Controllo statistico di processo

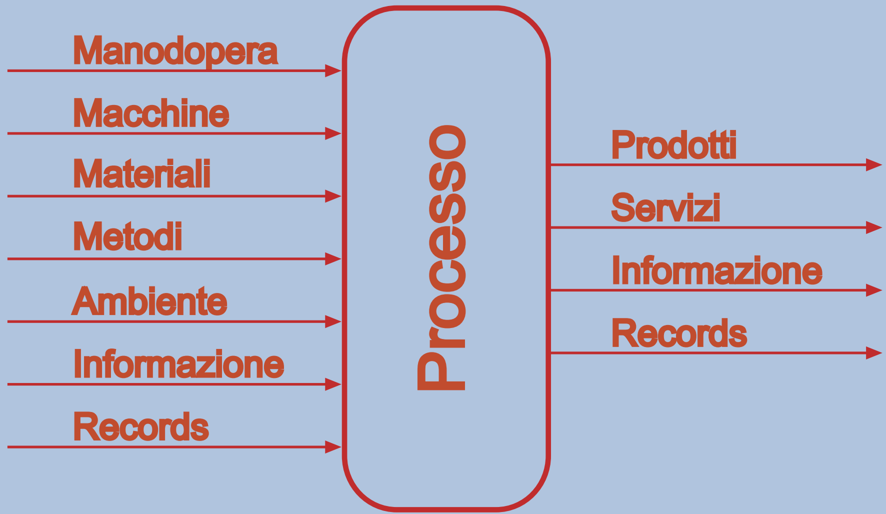
SPC - Statistical Process Control

Processo

Trasformazione, auspicabilmente a valore aggiunto, degli input nell'output desiderato

Processo

Trasformazione, auspicabilmente a valore aggiunto, degli input nell'output desiderato



Controllo del processo

Controllare = Padroneggiare

Controllo del processo

Controllare = Padroneggiare

Per porre sotto controllo un processo devo applicare la metodologia del *PDCA*:

Controllo del processo

Controllare = Padroneggiare

Per porre sotto controllo un processo devo applicare la metodologia del *PDCA*:

- Plan
- Do
- Check
- Action

Controllo del processo

Controllare = Padroneggiare

Per porre sotto controllo un processo devo applicare la metodologia del *PDCA*:

- Plan
- Do
- Check
- Action

Devo essere in grado di rispondere positivamente a quattro domande.

Plan

Siamo in grado di ottenere prodotti buoni?

Can we make it OK?

Capacità del processo

Plan

Siamo in grado di ottenere prodotti buoni?

Can we make it OK?

Capacità del processo

Do

Stiamo lavorando come previsto?

Are we making it OK?

Misura (verifica) del processo

Check

Abbiamo ottenuto prodotti buoni?

Have we made it OK?

Quality Assurance

Check

Abbiamo ottenuto prodotti buoni?

Have we made it OK?

Quality Assurance

Action

Possiamo ottenere prodotti migliori?

Can we make it better?

Miglioramento

Qualità: come si ottiene

Qualità del prodotto

Qualità: come si ottiene

	Qualità del prodotto
vuol dire	Eccellenza di prestazioni

Qualità: come si ottiene

	Qualità del prodotto
vuol dire	Eccellenza di prestazioni
implica	Consistenza nel comportamento

Qualità: come si ottiene

	Qualità del prodotto
vuol dire	Eccellenza di prestazioni
implica	Consistenza nel comportamento
si ottiene con	Consistenza nella produzione

Qualità: come si ottiene

	Qualità del prodotto
vuol dire	Eccellenza di prestazioni
implica	Consistenza nel comportamento
si ottiene con	Consistenza nella produzione

Consistenza significa che da uguale input si deve ottenere uguale output.

Qualità: come si ottiene

	Qualità del prodotto
vuol dire	Eccellenza di prestazioni
implica	Consistenza nel comportamento
si ottiene con	Consistenza nella produzione

Consistenza significa che da uguale input si deve ottenere uguale output.

Ma ogni caratteristica di un'entità presenta una variabilità intrinseca.

A causa di questa variabilità, la consistenza non è un concetto assoluto.

Qualità: come si ottiene

	Qualità del prodotto
vuol dire	Eccellenza di prestazioni
implica	Consistenza nel comportamento
si ottiene con	Consistenza nella produzione

Consistenza significa che da uguale input si deve ottenere uguale output.

Ma ogni caratteristica di un'entità presenta una variabilità intrinseca.

A causa di questa variabilità, la consistenza non è un concetto assoluto.

Per esempio, **consistenza nella produzione** significa produrre entità che mostrano, *entro certi limiti*, le stesse caratteristiche.

Statistical thinking

Statistical thinking significa:

- Riconoscere l'esistenza della variabilità

Statistical thinking

Statistical thinking significa:

- Riconoscere l'esistenza della variabilità
- Quantificare la variabilità

Statistical thinking

Statistical thinking significa:

- Riconoscere l'esistenza della variabilità
- Quantificare la variabilità
- Dominarla per quanto possibile

Statistical thinking

Statistical thinking significa:

- Riconoscere l'esistenza della variabilità
- Quantificare la variabilità
- Dominarla per quanto possibile
- Riconoscere che ogni decisione è sempre affetta da un certo grado di incertezza

Statistical thinking

Statistical thinking significa:

- Riconoscere l'esistenza della variabilità
- Quantificare la variabilità
- Dominarla per quanto possibile
- Riconoscere che ogni decisione è sempre affetta da un certo grado di incertezza

Le decisioni prese su base statistica presentano un'incertezza quantificabile.

Categorie di variabilità

La variabilità si può suddividere in:

naturale (non assegnabile)

È la tendenza a realizzare, in condizioni operative normali *(tutte le cause di variabilità speciale sono state rimosse)*, prodotti con caratteristiche diverse.
Non è assegnabile a cause definite.

Categorie di variabilità

La variabilità si può suddividere in:

naturale (non assegnabile)

È la tendenza a realizzare, in condizioni operative normali *(tutte le cause di variabilità speciale sono state rimosse)*, prodotti con caratteristiche diverse.
Non è assegnabile a cause definite.

speciale (assegnabile)

Quando sono presenti cause di variabilità speciale le condizioni operative non sono normali.
È assegnabile a cause definite.

