

# **CAPITOLO 4 - Controllo statistico della qualità dei prodotti e dei processi produttivi**

## **Paragrafo 4.1 - Qualità di prodotto, di processo e miglioramento della qualità**

# 4

## Paragrafo 4.1

# Controllo statistico della qualità: concetti generali

## Argomenti

- Qualità di prodotto, di processo e miglioramento della qualità
- Indici di capacità di processo e qualità 6-sigma
- Metodi statistici per il controllo e miglioramento della qualità: introduzione

## Definizione di qualità. Qualità come adeguatezza all'uso (*fitness for use*)

Questa definizione è attribuita a Juran (1904-2008) che intende enfatizzare il punto di vista del cliente/consumatore.

### **La qualità come adeguatezza all'uso secondo l'ASQC** (*American Society for Quality Control*)

La qualità concerne la totalità degli aspetti e delle caratteristiche di un prodotto/servizio che influiscono sulla sua capacità di soddisfare determinate esigenze.

# Qualità di prodotto: garanzie di progettazione e di tolleranza

## Garanzie di progettazione

Concernono i requisiti funzionali del prodotto e/o la sua capacità a rispettare proprietà tecnico-funzionali prestabilite.

Le garanzie di progettazione rispondono alla domanda *che funzione ha il prodotto ?*

**Esempio:** pallone da calcio. Deve essere utilizzato nel gioco del calcio ecc.

## Garanzie di tolleranza

Concernono i limiti entro i quali certe proprietà del prodotto possono variare senza pregiudicare la funzionalità dello stesso.

Le garanzie di tolleranza rispondono alla domanda: *il prodotto si conforma ai requisiti prestabiliti e/o dichiarati ?*

**Esempio:** peso del palloni da calcio. Risponde alle garanzie se pesa fra 420 g. e 445 g.

# Aspetti della qualità

1. *Performance*: il prodotto fa la funzione richiesta ?
2. *Reliability* (Affidabilità): quanto spesso il prodotto si rompe?
3. *Durability*: la vita utile del prodotto
4. *Serviceability* (manutenibilità): quanto è facile riparare il prodotto se si rompe?
5. Estetica: aspetto esteriore del prodotto
6. Funzionalità: cosa (e come) fa il prodotto?
7. Qualità percepita: reputazione e/o immagine del prodotto e/o della marca.
8. **Conformità a standard o specifiche**: qualità misurata attraverso caratteristiche (anche fisiche) e loro conformità a standard predefiniti.

# Conformità agli standard e limiti di specificazione

Qualità di prodotto esprimibile come dato **numerico**: es. misura fisica

Le specifiche di qualità sono date dai **limiti di specificazione** e dal valore **target**  $\tau$ :

LSL: *lower specification limit* (limite di specificazione inferiore)

USL: *upper specification limit* (limite di specificazione superiore)

$$\tau = \frac{LSL + USL}{2} \quad (\text{punto centrale dell'intervallo di specifica})$$

Sia  $X$  la misura della caratteristica di qualità di un dato prodotto:

$LSL \leq X \leq USL \quad \rightarrow$  **prodotto conforme** (alle specifiche)

$X < LSL$  oppure  $X > USL \rightarrow$  **prodotto non conforme**

## Esempio di standard predefinito di prodotto: le specifiche FIFA dei palloni

	LSL	USL
<b>OUTDOOR FOOTBALL TEST CRITERIA (<a href="http://footballs.fifa.com">http://footballs.fifa.com</a>)</b>		
<b>Property</b>	<b>Ball size 5</b>	
Weight	420	445 grams
Circumference	68.5	69.5 cm

Rispetto al requisito sulla circonferenza, un pallone da calcio con circonferenza di 68.8 cm. è **conforme**.

Un pallone da calcio che ha una circonferenza di 68 cm. è **non conforme**.

# Qualità di prodotto e qualità di processo

Per verificare se il prodotto si conforma alle specifiche conviene capire **in quale misura il processo è in grado di produrre prodotti conformi.**

La prospettiva si sposta dal **prodotto** al **processo**.

