

CAPITOLO 4 - TEORIA E METODI DEL CONTROLLO STATISTICO DI UN PROCESSO PRODUTTIVO

Controllo statistico di un processo produttivo

Viene introdotta la metodologia generale del controllo statistico di processo (SPC – Statistical Process Control):

- ✓ Gli strumenti di base di SPC
- ✓ Come l'SPC dovrebbe essere applicato

Controllo statistico di un processo produttivo

Se un prodotto deve soddisfare o superare le aspettative dei clienti, generalmente dovrebbe essere prodotto con un processo che sia stabile o ripetibile.

Ossia, il processo deve essere in grado di operare con poca variabilità attorno all'obiettivo o alle dimensioni nominali delle caratteristiche di qualità del prodotto.

Controllo statistico di un processo produttivo

Il controllo statistico di processo (SPC) è un insieme di strumenti di risoluzione dei problemi utili per raggiungere la stabilità del processo e migliorare la capacità attraverso la riduzione della variabilità.

L'SPC è uno dei più grandi sviluppi tecnologici del ventesimo secolo perché si basa su solidi principi, è facile da usare, ha un impatto significativo e può essere applicato a qualsiasi processo.

Il SPC si occupa di analizzare la variabilità delle caratteristiche di un prodotto in modo tale che si possa prevedere la percentuale di prodotti che soddisfano le specifiche.

Controllo statistico di un processo produttivo

I suoi sette strumenti principali (chiamati i magnifici sette) sono:

1. istogramma
2. foglio di controllo
3. grafico di Pareto
4. diagramma causa-effetto
5. diagramma di concentrazione dei difetti
6. diagramma a dispersione
7. carta di controllo

Il grafico di Pareto

- ▶ Un grafico di Pareto è un grafico che indica la frequenza dei difetti, così come il loro impatto cumulativo. È utile per trovare i difetti a cui dare la priorità al fine di osservare il massimo miglioramento complessivo.
- ▶ Il diagramma di Pareto è un tipo speciale di grafico a barre in cui le barre sono ordinate dalla più alta alla più bassa. Questo tipo di grafici viene usato per identificare le aree su cui concentrarsi per il miglioramento dei processi.
- ▶ Il diagramma di Pareto contiene al suo interno un grafico a barre e un grafico a linea, dove ogni fattore è rappresentato da barre poste in ordine decrescente e la linea rappresenta invece una distribuzione cumulativa (detta curva di Lorenz)

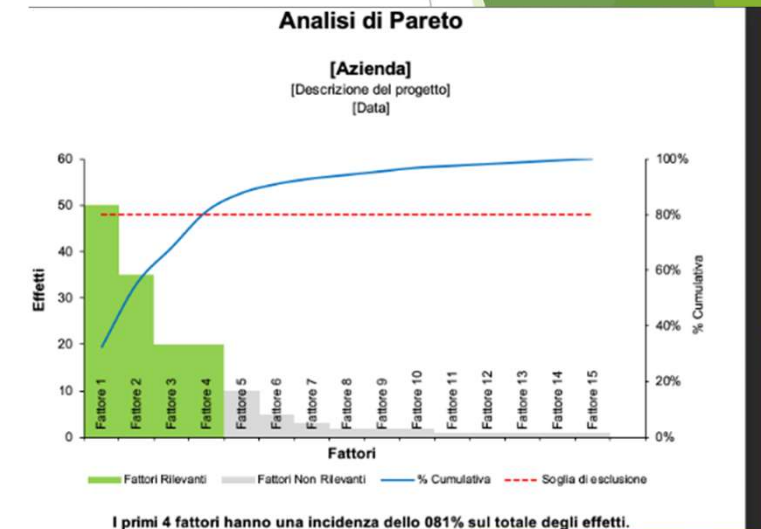


Diagramma causa-effetto

- ▶ È uno schema che aiuta a visualizzare come delle variabili correlate si influenzano a vicenda.
- ▶ Il diagramma è costituito da un insieme di nodi che rappresentano le variabili collegate tra loro.
- ▶ I diagrammi causa-effetto sono stati inventati dal dr. Kaoru Ishikawa e vengono applicati nei gruppi di miglioramento.

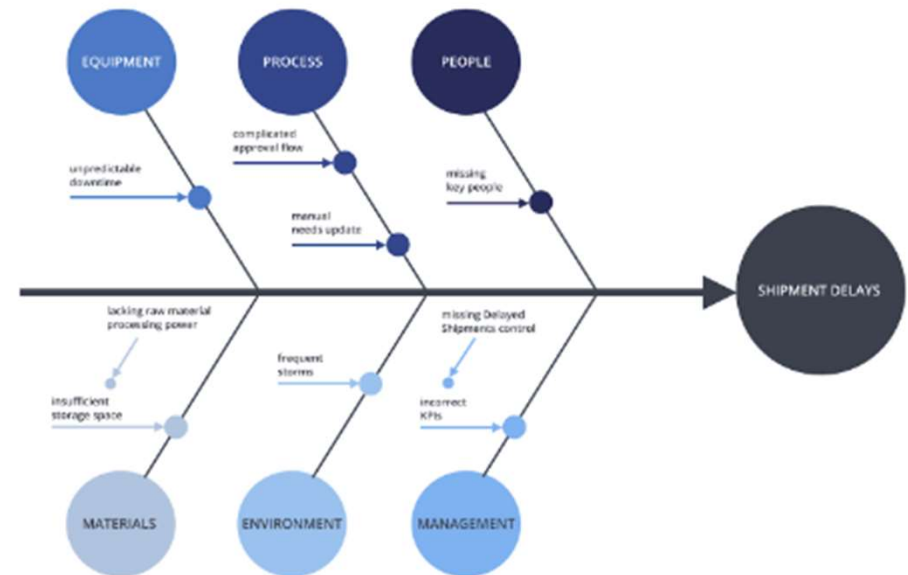
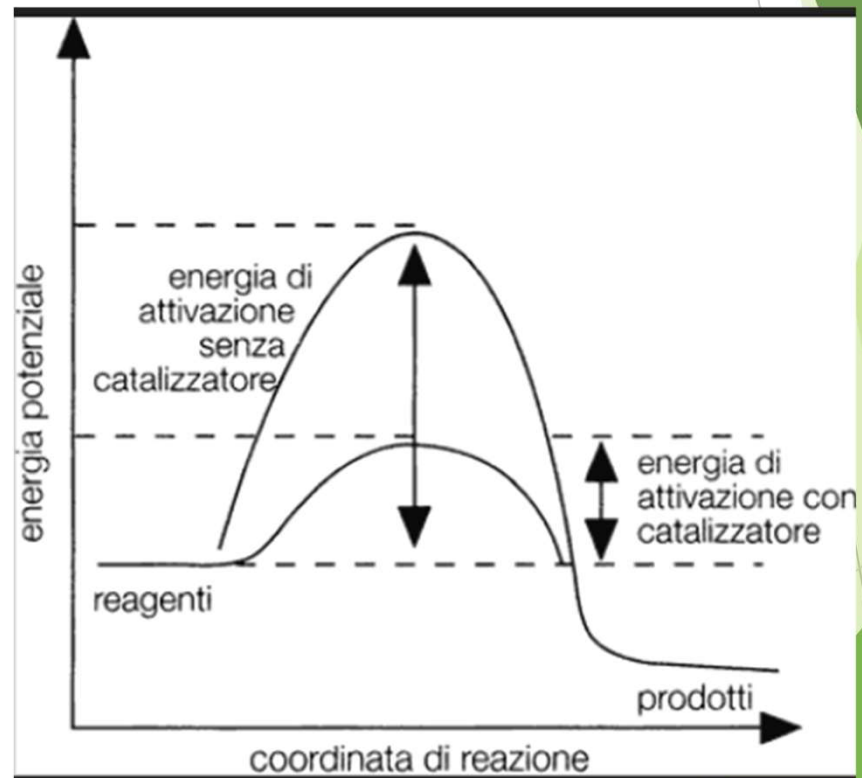