Variabilità naturale

La variabilità naturale:

- ha molte cause, ognuna delle quali dà un contributo alla variabilità totale piccolo e non separabile da quello delle altre cause

Variabilità naturale

La variabilità naturale:

- ha molte cause, ognuna delle quali dà un contributo alla variabilità totale piccolo e non separabile da quello delle altre cause
- il contributo alla variabilità totale è significativo

Variabilità naturale

La variabilità naturale:

- ha molte cause, ognuna delle quali dà un contributo alla variabilità totale piccolo e non separabile da quello delle altre cause
- il contributo alla variabilità totale è significativo
- è, per sua natura, ineliminabile

Variabilità speciale

La variabilità speciale:

- ha molte cause, ognuna delle quali può dare un contributo significativo alla variabilità totale

Variabilità speciale

La variabilità speciale:

- ha molte cause, ognuna delle quali può dare un contributo significativo alla variabilità totale
- Le cause sono eliminabili
  la rimozione può essere economicamente fattibile

Variabilità speciale

La variabilità speciale:

- ha molte cause, ognuna delle quali può dare un contributo significativo alla variabilità totale
- Le cause sono eliminabili
  la rimozione può essere economicamente fattibile

Un modo di classificare le cause speciali è dato dalle **4M**: materials, machines, methods, men

Controllo di Processo

Il controllo di processo si propone di ottenere un output rispondente ai requisiti attraverso il controllo degli input e del processo di trasformazione.

Nel caso di processi ripetitivi (lavorazione in serie o processo continuo) il controllo di processo può essere attuato su base statistica.

Controllo statistico di processo

La variabilità negli input comporta che in genere è impossibile predire il valore di una caratteristica di una singola unità di prodotto.

I metodi statistici rendono comunque possibile descrivere l'output e il processo stesso, naturalmente non in maniera deterministica ma probabilistica.

Controllo statistico di processo

La variabilità negli input comporta che in genere è impossibile predire il valore di una caratteristica di una singola unità di prodotto.

I metodi statistici rendono comunque possibile descrivere l'output e il processo stesso, naturalmente non in maniera deterministica ma probabilistica.

Il controllo statistico di processo *(SPC)* non prende in coniderazione le singole unità di prodotto, ma il processo nel suo complesso.

Le misure sulle unità di prodotto, quando vengono fatte, non hanno lo scopo di separare le unità buone da quelle non conformi, ma quello di accertare se l'output del processo è conforme a quanto previsto.

Dominio della variabilità

La domanda

Can we make it ok?

si traduce in due requisiti che devono entrambi essere soddisfatti:

Dominio della variabilità

La domanda

Can we make it ok?

si traduce in due requisiti che devono entrambi essere soddisfatti:

1. Il processo è stabile *(in controllo)*?

Dominio della variabilità

La domanda

Can we make it ok?

si traduce in due requisiti che devono entrambi essere soddisfatti:

1. Il processo è stabile *(in controllo)*?
2. Qual è la variabilità del processo?

Dominio della variabilità

La domanda

Can we make it ok?

si traduce in due requisiti che devono entrambi essere soddisfatti:

1. Il processo è stabile *(in controllo)*?
2. Qual è la variabilità del processo?

Abbiamo a che fare con due tipi di dati:

- da conteggio (discreti, *attributi*)
- da misura (continui, *variabili*)

Dominio della variabilità

La domanda

Can we make it ok?

si traduce in due requisiti che devono entrambi essere soddisfatti:

1. Il processo è stabile *(in controllo)*?
2. Qual è la variabilità del processo?

Abbiamo a che fare con due tipi di dati:

- da conteggio (discreti, *attributi*)
- da misura (continui, *variabili*)

Le leggi statistiche a cui obbediscono i due tipi di dati sono diverse; perciò anche i metodi, ma non i principi del controllo di processo saranno diversi.

Accuratezza e precisione

Nella descrizione della variabilità di dati continui bisogna distinguere tra accuratezza e precisione.

Accuratezza e precisione

Nella descrizione della variabilità di dati continui bisogna distinguere tra accuratezza e precisione.

Accuratezza

capacità di centrare il bersaglio

scostamento della media dall'obbiettivo, dal valore nominale

Accuratezza e precisione

Nella descrizione della variabilità di dati continui bisogna distinguere tra accuratezza e precisione.

Accuratezza

capacità di centrare il bersaglio

scostamento della media dall'obbiettivo, dal valore nominale

Precisione

dispersione dei colpi intorno al *loro* punto centrale

deviazione standard

Accuratezza e precisione - 2

- si possono distinguere solo guardando a gruppi di valori (a un campione), non a valori singoli

Accuratezza e precisione - 2

- si possono distinguere solo guardando a gruppi di valori (a un campione), non a valori singoli
- Se non si conoscono sia l'accuratezza che la precisione non si sa come intervenire

Accuratezza e precisione - 2

- si possono distinguere solo guardando a gruppi di valori (a un campione), non a valori singoli
- Se non si conoscono sia l'accuratezza che la precisione non si sa come intervenire
- Prendere decisioni sugli aggiustamenti da fare a un processo sulla base di dati singoli può produrre risultati imprevedibili

Accuratezza e precisione - 2

- si possono distinguere solo guardando a gruppi di valori (a un campione), non a valori singoli
- Se non si conoscono sia l'accuratezza che la precisione non si sa come intervenire
- Prendere decisioni sugli aggiustamenti da fare a un processo sulla base di dati singoli può produrre risultati imprevedibili
- Correggere l'accuratezza è, di solito, più semplice che correggere la mancanza di precisione (cosa normalmente impossibile senza cambiare il processo)

SPC - come?

Il Controllo Statistico di Processo (SPC) si applica ai singoli processi elementari, non ai macroprocessi.

SPC - come?

Il Controllo Statistico di Processo (SPC) si applica ai singoli processi elementari, non ai macroprocessi.

Devo suddividere ricorsivamente i macroprocessi in processi di ordine inferiore, fino al livello elementare, in cui l'intervento sul processo è direttamente collegabile alle caratteristiche dell'output.

SPC - come?

Il Controllo Statistico di Processo (SPC) si applica ai singoli processi elementari, non ai macroprocessi.

Devo suddividere ricorsivamente i macroprocessi in processi di ordine inferiore, fino al livello elementare, in cui l'intervento sul processo è direttamente collegabile alle caratteristiche dell'output.

In pratica, nel caso di un processo di fabbricazione è il livello della singola fase del ciclo di lavoro.

SPC - come?

Il Controllo Statistico di Processo (SPC) si applica ai singoli processi elementari, non ai macroprocessi.

Devo suddividere ricorsivamente i macroprocessi in processi di ordine inferiore, fino al livello elementare, in cui l'intervento sul processo è direttamente collegabile alle caratteristiche dell'output.

