

CARTE DI CONTROLLO PER ATTRIBUTI

Carte di controllo per attributi

Molte caratteristiche relative alla qualità di un prodotto non si prestano ad essere misurate su una scala quantitativa continua.

In queste situazioni si può ricorrere a valutazioni di carattere qualitativo classificando un generico elemento come conforme o non conforme in base ad una certa caratteristica qualitativa prescelta.

Carte di controllo per attributi

La terminologia difettosa o non difettosa viene spesso utilizzata per identificare queste due classificazioni del prodotto.

Più recentemente, la terminologia conforme e non conforme è diventata relativamente standard.

Le caratteristiche di qualità di questo tipo sono chiamate attributi.

Carte di controllo per attributi

Alcuni esempi di caratteristiche di qualità che sono attributi sono:

- la percentuale di bielle deformate del motore di un'automobile nella produzione di un giorno
- il numero di chip semiconduttori non funzionali
- il numero di errori commessi nel completare una domanda di prestito
- il numero di errori medici commessi in ospedale.

Carte di controllo per attributi

Il controllo del processo si basa, quindi, su dati di conteggio enumerando le unità conformi e/o quelle non conformi.

Le carte di controllo saranno chiamate carte di controllo per attributi.

Le carte di controllo per attributi non sono in genere così informative come le carte di controllo per variabili, perché in genere ci sono più informazioni in una misurazione numerica che nel classificare un'unità come conforme o non conforme.

Carte di controllo per attributi

Tuttavia, le carte per attributi sono particolarmente utili nelle industrie di servizi e nei processi aziendali non produttivi e negli sforzi di miglioramento della qualità, perché molte delle caratteristiche di qualità che si trovano in questi ambienti non sono facilmente misurabili su scala numerica.

Carte di controllo per attributi

Le principali le carte di controllo per attributi sono:

- La carta di controllo per frazione di non conformi (carta p)
- La carta di controllo per numero di difetti o di non conformità (carta np)
- La carta di controllo per non conformità (carta c)
- La carta di controllo per non conformità per unità (carta u)

Carte di controllo per
frazione di non conformi (carta p)

Carte per frazione di non conformi (carta p)

L'insieme (virtualmente infinito) delle unità provenienti dal processo produttivo costituisce la popolazione di riferimento.

Il rapporto tra numero di unità non conformi (D) presenti in tale popolazione e numero di pezzi che compongono quella popolazione costituisce la frazione di elementi non conformi p .

Se l'articolo non è conforme allo standard su una o più di queste caratteristiche, è classificato come non conforme.

Carte per frazione di non conformi (carta p)

I principi statistici alla base della carta di controllo per la frazione non conforme si basano sulla distribuzione binomiale.

Supponiamo che il processo di produzione funzioni in modo stabile, in modo tale che la probabilità che qualsiasi unità non sia conforme alle specifiche sia p e che le unità successive prodotte siano indipendenti.

Carte per frazione di non conformi (carta p)

Quindi ogni unità prodotta è una realizzazione di una variabile casuale di Bernoulli con parametro p .

Se viene selezionato un campione casuale di n unità di prodotto e se D è il numero di unità di prodotto non conformi, D ha una distribuzione binomiale con parametri n e p :

$$P\{D = x\} = \binom{n}{x} p^x (1 - p)^{n-x} \quad x=0,1,\dots,n$$

Carte per frazione di non conformi (carta p)

La frazione di campione non conforme è definita come il rapporto tra il numero di unità non conformi nel campione D e la dimensione del campione n :

$$\hat{p} = \frac{D}{n}$$

La distribuzione della variabile casuale \hat{p} può essere ottenuta dalla binomiale.

Inoltre, la media e la varianza di \hat{p} sono:

$$\mu_{\hat{p}} = p \quad \text{e} \quad \sigma_{\hat{p}}^2 = \frac{p(1-p)}{n}$$

Costruzione carta p - con p nota

Supponiamo che la frazione reale non conforme p nel processo di produzione sia nota o sia un valore standard specificato.

La linea centrale e i limiti di controllo sono pari a:

$$UCL = p + 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \quad CL = p \quad LCL = p - 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

A seconda dei valori di p e n , a volte il limite di controllo inferiore $LCL < 0$.

In questi casi, si imposta abitualmente $LCL = 0$ e si assume che la carta di controllo abbia solo un limite di controllo superiore.

Costruzione carta p - con p nota

Si estraggono campioni successivi di n unità, si calcola la frazione non conforme: $\hat{p} = \frac{D}{n}$ e la si disegna sul grafico.

Finchè \hat{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.

Se un punto viene tracciato al di fuori dei limiti di controllo, o se si osserva uno schema non casuale nei punti tracciati, la frazione di processo non conforme si è probabilmente spostata a un nuovo livello e che il processo è fuori controllo.

Vanno ricalcolate le carte.

Costruzione carta p - con p nota

Occorre ricordare che i limiti così calcolati sono limiti di prova (FASE I). Anche se, per la carta di controllo che si basa su un valore noto o standard per la frazione non conforme p , il calcolo dei limiti di controllo di prova è generalmente superfluo.

Tuttavia, si dovrebbe essere cauti quando si lavora con un valore standard per p .

Poiché in pratica il vero valore di p raramente sarebbe noto con certezza, di solito ci viene dato un valore standard di p che rappresenta un valore desiderato o target per la frazione di processo non conforme.

Costruzione carta p - con p nota

Se è questo il caso, e futuri campioni indicano una condizione fuori controllo, dobbiamo determinare se il processo è fuori controllo sul target p ma in controllo su qualche altro valore di p .

Ad esempio, supponiamo di specificare un valore target di $p = 0,01$, ma il processo è sotto controllo su un valore maggiore di frazione non conforme, ad esempio $p = 0,05$.

Usando la carta di controllo basata su $p = 0,01$, molti dei punti verranno tracciati sopra il limite di controllo superiore, indicando una condizione fuori controllo.

Tuttavia, il processo è davvero fuori controllo solo rispetto all'obiettivo $p = 0,01$.

Costruzione carta p - con p nota

A volte può essere possibile "migliorare" il livello di qualità utilizzando i valori target o portare un processo in controllo a un determinato livello di prestazioni di qualità.

Nei processi in cui la frazione di non conformità può essere controllata mediante regolazioni di processo relativamente semplici, possono essere utili i valori target di p .

Costruzione carta p - con p non nota

Se la vera frazione di non conformi non è nota, dovrà essere stimata mediante i dati osservati.

La procedura abituale è selezionare m campioni preliminari, ciascuno della dimensione n .

Come regola generale, m dovrebbe essere almeno 20 o 25.

Costruzione carta p - con p non nota

Quindi se ci sono D_i unità non conformi nel campione i , si calcola la frazione non conforme nel campione nel seguente modo:

$$\hat{p}_i = \frac{D_i}{n} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

E la media di tutte le frazioni campionarie di non conformi è pari a:

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^m D_i}{mn} = \frac{\sum_{i=1}^m \hat{p}_i}{m}$$

Dove \bar{p} è lo stimatore dell'incognita frazione p .

Costruzione carta p - con p non nota

Di conseguenza la linea centrale e i limiti di controllo sono pari a:

$$UCL = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad CL = \bar{p} \quad LCL = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

Finché i valori campionari \bar{p}_i rimangono 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.

Costruzione carta p - con p non nota

Questi limiti di controllo dovrebbero essere considerati limiti di controllo di prova.

I valori campionari di \hat{p}_i dei sottogruppi preliminari devono essere tracciati rispetto ai limiti di prova per verificare se il processo era in controllo al momento della raccolta dei dati preliminari (FASE I della costruzione della carta di controllo).