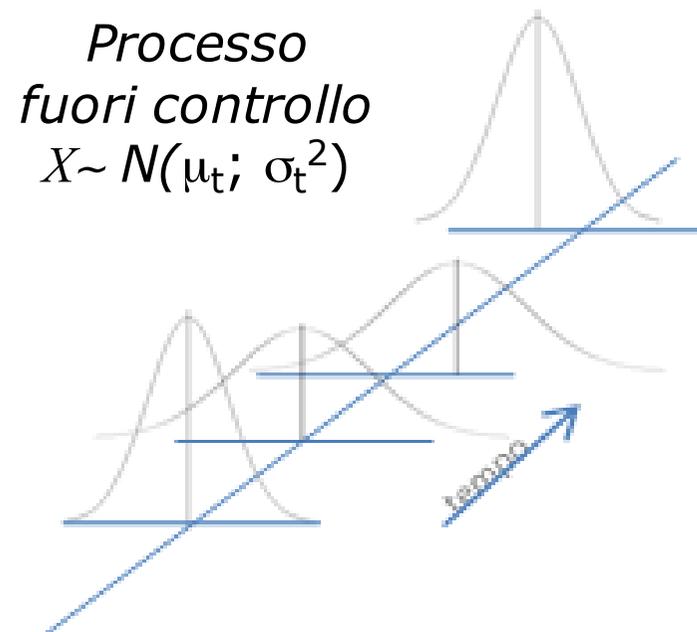
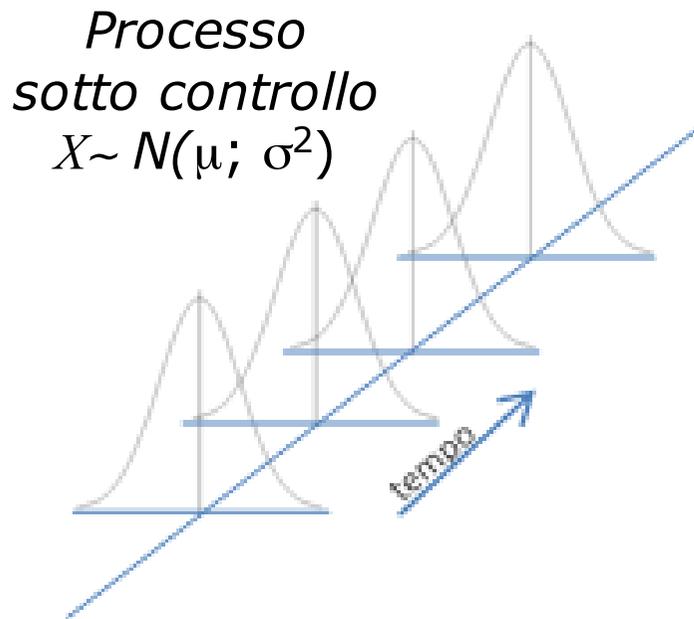
Occorre quindi introdurre un **modello distributivo** per rappresentare la caratteristica di qualità  $X$  (es. il peso) della popolazione di prodotti che il processo è in grado di produrre.

# Processo sotto controllo

Se la caratteristica di qualità  $X$  è una misura fisica si assume che:

$$X \sim N(\mu; \sigma^2)$$

I valori dei **parametri** si riferiscono al **processo sotto controllo**:  
i parametri rimangono costanti nel tempo ( $t$ : tempo).



# Processo sotto e fuori controllo: cause comuni e cause speciali di variabilità

## Cause comuni

Quando il processo rimane sotto controllo, le differenze che si osservano nella  $X$  (es. nel peso dei palloni prodotti) sono dovute **soltanto** a **cause comuni** di variazione che agiscono come fattori di disturbo assimilabili a variazioni accidentali (rumore).

