. Dall'equazione precedente, la linea centrale e i limiti di controllo della carta per la frazione di non conformi vengono definiti come segue:

Carte di controllo per la frazione di non conformi : valori di riferimento

$$UCL = p + 3* SQR(p(1-p)/n)$$

$$CL = p$$

$$LCL = p - 3* SQR(p(1-p)/n)$$

Per l'utilizzo della carta bisognerà estrarre campioni successivi di n unità, calcolare la frazione di non conformi p e rappresentare tale statistica sulla carta. Finchè p rimane all'interno dei limiti di controllo e non si osserva alcun andamento anomalo o non casuale nella successione dei punti, si può affermare che il processo è sotto controllo al livello p. Se invece un punto cade al di fuori dei limiti o se si osserva un andamento non casuale dei punti, si dovrà concludere che la frazione di non conformi ha probabilmente subito uno scostamento ad un nuovo livello e che il processo è fuori controllo.

Se la vera frazione di non conformi p non è nota, dovrà essere stimata dai dati osservati. La procedura consiste nel selezionare m campioni preliminari, ciascuno di dimensione n. Una regola generale consiste nel scegliere m = 20 o 25. Se ci sono Di unità non conformi nel campione i-esimo, la corrispondente frazione campionaria di non conformi è:

$$P_i = D_i/n \text{ per } i= 1,2,\dots,m$$

E la media di tutte le frazioni campionarie di non conformi è

$$\underline{P} = \sum_i D_i/mn$$

Dove la statistica p è lo stimatore dell'ignota frazione p . La linea centrale e i corrispondenti limiti della carta di controllo vengono calcolati come segue:

Carte per la frazione di non conformi: valori di riferimento non assegnati

$$UCL = p + 3 \sqrt{p(1-p)/n}$$

$$\text{Linea centrale} = p$$

$$LCL = p - 3 \sqrt{p(1-p)/n}$$

I limiti di controllo dovrebbero essere considerati come limiti di controllo di prova. I valori campionari di p_i , ottenuti dai campioni preliminari, devono essere rappresentati sulla carta, per verificare che il processo sia stato sotto controllo quando i campioni preliminari sono stati estratti. Se uno di questi punti cade al di fuori dei limiti, dovrebbero essere esaminate le ragioni che hanno portato a tali situazioni, il dato corrispondente eliminato e i limiti ricalcolati senza questi punti. Analoghi ragionamenti sono stati fatti per le carte \bar{x} e R .

Se si lavora con valori preassegnati per il valore p , tipicamente posto pari ad un valore obiettivo, bisogna interpretare la carta corrispondente con una certa cautela. E' in genere difficile conoscere a priori il vero valore p del processo per cui valori osservati fuori controllo potrebbero essere tali se si fa riferimento al valore p scelto, ma essere sotto controllo con riferimento al vero valore p (incognito) che caratterizza il processo.

Se ad esempio il management decide che il valore obiettivo $p = 0.01$ ma il processo è in stato di controllo ad un valore $p = 0.005$, si osserveranno molti punti al di sopra del limite superiore di controllo pur essendo il processo naturalmente sotto controllo. L'uso di valori obiettivo può essere utile per ricondurre una produzione a standard prefissati, specie se gli interventi per la riduzione del numero di non conformi non richiede accorgimenti particolarmente impegnativi.

5.3 Applicazioni non manifatturiere

Le carte di controllo c e u , che per problemi di spazio non abbiamo trattato, sono ampiamente usate in contesti non manifatturieri, dove gli errori possono essere classificati come difetti o non conformità proprio come si fa nella valutazione di un prodotto finito. Ad esempio, è possibile costruire carte di controllo sul numero di errori di progettazione, su quelli nei disegni e nei documenti. In un contesto relativo alla

progettazione di grosso software, è disponibile uno studio di Gardiner e Montgomery(1987) che descrive l'uso della carta u in tutte le fasi di progettazione.5.4

5.4 Direttive per l'applicazione delle carte di controllo

Quasi tutti i processi possono beneficiare dei metodi di SPC. Ora presenteremo alcune linee guida per l'applicazione delle carte di controllo e in particolare affronteremo i seguenti punti: -determinare quale caratteristica controllare;- determinare dove le carte dovrebbero essere applicate nel processo; - scegliere l'appropriata carta di controllo.; - attivare interventi migliorativi del processo a fronte di risultati di analisi di SPC; - scegliere quali strumenti impiegare per raccogliere i dati per l'analisi dell SPC.