Tutti i punti che superano i limiti del controllo di prova devono essere studiati.

Se vengono scoperte cause specifiche per questi punti, è necessario eliminarle e determinare nuovi limiti di controllo di prova.

Esempio carta p - con p non nota

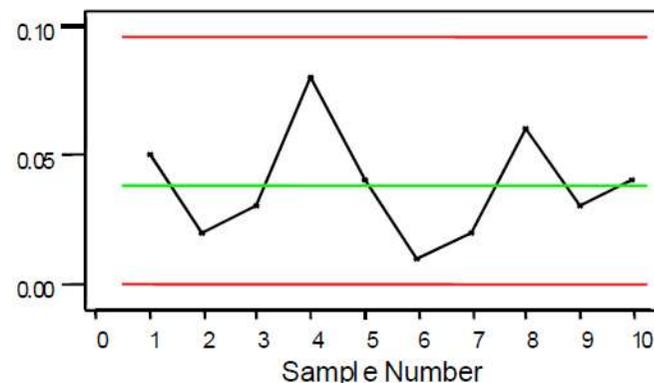
Una produzione di sedi per cuscinetto ha effettuato un campionamento sulla produzione: $n = 100$, $m = 10$

Campione	Nonconf.	Frazione Nonconf.
1	5	0.05 (5/100)
2	2	0.02 (2/100)
3	3	0.03 (3/100)
4	8	0.08 (8/100)
5	4	0.04 (4/100)
6	1	0.01 (1/100)
7	2	0.02 (2/100)
8	6	0.06 (6/100)
9	3	0.03 (3/100)
10	4	0.04 (4/100)

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^m \hat{p}_i}{m} = 0.038$$

$$UCL = 0.038 + 3 \sqrt{\frac{0.038(1-0.038)}{100}} = 0.095$$

$$LCL = 0.038 - 3 \sqrt{\frac{0.038(1-0.038)}{100}} = -0.02 \rightarrow 0$$



Esempio carta p - con p non nota

Si consideri una produzione di succo di arancia concentrato, confezionato in contenitori di cartone prodotti mediante un apposito macchinario.

Nell'ispezionare le confezioni finali si verifica che queste non perdano liquido dalle giunture laterali della confezione o in corrispondenza del fondo di essa, a testimoniare un'adeguata chiusura a tenuta delle parti.

L'obiettivo è predisporre una carta di controllo per frazioni di confezioni non conformi prodotte con il macchinario.

Esempio carta p - con p non nota

Per predisporre la carta vengono estratti, ad intervalli di mezz'ora, 30 campioni di $n= 50$ confezioni.

Numero del campione	Numero di recipienti non conformi D_i	Frazione campionaria non conforme \hat{p}_i	Numero del campione	Numero di recipienti non conformi D_i	Frazione campionaria non conforme \hat{p}_i
1	12	0.24	17	10	0.20
2	15	0.30	18	5	0.10
3	8	0.16	19	13	0.26
4	10	0.20	20	11	0.22
5	4	0.08	21	20	0.40
6	7	0.14	22	18	0.36
7	16	0.32	23	24	0.48
8	9	0.18	24	15	0.30
9	14	0.28	25	9	0.18
10	10	0.20	26	12	0.24
11	5	0.10	27	7	0.14
12	6	0.12	28	13	0.26
13	17	0.34	29	9	0.18
14	12	0.24	30	6	0.12
15	22	0.44		347	$\bar{p} = 0.2313$
16	8	0.16			

Esempio carta p - con p non nota

Per predisporre la carta vengono estratti, ad intervalli di mezz'ora, 30 campioni di $n = 50$ confezioni.

Numero del campione	Numero di recipienti non conformi D_i	Frazione campionaria non conforme \hat{p}_i	Numero del campione	Numero di recipienti non conformi D_i	Frazione campionaria non conforme \hat{p}_i
1	12	0.24	17	10	0.20
2	15	0.30	18	5	0.10
3	8	0.16	19	13	0.26
4	10	0.20	20	11	0.22
5	4	0.08	21	20	0.40
6	7	0.14	22	18	0.36
7	16	0.32	23	24	0.48
8	9	0.18	24	15	0.30
9	14	0.28	25	9	0.18
10	10	0.20	26	12	0.24
11	5	0.10	27	7	0.14
12	6	0.12	28	13	0.26
13	17	0.34	29	9	0.18
14	12	0.24	30	6	0.12
15	22	0.44		347	$\bar{p} = 0.2313$
16	8	0.16			

I 30 campioni contengono 347 confezioni non conformi.

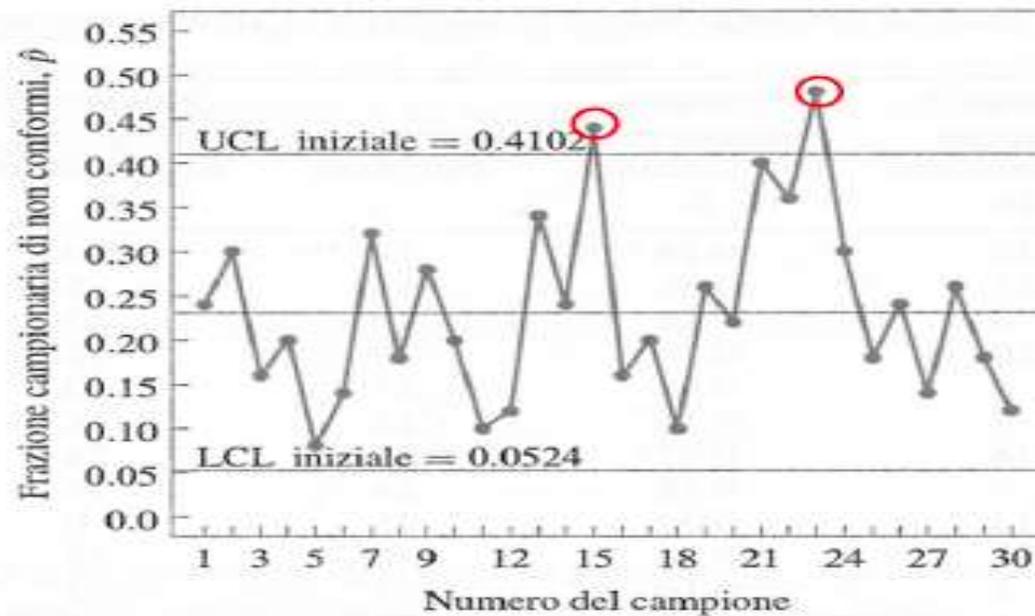
Per cui una stima del vero valore della frazione di non conformi sarà pari a :

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^m D_i}{mn} = 0.2313$$

Esempio carta p - con p non nota

Da cui si ottengono i seguenti limiti:

