



---

# **MEZZI PER LA RACCOLTA E LA GESTIONE DEI DATI DI QUALITÀ**

**Carlo Noè**

**Scuola di Ingegneria**

e-mail: [cnoe@liuc.it](mailto:cnoe@liuc.it)

## ❖ **Controllo qualità in produzione**

### **MEZZI PER LA RACCOLTA E LA GESTIONE DEI DATI DI QUALITÀ**

- Diagrammi causa/effetto
- Diagrammi a barre
- Istogrammi
- Diagrammi di Pareto (curve ABC)
- Diagrammi di correlazione
- Schede di controllo
- Carte di controllo
- Campionamento

## ❖ Controllo qualità in produzione

### **DIAGRAMMI DI CORRELAZIONE**

I diagrammi di correlazione servono per mettere in evidenza se esistono e quanto sono stretti i legami tra due variabili (p.e.: la forza applicata a un corpo e la deformazione che ne consegue oppure altezza e peso, 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 le due variabili considerate.

## ❖ Controllo qualità in produzione

### **DIAGRAMMI DI CORRELAZIONE**

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 rispettivamente 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 determinare l'inclinazione della retta di correlazione si possono usare differenti metodi; tra di essi, il metodo dei minimi quadrati che minimizza la somma totale delle distanze dei vari punti dalla retta risultante.

### **DIAGRAMMI DI CORRELAZIONE**

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.

## ❖ Controllo qualità in produzione

### **SCHEDE DI CONTROLLO (*CHECK LIST*)**

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

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 compilata.

## ❖ Controllo qualità in produzione

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

- localizzare dove si presentano difetti direttamente su una raffigurazione dell'oggetto controllato;
- 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;
- ....

# ❖ Controllo qualità in produzione

Codice articolo \_\_\_\_\_

Data di produzione \_\_\_\_\_

Descrizione \_\_\_\_\_

Stabilimento \_\_\_\_\_

Specifiche \_\_\_\_\_

Reparto \_\_\_\_\_

N° Lotto \_\_\_\_\_

Compilatore \_\_\_\_\_

N° Pezzi \_\_\_\_\_

Osservazioni




Frequenza	5	10	15	20	25
Difetto					
Macchie di colla (x)	xxxxx	xxx			
Grinze (o)	ooooo	o			



## ❖ Controllo qualità in produzione

### CARTE DI CONTROLLO

Le **carte di controllo** servono, innanzitutto, per valutare l'effettiva capacità di un processo di rispettare le specifiche di lavorazione in termini di tolleranze.

Quindi, una volta appurato che il processo è capace, le carte di controllo si impiegano per verificare 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 si usano per controlli statistici a campione.

## ❖ Controllo qualità in produzione

A parte la definizione del ciclo di misura e la scelta degli strumenti opportuni per la misurazione, al fine di costruire carte di controllo efficaci, occorre definire correttamente come effettuare **campionamento**; si deve pertanto stabilire:

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

## ❖ **Controllo qualità in produzione**

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 velocità ed economicità.

## ❖ Controllo qualità in produzione

I campionamenti si possono effettuare seguendo diversi criteri, per esempio:

- 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;
- campionamenti stratificati: l'intero insieme è suddiviso secondo criteri prefissati in strati. Da ogni strato si estrae casualmente un numero prefissato di esemplari.

## ❖ Controllo qualità in produzione

segue

- campionamenti 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.

## ❖ Controllo qualità in produzione

segue

- campionamenti 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 sarà accettabile.

## ❖ **Controllo qualità in produzione**

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.

## ❖ Controllo qualità in produzione

Le carte di controllo possono essere:

- per **variabili** (si misura una grandezza, la variabile. Il valore rilevato è confrontato con il campo di tolleranza, normalmente limitato sia da un valore massimo che da uno minimo; se fosse al di fuori di tale campo ci troveremmo di fronte a una difettosità)
- per **attributi** (non viene misurata alcuna grandezza; 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:

- $X_m$  valore medio della variabile misurata del campione (carta  $X_m$ )
- 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  $X_m$ -R.

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

## ❖ Controllo qualità in produzione

### Costruzione delle carte di controllo per variabili

1. Raccolta dati:
  - in quantità sufficiente;
  - in modo tale da poter essere riuniti in sottogruppi omogenei.
2. Per ogni sottogruppo si calcolano il valore medio  $X_{m1}$  e il campo di escursione (*range*)  $R$  della variabile.
3. Per la carta  $X_m$  si calcola il valore medio generale della variabile tra tutti i valori medi dei sottogruppi ( $X_{m2}$ ).
4. Per la carta  $R$  il valore medio delle escursioni della variabile tra tutte le escursioni dei sottogruppi ( $R_m$ ).

