

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 dei 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** τ :

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:

$LSL \leq X \leq USL \quad \rightarrow \text{prodotto conforme (alle specifiche)}$

$X < LSL$ oppure $X > USL \rightarrow \text{prodotto non conforme}$

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

		LSL	USL
OUTDOOR FOOTBALL TEST CRITERIA (http://footballs.fifa.com)			
Property	Ball size 5		
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

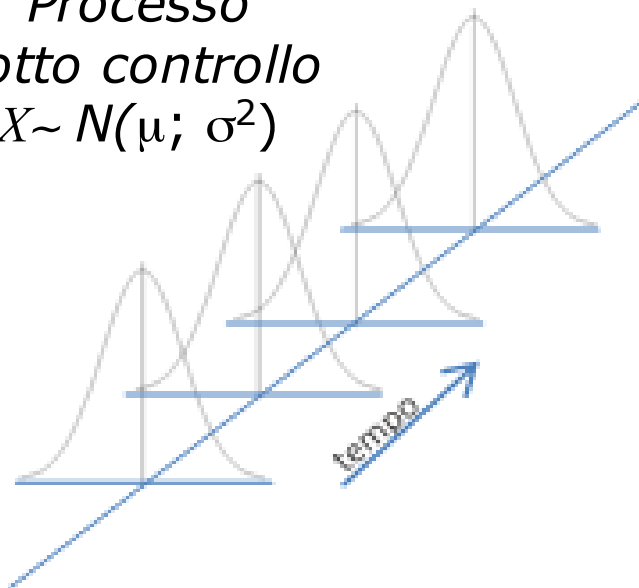
Se la caratteristica di qualità X è una misura fisica si assume che:

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

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

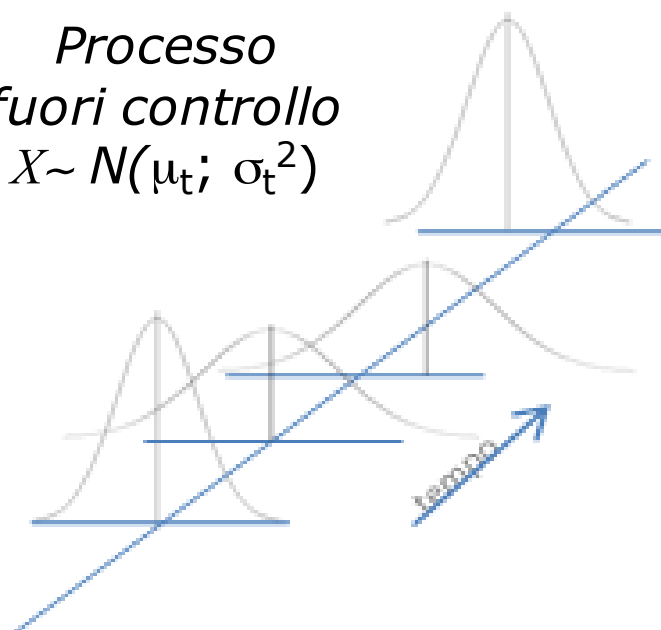
*Processo
sotto controllo*

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



*Processo
fuori controllo*

$$X \sim N(\mu_t; \sigma_t^2)$$



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 σ^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**.

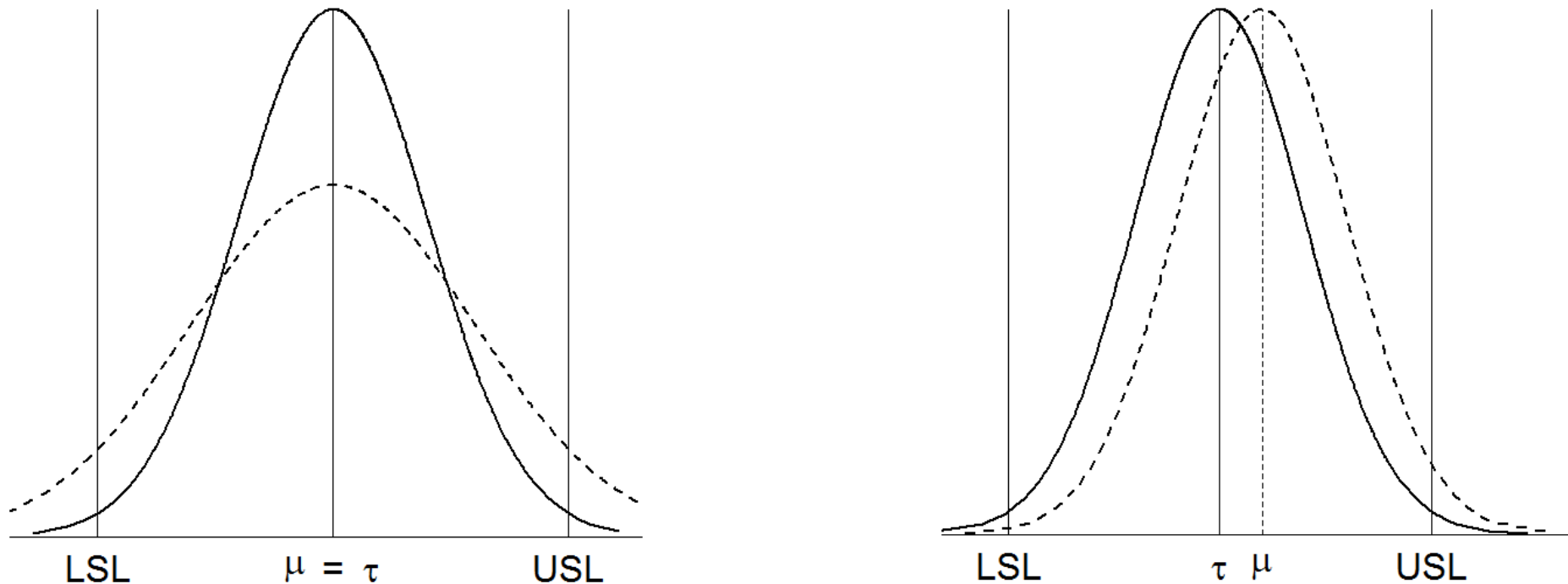
Esempio

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 τ .

