

## **CAPITOLO 10**

### **Controllo di qualità**

- **Strumenti per il controllo della qualità e la sua gestione**

## **STRUMENTI PER IL CONTROLLO E LA GESTIONE DELLA QUALITÀ**

- **DIAGRAMMI CAUSA/EFFETTO**
- **DIAGRAMMI A BARRE**
- **ISTOGRAMMI**
- **DIAGRAMMI DI PARETO (CURVE ABC)**
- **DIAGRAMMI DI CORRELAZIONE**
- **SCHEDE DI CONTROLLO**
- **CARTE DI CONTROLLO**
- **CAMPIONAMENTO**

## **DIAGRAMMI CAUSA- EFFETTO**

Sono diagrammi di guida all'analisi dei processi (vedi esempi utilizzati per l'impostazione di FTA e FMECA)

## **DIAGRAMMI A BARRE, ISTOGRAMMI E**

### **DIAGRAMMI DI PARETO**

Sono tutti strumenti per la rappresentazione sintetica della frequenza dei valori rilevati di una grandezza. Riportano in ascissa il tipo di accadimento (p.e.: per i motivi di non funzionamento di una macchina operatrice, guasto – mancanza di energia – sciopero – ferie – ecc.) o il valore della grandezza misurata (p.e.: altezza, temperatura, peso, tempo, ecc.) e in ordinata la frequenza assoluta o percentuale dell'accadimento o della rilevazione.

Nei **diagrammi a barre** ogni barra è correlata con un tipo di accadimento o con un valore puntuale della grandezza; la sua altezza, letta sull'ordinata ordinata per valori crescenti, ne rappresenta la sua frequenza.

Nel caso si tratti di grandezze l'ascissa è ordinata per valori crescenti o decrescenti; nel caso invece di tipi di accadimenti il loro ordine dipende dalle scelte del responsabile dell'analisi statistica.

---

Negli **istogrammi** ogni barra (o torre) è correlata con un campo di valori contigui della grandezza (p.e.: altezze rilevate tra 151 e 160 cm, tra 161 e 170 cm, ecc.) o a un insieme di tipi di accadimento (i mancati funzionamenti per cause dipendenti dalla macchina operatrice, quelli per cause indipendenti, ecc.). La barra in questo caso rappresenta la frequenza totale dei tipi di accadimento o dei valori compresi nel campo.

Gli assi dell'istogramma sono ordinati come nel caso dei diagrammi a barre.

Nei **diagrammi di Pareto** l'asse delle ascisse non è ordinato secondo la crescita della grandezza (1, 2, 3, ...) o in modo casuale di accadimenti particolari ma secondo la frequenza dei valori osservati della grandezza o degli accadimenti. Ne risulta che le barre che rappresentano le frequenze sono ordinate per valori decrescenti di altezza evidenziando così più facilmente i valori o gli accadimenti più significativi.

Qualora si trasformasse il diagramma delle frequenze (assolute o relative) in un diagramma di frequenze (assolute o relative) cumulate si costruirebbe una curva ABC mediante la quale classificare i valori o gli accadimenti in tre classi, i più rilevanti, quelli di rilevanza media e i meno rilevanti.

---

Questa classificazione potrebbe agevolare le scelte su come impostare il controllo qualità privilegiando gli interventi in certe aree piuttosto che altre.

## DIAGRAMMI DI CORRELAZIONE

I diagrammi di correlazione servono per mettere in evidenza se esistono o meno o quanto sono stretti i legami tra due elementi (p.e.: la forza applicata ad un corpo e la deformazione che ne consegue oppure una causa e il suo effetto, ecc.).

Su un diagramma di correlazione a due assi si riportano i punti che rappresentano le coppie di dati rilevati. La disposizione dei punti consente di valutare la relazione che intercorre tra i due elementi considerati.