Determinare quale caratteristica controllare e dove applicare le carte. Non sono facili queste scelte. Proponiamo quindi alcune linee guida.

All'inizio di un nuovo processo produttivo o di una nuova applicazione di SPC, le carte dovrebbero essere applicate a tutte le caratteristiche del prodotto che si ritiene siano importanti. Si osserverà solo nel seguito dove effettivamente sono necessarie.

Le carte ritenute in seguito non necessarie devono essere eliminate ed eventualmente ne vanno aggiunte altre, se gli ingegneri o gli operatori lo ritengono necessario.

Le informazioni sulle carte di controllo dovrebbero inizialmente essere tenute separate nel tempo il numero dovrebbe diminuire in relazione alla progressiva stabilizzazione del processo produttivo.

In genere, col passare del tempo, se si osserva che le carte sono utili per la produzione, si nota un aumento del numero delle carte per variabili e una riduzione di quelle per attributi.

Spesso si osserva l'applicazione delle carte quando ormai il prodotto è finito. E' tuttavia meglio applicare il più presto possibile al fine di non incorrere in difettosità che nel seguito potrebbero risultare fatali per l'intero prodotto.

Le carte dovrebbero essere disponibili in luoghi il più vicino possibile alla attività produttiva, così da poter garantire un rapido intervento in caso di una segnalazione di guasto. Inoltre la vicinanza alla produzione consente di verificare velocemente gli effetti prodotti da eventuali aggiustamenti sul processo.

Scegliere la carta appropriata

Carte X e R. Tali carte dovrebbero essere usate per misurare variabili nei seguenti casi:- un nuovo processo produttivo sta per essere avviato su un processo già esistente – il processo ha operato per un certo arco di tempo ma ora presenta diversi problemi di funzionamento – il processo presenta problemi di funzionamento e la carta serve come

strumento di diagnostica – i controlli sono distruttivi o molto costosi – si cerca di ridurre il numero di accettazioni quando il processo è sotto controllo- sono state usate carte di controllo per attributi ma il processo è fuori controllo o sotto controllo ma la difettosità è inaccettabile – le specifiche del prodotto sono molto vincolate o la produzione è particolarmente delicata – l'operatore deve decidere se modificare il processo o come valutare un certo settaggio – si richiede una modifica nelle specifiche del prodotto- deve essere continuamente certificata la capacità del processo, come capita ad esempio nelle industrie a partecipazione statale

Carte per attributi P, c, u Tali carte dovrebbero essere usate per valutare gli attributi di un prodotto nei seguenti casi: - è richiesta una riduzione del numero di pezzi non funzionanti – il prodotto è talmente complesso che l'unico strumento di verifica è il suo attributo di funzionamento o di guasto – non è possibile effettuare misure delle grandezze osservate – E' richiesta la storia passata della produzione. Le carte per attributi sono estremamente sintetiche e quindi particolarmente utili per effettuare comparazioni tra processi a livello manageriale.

Carte per misure singole Queste carte, che, ricordiamo, vengono usate insieme alle carte con range mobile, sono utili nei seguenti casi: - non è possibile disporre di più di un dato per campione o la replica dell'esperimento non dipende dal laboratorio che la effettua – sono disponibili strumenti di controllo automatici che effettuano il controllo di tutte le unità – i dati sono disponibili solo con grande lentezza, al punto da rendere impraticabile la realizzazione di un campione con più di una unità.

6. - Cenni sui principi di base della programmazione degli esperimenti

Un esperimento programmato è una prova, o una serie di prove, , in cui vengono fatte variare deliberatamente le variabili di ingresso di un processo, in modo da poter osservare e identificare le corrispondenti variazioni della risposta in uscita. Il processo, come illustrato, può essere visualizzato come un complesso di macchine, metodi e persone che trasformano il materiale in ingresso nel prodotto in uscita. Questo prodotto in uscita ha una o più caratteristiche di qualità o risposte osservabili. Alcune delle variabili di processo, siano x_1, x_2, \dots, x_p sono controllabili, mentre altre, siano z_1, z_2, \dots, z_q , sono incontrollabili(anche se queste ultime potrebbero essere controllabili nel corso dell'esperimento. A volte questi fattori incontrollabili sono detti fattori di rumore. Gli obiettivi dell'esperimento possono comprendere :

- la determinazione di quali variabili hanno più influenza sulla risposta y ;

- la determinazione di come aggiustare le x più influenti in modo che la risposta y sia vicina alla richiesta della specifica;
- la determinazione di come aggiustare le x influenti in modo che la variabilità di y sia piccola;
- la determinazione di come aggiustare le x influenti in modo che l'effetto delle variabili non controllabili z sia minimizzato.