In pratica, nel caso di un processo di fabbricazione è il livello della singola fase del ciclo di lavoro.

Le fasi di controllo che ci interessano si possono esplicitare come:

SPC - come?

Il Controllo Statistico di Processo (SPC) si applica ai singoli processi elementari, non ai macroprocessi.

Devo suddividere ricorsivamente i macroprocessi in processi di ordine inferiore, fino al livello elementare, in cui l'intervento sul processo è direttamente collegabile alle caratteristiche dell'output.

In pratica, nel caso di un processo di fabbricazione è il livello della singola fase del ciclo di lavoro.

Le fasi di controllo che ci interessano si possono esplicitare come:

1. studio del processo

SPC - come?

Il Controllo Statistico di Processo (SPC) si applica ai singoli processi elementari, non ai macroprocessi.

Devo suddividere ricorsivamente i macroprocessi in processi di ordine inferiore, fino al livello elementare, in cui l'intervento sul processo è direttamente collegabile alle caratteristiche dell'output.

In pratica, nel caso di un processo di fabbricazione è il livello della singola fase del ciclo di lavoro.

Le fasi di controllo che ci interessano si possono esplicitare come:

1. studio del processo
2. confronto del processo con la specifica

SPC - come?

Il Controllo Statistico di Processo (SPC) si applica ai singoli processi elementari, non ai macroprocessi.

Devo suddividere ricorsivamente i macroprocessi in processi di ordine inferiore, fino al livello elementare, in cui l'intervento sul processo è direttamente collegabile alle caratteristiche dell'output.

In pratica, nel caso di un processo di fabbricazione è il livello della singola fase del ciclo di lavoro.

Le fasi di controllo che ci interessano si possono esplicitare come:

1. studio del processo
2. confronto del processo con la specifica
3. misura *(controllo)* del processo

Studio del processo

La grandezza, o le grandezze, da controllare sul prodotto sono date dalla specifica.

Studio del processo

La grandezza, o le grandezze, da controllare sul prodotto sono date dalla specifica.

- mettere a punto il processo eliminando tutte le cause speciali di variabilità;
  un processo in queste condizioni è detto stabile e le variabili misurate sul prodotto presentano una distribuzione normale

Studio del processo

La grandezza, o le grandezze, da controllare sul prodotto sono date dalla specifica.

- mettere a punto il processo eliminando tutte le cause speciali di variabilità;
  un processo in queste condizioni è detto stabile e le variabili misurate sul prodotto presentano una distribuzione normale
- prendere un campione *casuale* di grandi dimensioni ($n \geq 100$)

Studio del processo

La grandezza, o le grandezze, da controllare sul prodotto sono date dalla specifica.

- mettere a punto il processo eliminando tutte le cause speciali di variabilità;
  un processo in queste condizioni è detto stabile e le variabili misurate sul prodotto presentano una distribuzione normale
- prendere un campione *casuale* di grandi dimensioni ($n \geq 100$)
- calcolare $\bar{x}$ e s, stime corrette di μ e σ

Studio del processo

La grandezza, o le grandezze, da controllare sul prodotto sono date dalla specifica.

- mettere a punto il processo eliminando tutte le cause speciali di variabilità;
  un processo in queste condizioni è detto stabile e le variabili misurate sul prodotto presentano una distribuzione normale
- prendere un campione *casuale* di grandi dimensioni ($n \geq 100$)
- calcolare $\bar{x}$ e s, stime corrette di μ e σ
- verificare che la distribuzione sia normale

Studio del processo - 2

Un modo alternativo di procedere allo studio utilizza una carta di controllo $\bar{x} - R$

Studio del processo - 2

Un modo alternativo di procedere allo studio utilizza una carta di controllo $\bar{x} - R$

- Prendere m campioni di numerosità n ($nm \geq 100$)
  i campioni devono costituire sottogruppi omogenei: per esempio, $n = 4$ o 5, campioni raccolti a intervalli di tempo regolari, elementi del campione raccolti in successione dalla popolazione

Studio del processo - 2

Un modo alternativo di procedere allo studio utilizza una carta di controllo $\bar{x} - R$

- Prendere m campioni di numerosità n ($nm \geq 100$)
  i campioni devono costituire sottogruppi omogenei: per esempio, $n = 4$ o 5, campioni raccolti a intervalli di tempo regolari, elementi del campione raccolti in successione dalla popolazione
- Calcolare, per ogni campione, $\bar{x}_i$ e R_i $(i = 1, 2, \ldots, m)$

Studio del processo - 2

Un modo alternativo di procedere allo studio utilizza una carta di controllo $\bar{x} - R$

- Prendere m campioni di numerosità n ($nm \geq 100$)
  i campioni devono costituire sottogruppi omogenei: per esempio, $n = 4$ o 5, campioni raccolti a intervalli di tempo regolari, elementi del campione raccolti in successione dalla popolazione
- Calcolare, per ogni campione, $\bar{x}_i$ e R_i ($i = 1, 2, \ldots, m$)
- Calcolare $\bar{\bar{x}}$ e $\bar{R}$
  $\bar{\bar{x}}$ è una stima corretta di μ
  $\bar{R}/d_2$, dove d_2 dipende sola da n, è una stima corretta di σ

Studio del processo - 2

Un modo alternativo di procedere allo studio utilizza una carta di controllo $\bar{x} - R$

- Prendere m campioni di numerosità n $(nm \geq 100)$
  i campioni devono costituire sottogruppi omogenei: per esempio, $n = 4$ o 5, campioni raccolti a intervalli di tempo regolari, elementi del campione raccolti in successione dalla popolazione

- Calcolare, per ogni campione, $\bar{x}_i$ e R_i $(i = 1, 2, \ldots, m)$

- Calcolare $\bar{\bar{x}}$ e $\bar{R}$
  $\bar{\bar{x}}$ è una stima corretta di μ
  $\bar{R}/d_2$, dove d_2 dipende sola da n, è una stima corretta di σ

- Disegnare la carta di controllo $\bar{X} - R$ e verificare che il processo sia in controllo

Capacità del processo - C_p

La capacità del processo *(process capability)*, ovvero il suo grado di idoneità a produrre nel rispetto dei requisiti, è misurata dagli indici di capacità C_p e C_{pk}.