L'effetto cumulato di queste è espresso da  $\sigma^2$  (variabilità **naturale**)

## Cause speciali (o sistematiche)

Se il valore di uno (o di entrambi) i parametri varia (e cioè se il processo va **fuori controllo**), significa che sono in atto cause **speciali** o sistematiche di variazione.

# Processo sotto controllo e proporzione di pezzi conformi

Se un processo rimane sotto controllo, la distribuzione della caratteristica di qualità  $X$  è stabile nel tempo e, di conseguenza, i risultati del processo sono **prevedibili**.

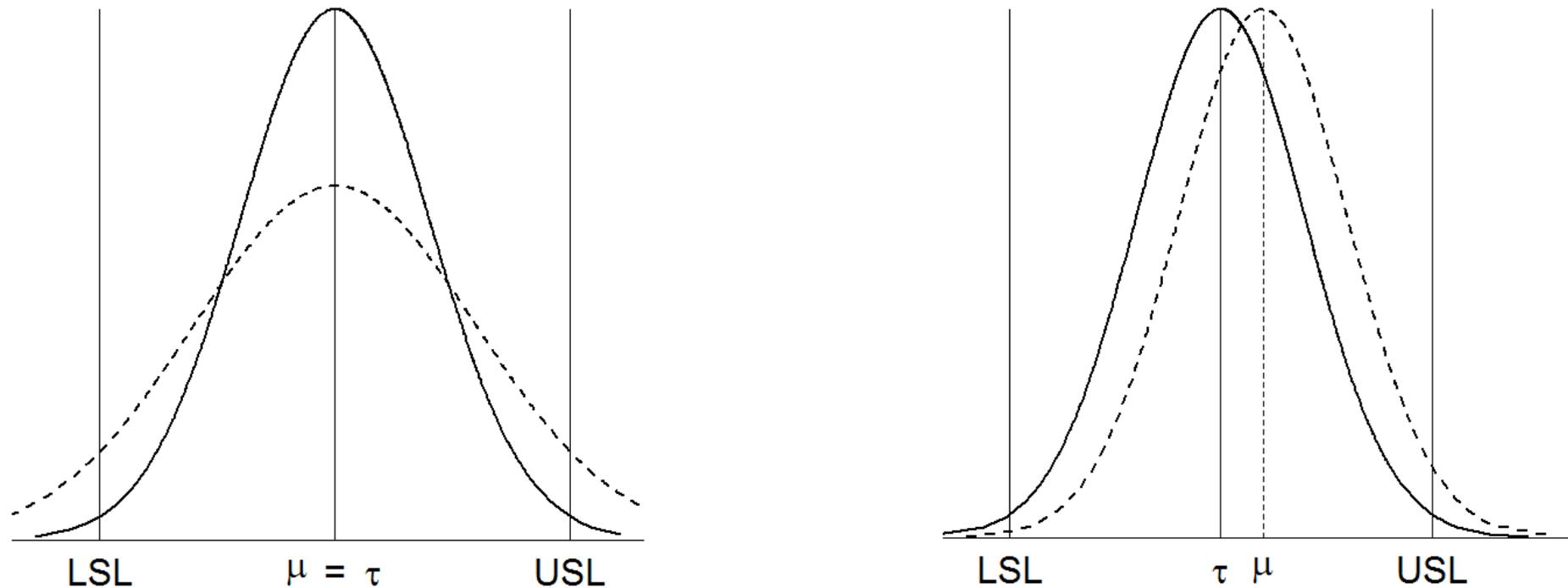
## Esempio

Supponiamo che nello stato di sotto controllo si ha, per il peso dei palloni:  $X \sim N(432.5; 16)$

Avremo:

$P(420 \leq X \leq 445) = 0.9982$  (99.82%) proporzione pezzi conformi  
e quindi 0.0018 (0.18%) proporzione pezzi non conformi

# Media, varianza e proporzione di pezzi non conformi



Media e varianza influiscono sulla proporzione di pezzi non conformi. Occorre pertanto realizzare una distribuzione di  $X$  il più possibile *addensata* sul target  $\tau$ .