Le correlazioni, più o meno fortemente positive o negative, possono essere chiaramente evidenti quando i punti si addensano in corrispondenza di una retta inclinata con coefficiente angolare positivo o negativo; può anche essere altrettanto evidente l'assenza di correlazione quando i punti si addensano attorno a rette parallele agli assi coordinati oppure si distribuiscono in modo assolutamente casuale nel piano cartesiano. Per calcolare il coefficiente angolare della retta di correlazione si possono usare differenti metodi tra i quali quello dei minimi quadrati che minimizza la somma totale delle distanze dei vari punti dalla retta risultante.

In modo più pratico, nei casi meno evidenti, si possono adottare alcuni accorgimenti per valutare l'effettiva correlazione. Si possono, per esempio, tracciare rette parallele agli assi in corrispondenza dei valori mediani

---

dei due valori dividendo così il piano in quattro quadranti. Col conteggio dei punti che compaiono in ciascun quadrante può essere valutata la correlazione. Il diagramma può anche evidenziare una correlazione positiva per una certa zona e negativa per un'altra zona (o viceversa). Anche per questo scopo è necessario analizzare e segmentare in modo opportuno il diagramma.

## SCHEDE DI CONTROLLO

Le **schede di controllo** servono per la raccolta organizzata di dati che poi possono essere sintetizzati e rappresentati eventualmente attraverso i diagrammi citati in precedenza.

Le schede di controllo possono avere diversi formati ma riportano in ogni caso elementi utili a riconoscere in che modo e da chi è stato effettuato il controllo; se del caso, la scheda può anche evidenziare per quale lotto di produzione sia stata prodotta.

Le schede di controllo possono quindi essere strutturate, per esempio, in modo da:

- localizzare direttamente su una raffigurazione dell'oggetto sotto controllo dove si presentano difetti;
- evidenziare diverse tipologie di difetti;
- evidenziare le cause di difetto in modo organizzato (p.e.: per macchina, per periodo di lavoro, per operatore, ecc);
- fungere da lista di controllo di verifiche eseguite, di presenza di componenti, di collaudi, di rispetto di normative, ecc.
- controllare la dispersione di un processo produttivo;



## CARTE DI CONTROLLO

Le carte di controllo servono, innanzitutto, per valutare l'effettiva capacità di un processo intesa come possibilità di rispettare le specifiche di lavorazione in termini di tolleranze. Quindi, una volta verificato che il processo è capace, le carte di controllo si impiegano per analizzare se il processo rimane sotto controllo o se sta prendendo un andamento che lo porterà a produzioni difettose oltre l'accettabile.

Le carte di controllo possono essere:

- per variabili (la grandezza che viene misurata, la variabile, può assumere un valore qualsiasi compreso in un campo normalmente limitato da un massimo e da un minimo oltre i quali non si dovrebbero riscontrare suoi valori)
- per attributi (non viene misurata alcuna grandezza; su quanto viene controllato si rileva la presenza o meno di qualche cosa, l'attributo)

I due tipi di carte di controllo si costruiscono e si interpretano in modo analogo prendendo però, per la loro costruzione, riferimenti differenti.

## CARTE DI CONTROLLO PER VARIABILI

Le più usate considerano come riferimenti principali:

- $\bar{X}$  valore medio della variabile misurata del campione (carta  $\bar{X}$ )
- R campo di escursione della variabile misurata del campione (carta R)

Le due carte possono anche essere tra loro associate e la carta derivante è detta  $\bar{X}$ -R.

Riportano sulle ascisse la sequenza delle rilevazioni, sulle ordinate il valore di X e/o R.

