

IMPIANTI INDUSTRIALI

Andrea Chiarini

andrea.chiarini@chiarini.it

PARTE 13

IL MIGLIORAMENTO DEI PROCESSI PRODUTTIVI

(slides tratte in parte dai testi:

‘Total Quality Management’ di A. Chiarini, ed. Franco Angeli;

‘Strumenti statistici avanzati per la qualità di A. Chiarini e M. Vicenza, ed. Franco Angeli)



IL MIGLIORAMENTO DEI PROCESSI PRODUTTIVI

Analisi di
Fattibilità e
pianificazione

Progettazione e sviluppo del
prodotto

Progettazione e sviluppo del processo

Validazione del
prodotto e del
processo

Produzione

Feedback

STRUMENTI E PRINCIPI PER IL MIGLIORAMENTO

- Il miglioramento continuo (Kaizen)
 - Gli strumenti Lean già visti portano alla riduzione dei lead-time (*Lean means speed*) attraverso la riduzione dei 7 sprechi
 - Gli strumenti Lean non sono però così performanti nello stabilizzare i processi, ovvero ridurre/togliere le cause di variabilità dei processi (leggi difettosità)
 - Gli strumenti del *Total Quality Management (TQM)* e del *Six Sigma* nascono proprio per ridurre la variabilità dei processi e quindi la difettosità (*costi della non qualità – cost of poor quality*)
 - La variabilità dei processi è data da *cause comuni e speciali*

STRUMENTI E PRINCIPI PER IL MIGLIORAMENTO

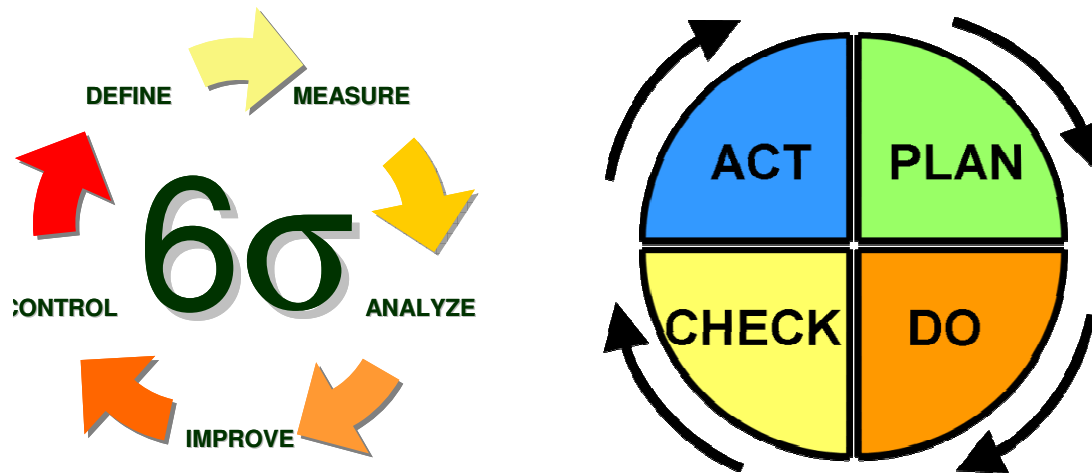
● Il miglioramento continuo (Kaizen)

- L'approccio alla risoluzione di un problema (difettosità, scarse performance dell'impianto/processo, etc.) segue, quando il problema è complesso, le fasi DMAIC del Six Sigma. Quest'ultimo prevede un team strutturato con un team leader (*Black Belt*) e spesso mesi di intervento per raggiungere i risultati
- Molti problemi possono invece essere risolti in modo veloce quando compaiono, senza necessità di un approccio così strutturato quale quello offerto dal Six Sigma
- Piccoli o grossi che siano, i problemi, nell'ottica Kaizen, **NON DEVONO ASPETTARE**



STRUMENTI E PRINCIPI PER IL MIGLIORAMENTO

- Il DMAIC del Six Sigma nasce traendo spunto dal principio di miglioramento PDCA di Deming



- Il PDCA è un approccio generale al miglioramento. Può essere applicato a miglioramenti di medio-lungo periodo quali quelli introdotti dai sistemi di gestione per la qualità ISO 9001 a miglioramenti day-by-day su problemi nati in produzione o negli uffici

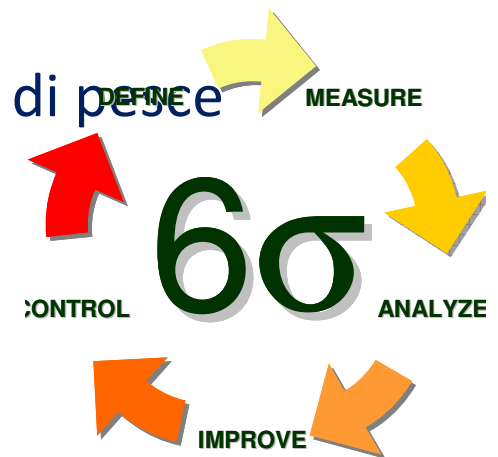
STRUMENTI E PRINCIPI PER IL MIGLIORAMENTO

All'interno delle fasi DMAIC o PDCA si possono utilizzare un'enormità di strumenti, dal semplice Pareto ai più avanzati strumenti statistici