Diagramma di concentrazione dei difetti

- ▶ È uno strumento grafico utile per analizzare le cause dei difetti del prodotto o del pezzo.
- ▶ È un disegno del prodotto con tutte le viste rilevanti visualizzate, su cui vengono mostrate le posizioni e le frequenze dei vari difetti.



Controllo statistico di un processo produttivo

Sebbene questi strumenti siano una parte importante dell'SPC, comprendono solo i suoi aspetti tecnici.

La corretta implementazione di SPC deve creare un ambiente in cui tutti gli individui di un'organizzazione cercano un miglioramento continuo in termini di qualità e produttività.

Dei sette strumenti, la carta di controllo di Shewhart è probabilmente lo strumento tecnicamente più importante.

Controllo statistico di un processo produttivo

Le carte di controllo sono state sviluppate da W. A. Shewart (Bell Telephone Laboratories) nel 1920 ed in letteratura sono spesso indicate con il nome di carte Shewart.

Fonti di variabilità

In qualsiasi processo di produzione, indipendentemente da quanto ben progettato o attentamente mantenuto, esisterà sempre una certa variabilità intrinseca o naturale.

Questa variabilità naturale o "rumore di fondo" è l'effetto cumulativo di molte cause piccole, essenzialmente inevitabili.

Nel quadro del controllo statistico della qualità, questa variabilità naturale viene spesso definita un "sistema stabile di cause casuali".

Fonti di variabilità

Si dice che un processo che sta funzionando con solo le possibili cause di variazione presenti è sotto controllo statistico.

In altre parole, le cause casuali sono una parte intrinseca del processo.

Altri tipi di variabilità possono occasionalmente essere presenti nell'output di un processo.

Fonti di variabilità

Queste altre fonti di variabilità, dovute a fattori ben individuabili e controllabili, possono intervenire nel processo produttivo alterando ed aumentando la variabilità “naturale” fino a valori non accettabili per gli standard di qualità.

In questo caso si può affermare che il processo opera soggetto ad un insieme di ***cause sistematiche o specifiche***.

Un processo che opera in presenza di cause sistematiche è in uno ***STATO DI FUORI CONTROLLO STATISTICO***.

Fonti di variabilità

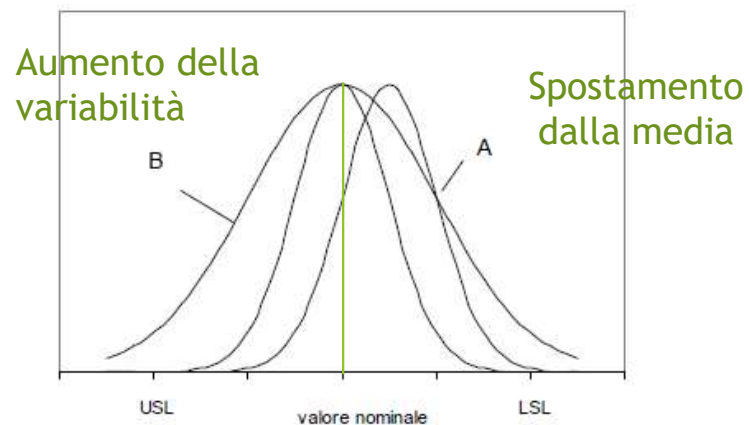
Le cause sistematiche o specifiche sono cause al di fuori del sistema che alterano la variabilità naturale e generano una variabilità non prevedibile che disturba il funzionamento del processo.

- ▶ Un operaio entra in fabbrica senza gli occhiali di cui ha assoluto bisogno e sbaglia alcune regolazioni
- ▶ L'utensile è usurato
- ▶ L'operaio della manutenzione è nuovo, non ancora ben addestrato, e sbaglia una regolazione della macchine
- ▶ Uno strumento di misura è fuori taratura
- ▶ Materie prime fuori specifiche