La loro costruzione:

- Innanzitutto, affinché le carte siano significative, devono essere raccolti i dati in quantità sufficiente.
  - I dati devono essere raccolti in modo tale da poter essere riuniti in sottogruppi omogenei.
  - Per ogni sottogruppo si calcolano il valore medio e il campo di escursione (*range*) della variabile.
  - Per la carta  $\bar{X}$  si calcola il valore medio generale della variabile tra tutti i valori medi dei sottogruppi ( $\bar{\bar{X}}$ ). Per la carta R il valore medio delle escursioni della variabile tra tutte le escursioni dei sottogruppi ( $\bar{R}$ ).
-

- Si riportano sulle due carte le linee parallele alle ascisse rappresentanti i valori medi generali precedentemente calcolati che divengono i valori di riferimento per il controllo del processo.
- Si determinano i limiti superiori e inferiori di controllo del processo.

A tal fine si parte, per la carta  $\bar{X}$ , dal valore medio generale aggiungendo e togliendo ad essi quantità proporzionali alla deviazione standard della media generale della variabile (normalmente  $3\sigma$ ); per la carta R tali limiti si calcolano in modo analogo tenendo conto del fatto che il limite inferiore non può essere ovviamente inferiore allo 0.

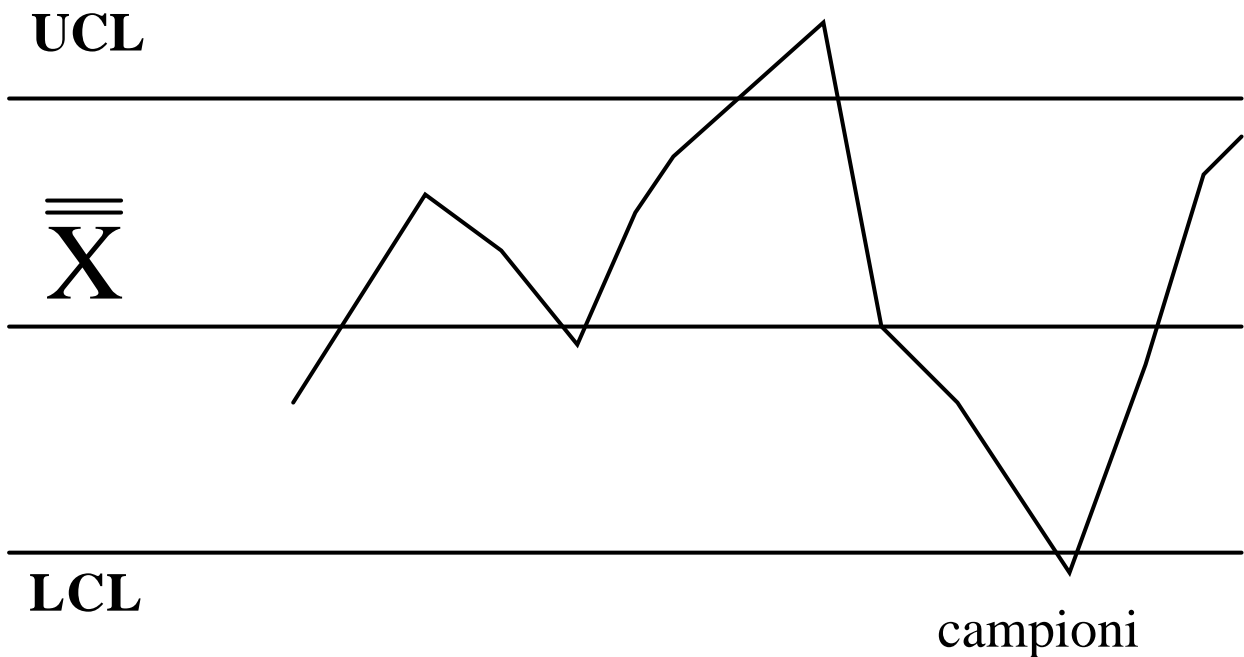
I limiti così determinati sono denominati LSC (Limite Superiore di Controllo) e LIC (Limite Inferiore di Controllo); spesso si usano anche gli analoghi acronimi inglesi UCL (Upper Control Limit) e LCL (Lower Control Limit).