Capacità del processo - C_p

La capacità del processo *(process capability)*, ovvero il suo grado di idoneità a produrre nel rispetto dei requisiti, è misurata dagli indici di capacità C_p e C_{pk}.

$$C_p = \frac{LSS - LIS}{6\sigma}$$

C_p	Indice di potenzialità del processo *capability index*
LSS, LIS	Limite superiore e inferiore di specifica
$LSS - LIS$	Tolleranza di progetto
6σ	Capacità naturale del processo

Capacità del processo - C_p

La capacità del processo *(process capability)*, ovvero il suo grado di idoneità a produrre nel rispetto dei requisiti, è misurata dagli indici di capacità C_p e C_{pk}.

$$C_p = \frac{LSS - LIS}{6\sigma}$$

C_p	Indice di potenzialità del processo *capability index*
LSS, LIS	Limite superiore e inferiore di specifica
$LSS - LIS$	Tolleranza di progetto
6σ	Capacità naturale del processo

C_p rappresenta la potenzialità del processo perché non tiene conto dello spostamento della media rispetto al valore nominale.

Capacità del processo - C_{pk}

$$C_{pk} = \min\left(\frac{LSS-\mu}{3\sigma}, \frac{\mu-LIS}{3\sigma}\right)$$

C_{pk}	Indice di prestazione del processo *shifted capability index*

Capacità del processo - C_{pk}

$$C_{pk} = \min\left(\frac{LSS-\mu}{3\sigma}, \frac{\mu-LIS}{3\sigma}\right)$$

C_{pk} Indice di prestazione del processo
shifted capability index

C_{pk} rappresenta la prestazione effettiva del processo perché tiene conto dello spostamento della media rispetto al valore nominale.

Confronto di C_p e C_{pk}

C_p si può definire solo nel caso di specifica bilaterale; nel caso di specifica unilaterale non ha senso parlare di C_p, mentre C_{pk}, definito come nella prima relazione, conserva il suo significato.

Confronto di C_p e C_{pk}

C_p si può definire solo nel caso di specifica bilaterale; nel caso di specifica unilaterale non ha senso parlare di C_p, mentre C_{pk}, definito come nella prima relazione, conserva il suo significato.

Nel caso di specifica bilaterale, ma asimmetrica, C_p si può ancora definire, ma il suo significato è distorto. Infatti in tal caso C_p rappresenta la potenzialità del processo non con riferimento al valore nominale di specifica, ma rispetto al centro dell'intervallo di tolleranza.

Confronto di C_p e C_{pk}

C_p si può definire solo nel caso di specifica bilaterale; nel caso di specifica unilaterale non ha senso parlare di C_p, mentre C_{pk}, definito come nella prima relazione, conserva il suo significato.

Nel caso di specifica bilaterale, ma asimmetrica, C_p si può ancora definire, ma il suo significato è distorto. Infatti in tal caso C_p rappresenta la potenzialità del processo non con riferimento al valore nominale di specifica, ma rispetto al centro dell'intervallo di tolleranza.

La relazione prima vista tra C_{pk} e C_p ha significato solo nel caso di specifica simmetrica.

Confronto di C_p e C_{pk}

C_p si può definire solo nel caso di specifica bilaterale; nel caso di specifica unilaterale non ha senso parlare di C_p, mentre C_{pk}, definito come nella prima relazione, conserva il suo significato.

Nel caso di specifica bilaterale, ma asimmetrica, C_p si può ancora definire, ma il suo significato è distorto. Infatti in tal caso C_p rappresenta la potenzialità del processo non con riferimento al valore nominale di specifica, ma rispetto al centro dell'intervallo di tolleranza.

La relazione prima vista tra C_{pk} e C_p ha significato solo nel caso di specifica simmetrica.

Quando C_p è definito, vale sempre la relazione $C_p \geq C_{pk}$

Confronto di C_p e C_{pk}

C_p si può definire solo nel caso di specifica bilaterale; nel caso di specifica unilaterale non ha senso parlare di C_p, mentre C_{pk}, definito come nella prima relazione, conserva il suo significato.

Nel caso di specifica bilaterale, ma asimmetrica, C_p si può ancora definire, ma il suo significato è distorto. Infatti in tal caso C_p rappresenta la potenzialità del processo non con riferimento al valore nominale di specifica, ma rispetto al centro dell'intervallo di tolleranza.

La relazione prima vista tra C_{pk} e C_p ha significato solo nel caso di specifica simmetrica.

Quando C_p è definito, vale sempre la relazione $C_p \geq C_{pk}$

$C_p = C_{pk}$ in caso di specifica simmetrica e processo centrato sul valore nominale.

Interventi sul processo

Se la specifica considera ammissibile una frazione di pezzi difettosi pari allo 0.1%, si può adottare la seguente strategia di comportamento.

Interventi sul processo

Se la specifica considera ammissibile una frazione di pezzi difettosi pari allo 0.1%, si può adottare la seguente strategia di comportamento.

C_{pk}	C_p	Azione
< 1	< 1	Cambia il processo o seleziona i prodotti
< 1	1–1.32	Correggi la media, seleziona gli ultimi prodotti, sorveglia il processo
< 1	≥ 1.33	Correggi la media e seleziona gli ultimi prodotti

Interventi sul processo

Se la specifica considera ammissibile una frazione di pezzi difettosi pari allo 0.1%, si può adottare la seguente strategia di comportamento.

C_{pk}	C_p	Azione
< 1	< 1	Cambia il processo o seleziona i prodotti
< 1	1–1.32	Correggi la media, seleziona gli ultimi prodotti, sorveglia il processo
< 1	≥ 1.33	Correggi la media e seleziona gli ultimi prodotti
1–1.32	1–1.32	Sorveglia il processo
1–1.32	≥ 1.33	Correggi la media

Interventi sul processo

Se la specifica considera ammissibile una frazione di pezzi difettosi pari allo 0.1%, si può adottare la seguente strategia di comportamento.

C_{pk}	C_p	Azione
< 1	< 1	Cambia il processo o seleziona i prodotti
< 1	1–1.32	Correggi la media, seleziona gli ultimi prodotti, sorveglia il processo
< 1	≥ 1.33	Correggi la media e seleziona gli ultimi prodotti
1–1.32	1–1.32	Sorveglia il processo
1–1.32	≥ 1.33	Correggi la media
≥ 1.33	≥ 1.33	Ok

Programma 6σ

Lanciato da IBM e Motorola per ottenere difettosità dell'ordine delle parti per milione (ppm).

Programma 6σ

Lanciato da IBM e Motorola per ottenere difettosità dell'ordine delle parti per milione (ppm).

Una difettosità di quest'ordine è praticamente impossibile da dimostrare con controlli economici sul prodotto.

Programma 6σ

Lanciato da IBM e Motorola per ottenere difettosità dell'ordine delle parti per milione (ppm).