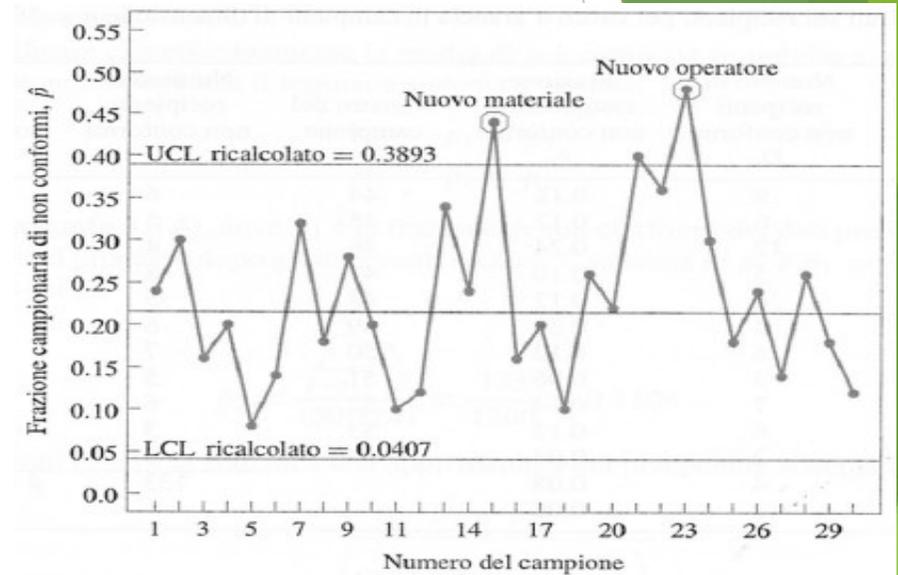
$$UCL = 0.4102 \quad LCL = 0.0524$$



Esempio carta p - con p non nota

Analisi dei fuori controllo (15 e 23).

Numero del campione	Numero di recipienti non conformi D_i	Frazione campionaria non conforme \hat{p}_i	Numero del campione	Numero di recipienti non conformi D_i	Frazione campionaria non conforme \hat{p}_i
1	12	0.24	17	10	0.20
2	15	0.30	18	5	0.10
3	8	0.16	19	13	0.26
4	10	0.20	20	11	0.22
5	4	0.08	21	20	0.40
6	7	0.14	22	18	0.36
7	16	0.32	23	24	0.48
8	9	0.18	24	15	0.30
9	14	0.28	25	9	0.18
10	10	0.20	26	12	0.24
11	5	0.10	27	7	0.14
12	6	0.12	28	13	0.26
13	17	0.34	29	9	0.18
14	12	0.24	30	6	0.12
15	22	0.44			
16	8	0.16			
			347		$\bar{p} = 0.2313$



Campione 15: arrivo di un nuovo lotto di cantone grezzo, evidentemente di qualità inferiore ai precedenti.

Campione 23: operatore inesperto temporaneamente assegnato al funzionamento del macchinario.

Esempio carta p - con p non nota

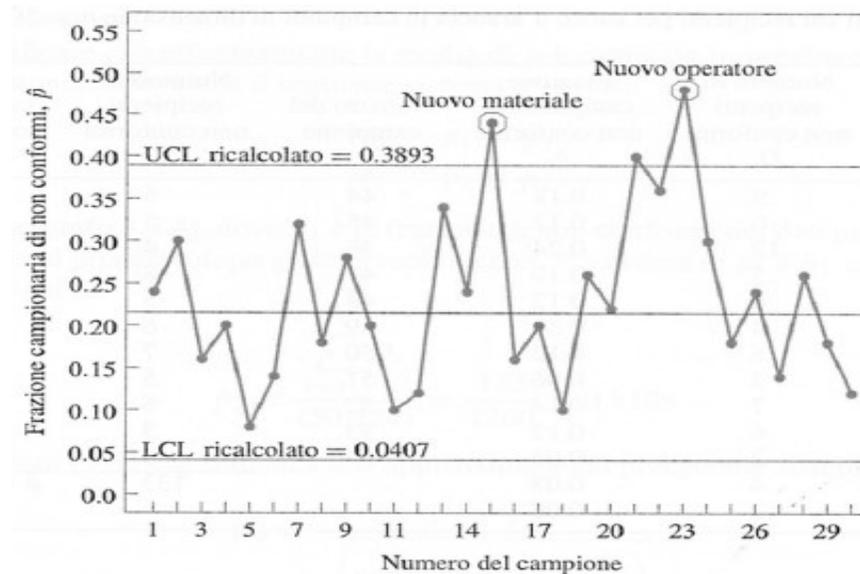
Ricalcolo della carta.

Sono esclusi dai calcoli i campioni 15 e 23.

Sono ricalcolati i limiti:

$$UCL = 0.3893 \quad LCL = 0.0407$$

$$\bar{p} = \frac{301}{28 \times 50} = 0.2150$$



Sulla nuova carta sono rimasti i campioni 15 e 23 SOLO al fine di conservare una storia del processo che potrà ritornare utile nel futuro.

Esempio carta p - con p non nota

Si può concludere che il processo è sotto controllo, anche se il valore 0.2150 è troppo elevato.

Pertanto, si vuole adesso cercare di ridurre il valore medio della frazione di non conformi ritenendolo sufficientemente elevato.

Si decide per esempio di intervenire sul processo con interventi volti a migliorare l'attività produttiva del macchinario con il quale si realizzano i contenitori.

Esempio carta p - con p non nota

Vengono estratti 24 campioni aggiuntivi di dimensione $n = 50$.

Numero del campione	Numero di recipienti non conformi D_i	Frazione campionaria non conforme \hat{p}_i	Numero del campione	Numero di recipienti non conformi D_i	Frazione campionaria non conforme \hat{p}_i
31	9	0.18	44	6	0.12
32	6	0.12	45	5	0.10
33	12	0.24	46	4	0.08
34	5	0.10	47	8	0.16
35	6	0.12	48	5	0.10
36	4	0.08	49	6	0.12
37	6	0.12	50	7	0.14
38	3	0.06	51	5	0.10
39	7	0.14	52	6	0.12
40	6	0.12	53	3	0.10
41	2	0.04	54	5	0.10
42	4	0.08		133	$\hat{p} = 0.1108$
43	3	0.06			

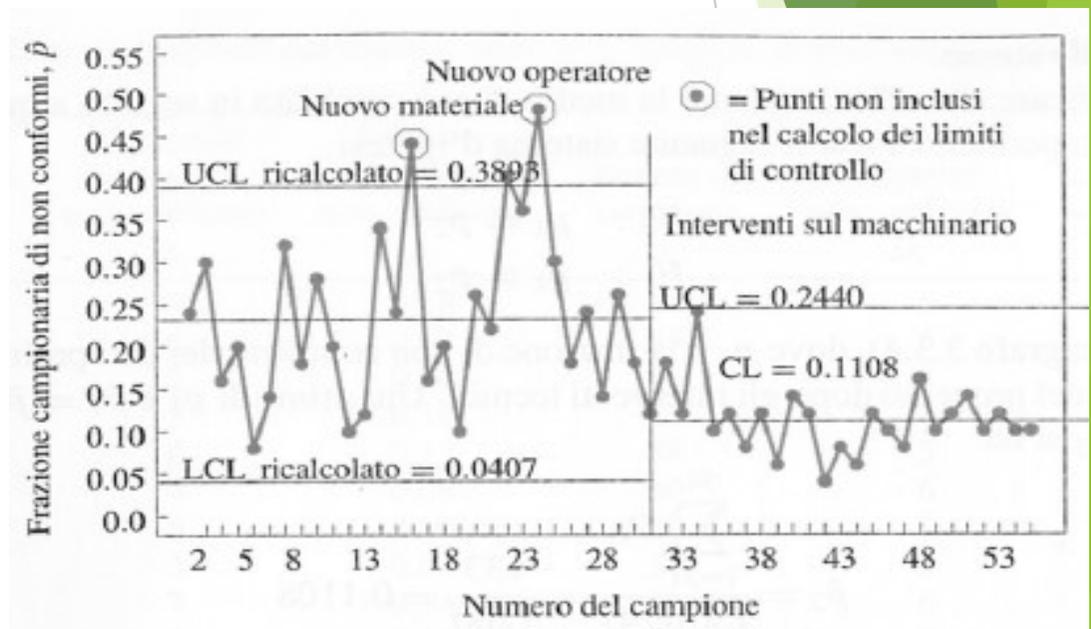
Calcolare p medio, UCL, LCL e rappresentare graficamente la carta di controllo nuova e quella ottenuta integrando la vecchia con la nuova

Esempio carta p - con p non nota

Vengono estratti 24 campioni aggiuntivi di dimensione $n = 50$.