In realtà, nella pratica, i limiti possono essere determinati con altre espressioni, statisticamente significative sintetizzate da costanti ricavabili da tabulati che tengono conto della numerosità del campione di riferimento e della relazione tra  $\bar{X}$  e R.

- Si tracciano sulle carte le linee parallele alle ascisse rappresentanti LSC e LIC.
-

- Si riportano sulle carte i valori medi calcolati per i sottogruppi nella successione delle rilevazioni già effettuate e di quelle seguenti.
- Si interpretano le informazioni rilevate dalle carte secondo opportune chiavi di lettura assumendo così importanti elementi per eventuali interventi correttivi.

---

**Carta  $\bar{X}$** 


$$\text{UCL} = \bar{\bar{X}} + 3s_{\bar{X}}$$

$$\text{LCL} = \bar{\bar{X}} - 3s_{\bar{X}}$$

UCL e LCL possono essere espressi in funzione di  $R$  (*range*) e di coefficienti tabulati in funzione della numerosità del campione.

Quindi: 
$$\text{UCL} = \bar{\bar{X}} + A_2R$$

$$\text{LCL} = \bar{\bar{X}} - A_2R$$

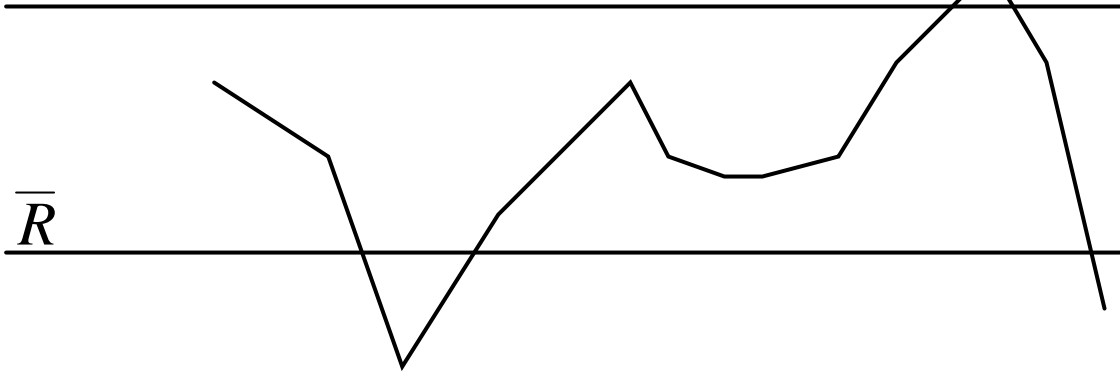

---

---

**Tabella dei valori di  $A_2$  per la carta  $\bar{X}$** 

<b>Numerosità del campione</b>	<b><math>A_2</math></b>
2	1,880
3	1,023
4	0,729
5	0,577
6	0,483
7	0,419
8	0,373
9	0,337
10	0,308
15	0,223
20	0,180
25	0,153

---

**Carta R****UCL****LCL**

Campioni

$$\text{UCL} = \bar{R} + 3s_R$$

$$\text{LCL} = \bar{R} - 3s_R$$

UCL e LCL possono essere calcolati in funzione di valori tabulati dipendenti dalla numerosità del campione.

Quindi:  $\text{UCL} = D_3R$

$$\text{LCL} = D_4R$$

**Tabella dei valori di  $D_3$  e  $D_4$  per la carta R**

<b>Numerosità del campione</b>	<b><math>D_3</math></b>	<b><math>D_4</math></b>
2	0	3,267
3	0	2,575
4	0	2,282
5	0	2,115
6	0	2,004
7	0,076	1,924
8	0,136	1,864
9	0,184	1,816
10	0,223	1,777
15	0,348	1,652
20	0,414	1,586
25	0,459	1,541



Per un'interpretazione più corretta dei risultati del controllo, le carte  $\bar{X}$  e R sono normalmente riunite in un'unica carta (carta  $\bar{X}$ -R). Si tracciano l'una al di sopra dell'altra e, senza cambiare la scala dell'asse delle ascisse, si riportano in corrispondenza degli stessi punti di ascissa i valori calcolati. Per il medesimo sottogruppo si avrebbe così una visione immediata del suo valore medio e della sua escursione.