Una difettosità di quest'ordine è praticamente impossibile da dimostrare con controlli economici sul prodotto.

Dal momento che gli studi di processo hanno permesso di appurare che la minima deriva rilevabile della media è pari a 1.5σ, quale dovrà essere la capacità del processo?

Programma 6σ *(segue)*

La tavola dà la difettosità in ppm corrispondente a vari valori di C_p e a uno spostamento della media pari a 1.5σ.

Programma 6σ *(segue)*

La tavola dà la difettosità in ppm corrispondente a vari valori di C_p e a uno spostamento della media pari a 1.5σ.

C_p	C_{pk}	difettosità (ppm)
1.00	0.50	66810
1.33	0.83	6210
1.67	1.17	225
2.00	1.50	3

Programma 6σ *(segue)*

La tavola dà la difettosità in ppm corrispondente a vari valori di C_p e a uno spostamento della media pari a 1.5σ.

C_p	C_{pk}	difettosità (ppm)
1.00	0.50	66810
1.33	0.83	6210
1.67	1.17	225
2.00	1.50	3

Una difettosità di qualche ppm si può ottenere solo con $C_p \geq 2$; la σ del processo deve essere tale che la tolleranza di progetto sia $\geq 6\sigma$.

Carte di controllo

Per variabili

$\bar{x}$-R	media e range
$\bar{x}$-s	media e deviazione standard
	individui e range mobile

Carte di controllo

Per variabili

$\bar{x}$-R	media e range
$\bar{x}$-s	media e deviazione standard
	individui e range mobile

Per attributi

p	frazione (o %) di pezzi difettosi
np	numero di pezzi difettosi
d	numero di eventi

Carte di controllo - campione

La numerosità *n* del campione dovrebbe assumere questi valori:

$\bar{x}$-R	$2 \leq n \leq 10$
	se possibile $n = 4$ o 5
$\bar{x}$-s	$n > 10$
p e np	tale che, in media, $np > 2$.

Carte di controllo - campione

La numerosità *n* del campione dovrebbe assumere questi valori:

$\bar{x}$-R	$2 \leq n \leq 10$
	se possibile $n = 4 \text{ o } 5$
$\bar{x}$-s	$n > 10$
p e np	tale che, in media, $np > 2$.

La tecnologia del processo può indicare valori opportuni di *n*.

Carte di controllo - campione

La numerosità n del campione dovrebbe assumere questi valori:

$\bar{x}$-R	$2 \leq n \leq 10$
	se possibile $n = 4 \text{ o } 5$
$\bar{x}$-s	$n > 10$
p e np	tale che, in media, $np > 2$.

La tecnologia del processo può indicare valori opportuni di n.

Al crescere di n aumentano sia la sensibilità che i costi di ispezione.

Carte $\bar{x}$-R

- raccolta dati
  almeno 20 campioni; i campioni devono costituire sottogruppi omogenei: per esempio, $n = 4$ o 5, campioni prelevati a intervalli di tempo regolari, elementi del campione prelevati in successione dalla produzione

Carte $\bar{x}$-R

- raccolta dati
  almeno 20 campioni; i campioni devono costituire sottogruppi omogenei: per esempio, $n = 4$ o 5, campioni prelevati a intervalli di tempo regolari, elementi del campione prelevati in successione dalla produzione

- calcolare la media $\bar{x}_i$ di ogni campione
  una cifra significativa in più dei dati di partenza

Carte $\bar{x}$-R

- raccolta dati
  almeno 20 campioni; i campioni devono costituire sottogruppi omogenei: per esempio, $n = 4$ o 5, campioni prelevati a intervalli di tempo regolari, elementi del campione prelevati in successione dalla produzione
- calcolare la media $\bar{x}_i$ di ogni campione
  una cifra significativa in più dei dati di partenza
- calcolare il range R_i di ogni campione

Carte $\bar{x}$-R

- raccolta dati
  almeno 20 campioni; i campioni devono costituire sottogruppi omogenei: per esempio, $n = 4$ o 5, campioni prelevati a intervalli di tempo regolari, elementi del campione prelevati in successione dalla produzione
- calcolare la media $\bar{x}_i$ di ogni campione
  una cifra significativa in più dei dati di partenza
- calcolare il range R_i di ogni campione
- calcolare la media delle medie $\bar{\bar{x}}$

Carte $\bar{x}$-R

- raccolta dati
  almeno 20 campioni; i campioni devono costituire sottogruppi omogenei: per esempio, $n = 4$ o 5, campioni prelevati a intervalli di tempo regolari, elementi del campione prelevati in successione dalla produzione
- calcolare la media $\bar{x}_i$ di ogni campione
  una cifra significativa in più dei dati di partenza
- calcolare il range R_i di ogni campione
- calcolare la media delle medie $\bar{\bar{x}}$
- calcolare il range medio $\bar{R}$

Carte $\bar{x}$-R *(segue)*

- calcolare i limiti di controllo per R

$$\begin{aligned} LCS &= D_4\bar{R} \\ VC &= \bar{R} \\ LCI &= D_3\bar{R} \end{aligned}$$

Carte $\bar{x}$-R *(segue)*

- calcolare i limiti di controllo per R

$$\begin{aligned} LCS &= D_4\bar{R} \\ VC &= \bar{R} \\ LCI &= D_3\bar{R} \end{aligned}$$

- disegnare la carta del range

Carte $\bar{x}$-R *(segue)*

- calcolare i limiti di controllo per R

$$\begin{aligned} LCS &= D_4\bar{R} \\ VC &= \bar{R} \\ LCI &= D_3\bar{R} \end{aligned}$$

- disegnare la carta del range
- se la carta R è in controllo, calcolare i limiti di controllo per la media

$$\begin{aligned} LCS &= \bar{\bar{x}} + 3\sigma_{\bar{x}} &= \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R} \\ VC &= \bar{\bar{x}} \\ LCI &= \bar{\bar{x}} - 3\sigma_{\bar{x}} &= \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R} \end{aligned}$$

Carte $\bar{x}$-R *(segue)*

- calcolare i limiti di controllo per R

$$\begin{aligned} LCS &= D_4\bar{R} \\ VC &= \bar{R} \\ LCI &= D_3\bar{R} \end{aligned}$$

- disegnare la carta del range
- se la carta R è in controllo, calcolare i limiti di controllo per la media

$$\begin{aligned} LCS &= \bar{\bar{x}} + 3\sigma_{\bar{x}} &= \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R} \\ VC &= \bar{\bar{x}} \\ LCI &= \bar{\bar{x}} - 3\sigma_{\bar{x}} &= \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R} \end{aligned}$$