Numero del campione	Numero di recipienti non conformi D_i	Frazione campionaria non conforme \hat{p}_i	Numero del campione	Numero di recipienti non conformi D_i	Frazione campionaria non conforme \hat{p}_i
31	9	0.18	44	6	0.12
32	6	0.12	45	5	0.10
33	12	0.24	46	4	0.08
34	5	0.10	47	8	0.16
35	6	0.12	48	5	0.10
36	4	0.08	49	6	0.12
37	6	0.12	50	7	0.14
38	3	0.06	51	5	0.10
39	7	0.14	52	6	0.12
40	6	0.12	53	3	0.10
41	2	0.04	54	5	0.10
42	4	0.08			
43	3	0.06			
			133		$\bar{p} = 0.1108$

$$\bar{p} = 0.1108 \quad UCL = 0.2440 \quad LCL = -0.0224 = 0$$



Si può concludere che il processo è sotto controllo.

Carte di controllo per numero di difetti (carta np)

Carte di controllo per numero di difetti (carta np)

Quando il controllo di un processo focalizza l'attenzione sul numero assoluto di difetti piuttosto che sulla porzione di non conformi, quando cioè mira ad accentuare l'importanza del numero dei prodotti non conformi inteso in quanto tale piuttosto che inteso come quota allora la carta di controllo da utilizzare è la carta di tipo np.

Carte di controllo per numero di difetti (carta np)

La carta np focalizza l'attenzione sul numero di difetti presenti all'interno di un campione piuttosto che sulla porzione difettosa.

Soltanto apparentemente identica alla carta p, questa carta non misura le unità difettose in termini di percentuale, ma considera precisamente al numero di unità e/o prodotti difettosi presenti all'interno dei campioni che sono tutti della stessa numerosità.

Carte di controllo per numero di difetti (carta np)

I suoi parametri sono:

$$UCL = np + 3\sqrt{np(1-p)} \quad CL = np \quad LCL = np - 3\sqrt{np(1-p)}$$

Se non è disponibile un valore standard per p , può essere utilizzata una sua stima (\bar{p}).

In molte situazioni reali, la carta np risulta più semplice da interpretare della carta p .

Esempio carta np

Si consideri sempre la produzione di succo di arancia concentrato.

$$\bar{p} = 0.231$$

$$n = 50$$

Di conseguenza i parametri saranno pari a:

$$UCL = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1 - \bar{p})} = 20.510$$

$$CL = n\bar{p} = 11.565$$

$$LCL = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1 - \bar{p})} = 2.620$$

Esempio carta np

Ora, il numero di unità non conformi in ciascun campione è tracciato sulla carta di controllo np e il numero di unità non conformi è un numero intero.

Pertanto, se 20 unità non sono conformi, il processo è sotto controllo, ma se si verificano 21 il processo è fuori controllo.

Alcuni preferiscono utilizzare valori interi per i limiti di controllo sul grafico np anziché le loro controparti di frazione decimali.

In questo esempio, potremmo scegliere 3 e 21 come LCL e UCL, rispettivamente, e il processo verrebbe considerato fuori controllo se un valore di campionamento di np fosse tracciato oltre questi limiti di controllo.

Ampiezza campionaria variabile



Ampiezza campionaria variabile

Esistono tre approcci per la costruzione e il funzionamento di una carta di controllo con una dimensione del campione variabile.

- ✓ Il primo, e forse l'approccio più semplice, è determinare i limiti di controllo per ogni singolo campione in base alla dimensione specifica del campione.

Si noti che la larghezza dei limiti di controllo è inversamente proporzionale alla radice quadrata della dimensione del campione.

Ampiezza campionaria variabile

Sample Number, i	Sample Size, n_i	Number of Nonconforming Units, D_i	Sample Fraction Nonconforming, $\hat{p}_i = D_i/n_i$	Standard Deviation	Control Limits	
				$\hat{\sigma}_{\hat{p}} = \sqrt{\frac{(0.096)(0.904)}{n_i}}$	LCL	UCL
1	100	12	0.120	0.029	0.009	0.183
2	80	8	0.100	0.033	0	0.195
3	80	6	0.075	0.033	0	0.195
4	100	9	0.090	0.029	0.009	0.183
5	110	10	0.091	0.028	0.012	0.180
6	110	12	0.109	0.028	0.012	0.180
7	100	11	0.110	0.029	0.009	0.183
8	100	16	0.160	0.029	0.009	0.183
9	90	10	0.110	0.031	0.003	0.189
10	90	6	0.067	0.031	0.003	0.189
11	110	20	0.182	0.028	0.012	0.180
12	120	15	0.125	0.027	0.015	0.177
13	120	9	0.075	0.027	0.015	0.177
14	120	8	0.067	0.027	0.015	0.177
15	110	6	0.055	0.028	0.012	0.180
16	80	8	0.100	0.033	0	0.195
17	80	10	0.125	0.033	0	0.195
18	80	7	0.088	0.033	0	0.195
19	90	5	0.056	0.031	0.003	0.189
20	100	8	0.080	0.029	0.009	0.183
21	100	5	0.050	0.029	0.009	0.183
22	100	8	0.080	0.029	0.009	0.183
23	100	10	0.100	0.029	0.009	0.183
24	90	6	0.067	0.031	0.003	0.189
25	90	9	0.100	0.031	0.003	0.189
	2.450	234	2.383			

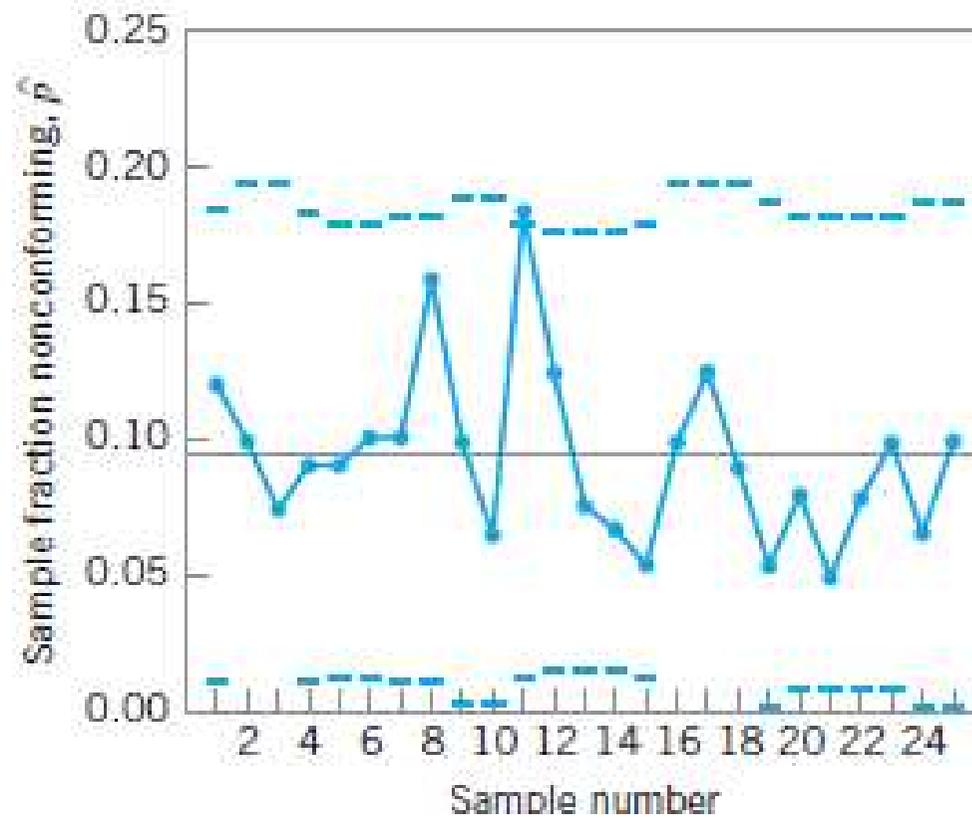
I dati rappresentano il numero totale di ordini di acquisto emessi ogni settimana da una grande azienda aerospaziale.