Si costruisce la carta  $\bar{X}$ -R perché può accadere sia che, pur essendo il valore medio di un sottogruppo all'interno dei limiti di controllo, non lo sia l'escursione dello stesso sottogruppo o, viceversa, l'escursione sia nei limiti di controllo ma non il valore medio. Sono entrambe situazioni anomale; la prima è indice di un processo instabile che provoca una dispersione eccessiva dei risultati, la seconda di un processo non tarato correttamente. Ovviamente se entrambi i valori sono fuori controllo il processo è instabile e non tarato correttamente.

La carta  $\bar{X}$ -R può segnalare anomalie nel processo anche se nessun punto cade al di fuori dei limiti di controllo. Sono i casi nei quali compaiono:

- punti disposti da una parte rispetto alla linea centrale in quantità notevolmente superiore a quelli disposti dall'altra parte (p.e.: 10 punti su 14);

l'anomalia rilevabile è la tendenza all'innalzamento (o abbassamento) del valore medio.

- successione di punti in serie crescenti o decrescenti (p.e.: 7 punti); si segnala così un fenomeno analogo al precedente di aumento o diminuzione progressiva del valore medio.
- successione di punti che tendono dapprima a rimanere al di sopra e quindi al di sotto della linea centrale (o viceversa); l'eventuale anomalia rilevabile è di una produzione influenzata da fattori che provocano risultati tra loro non confrontabili (può essere, ad esempio, il caso di impiego di macchine operatrici differenti).
- successione di punti alternativamente crescenti e decrescenti; segnala la tendenza del processo a variazioni cicliche.
- addensamento dei punti nelle vicinanze delle linee centrale e di controllo; in questo caso non viene tanto segnalata un'anomalia nel processo quanto una probabile errata aggregazione dei sottogruppi.

## CARTE DI CONTROLLO PER ATTRIBUTI

Per un corretto uso delle carte di controllo per attributi occorre associare i due concetti, indipendentemente dalla loro misura, di:

- Carenza di attributo (p.e.: è stata applicata o meno l'etichetta su una confezione)
- Presenza di difetto (p.e.: la stampa su una confezione è sbagliata)

Di conseguenza, il controllo che viene eseguito e attraverso il quale si costruisce la carta di controllo per attributi può rilevare, a seconda dell'occasione, la carenza di un attributo o la presenza di un difetto.

Le più usate considerano come riferimenti principali:

- $p$  percentuale della produzione carente dell'attributo nel caso di campioni di produzione di grandezza non omogenea (carta  $p$ )
- $pn$  numero di prodotti carenti dell'attributo nel caso di campioni di produzione di grandezza omogenea (carta  $pn$ )

Come appare evidente dalla definizione, le carte  $p$  e  $pn$  sono usate distintamente in funzione dei campioni utilizzati per effettuare il controllo.

Le carte riportano sulle ascisse la sequenza delle rilevazioni; sulle ordinate, rispettivamente, la percentuale della produzione carente dell'attributo o il numero di prodotti carenti dell'attributo.