- disegnare la carta della media sopra a quella del range

Carte $\bar{x}$-R *(segue)*

- calcolare i limiti di controllo per R

$$\begin{aligned} LCS &= D_4\bar{R} \\ VC &= \bar{R} \\ LCI &= D_3\bar{R} \end{aligned}$$

- disegnare la carta del range
- se la carta R è in controllo, calcolare i limiti di controllo per la media

$$\begin{aligned} LCS &= \bar{\bar{x}} + 3\sigma_{\bar{x}} &= \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R} \\ VC &= \bar{\bar{x}} \\ LCI &= \bar{\bar{x}} - 3\sigma_{\bar{x}} &= \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R} \end{aligned}$$

- disegnare la carta della media sopra a quella del range
- calcolare C_p e C_{pk}

Coefficienti delle carte $\bar{x}$-R

n	D_3	D_4	A_2	d_2
2	0.000	3.267	1.880	1.128
3	0.000	2.575	1.023	1.693
4	0.000	2.282	0.729	2.059
5	0.000	2.115	0.577	2.326
6	0.000	2.004	0.483	2.534
7	0.076	1.924	0.419	2.704
8	0.136	1.864	0.373	2.847
9	0.184	1.816	0.337	2.970
10	0.223	1.777	0.308	3.078

Nota I coefficienti dipendono solo da n

Componenti della variabilità

La variabilità totale dei dati ha due componenti:

- all'interno dei sottogruppi *(a breve termine)*
- tra i sottogruppi *(a lungo termine)*

Componenti della variabilità

La variabilità totale dei dati ha due componenti:

- all'interno dei sottogruppi *(a breve termine)*
- tra i sottogruppi *(a lungo termine)*

Se il processo è in controllo, i sottogruppi sono tratti tutti dalla stessa popolazione e quindi non c'è variabilità a lungo termine.

Componenti della variabilità

La variabilità totale dei dati ha due componenti:

- all'interno dei sottogruppi *(a breve termine)*
- tra i sottogruppi *(a lungo termine)*

Se il processo è in controllo, i sottogruppi sono tratti tutti dalla stessa popolazione e quindi non c'è variabilità a lungo termine.

In tal caso, posso stimare la σ della popolazione a partire da $\bar{R}$, che tiene conto soltanto della variabilità a breve, attraverso la relazione

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

dove d_2 dipende solo da n.

Componenti della variabilità *(segue)*

Poiché la relazione precedente tra σ e $\bar{R}$ vale solo nel caso che la popolazione presenti una distribuzione normale, è necessario che il processo sia in controllo.

Per questo motivo si disegna prima la carta del range e si verifica che essa non dia segno di anomalie del processo.

Componenti della variabilità *(segue)*

Poiché la relazione precedente tra σ e $\bar{R}$ vale solo nel caso che la popolazione presenti una distribuzione normale, è necessario che il processo sia in controllo.

Per questo motivo si disegna prima la carta del range e si verifica che essa non dia segno di anomalie del processo.

In una carta $\bar{x}$-R si controlla se c'è variazione tra i campioni *(se il processo è in controllo)* per mezzo della variazione all'interno dei campioni.

Infatti la variazione tra i campioni si rispecchia in uno spostamento della media, i cui limiti di controllo sono calcolati a partire da $\bar{R}$.

Interpretazione delle carte

Una carta rispecchia una situazione di processo in controllo quando:

- tutti i punti sono all'interno dei limiti di controllo;
- i punti sono distribuiti in maniera casuale.

Interpretazione delle carte

Una carta rispecchia una situazione di processo in controllo quando:

- tutti i punti sono all'interno dei limiti di controllo;
- i punti sono distribuiti in maniera casuale.

La distribuzione dei punti sulla carta è casuale quando non presenta configurazioni particolari (che hanno bassa probabilità di verificarsi). La distribuzione dei punti sulla carta dovrebbe rispecchiare la distribuzione della media campionaria, quindi una distribuzione normale.

Interpretazione delle carte

Una carta rispecchia una situazione di processo in controllo quando:

- tutti i punti sono all'interno dei limiti di controllo;
- i punti sono distribuiti in maniera casuale.

La distribuzione dei punti sulla carta è casuale quando non presenta configurazioni particolari (che hanno bassa probabilità di verificarsi). La distribuzione dei punti sulla carta dovrebbe rispecchiare la distribuzione della media campionaria, quindi una distribuzione normale.

I principali indizi di non casualità sono:

- Sequenze
- Tendenze
- Vicinanza ai limiti di controllo
- Vicinanza alla linea centrale
- Periodicità

Sequenze

Le sequenze sono costituite da serie di punti sopra o sotto la linea centrale.

una sequenza di 7 punti consecutivi è anomala; lo sono anche sequenze di 10 punti su 11 e 12 su 14.

Tendenze

Le tendenze sono costituite da serie di punti con andamento crescente o decrescente.

una tendenza di 7 punti è anomala.

Vicinanza ai limiti di controllo

Non ci devono essere troppi punti vicini ai limiti di controllo.

2 punti su 3, oppure 4 su 7, che cadano nelle fasce comprese tra $2\sigma_{\bar{x}}$ e $3\sigma_{\bar{x}}$ intorno al valore centrale sono indizio di anomalia.

Vicinanza alla linea centrale

Non ci devono essere troppi punti vicini alla linea centrale.

Se quasi tutti i punti cadono entro $\pm 1.5\sigma$ dalla linea centrale il processo è in uno stato indeterminato. La causa più comune è l'inserimento di dati non omogenei, che causa l'allargamento dei limiti di controllo.

Periodicità

Non ci devono essere indizi di periodicità.

Un andamento casuale non può essere periodico.

Talora la periodicità è una caratteristica del processo; per esempio, in un processo di lavorazione meccanica il consumo dell'utensile determina un aumento della variabilità, che torna a valori normali quando l'utensile viene sostituito. In tal caso la carta R mostra un tipico andamento a dente di sega.

Carte per individui e range mobile

Si usano quando la misura della grandezza di controllo è costosa, oppure di tipo distruttivo.

Carte per individui e range mobile

Si usano quando la misura della grandezza di controllo è costosa, oppure di tipo distruttivo.

- I campioni sono costituiti da un solo elemento.

Carte per individui e range mobile

Si usano quando la misura della grandezza di controllo è costosa, oppure di tipo distruttivo.

- I campioni sono costituiti da un solo elemento.
- Ai fini del calcolo del range si considerano sottogruppi fittizi costituiti da un elemento e gli $n-1$ immediatamente precedenti.