Ovviamente, questo non è costante.

Un'unità non conforme è un ordine di acquisto con un errore: date di consegna errate, informazioni errate sul fornitore,

Ognuno di questi errori può comportare una modifica dell'ordine d'acquisto, che richiede tempo e risorse e può comportare una consegna ritardata del materiale.

Ampiezza campionaria variabile



Ampiezza campionaria variabile

✓ Il secondo approccio consiste nel disegnare la carta di controllo prendendo in considerazione una dimensione media del campione.

Ciò presuppone che le future dimensioni dei campioni non differiranno notevolmente da quelle precedentemente osservate.

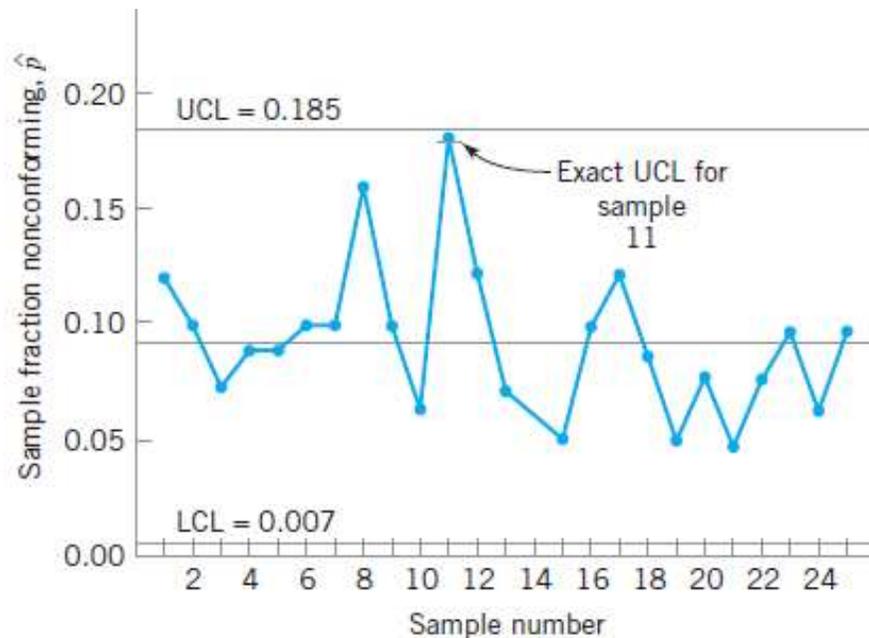
Se si utilizza questo approccio, i limiti di controllo saranno costanti.

Tuttavia, se vi è una variazione insolitamente grande nella dimensione di un particolare campione o se un punto viene tracciato vicino ai limiti di controllo, allora dovrebbero essere determinati i limiti di controllo esatti per quel punto.

Ampiezza campionaria variabile

Torniamo all'esempio del numero totale di ordini di acquisto emessi ogni settimana da una grande azienda aerospaziale.

La carta con i valori medi è la seguente:



Si noti che il campione 11 è vicino al limite di controllo superiore, ma sempre sotto controllo.

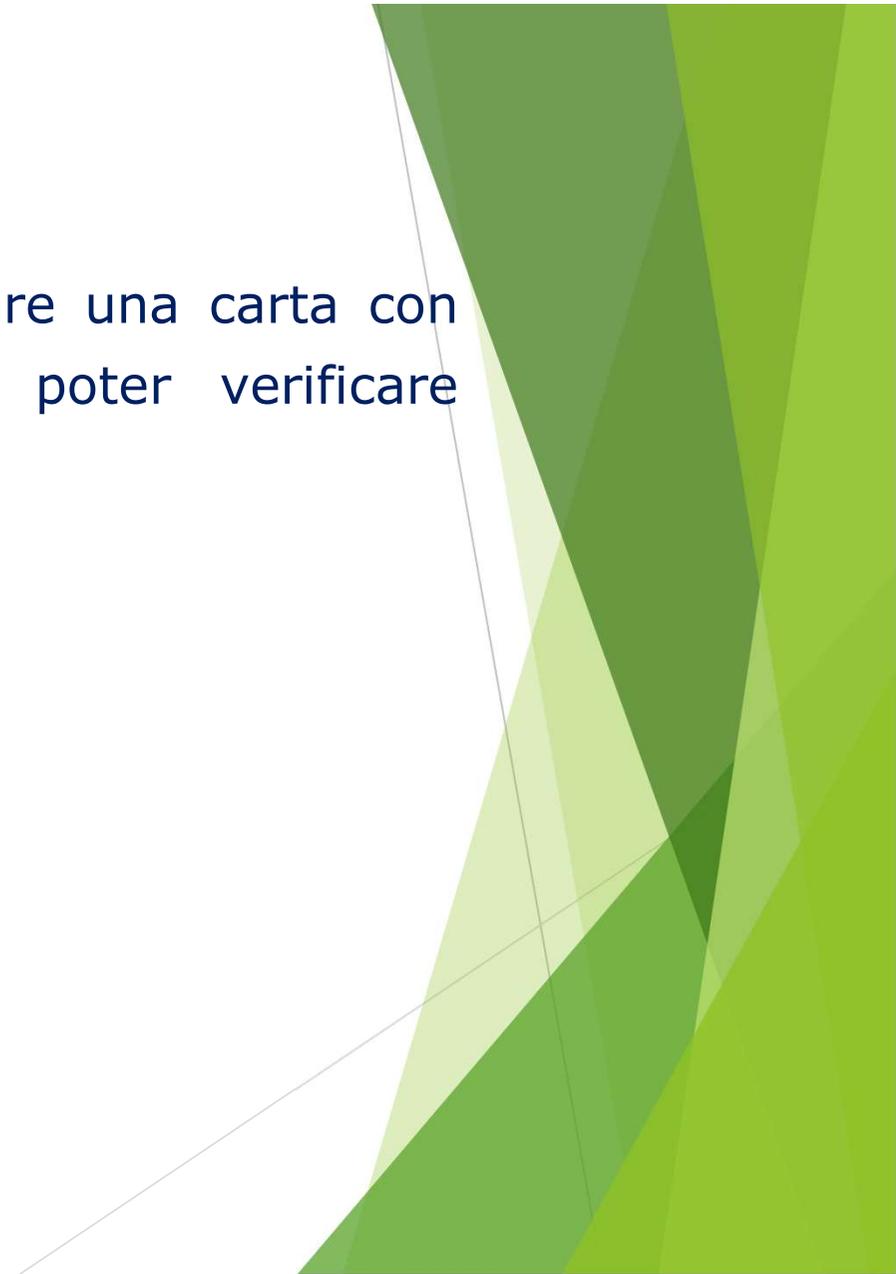
Tuttavia, se si calcolasse il suo limite di controllo superiore esatto, il punto indica una condizione fuori controllo.