Fonti di variabilità

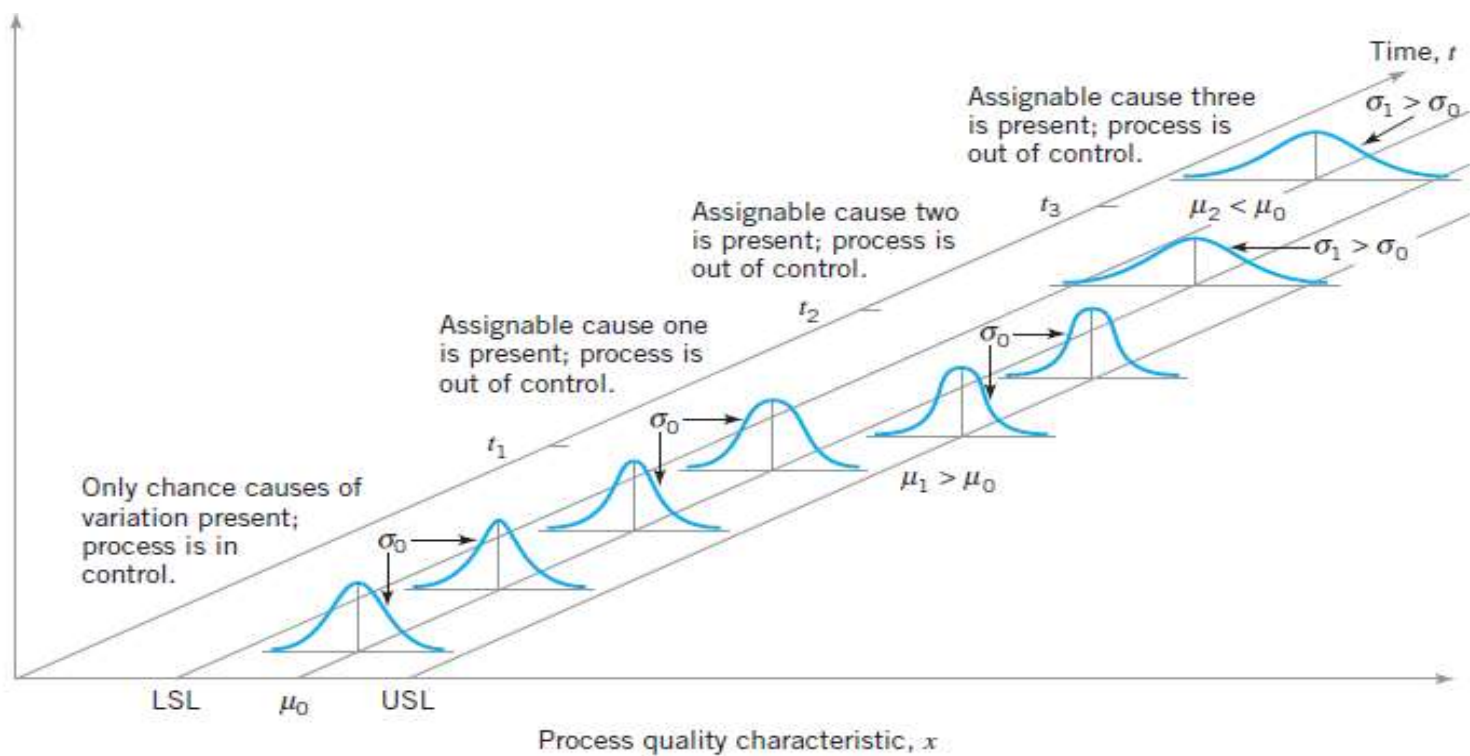
Cause sistematiche possono intervenire nel processo provocando:

- A) un allontanamento del valore medio della caratteristica di qualità dal valore target;
- B) un aumento della variabilità della caratteristica di qualità;
- C) sia variazioni nella media sia un aumento della variabilità

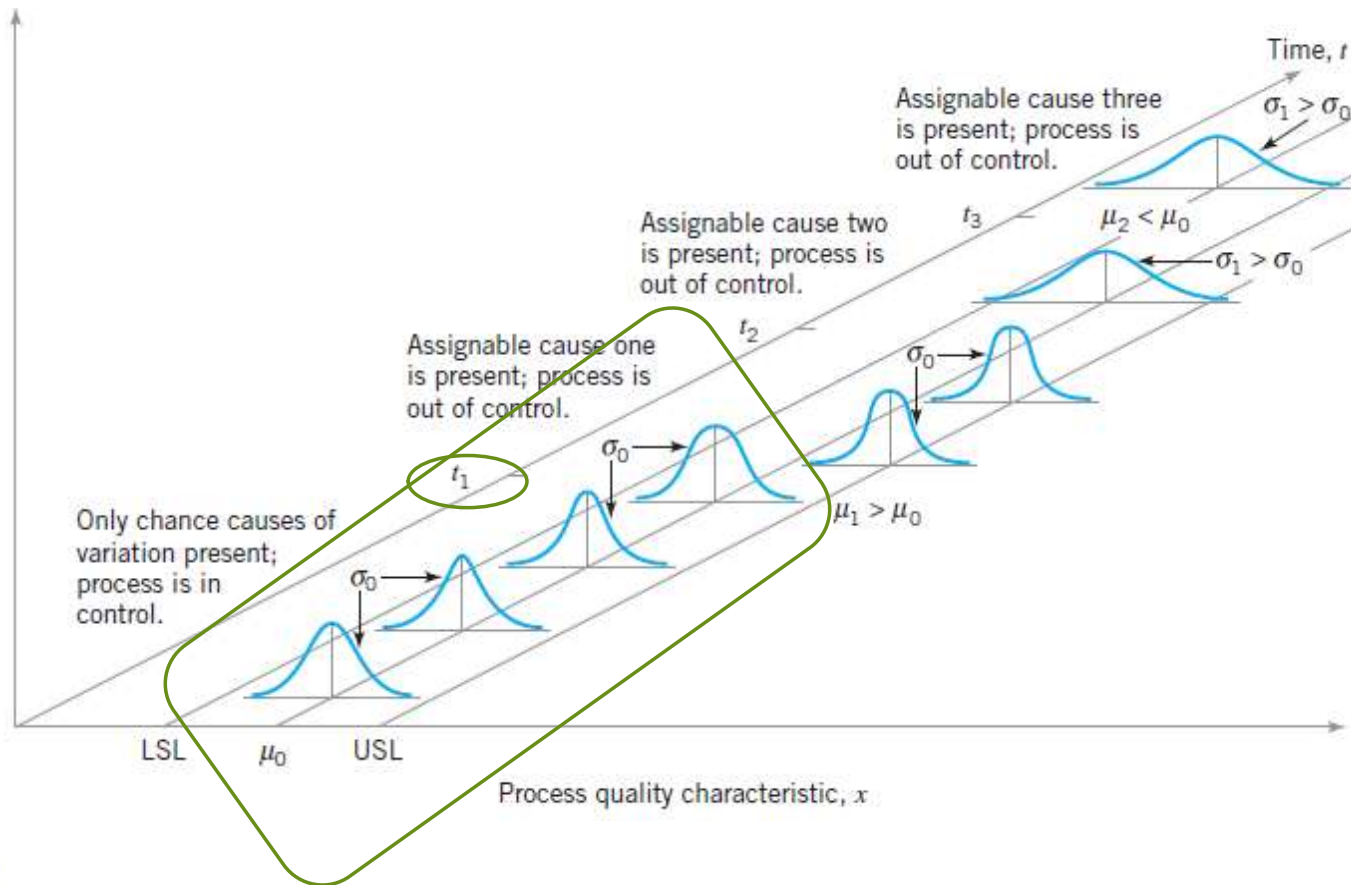


Fonti di variabilità

Spesso la produzione opera in controllo per lunghi periodi di tempo, finchè si verifica una causa speciale e va fuori controllo.