## ❖ Controllo qualità in produzione

4. 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.
5. Si determinano i limiti superiori e inferiori di controllo del processo.

## ❖ Controllo qualità in produzione

### Determinazione dei limiti superiori e inferiori di controllo del processo

- Per determinare tali limiti, per la carta  $X_m$ , si aggiunge e si toglie al valore medio generale  $X_{m2}$  una quantità proporzionale alla deviazione standard della media generale della variabile (normalmente  $3\sigma$ ). I limiti sono denominati LSC (Limite Superiore di Controllo) e LIC (Limite Inferiore di Controllo); spesso si usano gli analoghi acronimi inglesi UCL (*Upper Control Limit*) e LCL (*Lower Control Limit*).
- per la carta R, i limiti si calcolano in modo analogo tenendo conto del fatto che, ovviamente, il limite inferiore non può essere inferiore allo 0.

## ❖ Controllo qualità in produzione

6. Si tracciano sulle carte le linee parallele alle ascisse rappresentanti UCL e LCL.
7. Si riportano sulle carte i valori medi calcolati per i sottogruppi nella successione delle rilevazioni già effettuate e di quelle seguenti.

## ❖ Controllo qualità in produzione

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  $X_m$  e R.

Quindi, per la carta  $X_m$ : 
$$UCL = \bar{X}_{m2} + A_2R$$
$$LCL = \bar{X}_{m2} - A_2R$$

e, per la carta R: 
$$UCL = D_3R$$
$$LCL = D_4R$$

## ❖ Controllo qualità in produzione

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

Numerosità del campione	$A_2$
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

## ❖ Controllo qualità in produzione

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

Numerosità del campione	$D_3$	$D_4$
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



## ❖ Controllo qualità in produzione

Per un'interpretazione più corretta dei risultati del controllo, le carte  $X_m$  e R sono normalmente riunite in un'unica carta (carta  $X_m$ -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.