# Conformità a standard e miglioramento della qualità

L'espressione seguente esprime la variabilità intorno al target:

$$E(X - \tau)^2 = E(X - \mu)^2 + (\mu - \tau)^2 = \sigma^2 + (\mu - \tau)^2$$

Essa mostra come **rispondenza alle specifiche** sia sinonimo di **bassa variabilità intorno al target**.

**Miglioramento della qualità** significa allora realizzare una produzione con una *varianza bassa* e una media il più possibile *vicina al target*.

## Come sintetizzare ciò che fa il processo: i limiti di tolleranza naturale (1/2)

Con riferimento al processo sotto controllo  $X \sim N(\mu; \sigma^2)$ , i **limiti di tolleranza naturale** sono centrati sulla media di processo e definiti come:

$$\text{LNTL} = \mu - 3\sigma$$

$$\text{UNTL} = \mu + 3\sigma$$

dove:

LNTL: *lower natural tolerance limit*

UNTL: *upper natural tolerance limit*

L'intervallo (LNTL, UNTL) contiene il 99,73% della produzione.

## Come sintetizzare ciò che fa il processo: i limiti di tolleranza naturale (2/2)

In un processo rimane sotto controllo, la distribuzione della caratteristica di qualità  $X$  è stabile nel tempo e, di conseguenza, i risultati del processo sono **prevedibili**.

### Esempio

Supponiamo che nello stato di sotto controllo si ha, per il peso dei palloni:  $X \sim N(432.5; 16)$

I limiti di tolleranza naturale sono:  $LNTL=420.5$   $UNTL=444.5$

Possiamo allora affermare che *quasi tutti i palloni (il 99.73% della produzione !)* avranno un peso compreso fra 420.5 g. e 444.5 g.

# Indici di capacità di processo

Essi mettono a confronto quello **che è richiesto** (v. limiti di specificazione) con quello che il processo **sa fare** (v. i limiti di tolleranza naturale).

$C_p$ : capacità effettiva di processo quando  $\mu = \tau$

$C_{pk}$ : capacità effettiva di processo **anche** quando  $\mu \neq \tau$

## NOTA BENE:

- $C_p \geq C_{pk}$
- quando  $\mu = \tau$  allora  $C_p = C_{pk}$

# Indice di capacità di processo $C_p$

## Definizione

$$C_p = \frac{USL - LSL}{UNTL - LNTL} = \frac{USL - LSL}{(\mu + 3\sigma) - (\mu - 3\sigma)} = \frac{USL - LSL}{(\mu + 3\sigma - \mu + 3\sigma)} = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

Numeratore: quello **che è richiesto** (intervallo di specifica)

Denominatore: quello che il processo **sa fare** (intervallo di tolleranza naturale)