Allo stesso modo, i punti che si trovano al di fuori dei limiti di controllo possono trovarsi all'interno dei loro limiti di controllo esatti.

In generale, occorre prestare attenzione all'interpretazione dei punti vicini ai limiti di controllo.

Ampiezza campionaria variabile

Un compromesso potrebbe essere quello di usare una carta con entrambi i limiti (medi ed esatti), così da poter verificare visivamente se ci sono differenze significative.



Ampiezza campionaria variabile

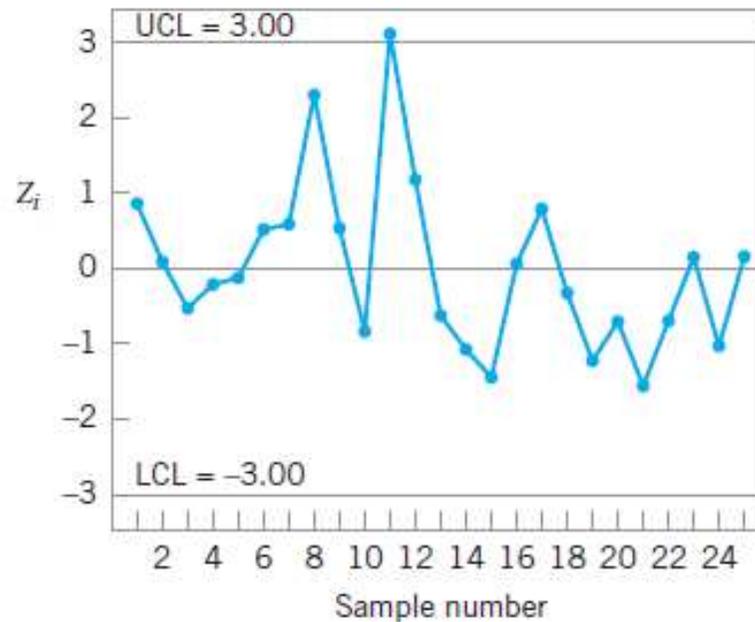
- ✓ Il terzo approccio consiste nell'utilizzare una carta di controllo standardizzata, in cui i punti sono tracciati in unità di deviazione standard.

Tale diagramma di controllo ha la linea centrale posta a zero e i limiti di controllo superiore e inferiore rispettivamente a $+3$ e -3 .

Ampiezza campionaria variabile

Sempre con riferimento all'esempio del numero totale di ordini di acquisto emessi ogni settimana da una grande azienda aerospaziale.

La carta con i valori standardizzati è la seguente:



Il criterio di scelta tra le carte p e np

La modalità di costruzione della carta p e quella della carta np è la stessa.

La scelta di utilizzo della carta di controllo p in alternativa alla carta di controllo np (e viceversa) dipende dalla modalità di campionamento.

Se ci si trova nelle condizioni di esaminare dei campioni di diversa dimensione si adotta la carta p.

Se si analizzano campioni costanti, allora si adotta la carta np.

Carta di controllo per non conformità (carta c)

Carta c

Con la carta c l'attenzione del monitoraggio si sposta dal prodotto difettoso ai difetti dei prodotti che costituiscono il campione.

Non si enumerano unità difettose ma difetti presenti nei campioni.

Un'unità non conforme è un prodotto che non soddisfa una o più caratteristiche qualitative.

Ciascuna caratteristica qualitativa non soddisfatta è un difetto o non conformità e in genere, se un bene ha uno o più difetti, è non conforme.

Carta c

Esempi: il numero di saldature difettose in 100 m di oleodotto, il numero di clienti che scelgono di lasciare un sistema di servizio senza completare la richiesta di servizio e così via.

Se si analizzano campioni di tessuto di venti metri ciascuno, ogni campione preso dal rullo che scorre, potrebbe contenere un certo numero di difetti.

In un campione, ad esempio, ci potrebbero essere difetti relativi alla colorazione o alla tessitura.

In altri campioni potrebbero aggiungersi difetti relativi al taglio oppure alla presenza di sfilature.

La carta c è adatta al controllo di difetti relativi a produzione in serie o meglio produzione a rullo di prodotto omogeneo.

Carta c

Anche in questo caso è possibile distinguere procedure che si basano su campioni di ampiezza costante e campioni di ampiezza variabile.

Partiamo dal considerare la prima situazione.

Carta c

È possibile costruire carte di controllo sia per il numero totale di non conformità per unità prodotta sia per il numero medio di non conformità per unità prodotta.

Per tali carte si può affermare che le non conformità contenute in un campione abbiano distribuzione di Poisson, specie se la probabilità di osservare un difetto è piccola, costante e se l'unità campionaria di riferimento è la stessa per ogni campione.

Tali ipotesi sono di difficile realizzazione anche se l'approssimazione alla Poisson è in genere ampiamente accettabile.

Carta c

I limiti a 3-sigma della carta di controllo per non conformità sono definiti come segue:

Se i valori di riferimento sono assegnati:

$$UCL = c + 3 \sqrt{c}$$

$$CL = c$$

$$LCL = c - 3 \sqrt{c}$$

Se i valori di riferimento non sono assegnati:

$$UCL = \bar{c} + 3 \sqrt{\bar{c}}$$

$$CL = \bar{c}$$

$$LCL = \bar{c} - 3 \sqrt{\bar{c}}$$

Il parametro c rappresenta sia la media che la varianza della distribuzione di Poisson.

Se non viene fornito valore di riferimento, allora c può essere stimato come il numero medio osservato di non conformità in un campione preliminare.

Esempio: carta c

Sono rappresentate le non conformità rilevate su 26 campioni ciascuno costituito da 100 circuiti stampati, che costituiscono l'unità di riferimento.

Numero del campione	Numero di non conformità	Numero del campione	Numero di non conformità
1	21	14	19
2	24	15	10
3	16	16	17
4	12	17	13
5	15	18	22
6	5	19	18
7	28	20	39
8	20	21	30
9	31	22	24
10	25	23	16
11	20	24	19
12	24	25	17
13	16	26	15

Il totale dei difetti riscontrati è 516.

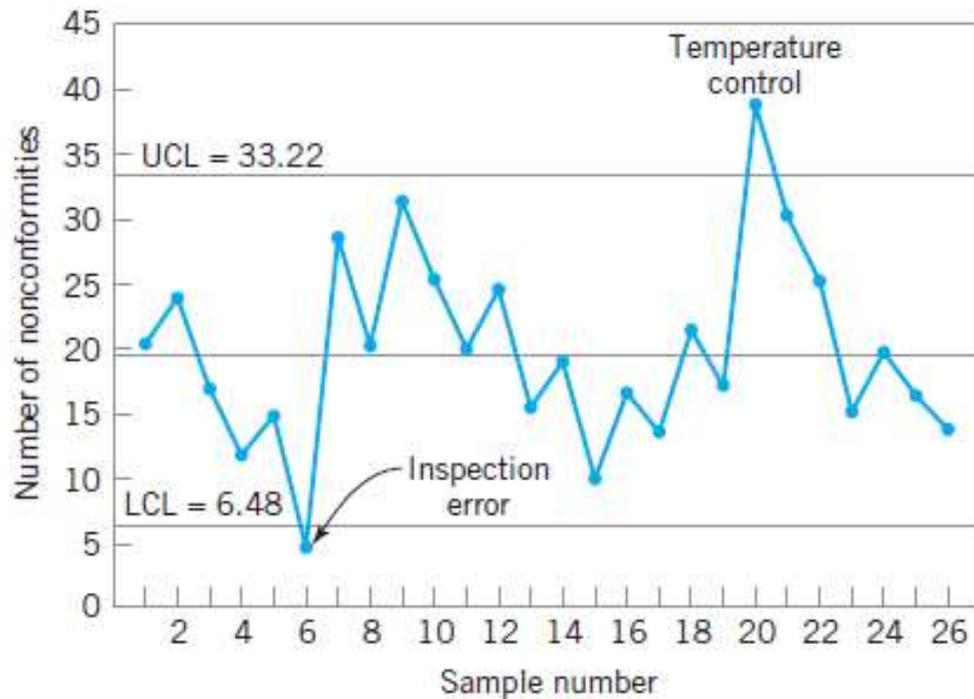
Una stima di c è: $\bar{c} = \frac{516}{26} = 19.85$