La costruzione della carta  $p$ :

- Innanzitutto, affinché la carta sia significativa, devono essere raccolti i dati in quantità sufficiente.
  - I dati devono essere raccolti in modo tale da poter essere riuniti in sottogruppi omogenei.
  - Per ogni sottogruppo (costituito da un numero  $n$  di rilevazioni variabile) si calcola il rapporto tra il numero di parti carenti dell'attributo o difettose e la dimensione del sottogruppo.
  - Si calcola poi la percentuale media generale ( $\bar{p}$ ) delle parti carenti dell'attributo o difettose data dal rapporto tra il totale delle parti carenti dell'attributo o difettose e il numero totale delle rilevazioni.
  - Si riporta sulla carta la linea parallela alle ascisse rappresentante il valore medio precedentemente calcolato che diventa il valore di riferimento per il controllo del processo.
-

- 
- Si determinano i limiti superiori e inferiori di controllo del processo dati dalle espressioni:

$$UCL = \bar{p} + 3 \cdot \text{SQRTF}[\bar{p}(1 - \bar{p})/n]$$

$$LCL = \bar{p} - 3 \cdot \text{SQRTF}[\bar{p}(1 - \bar{p})/n]$$

- Si tracciano sulla carta le linee rappresentanti UCL e LCL. Si noti che, a differenza che per le carte  $\bar{X}$  e R, tali linee non sono delle parallele alle ascisse bensì delle spezzate. Il loro livello varia infatti in continuazione perché dipendente, di rilevazione in rilevazione, dalla numerosità del campione.
- Si riportano sulle carte i valori medi calcolati per i sottogruppi nella successione delle rilevazioni già effettuate e di quelle seguenti.
- Si interpretano le informazioni rilevate dalle carte secondo opportune chiavi di lettura assumendo così importanti elementi per eventuali interventi correttivi.

La costruzione della carta  $pn$ :

- Innanzitutto, affinché la carta sia significativa, devono essere raccolti i dati in quantità sufficiente.

- 
- I dati devono essere raccolti in modo tale da poter essere riuniti in sottogruppi omogenei tutti della stessa dimensione.
  - Si calcola poi la media generale ( $\bar{p}$ ) delle parti carenti dell'attributo o difettose data dal rapporto tra il totale delle parti carenti dell'attributo o difettose e il numero totale delle rilevazioni.
  - Si riporta sulla carta la linea parallela alle ascisse rappresentante il valore medio precedentemente calcolato ( $\bar{pn}$ ) che diventa il valore di riferimento per il controllo del processo.
  - Si determinano i limiti superiori e inferiori di controllo del processo dati dalle espressioni:

$$UCL = \bar{pn} + 3 \cdot \text{SQRTF}[\bar{pn}(1 - \bar{p})]$$

$$LCL = \bar{pn} - 3 \cdot \text{SQRTF}[\bar{pn}(1 - \bar{p})]$$

- Si tracciano sulla carta le linee rappresentanti UCL e LCL. Trattandosi di numero di parti difettose è evidente che il limite inferiore non può essere inferiore a zero.
  - Si riportano sulle carte i valori medi calcolati per i sottogruppi nella successione delle rilevazioni già effettuate e di quelle seguenti.
-

- Si interpretano le informazioni rilevate dalle carte secondo opportune chiavi di lettura assumendo così importanti elementi per eventuali interventi correttivi.

La scelta della carta di controllo da impiegare tra le tante disponibili dipende naturalmente dal processo col quale si ha a che fare.

## VALUTAZIONE DELLA CAPACITÀ DI PROCESSO

Le carte di controllo in sé sono in grado di evidenziare se il processo è stabile e ben tarato rispetto alle prestazioni che può fornire. Non danno però indicazioni sufficienti sul fatto che la produzione rispetti le specifiche di progetto.

Occorre valutare anche attraverso l'uso delle carte di controllo, o più in generale del controllo statistico, la **capacità di processo**.

Nei capitoli precedenti si è visto come determinare la capacità di processo in fase di **progettazione** del sistema di produzione. Ora vediamo invece come la capacità di processo che il sistema di produzione è effettivamente in grado di fornire può essere valutata a **posteriori**.

La procedura da seguire a tale scopo è la seguente:

1. Pianificazione della prova (controllo)
2. Costruzione della carta di controllo
3. Valutazione dello stato del processo
4. Se il processo è sotto controllo, calcolo degli indici che esprimono la capacità di processo
5. Valutazione degli indici di capacità di processo.