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)

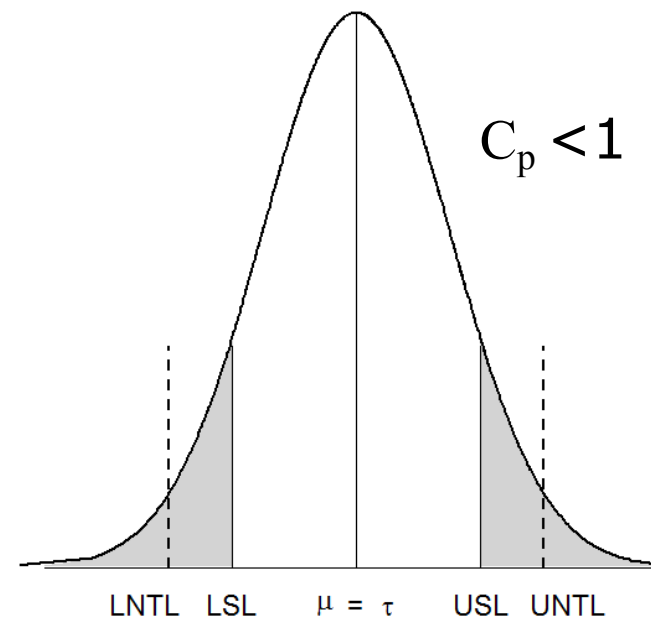
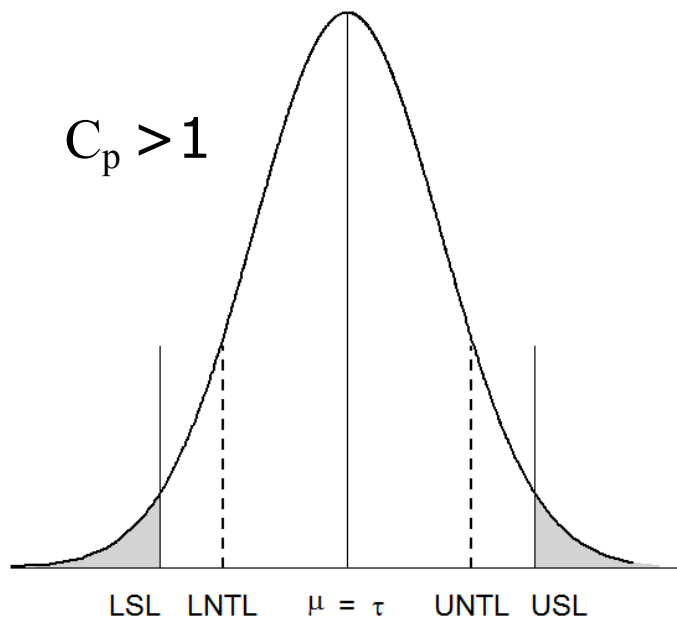
I due intervalli sono centrati sulla media μ .

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)



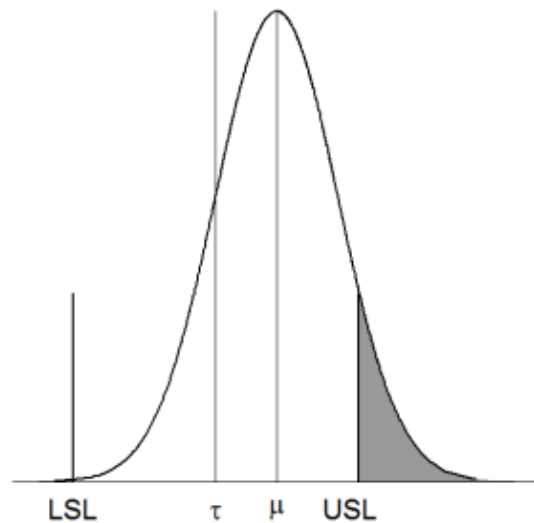
Indice di capacità di processo C_{pk}

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

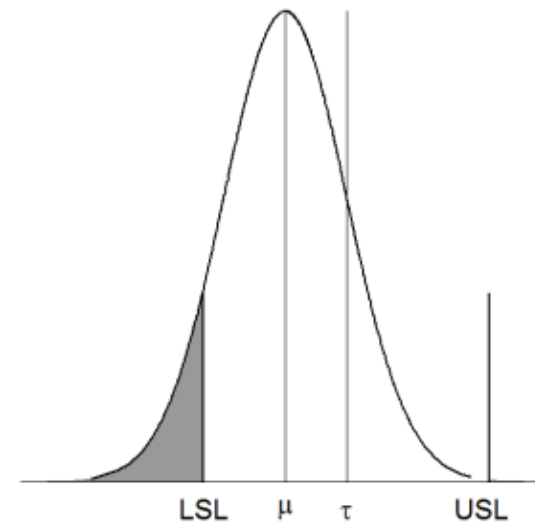
$$C_{pk,L} = \frac{\mu - LSL}{\mu - LNTL} = \frac{\mu - LSL}{\mu - (\mu - 3\sigma)} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma}$$

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

(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

$C_p=1,2$ 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

$C_p=0,8$ 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 6σ dalla media.

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

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