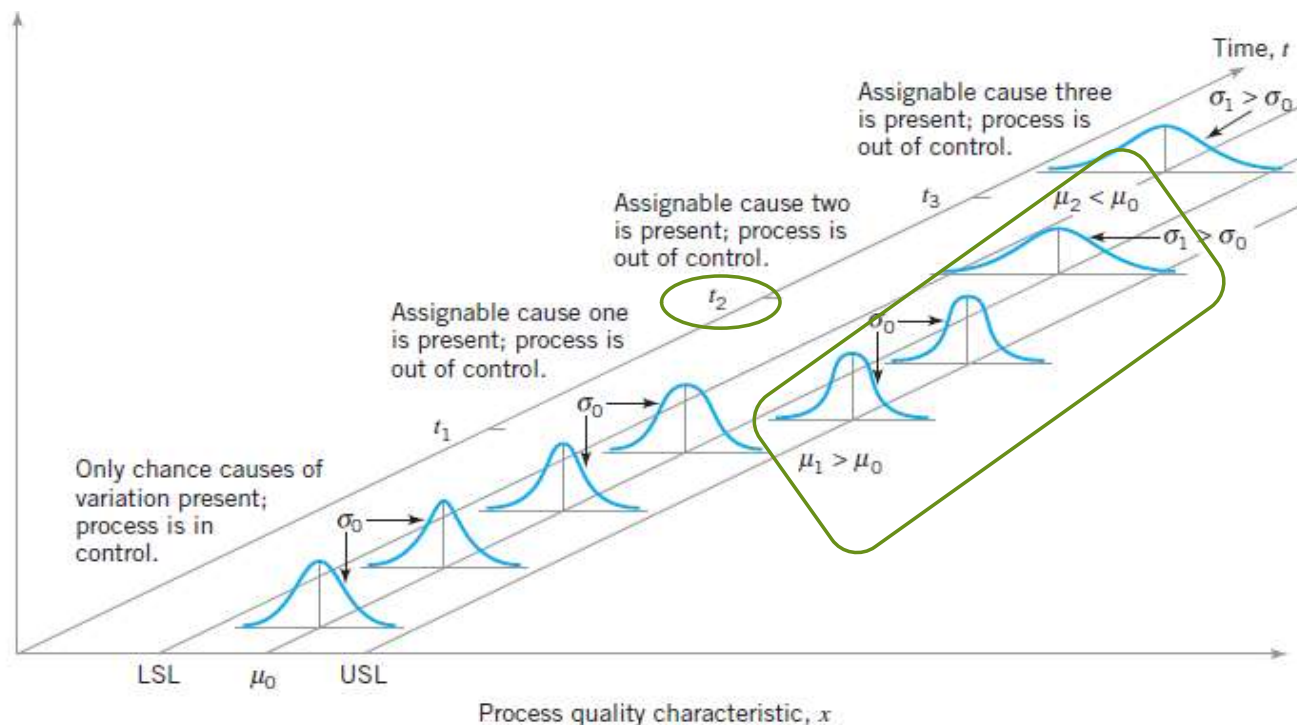


Fonti di variabilità



Fino al tempo t_1 il processo mostrato in questa figura è sotto controllo: sono presenti solo cause naturali di variazione. Di conseguenza, sia la media che la deviazione standard del processo sono ai loro valori.