$$UCL = 33.22$$

$$CL = 19.85$$

$$LCL = 6.48$$

Esempio: carta c



2 punti sono fuori dei limiti di controllo: campioni 6 e 20.

L'indagine del campione 6 ha rivelato che un nuovo ispettore aveva esaminato le schede di questo campione e che non riconosceva molti dei tipi di non conformità che avrebbero potuto essere presenti.

Inoltre, il numero insolitamente elevato di non conformità nel campione 20 è risultato da un problema di controllo della temperatura nella saldatrice ad onda, che è stata successivamente riparata.

Esempio: carta c

Escludendo i 2 campioni fuori controllo, si ricalcolano i limiti.

Una stima di c è: $\bar{c} = \frac{472}{24} = 19.67$

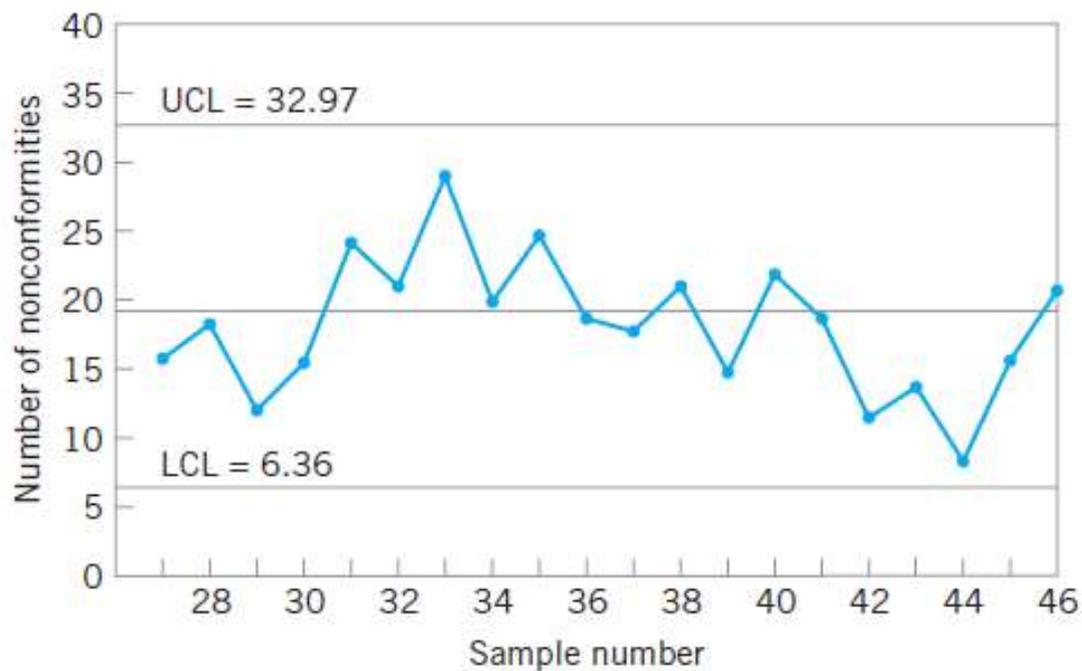
$UCL = 32.97$ $CL = 19.67$ $LCL = 6.37$

Questi diventano i valori standard con i quali è possibile confrontare la produzione successiva.

Vengono successivamente raccolti 20 nuovi campioni.

Sample Number	Number of Nonconformities	Sample Number	Number of Nonconformities
27	16	37	18
28	18	38	21
29	12	39	16
30	15	40	22
31	24	41	19
32	21	42	12
33	28	43	14
34	20	44	9
35	25	45	16
36	19	46	21

Esempio: carta c



Non si rilevano fuori controllo; tuttavia, il numero di non conformità è ancora inaccettabilmente elevato.

Sono necessarie ulteriori azioni per migliorare il processo.

Carta c

I dati dei difetti o delle non conformità sono sempre più informativi della frazione di non conformità, poiché di solito ci saranno diversi tipi di non conformità.

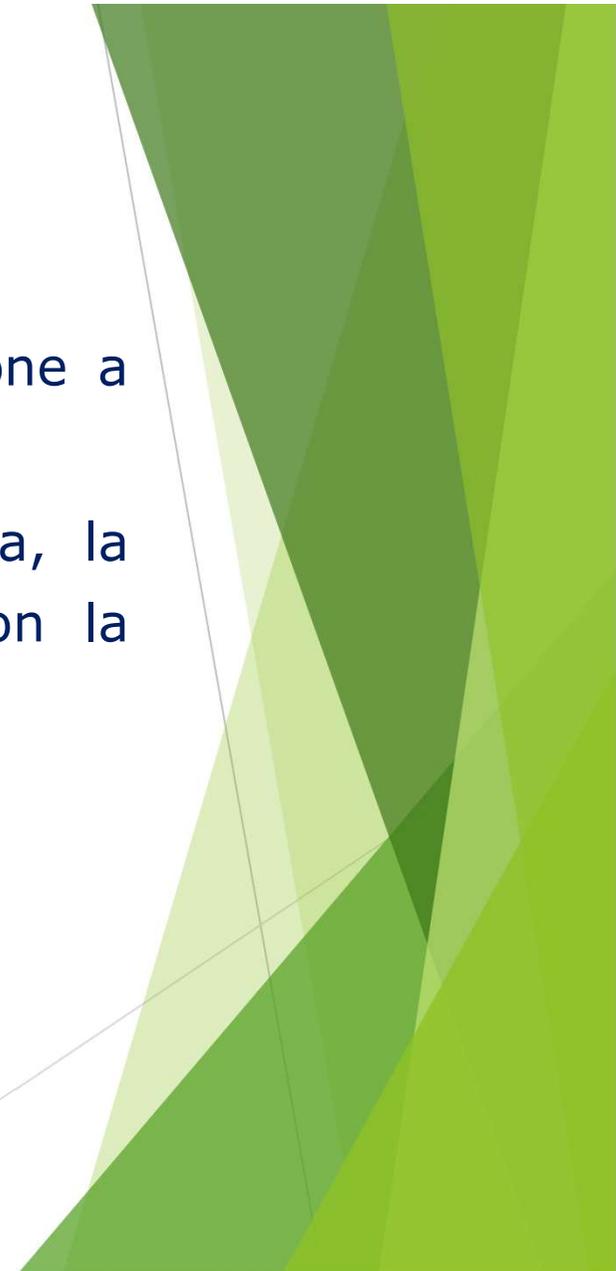
Analizzando le non conformità per tipo, spesso è possibile ottenere una visione approfondita della loro causa.