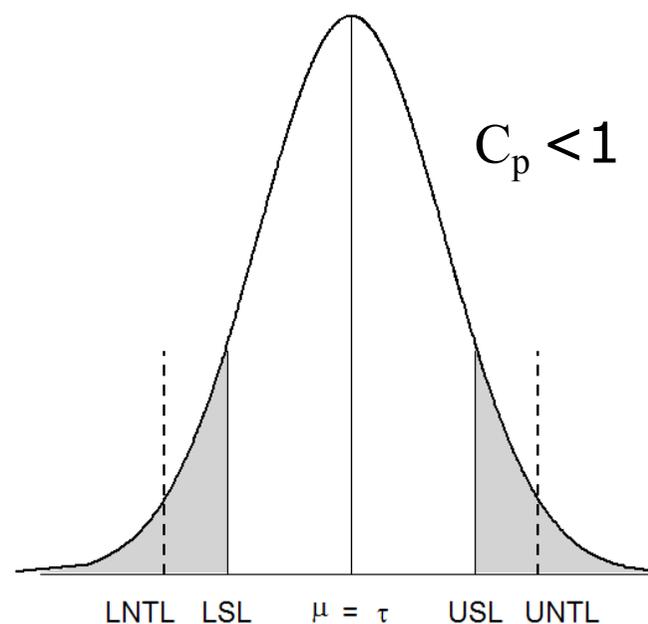
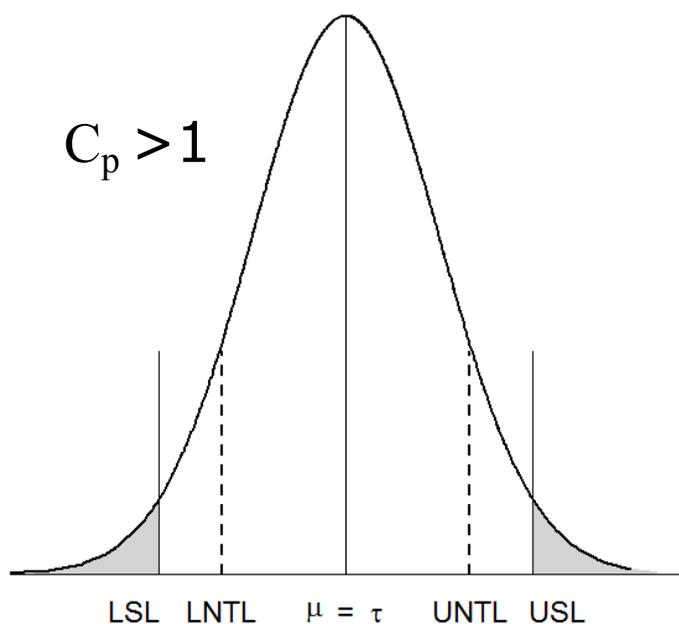
I due intervalli sono centrati sulla media  $\mu$ .

Pertanto  $C_p$  misura l'effettiva capacità di processo quanto  $\mu=\tau$ .

# Indice di capacità di processo $C_p$ e processo capace

$C_p \geq 1 \rightarrow$  processo capace (processo con almeno 99.73% di pezzi conformi)

$C_p < 1 \rightarrow$  processo non capace (processo con meno del 99.73% di pezzi conformi)



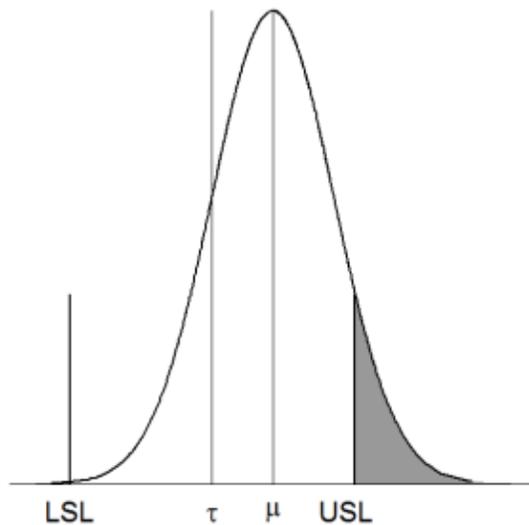
# Indice di capacità di processo $C_{pk}$

$$C_{pk} = \min \{ C_{pk,L}; C_{pk,U} \}$$

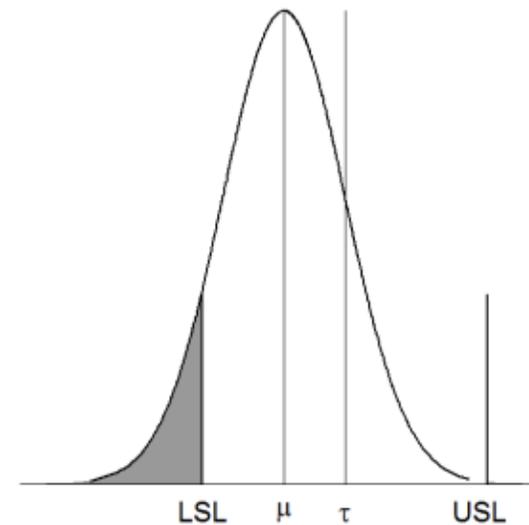
$$C_{pk,L} = \frac{\mu - LSL}{\mu - LNTL} = \frac{\mu - LSL}{\mu - (\mu - 3\sigma)} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma}$$

$$C_{pk,U} = \frac{USL - \mu}{UNTL - \mu} = \frac{USL - \mu}{(\mu + 3\sigma) - \mu} = \frac{USL - \mu}{3\sigma}$$