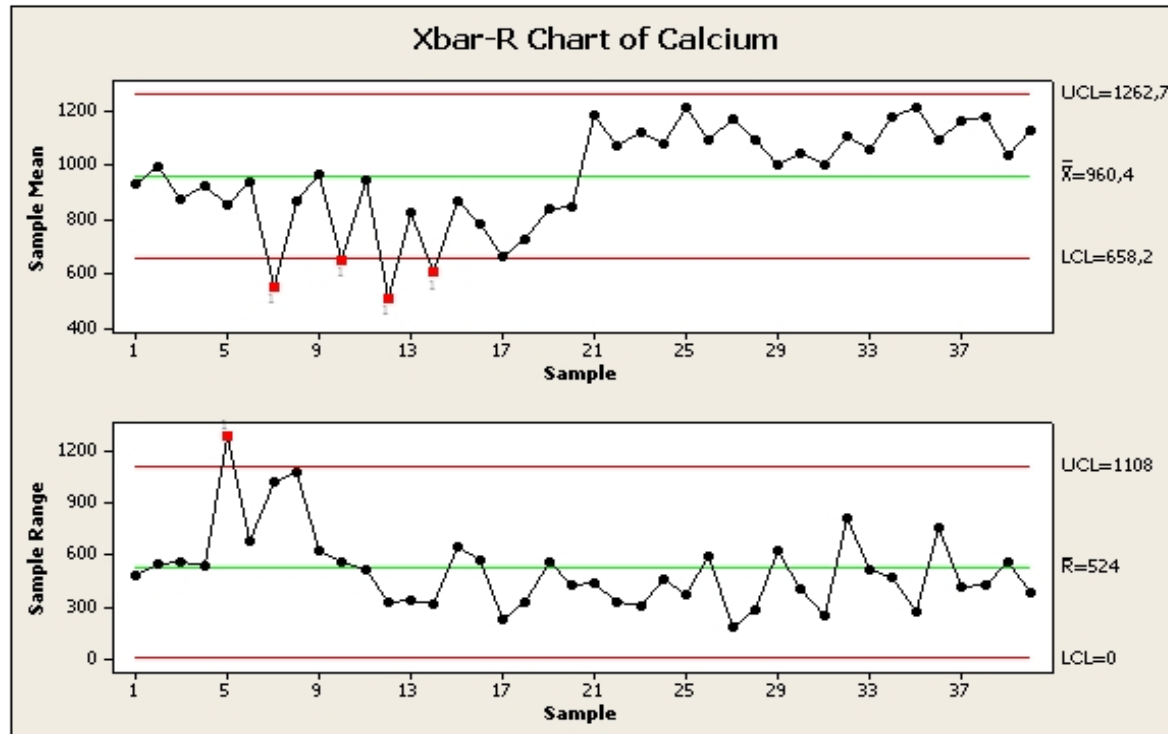
## ❖ Controllo qualità in produzione

Si costruisce la carta  $X_m$ -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.

# ❖ Controllo qualità in produzione



## ❖ **Controllo qualità in produzione**

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

## ❖ Controllo qualità in produzione

La carta  $X_m$ -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.

## ❖ Controllo qualità in produzione

segue

- 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, per esempio, il caso di impiego di macchine operatrici differenti per lo stesso lavoro).
- successione di punti alternativamente crescenti e decrescenti; segnala la tendenza del processo a variazioni cicliche.
- addensamento dei punti nelle vicinanze della linea centrale o delle linee di controllo; in questo caso non viene tanto segnalata un'anomalia nel processo quanto una probabile errata aggregazione dei sottogruppi.

## ❖ Controllo qualità in produzione

### **CARTE DI CONTROLLO PER ATTRIBUTI**

Le carte di controllo per attributi servono per evidenziare, indipendentemente da qualsiasi misura:

- Mancanza 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 eseguito, attraverso il quale si costruisce la carta di controllo per attributi, può rilevare o la mancanza di un attributo o la presenza di un difetto.

## ❖ Controllo qualità in produzione

Le più usate considerano come riferimenti principali:

- $p$ , percentuale della produzione mancante 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  $pn$ )

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 mancante dell'attributo o il numero di prodotti mancanti dell'attributo.



## ❖ Controllo qualità in produzione

### LA COSTRUZIONE DELLA CARTA $P$

1. Raccolta dati:
  - in quantità sufficiente;
  - in modo tale da poter essere riuniti in sottogruppi omogenei.
1. Per ogni sottogruppo (costituito da un numero variabile  $n$  di rilevazioni) si calcola il rapporto tra il numero di parti carenti dell'attributo o difettose e la dimensione del sottogruppo.
2. Si calcola poi la percentuale media generale ( $p_m$ ) delle parti mancanti dell'attributo o difettose data dal rapporto tra il totale delle parti mancanti dell'attributo o difettose e il numero totale delle rilevazioni.
3. 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.