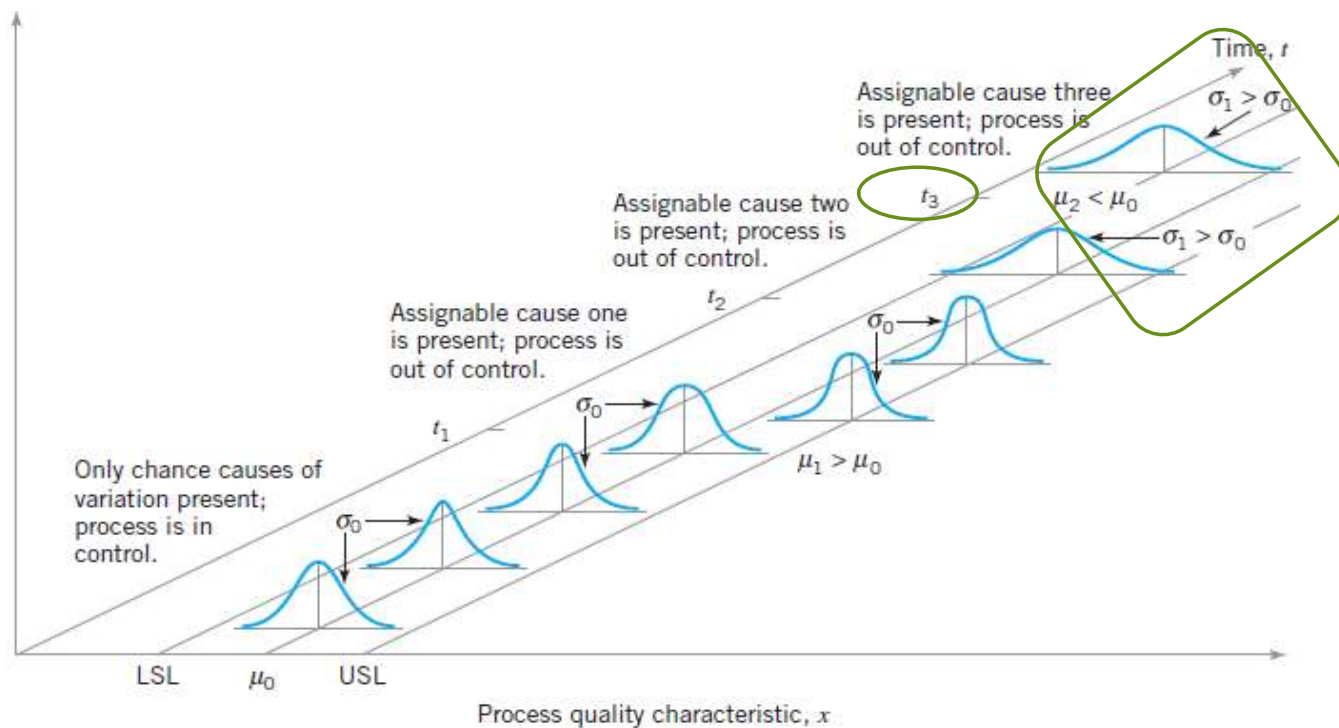
Fonti di variabilità



Al tempo t_1 , si verifica una causa specifica. Come mostrato nella Figura, l'effetto di questa causa è di spostare la media del processo su un nuovo valore $\mu_1 > \mu_0$.

Al tempo t_2 , si verifica un'altra causa specifica, che ha causato una variazione della deviazione standard del processo, che è passata a un valore maggiore $\sigma_1 > \sigma_0$.

Fonti di variabilità



Al tempo t_3 è presente un'altra causa specifica, che determina che sia la media del processo sia la deviazione standard assumono valori fuori controllo.

Dal tempo t_1 in poi la presenza di cause specifiche ha comportato un processo fuori controllo.

Fonti di variabilità

I processi funzioneranno spesso nello stato di controllo per periodi di tempo relativamente lunghi.

Tuttavia, nessun processo è veramente stabile per sempre e, alla fine, si verificheranno cause specifiche, apparentemente casuali, con il risultato di passare a uno stato fuori controllo in cui una percentuale maggiore dell'output del processo non è conforme ai requisiti.

Fonti di variabilità

Il risultato di un processo fuori controllo è che aumenta la produzione di elementi che non soddisfano le specifiche richieste, con un conseguente peggioramento della qualità risultante del prodotto ed un danno economico per l'azienda.

Questo provoca uno spostamento (SHIFT) del processo verso uno stato di fuori controllo statistico.

Fonti di variabilità

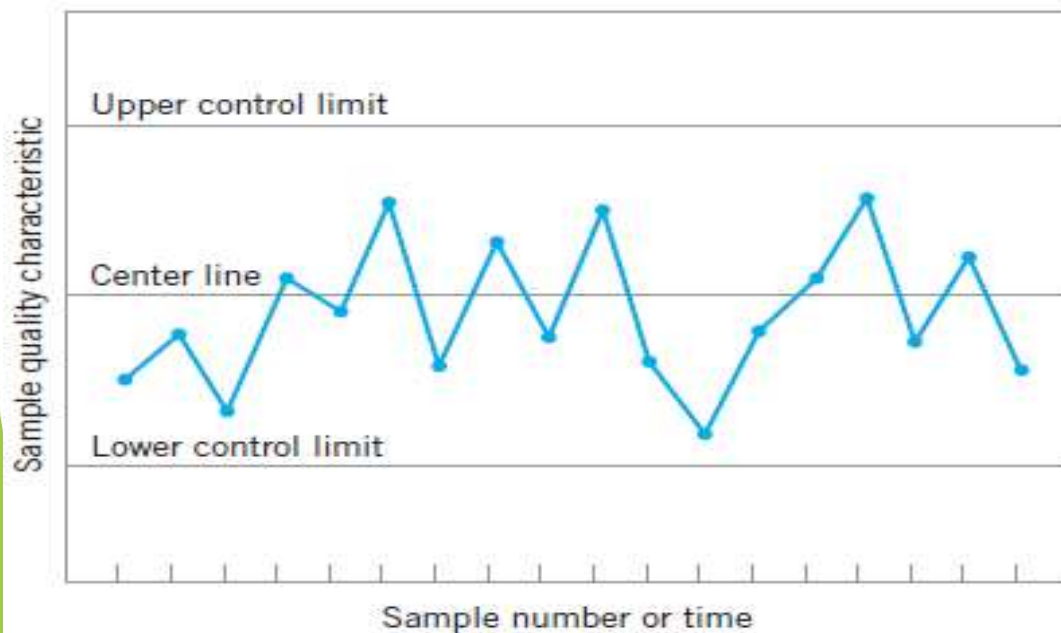
L'obiettivo principale del controllo statistico di processo è individuare, nel minor tempo possibile, lo shift del processo in modo che possano essere prese azioni correttive.

Le carte di controllo sono una tecnica di monitoraggio del processo online ampiamente utilizzata a tale scopo.

Esse consentono di sorvegliare il processo in corso di produzione segnalando eventuali problemi e consentendo interventi correttivi.

Le carte di controllo

Una carta di controllo è una visualizzazione grafica di una sequenza di test statistici per verificare lo stato di controllo del processo.

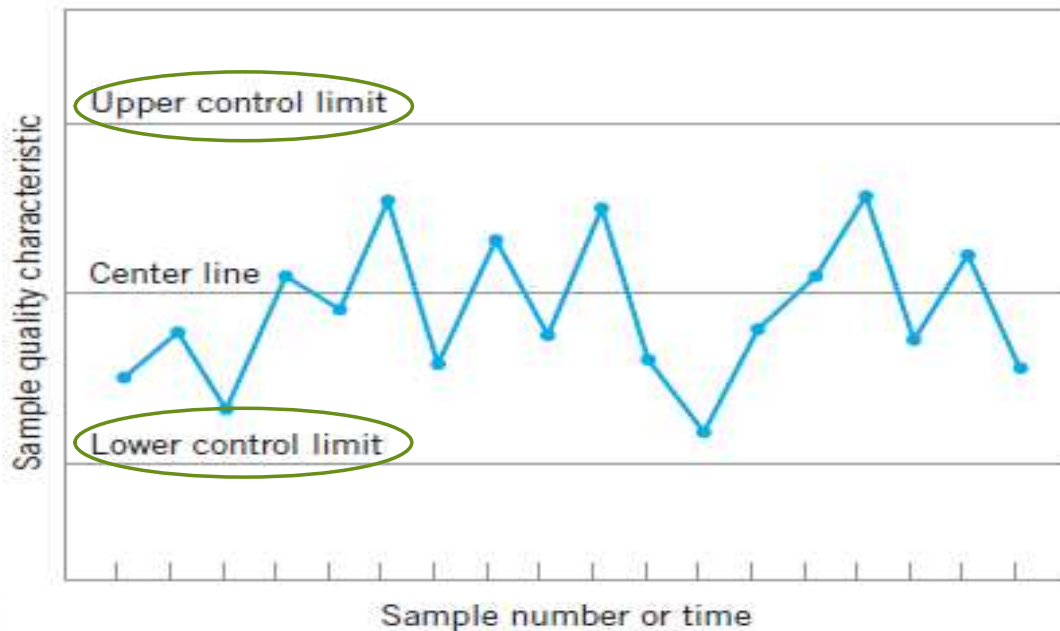


L'asse orizzontale indica la sequenza temporale con la quale sono stati raccolti i dati oppure il numero del campione osservato.