(a)  $C_{pk} = C_{pk,U}$



(b)  $C_{pk} = C_{pk,L}$



## Valori degli indici e proporzione di pezzi non conformi

$C_p$	ppm (2 code)	$C_{pk}$	ppm (1 coda)
0,8	16395	0,8	8197,5
1,0	2700	1,0	1350
1,2	318	1,2	159
1,5	6,8	1,5	3,4
1,8	0,066	1,8	0,033
2,0	0,002	2,0	0,001

ppm: parti per milione (numero di pezzi ogni milione di pezzi prodotti)

# Utilizzo congiunto di $C_p$ e $C_{pk}$

## Esempio 1

$$C_p=1,2 \text{ e } C_{pk}=0,8$$

Si deduce che il processo non è capace ( $C_{pk}=0,8$ ) ma lo sarebbe se la media coincidesse col target ( $C_p=1,2$ ).

*Conclusione:* occorre avvicinare la media al target.

## Esempio 2

$$C_p=0,8 \text{ e } C_{pk}=0,6$$

Si deduce che il processo non è capace ( $C_{pk}=0,6$ ) e non lo sarebbe nemmeno se la media coincidesse col target ( $C_{pk}=0,8$ ).

*Conclusione:* occorre diminuire la varianza prima di tutto.

## Cp=2: la filosofia 6-sigma

La Motorola sviluppò (anni 90) una serie di metodologie che hanno lo scopo di abbassare la variabilità in modo tale che  $C_p=2$ .

Con  $\mu=\tau$ , ciò equivale ad avere una **varianza talmente piccola** che i limiti di specifiche si trovano a distanza  $6\sigma$  dalla media.

$$C_p = \frac{USL - LSL}{UNTL - LNLT} = \frac{(\mu + 6\sigma) - (\mu - 6\sigma)}{(\mu + 3\sigma) - (\mu - 3\sigma)} = \frac{12\sigma}{6\sigma} = 2$$

Questa situazione comporta 0,002 ppm di non conformità.

Shift della media dal target pari a  $\pm 1.5 \sigma$  determinano 3,4 ppm soltanto.

# Statistica: miglioramento e controllo della qualità

## 1. **Metodi off line** (fuori dal ciclo produttivo)

Identificazione delle possibili cause di variabilità (e quindi scostamento dalle specifiche).

## 2. **Metodi on line**

Monitoraggio e controllo continuo del processo durante il normale ciclo produttivo.

# Metodi off line

Servono per:

- identificare** i fattori maggiormente responsabili della prestazione del processo
- prevenire** le condizioni di bassa qualità

Utilizzano dati **sperimentali**.

Sono applicati nella fase di **progettazione** del prodotto e del processo.

Utilizzano l'analisi **esplicativa** mediante metodi statistici quali: regressione, analisi della varianza.

# Metodi on line

Servono per:

- **identificare** situazioni in cui il processo non ha le prestazioni attese, ad esempio a seguito di malfunzionamenti intervenuti
- intervenire **tempestivamente** sul malfunzionamento.

Sono applicati **durante** il ciclo produttivo.

Utilizzano analisi di **monitoraggio** mediante l'osservazione continua (dati tipo serie storiche).

Impiegano i metodi statistici del **test delle ipotesi**

# Competenze acquisite

- concetti di qualità di prodotto e di processo, di miglioramento di qualità;
- limiti di specificazione e target
- limiti di tolleranza naturale
- indici di capacità di processo;
- come la variabilità intorno al target influisce sulla qualità del prodotto