## ❖ Controllo qualità in produzione

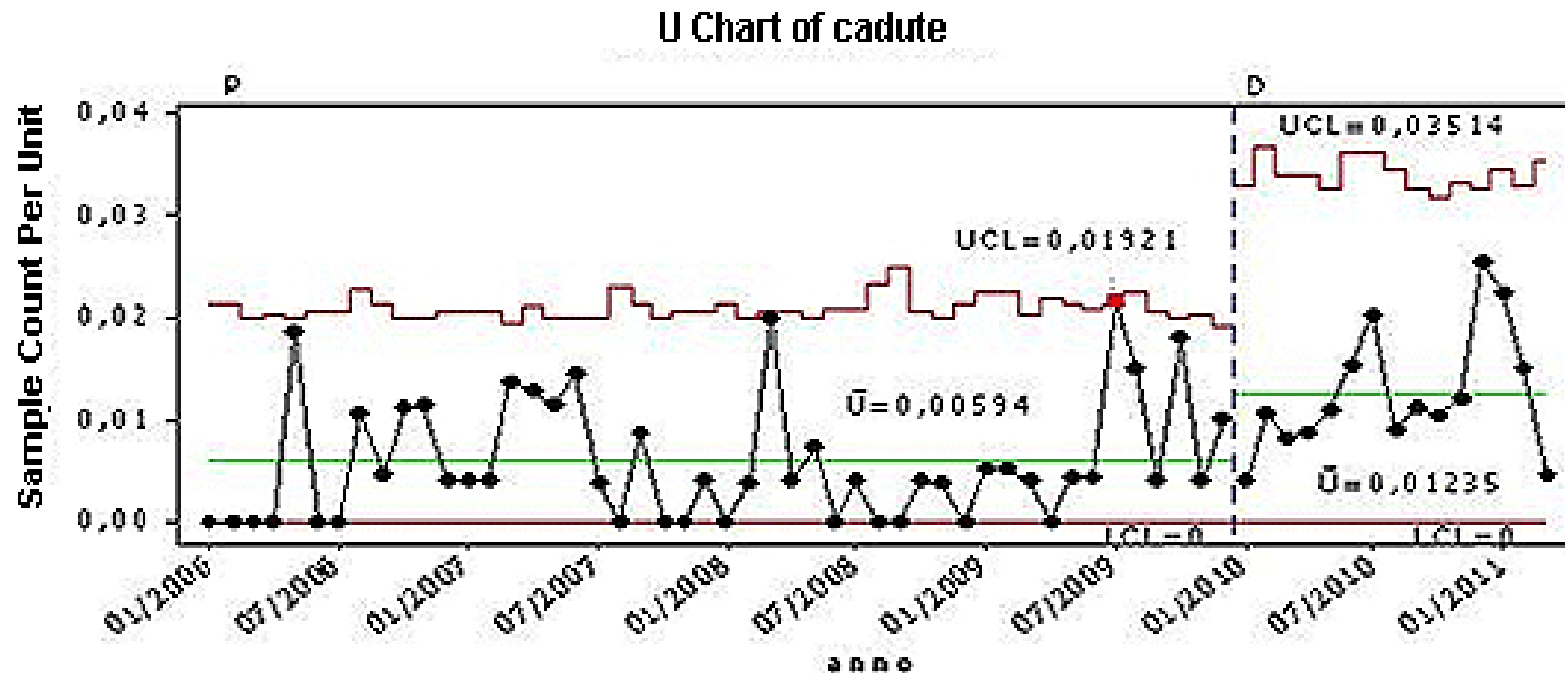
6. Si determinano i limiti superiori e inferiori di controllo del processo dati dalle espressioni:

$$UCL = p_m + 3 \cdot \sqrt{[p_m(1 - p_m)/n]}$$

$$LCL = p_m - 3 \cdot \sqrt{[p_m(1 - p_m)/n]}$$

7. Si tracciano sulla carta le linee rappresentanti UCL e LCL. Si noti che, a differenza che per le carte  $\bar{X}_m$  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.
8. Si riportano sulle carte i valori medi calcolati per i sottogruppi nella successione delle rilevazioni già effettuate e di quelle seguenti.
9. Si interpretano le informazioni rilevate dalle carte secondo opportune chiavi di lettura assumendo così importanti elementi per eventuali interventi correttivi.

## ❖ Controllo qualità in produzione



Tests performed with unequal sample sizes

Periodo P =  $0.006 \cdot 250$  media pazienti = 1.5 valore medio atteso: 3 pazienti ogni 2 mesi

Periodo D =  $0.012 \cdot 250 = 3$  valore medio atteso: 3 pazienti al mese

### **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.

Attraverso l'uso delle carte di controllo può essere quindi valutata la **capacità di processo**.

## ❖ Controllo qualità in produzione

In lezioni precedenti si è visto come determinare la capacità di processo in fase di **progettazione** del sistema di produzione.

Come la capacità di processo che il sistema di produzione è effettivamente in grado di fornire può essere invece valutata a **posteriori**?

## ❖ Controllo qualità in produzione

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. 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.
5. Valutazione degli indici di capacità di processo.

## ❖ Controllo qualità in produzione

Gli indici più significativi per valutare a **posteriori** la **capacità di processo** sono detti:

- *C<sub>p</sub>*. Fornisce indicazioni sulla dispersione del processo rispetto al suo valore medio.
- *C<sub>pk</sub>*. 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.

## ❖ Controllo qualità in produzione

$C_p$  e  $C_{pk}$  sono dati rispettivamente dalle espressioni:

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

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

dove:

USL = limite superiore della specifica di progetto

LSL = limite inferiore della specifica di progetto

$\sigma$  = deviazione standard del campione.



## ❖ Controllo qualità in produzione

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

## ❖ Controllo qualità in produzione

Per  $Cpk$ :

$Cpk > 1,33$  Situazione ottimale. La media del processo coincide col valore nominale

$Cpk < 1$  Situazione critica. La media del processo cade comunque all'interno delle specifiche

$Cpk < -1$  Situazione non accettabile. La media cade al di fuori dei limiti di specifica.