L'asse verticale indica il valore della caratteristica del prodotto in esame.

La carta permette di monitorare nel tempo la caratteristica in esame.

Le carte di controllo

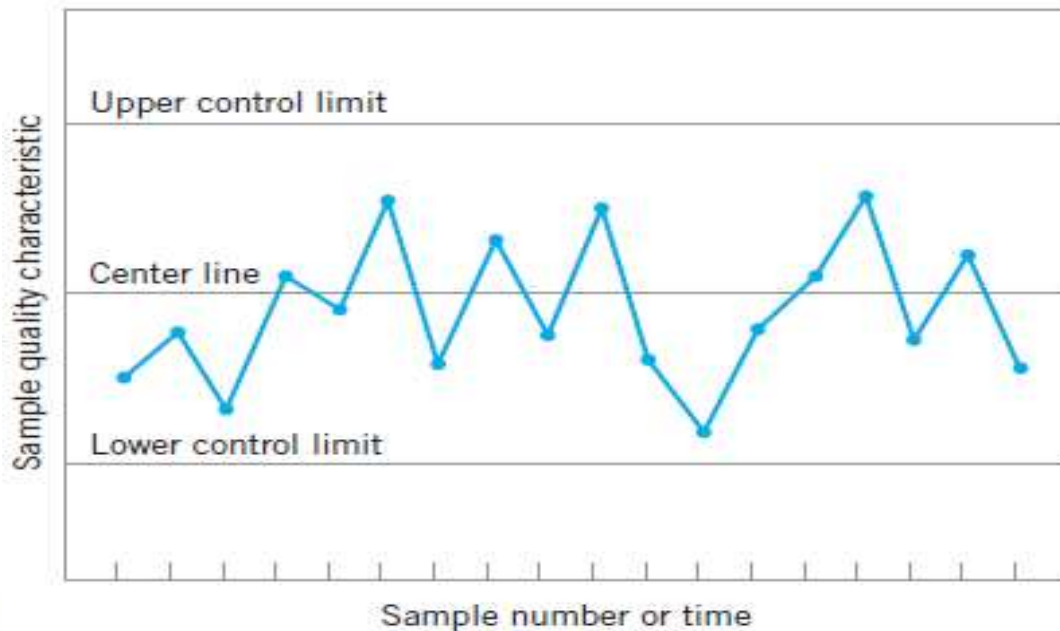


Il grafico contiene:

- una linea centrale che rappresenta il valore medio della caratteristica di qualità corrispondente allo stato di controllo
- altre due linee orizzontali, chiamate limite di controllo superiore (UCL) e limite di controllo inferiore (LCL).

Questi limiti di controllo sono scelti in modo tale che se il processo è sotto controllo, quasi tutti i punti campione cadono tra di loro.

Le carte di controllo



È consuetudine collegare i punti campione sulla carta di controllo con segmenti di linea retta, in modo che sia più semplice visualizzare come la sequenza di punti si è evoluta nel tempo.

Tuttavia, anche se tutti i punti vengono tracciati all'interno dei limiti di controllo, se si osserva un andamento sistematico o non casuale, ciò potrebbe indicare che il processo è fuori controllo.

Le carte di controllo

Esiste una stretta connessione tra carte di controllo e test di ipotesi.

Supponiamo che l'asse verticale nella carta di controllo sia la media del campione.

Se la media ricade tra i limiti di controllo, si conclude che la media del processo è sotto controllo.

Se, invece, supera uno dei limiti di controllo, si conclude che la media del processo è fuori controllo.

Le carte di controllo

In un certo senso, quindi, le carte controllo sono un test d'ipotesi che il processo sia in uno stato di controllo statistico.

Un diagramma dei punti entro i limiti di controllo equivale a non rifiutare l'ipotesi che il processo è sotto controllo e un diagramma con dei punti al di fuori dei limiti di controllo equivale a rifiutare l'ipotesi che il processo è sotto controllo.

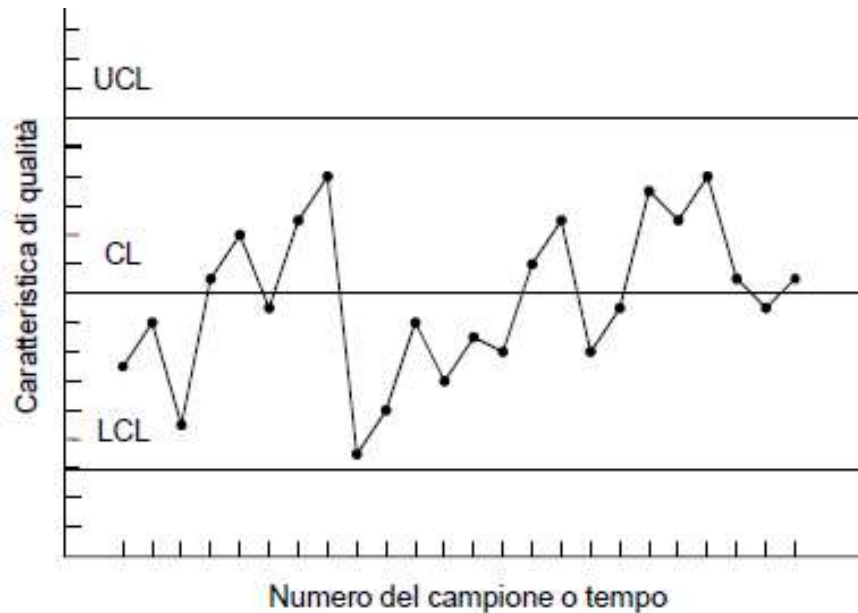
Le carte di controllo

Indicando con X la caratteristica di qualità da controllare, dal processo produttivo si estraggono, ad intervalli regolari di tempo, dei campioni di numerosità n , $(x_1, x_2, \dots, x_n) = X_n$, si forma la statistica campionaria $g(X_n)$ (media campionaria, mediana campionaria, range, deviazione standard ecc.) e la si utilizza per verificare il sistema d'ipotesi:

H_0 : Il processo è in controllo

H_1 : Il processo è fuori controllo

Le carte di controllo



Due possibili errori:

- I tipo: rigettare H_0 quando è vera (concludere che un processo è fuori controllo quando è sotto controllo);
- II tipo: accettare H_0 quando è falsa (concludere che il processo è sotto controllo quando è fuori controllo).