I metodi della programmazione degli esperimenti possono dunque essere usati sia nello sviluppo sia nella messa a punto del processo per migliorarne le prestazioni o per ottenere un processo robusto ovvero insensibile alle sorgenti esterne di variabilità.

I metodi di controllo statistico del processo e la programmazione degli esperimenti due strumenti potenti per il miglioramento e l'ottimizzazione del processo, sono strettamente collegati. Per esempio, se un processo è sotto controllo statistico, ma ha ancora una bassa capacità, sarà necessario ridurre la variabilità per migliorare il processo. Esperimenti programmati possono fornire un modo di ottenere il risultato più efficiente del semplice controllo statistico di processo SPC. In sostanza, l'SPC è un metodo statistico passivo: osserviamo il processo in attesa di certe informazioni che potranno condurre a cambiamenti utili. Tuttavia, se il processo è sotto controllo, l'osservazione passiva non può produrre molta informazione utile. Viceversa, la programmazione degli esperimenti è un metodo statistico attivo: si faranno in effetti una serie di prove sul processo, effettuando cambiamenti negli ingressi e osservando i corrispondenti cambiamenti nelle uscite, cosa che produce informazione che può condurre ad un miglioramento del processo.

I metodi di programmazione degli esperimenti possono anche essere molto utili nella messa sotto controllo statistico del processo. Ad esempio, si supponga che una carta di controllo indichi che il processo è fuori controllo, e che il processo abbia molte variabili di ingresso controllabili. Può essere difficile ricondurre il processo sotto controllo a meno che non conosciamo quali variabili di ingresso hanno importanza. I metodi di programmazione degli esperimenti possono essere usati per identificare queste variabili di ingresso influenti.

La programmazione degli esperimenti è per l'ingegnere uno strumento di importanza critica per il miglioramento di un processo produttivo. Ha anche estese applicazioni nello sviluppo di nuovi processi. L'applicazione tempestiva di queste tecniche nello sviluppo di processi può condurre a :

- un aumento del volume prodotto;

- una riduzione della variabilità e di un più preciso rispetto delle specifiche; -una riduzione dei tempi di sviluppo;
- una riduzione dei costi complessivi.

I metodi di programmazione degli esperimenti possono anche giocare un ruolo importante nelle attività di progetto, quando si sviluppano nuovi prodotti o si migliorano quelli esistenti. Alcune applicazioni della programmazione statistica degli esperimenti comprendono:

- la valutazione e il confronto di fondamentali configurazioni di progetto;
- la valutazione di alternative sui materiali;
- la determinazione dei parametri di progetto chiave in quanto a l'influenza sulle prestazioni.

L'uso della programmazione degli esperimenti in queste aree può condurre ad un miglioramento della fabbricabilità del prodotto, migliorate prestazioni operative e affidabilità, minori costi di produzione e tempi di sviluppo del prodotto più corti.

7. - Conclusioni

Abbiamo argomentato degli strumenti statistici del Controllo Statistico della Qualità che vengono impiegati in ambito qualità, partendo dai più semplici ed addentrandoci via via nei più complessi strumenti, evidenziando una breve panoramica appunto di strumenti utilizzati un po' in tutti i settori dal manifatturiero o meglio che possono essere utilizzati dal settore primario passando per l'industria nel settore manifatturiero e nel terziario arrivando al terziario avanzato.