Qualora il processo non fosse sotto controllo, prima di passare al calcolo degli indici della capacità di processo e alla loro valutazione, occorre analizzare le cause di variabilità del processo, attuare le eventuali azioni correttive e ripartire dal primo passo della procedura.

Per la costruzione delle carte di controllo e la valutazione dello stato del processo, si è trattato in precedenza.

In merito invece alla **pianificazione della prova**, a parte la definizione del ciclo e la scelta degli strumenti di misura, occorre stabilire per poter costruire carte di controllo efficaci:

1. il numero dei sottogruppi che costituiscono il campione;
2. la numerosità dei sottogruppi;
3. quando prelevare i campioni.

Bisogna in sostanza effettuare il **campionamento** in modo corretto e attendibile, cercando di rispettare criteri di velocità e economia.

Il principio fondamentale del campionamento corretto e attendibile è la casualità della generazione del campione.

Un campionamento è tanto più casuale quanto più è garantita la possibilità che ogni componente dell'insieme da controllare abbia la stessa probabilità di tutti gli altri di far parte del campione stesso, obiettivo spesso non conseguibile e a volte in contrasto con i criteri sopracitati.

Normalmente si ricorre pertanto ad alcuni artifici quali i campionamenti:

- a due stadi: si estraggono alcuni campioni casualmente di una numerosità stabilita. Da ciascuno di questi campioni si estraggono, sempre casualmente, un numero fisso e limitato di esemplari;
  - stratificati: l'intero insieme è suddiviso secondo criteri prefissati in strati. Da ogni strato si estrae casualmente un numero prefissato di esemplari.
  - a grappoli: si usa quando la produzione è diversificata e si voglia comunque effettuare il controllo su un unico campione. Il campione prelevato deve contenere esemplari di tipo differente in modo quanto più proporzionale possibile alla distribuzione della produzione.
  - selettivi: il campione viene prelevato, per esempio, solamente dalla produzione effettuata in un certo arco di tempo ovvero da quella di una sola macchina operatrice. Conoscendo le relazioni
-

esistenti tra le produzioni di un certo arco di tempo e quelle degli altri periodi ovvero tra le prestazioni di una macchina operatrice e le sue simili, l'attendibilità del campione è accettabile.

Gli errori di campionamento sono molto insidiosi perché nella maggior parte dei casi sono evidenziati solo facendo un controllo sull'intera produzione. La precisione di campionamento può praticamente essere acquisita solo con la sperimentazione e l'esperienza degli addetti al controllo.

Gli indici più della **capacità di processo a posteriori** sono:

$$C_p = (USL - LSL)/6\sigma$$

e

$$C_{pk} = \min [ (USL - \bar{X})/3\sigma, (\bar{X} - LSL)/3\sigma ]$$

dove:

USL = limite superiore della specifica di progetto

LSL = limite inferiore della specifica di progetto

$\sigma$  = deviazione standard del campione.

---

$C_p$  è fornisce indicazioni sulla dispersione del processo rispetto al suo valore medio.

$C_{pk}$  è una misura della prestazione del processo che tiene in considerazione sia la dispersione che la posizione del processo rispetto ai limiti delle specifiche di processo.

I valori di riferimento per la **valutazione degli indici** di capacità di processo sono i seguenti.

Per  $C_p$ :

$C_p > 1,33$

La capacità del processo è buona

$1,00 < C_p < 1,33$

Il processo è accettabile solo se viene effettuato un accurato controllo finale della produzione

$C_p < 1,00$

Il processo non è accettabile

Per  $C_{pk}$ :

$C_{pk} > 1,33$

Situazione ottimale. La media del processo coincide col valore nominale

$C_{pk} < 1$

Situazione critica. La media del processo cade all'interno delle specifiche

$C_{pk} < -1$

Situazione non accettabile. La media cade al di fuori dei limiti di specifica.