Carte per individui e range mobile

Si usano quando la misura della grandezza di controllo è costosa, oppure di tipo distruttivo.

- I campioni sono costituiti da un solo elemento.
- Ai fini del calcolo del range si considerano sottogruppi fittizi costituiti da un elemento e gli $n-1$ immediatamente precedenti.
- Il range si può calcolare soltanto a partire dall'*n-mo* elemento.

Carte per individui e range mobile

Si usano quando la misura della grandezza di controllo è costosa, oppure di tipo distruttivo.

- I campioni sono costituiti da un solo elemento.
- Ai fini del calcolo del range si considerano sottogruppi fittizi costituiti da un elemento e gli $n-1$ immediatamente precedenti.
- Il range si può calcolare soltanto a partire dall'*n-mo* elemento.
- I valori del range così calcolati non sono indipendenti, ma correlati.

Carte per individui e range mobile

Si usano quando la misura della grandezza di controllo è costosa, oppure di tipo distruttivo.

- I campioni sono costituiti da un solo elemento.
- Ai fini del calcolo del range si considerano sottogruppi fittizi costituiti da un elemento e gli $n-1$ immediatamente precedenti.
- Il range si può calcolare soltanto a partire dall'*n-mo* elemento.
- I valori del range così calcolati non sono indipendenti, ma correlati.
- Per tale motivo in genere si prende $n = 2$.

Carte per individui e range mobile

Si usano quando la misura della grandezza di controllo è costosa, oppure di tipo distruttivo.

- I campioni sono costituiti da un solo elemento.
- Ai fini del calcolo del range si considerano sottogruppi fittizi costituiti da un elemento e gli $n-1$ immediatamente precedenti.
- Il range si può calcolare soltanto a partire dall'*n-mo* elemento.
- I valori del range così calcolati non sono indipendenti, ma correlati.
- Per tale motivo in genere si prende $n = 2$.
- Una situazione di fuori controllo sulla carta R non è significativa, ma solo indicativa.

Carte per individui e range mobile

Si usano quando la misura della grandezza di controllo è costosa, oppure di tipo distruttivo.

- I campioni sono costituiti da un solo elemento.
- Ai fini del calcolo del range si considerano sottogruppi fittizi costituiti da un elemento e gli $n-1$ immediatamente precedenti.
- Il range si può calcolare soltanto a partire dall'*n-mo* elemento.
- I valori del range così calcolati non sono indipendenti, ma correlati.
- Per tale motivo in genere si prende $n = 2$.
- Una situazione di fuori controllo sulla carta R non è significativa, ma solo indicativa.
- Il range mobile serve principalmente per il calcolo della variabilità del processo, ma non come parametro di valutazione

Carte per individui e range mobile - 2

Carta del range mobile

$$\begin{aligned} LCS &= D_4\bar{R} \\ VC &= \bar{R} \\ LCI &= D_3\bar{R} \end{aligned}$$

Carta degli individui

$$\begin{aligned} LCS &= \bar{x} + 3\sigma &= \bar{x} + 3\tfrac{\bar{R}}{d_2} \\ VC &= \bar{x} \\ LCI &= \bar{x} - 3\sigma &= \bar{x} - 3\tfrac{\bar{R}}{d_2} \end{aligned}$$

Carte p e np

Si usano per controllare valori discreti, tipicamente il numero o la frazione di pezzi difettosi.

Sono applicabili esclusivamente a caratteristiche che hanno come modello la distribuzione binomiale

Carte p e np

Si usano per controllare valori discreti, tipicamente il numero o la frazione di pezzi difettosi.

Sono applicabili esclusivamente a caratteristiche che hanno come modello la distribuzione binomiale

La carta np si usa solo con campioni di numerosità n costante, o approssimativamente costante, mentre per campioni di numerosità variabile si usa la carta p.

Carte p e np

Si usano per controllare valori discreti, tipicamente il numero o la frazione di pezzi difettosi.

Sono applicabili esclusivamente a caratteristiche che hanno come modello la distribuzione binomiale

La carta np si usa solo con campioni di numerosità n costante, o approssimativamente costante, mentre per campioni di numerosità variabile si usa la carta p.

Nel caso di n costante, la carta p e la np si equivalgono: si passa dall'una all'altra con un cambiamento di scala.

Carte p e np

Si usano per controllare valori discreti, tipicamente il numero o la frazione di pezzi difettosi.

Sono applicabili esclusivamente a caratteristiche che hanno come modello la distribuzione binomiale

La carta np si usa solo con campioni di numerosità n costante, o approssimativamente costante, mentre per campioni di numerosità variabile si usa la carta p.

Nel caso di n costante, la carta p e la np si equivalgono: si passa dall'una all'altra con un cambiamento di scala.

Talora il campione può essere costituito dall'intera produzione giornaliera, o di un turno.

Carte p e np

Si usano per controllare valori discreti, tipicamente il numero o la frazione di pezzi difettosi.

Sono applicabili esclusivamente a caratteristiche che hanno come modello la distribuzione binomiale

La carta np si usa solo con campioni di numerosità n costante, o approssimativamente costante, mentre per campioni di numerosità variabile si usa la carta p.

Nel caso di n costante, la carta p e la np si equivalgono: si passa dall'una all'altra con un cambiamento di scala.

Talora il campione può essere costituito dall'intera produzione giornaliera, o di un turno.

Le più comuni sono carte di controllo del tipo 3σ.

Carte np - costruzione

- definizione del campione
  La sua numerosità deve essere $n > 50$ e tale che, in media, ci siano da 1 a 5, meglio se 3 o 4, pezzi difettosi

Carte np - costruzione

- definizione del campione
  La sua numerosità deve essere $n > 50$ e tale che, in media, ci siano da 1 a 5, meglio se 3 o 4, pezzi difettosi
- Il numero di campioni raccolti deve essere $k \geq 20$

Carte np - costruzione

- definizione del campione
  La sua numerosità deve essere $n > 50$ e tale che, in media, ci siano da 1 a 5, meglio se 3 o 4, pezzi difettosi
- Il numero di campioni raccolti deve essere $k \geq 20$
- Calcolo del valore centrale

$$\bar{p} = \frac{totale\ pezzi\ difettosi}{totale\ pezzi\ esaminati}$$

Carte np - costruzione

- definizione del campione
  La sua numerosità deve essere $n > 50$ e tale che, in media, ci siano da 1 a 5, meglio se 3 o 4, pezzi difettosi
- Il numero di campioni raccolti deve essere $k \geq 20$
- Calcolo del valore centrale

$$\bar{p} = \frac{totale\ pezzi\ difettosi}{totale\ pezzi\ esaminati}$$

- Calcolo dei limiti di controllo

$$\begin{aligned} LCS &= n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})} \\ VC &= n\bar{p} \\ LCI &= n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})} \end{aligned}$$

Carte p - costruzione

Limiti di controllo:

$$\begin{aligned} LCS &= \bar{p} + 3\sqrt{\tfrac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \\ VC &= \bar{p} \\ LCI &= \bar{p} - 3\sqrt{\tfrac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \end{aligned}$$

Carte p - costruzione

Limiti di controllo:

$$\begin{aligned} LCS &= \bar{p} + 3\sqrt{\tfrac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \\ VC &= \bar{p} \\ LCI &= \bar{p} - 3\sqrt{\tfrac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \end{aligned}$$

I limiti di controllo variano con n.