Tipologie di carta di controllo

CARTE PER VARIABILI: eventi misurabili su scala continua (per es. temperature, costi, dimensioni, livelli di contaminazione, ...)

CARTE PER ATTRIBUTI: eventi misurabili su scala discreta (per es. percentuali di difettosità, percentuali di rifiuto di lotti, assenteismo, ...)

Tipi di variabilità

Un'altra considerazione importante nell'uso delle carte di controllo è il tipo di variabilità esibito dal processo.

È possibile distinguere 3 diverse tipologie di processo:

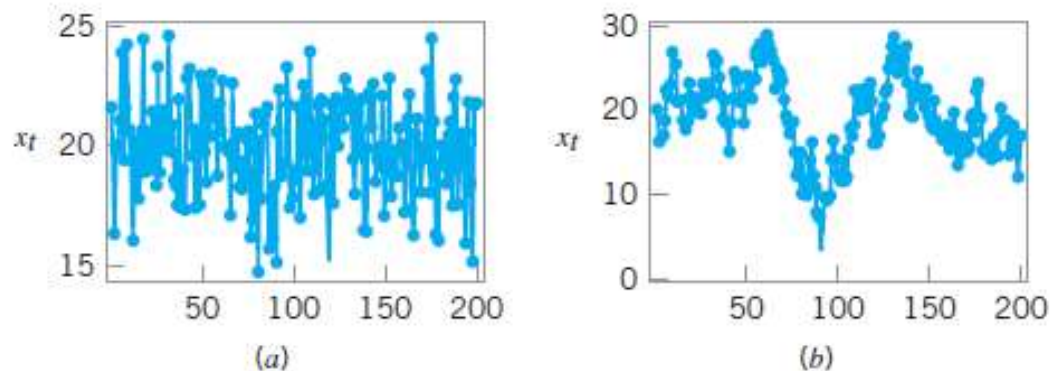
- Stazionario e non correlato
- Stazionario e autocorrelato
- Non stazionario.

Tipi di variabilità: processo stazionario

Un processo si dice **stazionario** se i dati variano attorno ad una media costante nel tempo in maniera stabile e prevedibile attraverso un modello probabilistico.

Questo è il tipo di comportamento implicito da Shewhart da un processo sotto controllo.

Processo stazionario non correlato

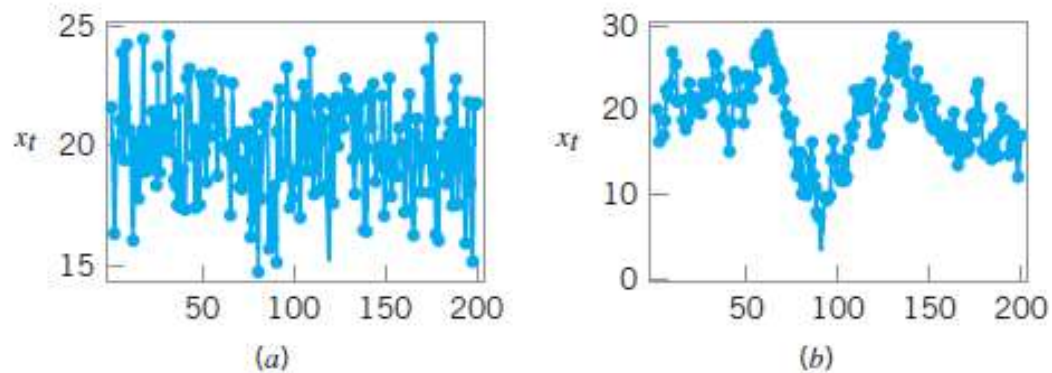


I due grafici della figura sono un esempio di processo stazionario.

Tuttavia i due grafici presentano delle differenze.

I dati del grafico (a) non sono correlati; cioè, le osservazioni danno l'impressione di essere state tratte a caso da una popolazione stabile, forse una distribuzione normale.

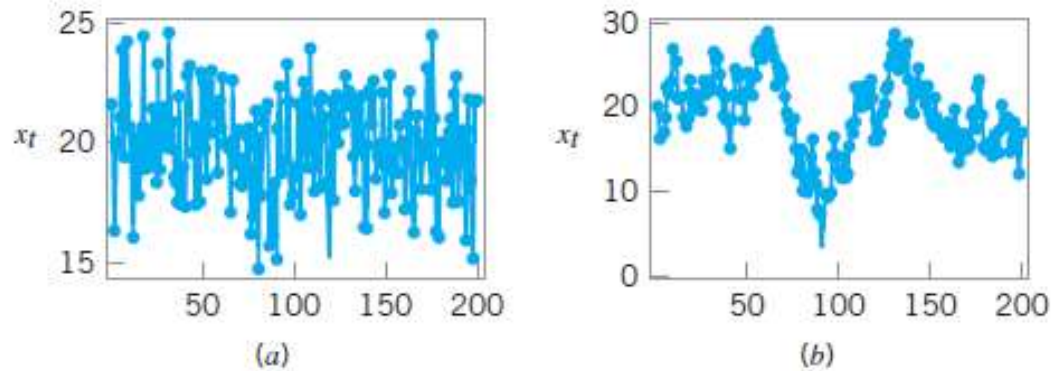
Processo stazionario non correlato



Questo tipo di dati viene definito dagli analisti delle serie temporali come rumore bianco (white noise).

In questo tipo di processo, i valori passati dei dati non sono di aiuto nel prevedere alcun valore futuro.