Ciò può essere di notevole aiuto nello sviluppo di piani d'azione fuori controllo (OCAP) che devono accompagnare le carte di controllo.

Dimensione campionaria variabile

Quando la dimensione del campione è diversa da campione a campione è preferibile utilizzare la carta u.

Questo grafico avrà una linea centrale costante; tuttavia, la larghezza dei limiti di controllo varierà inversamente con la radice quadrata della dimensione del campione n .



Carta per numero di difetti per unità - u



Carta u

La carta di controllo u è sostanzialmente analoga alla carta c presentata in precedenza, anche se si basa sul calcolo del numero medio di non conformi per unità di riferimento.

Se vengono rilevate c difformità in n unità di riferimento di un sottogruppo, il numero medio di tali difformità per unità di riferimento è:

$$u = \frac{c}{n}$$

Carta u

I limiti a 3-sigma della carta di controllo u sono definiti come segue:

$$UCL = \bar{u} + 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \quad CL = \bar{u} \quad LCL = \bar{u} - 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$$

Dove \bar{u} è la stima del numero medio di non conformità per unità di riferimento:

$$\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^n u_i}{n}$$

Esempio carta u con dimensione campionaria variabile

In un impianto di finitura tessile, il tessuto colorato viene ispezionato per verificare la presenza di difetti per 50 metri quadrati.

I dati su dieci rotoli di stoffa sono mostrati nella seguente tabella:

Roll Number	Number of Square Meters	Total Number of Nonconformities	Number of Inspection Units in Roll, n	Number of Nonconformities per Inspection Unit
1	500	14	10.0	1.40
2	400	12	8.0	1.50
3	650	20	13.0	1.54
4	500	11	10.0	1.10
5	475	7	9.5	0.74
6	500	10	10.0	1.00
7	600	21	12.0	1.75
8	525	16	10.5	1.52
9	600	19	12.0	1.58
10	625	23	12.5	1.84
	5300	153	107.50	

Ampiezza in m² complessiva del rotolo esaminato

500/50 è la numerosità campionaria del primo campione

Esempio carta u con dimensione campionaria variabile

153 è il numero totale di difetti rilevati in tutti i campioni

107,5 è il totale di pezzi analizzati, come somma in tutti i campioni

\bar{u} = numero totale di difetti osservati / totale pezzi analizzati = 1,42

(mediamente, ogni pezzo ha 1,42 difetti!

numero medio di non conformi per unità di riferimento)

Roll Number	Number of Square Meters	Total Number of Nonconformities	Number of Inspection Units in Roll, n	Number of Nonconformities per Inspection Unit
1	500	14	10.0	1.40
2	400	12	8.0	1.50
3	650	20	13.0	1.54
4	500	11	10.0	1.10
5	475	7	9.5	0.74
6	500	10	10.0	1.00
7	600	21	12.0	1.75
8	525	16	10.5	1.52
9	600	19	12.0	1.58
10	625	23	12.5	1.84
		153	107.50	

Esempio carta u con dimensione campionaria variabile

La linea centrale del grafico dovrebbe essere il numero medio di non conformità per unità di ispezione, ovvero il numero medio di non conformità per 50 metri quadrati, calcolato come:

$$\bar{u} = \frac{153}{107.5} = 1.42$$

\bar{u} è il rapporto tra il numero totale di non conformità osservate e il numero totale di unità ispezionate.

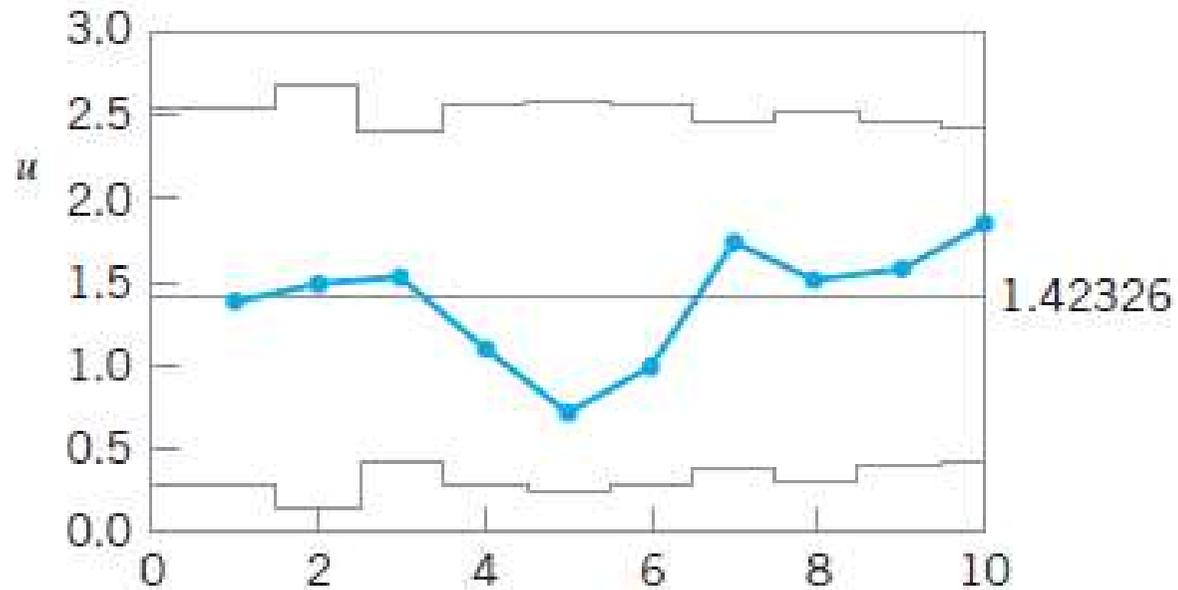
I limiti di controllo su questo grafico sono calcolati come visto in precedenza, con la sola differenza di sostituire n con n_i

$$UCL = \bar{u} + 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}}$$

$$LCL = \bar{u} - 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}}$$

Esempio carta u con dimensione campionaria variabile

La linea carta di controllo sarà:



Carte per variabili o carte per attributi?

Carte per variabili o carte per attributi?

In alcuni casi, la scelta sarà semplice.

Ad esempio, se la caratteristica di qualità è il colore dell'articolo, come potrebbe essere il caso nella produzione di tappeti o stoffe, allora la carta degli attributi sarà la preferita.

In altri casi, la scelta non sarà ovvia e l'analista deve tenere conto di diversi fattori nella scelta tra carte di controllo per attributi o per variabili.

Carte per variabili o carte per attributi?

Le carte di controllo per attributi hanno il vantaggio che diverse caratteristiche di qualità possono essere considerate congiuntamente e l'unità viene classificata come non conforme se non soddisfa le specifiche di una qualsiasi caratteristica.

Si costruisce una sola carta anziché due.

Carte per variabili o carte per attributi?

- Le carte di controllo per variabili, al contrario, forniscono informazioni molto più utili sulle prestazioni del processo rispetto alla carte di controllo per attributi.
- Sono ottenute direttamente informazioni specifiche sulla media del processo e sulla variabilità.
- Quando ci sono punti fuori controllo sulle carte di controllo per variabili, di solito vengono fornite molte più informazioni relative alla potenziale causa di quel segnale fuori controllo.

Carte per variabili o carte per attributi?

Forse il vantaggio più importante delle carte di controllo per variabili è che spesso forniscono un'indicazione di problemi imminenti e consentono al personale operativo di intraprendere azioni correttive prima che vengano effettivamente prodotti difetti.