Appendice

Campione	Carta \bar{x}			Carta S						Carta R						
	Fattori per i limiti			Fattori per il centro		Fattori per i limiti				Fattori per il centro		Fattori per i limiti				
	n	A	A ₂	A ₃	c ₄	1/c ₄	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	d ₂	1/d ₂	d ₃	D ₁	D ₂	D ₃
2	2.121	1.881	2.659	0.7979	1.2533	0	3.267	0	2.606	1.128	0.8865	0.853	0	3.687	0	3.269
3	1.732	1.023	1.954	0.8862	1.1284	0	2.568	0	2.276	1.693	0.5907	0.888	0	4.357	0	2.574
4	1.5	0.729	1.628	0.9213	1.0854	0	2.266	0	2.088	2.059	0.4857	0.88	0	4.699	0	2.282
5	1.342	0.577	1.427	0.94	1.0638	0	2.089	0	1.964	2.326	0.4299	0.864	0	4.918	0	2.114
6	1.225	0.483	1.287	0.9515	1.0509	0.03	1.97	0.029	1.874	2.534	0.3946	0.848	0	5.078	0	2.004
7	1.134	0.419	1.182	0.9594	1.0424	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.3698	0.833	0.205	5.203	0.076	1.924
8	1.061	0.373	1.099	0.965	1.0362	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.3512	0.82	0.387	5.307	0.136	1.864
9	1	0.337	1.032	0.9693	1.0317	0.239	1.761	0.232	1.707	2.97	0.3367	0.808	0.546	5.394	0.184	1.816
10	0.949	0.308	0.975	0.9727	1.0281	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.3249	0.797	0.687	5.469	0.223	1.777
11	0.905	0.285	0.927	0.9754	1.0253	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.3152	0.787	0.812	5.534	0.256	1.744
12	0.866	0.266	0.886	0.9776	1.023	0.354	1.646	0.346	1.61	3.258	0.3069	0.778	0.924	5.592	0.284	1.716
13	0.832	0.249	0.85	0.9794	1.021	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	0.2998	0.77	1.026	5.646	0.308	1.692
14	0.802	0.235	0.817	0.981	1.0194	0.406	1.594	0.399	1.563	3.407	0.2935	0.762	1.121	5.693	0.329	1.671
15	0.775	0.223	0.789	0.9823	1.018	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	0.288	0.755	1.207	5.737	0.348	1.652
16	0.75	0.212	0.763	0.9835	1.0168	0.448	1.552	0.44	1.526	3.532	0.2831	0.749	1.285	5.779	0.364	1.636
17	0.728	0.203	0.739	0.9845	1.0157	0.466	1.534	0.458	1.511	3.588	0.2787	0.743	1.359	5.817	0.379	1.621
18	0.707	0.194	0.718	0.9854	1.0148	0.482	1.518	0.475	1.496	3.64	0.2747	0.738	1.426	5.854	0.392	1.608
19	0.688	0.187	0.698	0.9862	1.014	0.497	1.503	0.49	1.483	3.689	0.2711	0.733	1.49	5.888	0.404	1.596
20	0.671	0.18	0.68	0.9869	1.0132	0.51	1.49	0.504	1.47	3.735	0.2677	0.729	1.548	5.922	0.414	1.586
21	0.655	0.173	0.663	0.9876	1.0126	0.523	1.477	0.516	1.459	3.778	0.2647	0.724	1.606	5.95	0.425	1.575
22	0.64	0.167	0.647	0.9882	1.012	0.534	1.466	0.528	1.448	3.819	0.2618	0.72	1.659	5.979	0.434	1.566
23	0.626	0.162	0.633	0.9887	1.0114	0.545	1.455	0.539	1.438	3.858	0.2592	0.716	1.71	6.006	0.443	1.557
24	0.612	0.157	0.619	0.9892	1.0109	0.555	1.445	0.549	1.429	3.895	0.2567	0.712	1.759	6.031	0.452	1.548
25	0.6	0.153	0.606	0.9896	1.0105	0.565	1.435	0.559	1.42	3.931	0.2544	0.709	1.804	6.058	0.459	1.541

Per $n \geq 25$: $A = \frac{3}{\sqrt{n}}$, $A_3 = \frac{3}{c_4 \sqrt{n}}$, $c_4 = \frac{4(n-1)}{4n-3}$, $B_3 = 1 - \frac{3}{c_4 \sqrt{2(n-1)}}$, $B_4 = 1 + \frac{3}{c_4 \sqrt{2(n-1)}}$, $B_5 = c_4 - \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}}$, $B_6 = c_4 + \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}}$.