Processo stazionario correlato

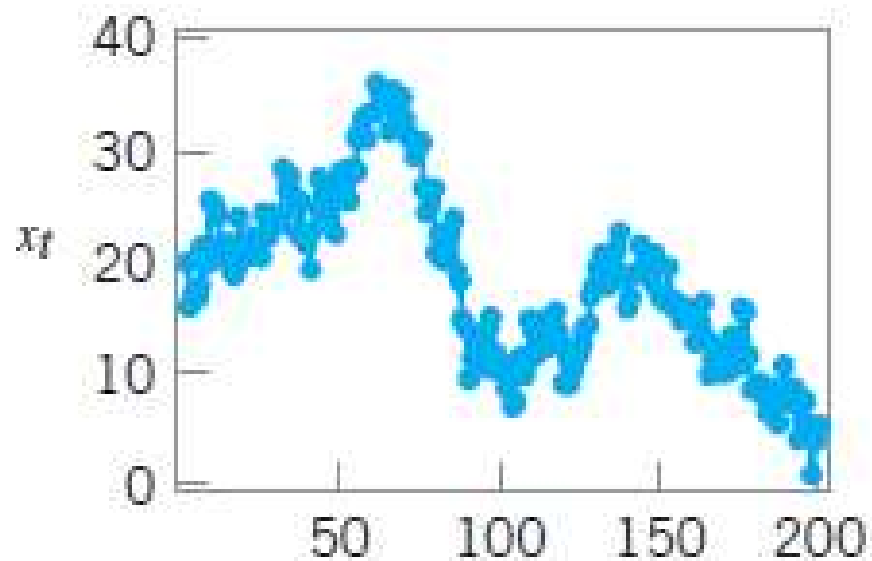


Il grafico (b) illustra i dati di processo stazionario ma autocorrelato. Si noti che in questi dati le osservazioni successive sono dipendenti; cioè, un valore al di sopra della media tende a essere seguito da un altro valore al di sopra della media, mentre un valore al di sotto della media è generalmente seguito da un altro valore.

Questo produce una serie di dati che ha la tendenza a spostarsi in "corse" moderatamente lunghe su entrambi i lati della media.

Processo non stazionario

Un processo si dice **non stazionario** quando è molto instabile, nel senso che si muove senza alcun andamento di fondo attorno alla media stabile o costante.



Processo non stazionario

Questo tipo di dati di processo è frequente nelle industrie chimiche e di processo.

Si noti che il processo è molto instabile in quanto va alla deriva o "vaga" senza alcun senso di una media stabile o fissa.

In molti contesti industriali, questo tipo di comportamento viene stabilizzato utilizzando il controllo dei processi di progettazione (come il controllo del feedback).

Questo approccio al controllo di processo è necessario quando vi sono fattori che influenzano il processo che non possono essere stabilizzati, come variabili ambientali o proprietà delle materie prime.

Le carte di controllo: esempio

Supponiamo che la larghezza di un bullone debba avere una media di 1,5 cm, ed è noto che la deviazione standard è di 0,15 cm.

Ogni ora viene prelevato un campione di cinque bulloni, calcolata la larghezza media dei bulloni e tracciata sul grafico.

Le carte di controllo: esempio

Per comprendere le basi statistiche di questa carta di controllo, consideriamo come sono stati determinati i limiti di controllo.

La media del processo è 1,5 cm e la deviazione standard del processo è $\sigma = 0,15$ cm.

Se vengono prelevati campioni di dimensione $n=5$, la deviazione standard della media del campione è:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0.15}{\sqrt{5}} = 0.0671$$

Le carte di controllo: esempio

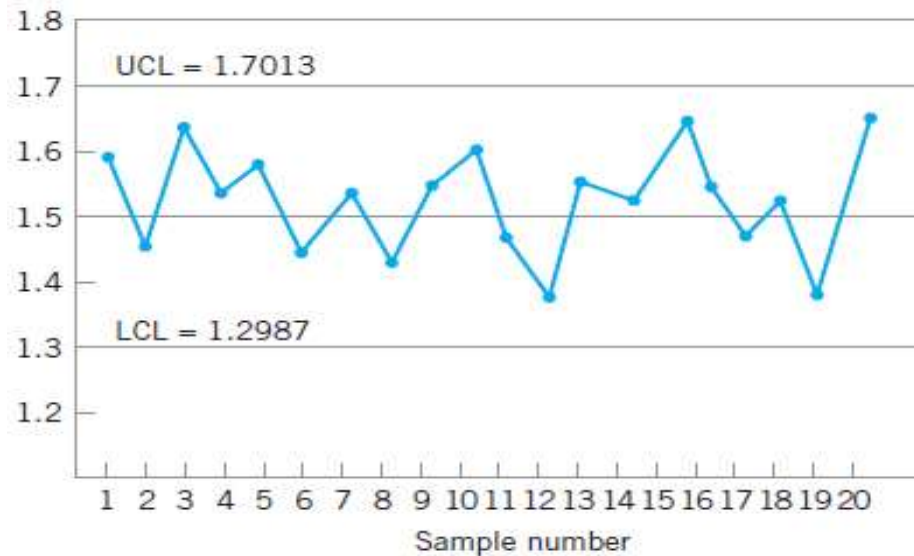
Pertanto, se il processo è sotto controllo con una larghezza media di bulloni di 1,5 cm, utilizzando il teorema del limite centrale per assumere che sia approssimativamente distribuito normalmente, ci aspetteremmo che il $100(1-\alpha)\%$ del campione cadere tra $1,5 + Z_{\alpha/2}(0.0671)$ e $1,5 - Z_{\alpha/2}(0.0671)$.

Le carte di controllo: esempio

Scegliendo arbitrariamente la costante $Z_{\alpha/2}$ pari a 3, i limiti di controllo superiore e inferiore diventano:

$$UCL = 1.5 + 3(0.0671) = 1.7013$$

$$LCL = 1.5 - 3(0.0671) = 1.2987$$



Questi sono in genere chiamati limiti di controllo a tre sigma

Le carte di controllo: esempio

Si noti che la scelta dei limiti di controllo equivale a impostare un test d'ipotesi con varianza nota ($\sigma = 0,15$):

$$H_0: \mu = 1.5$$

$$H_1: \mu \neq 1.5$$

Le carte di controllo: esempio

In sostanza, la carta di controllo verifica ripetutamente questa ipotesi in diversi istanti di tempo.