Carte d

Le carte d sono relative al numero di eventi conteggiati nei campioni e fanno riferimento a tutti i fenomeni riconducibili a una distribuzione di Poisson.

Carte d

Le carte d sono relative al numero di eventi conteggiati nei campioni e fanno riferimento a tutti i fenomeni riconducibili a una distribuzione di Poisson.

I campioni possono essere gruppi di ugual numero di elementi da controllare, intervalli di tempo uguali e prefissati, lunghezze o aree di prodotto prefissate, elementi singoli uguali tra loro, ecc.

Esempi: numero di fermate per turno, numero di difetti per m^2, numero di difetti per unità di prodotto, ecc.

Carte d

Le carte d sono relative al numero di eventi conteggiati nei campioni e fanno riferimento a tutti i fenomeni riconducibili a una distribuzione di Poisson.

I campioni possono essere gruppi di ugual numero di elementi da controllare, intervalli di tempo uguali e prefissati, lunghezze o aree di prodotto prefissate, elementi singoli uguali tra loro, ecc.

Esempi: numero di fermate per turno, numero di difetti per m^2, numero di difetti per unità di prodotto, ecc.

Le più comuni sono carte di controllo del tipo 3σ.

Carte d

Le carte d sono relative al numero di eventi conteggiati nei campioni e fanno riferimento a tutti i fenomeni riconducibili a una distribuzione di Poisson.

I campioni possono essere gruppi di ugual numero di elementi da controllare, intervalli di tempo uguali e prefissati, lunghezze o aree di prodotto prefissate, elementi singoli uguali tra loro, ecc.

Esempi: numero di fermate per turno, numero di difetti per m^2, numero di difetti per unità di prodotto, ecc.

Le più comuni sono carte di controllo del tipo 3σ.

Limiti di controllo:

$$\begin{aligned} LCS &= \bar{d} + 3\sqrt{\bar{d}} \\ VC &= \bar{d} \\ LCI &= \bar{d} - 3\sqrt{\bar{d}} \end{aligned}$$

Problemi delle carte

Le carte che abbiamo finora esaminato mettono in evidenza se uno o più valori della grandezza da controllare differiscono dal **valor medio** per intervento di una causa identificabile.

Sono adoperate di preferenza per lo studio preliminare dei processi dei quali non si conoscono le caratteristiche, ma non si prestano all'impiego durante la produzione.

Problemi delle carte

Le carte che abbiamo finora esaminato mettono in evidenza se uno o più valori della grandezza da controllare differiscono dal **valor medio** per intervento di una causa identificabile.

Sono adoperate di preferenza per lo studio preliminare dei processi dei quali non si conoscono le caratteristiche, ma non si prestano all'impiego durante la produzione.

Infatti, per costruire le carte bisogna aver raccolto e misurato tutti i sottogruppi; solo a questo punto si possono calcolare i limiti e verificare se il processo è in controllo.

Nel caso che il processo si rivelasse fuori controllo, saremmo costretti effettuare dei controlli di accettazione (verifiche) sul prodotto stesso, al 100% o per campionamento.

Carte riferite alle prescrizioni

In produzione si utilizzano di preferenza carte che fanno riferimento a prescrizioni assegnate *(given standard)*, in cui il valore centrale e i limiti di controllo sono predefiniti.

I valori di riferimento si indicano con $\bar{\bar{x}}''$, σ'', $\bar{p}''$, $\bar{d}''$, ecc.

Carte riferite alle prescrizioni

In produzione si utilizzano di preferenza carte che fanno riferimento a prescrizioni assegnate *(given standard)*, in cui il valore centrale e i limiti di controllo sono predefiniti.

I valori di riferimento si indicano con $\bar{\bar{x}}''$, σ'', $\bar{p}''$, $\bar{d}''$, ecc.

Origine dei limiti

- ricavabili dalla specifica
- trovati durante lo studio del processo
- ricavati da dati storici del processo stesso
- potrebbero costituire un'ipotesi da verificare

Carte $\bar{x}$–R a standard dato

Carta del range

$$\begin{aligned} LCS &= D_2\sigma'' \\ VC &= d_2\sigma'' \\ LCI &= D_1\sigma'' \end{aligned}$$

Carta della media

$$\begin{aligned} LCS &= \bar{\bar{x}}'' + 3\frac{\sigma''}{\sqrt{n}} = \bar{\bar{x}}'' + A\sigma'' \\ VC &= \bar{\bar{x}}'' \\ LCI &= \bar{\bar{x}}'' - 3\frac{\sigma''}{\sqrt{n}} = \bar{\bar{x}}'' - A\sigma'' \end{aligned}$$

Carta per individui a standard dato

Carta del range mobile

$$\begin{aligned} LCS &= D_2\sigma'' \\ VC &= d_2\sigma'' \\ LCI &= D_1\sigma'' \end{aligned}$$

Carta degli individui

$$\begin{aligned} LCS &= \bar{\bar{x}}'' + 3\sigma'' \\ VC &= \bar{\bar{x}}'' \\ LCI &= \bar{\bar{x}}'' - 3\sigma'' \end{aligned}$$

Coefficienti delle carte a standard dato

n	D_1	D_2	A	d_2
2	0.000	3.686	2.121	1.128
3	0.000	4.358	1.732	1.693
4	0.000	4.698	1.500	2.059
5	0.000	4.918	1.342	2.326
6	0.000	5.078	1.225	2.534
7	0.205	5.203	1.134	2.704
8	0.378	5.307	1.061	2.847
9	0.546	5.394	1.000	2.970
10	0.687	5.469	0.949	3.078

Nota I coefficienti dipendono solo da n