● Vediamo i 7 strumenti base del miglioramento

- In Giappone negli anni '60-'70 sono stati ideati 7 semplici strumenti per definire, misurare, analizzare, risolvere e controllare i problemi, questi sono:

- Foglio raccolta dati
- Stratificazione dei dati
- Analisi di Pareto 20-80
- Diagramma causa-effetto o di Ishikawa o lisca di pesce
- Analisi di correlazione lineare
- Istogramma di frequenza
- Carte di controllo



STRUMENTI E PRINCIPI PER IL MIGLIORAMENTO

● IL FOGLIO RACCOLTA DATI E LA STRATIFICAZIONE

- Capito qual è il problema, occorre raccogliere dati relativi al fenomeno. Questo di solito avviene tramite fogli elettronici/dbase/fogli cartacei. I dati raccolti tramite misure possono essere stratificati per meglio essere interpretati ed analizzati
- Esempio, problema di difettosità in tre reparti. Si vuole capire come si distribuisce la difettosità durante la settimana e i turni

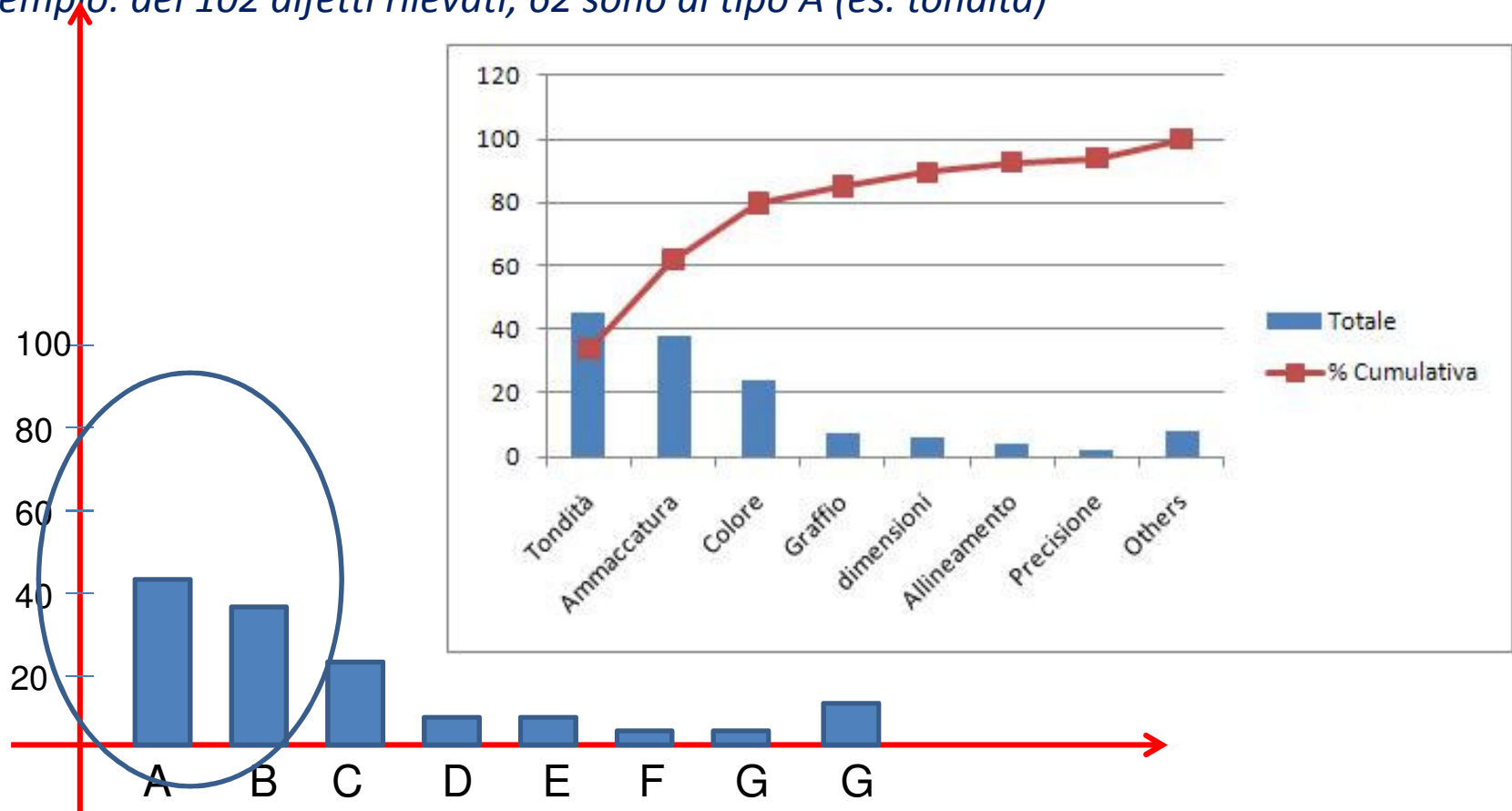
	Lun	Mar	Mer	Giov	Ven
Turno 1	5	3	2	4	5
Turno 2	7	6	7	7	9
Turno 3	9	9	10	8	11

102 difetti in totale, di quali tipologie?

STRUMENTI E PRINCIPI PER IL MIGLIORAMENTO

● L'ANALISI DI PARETO 20-80 O ANALISI ABC

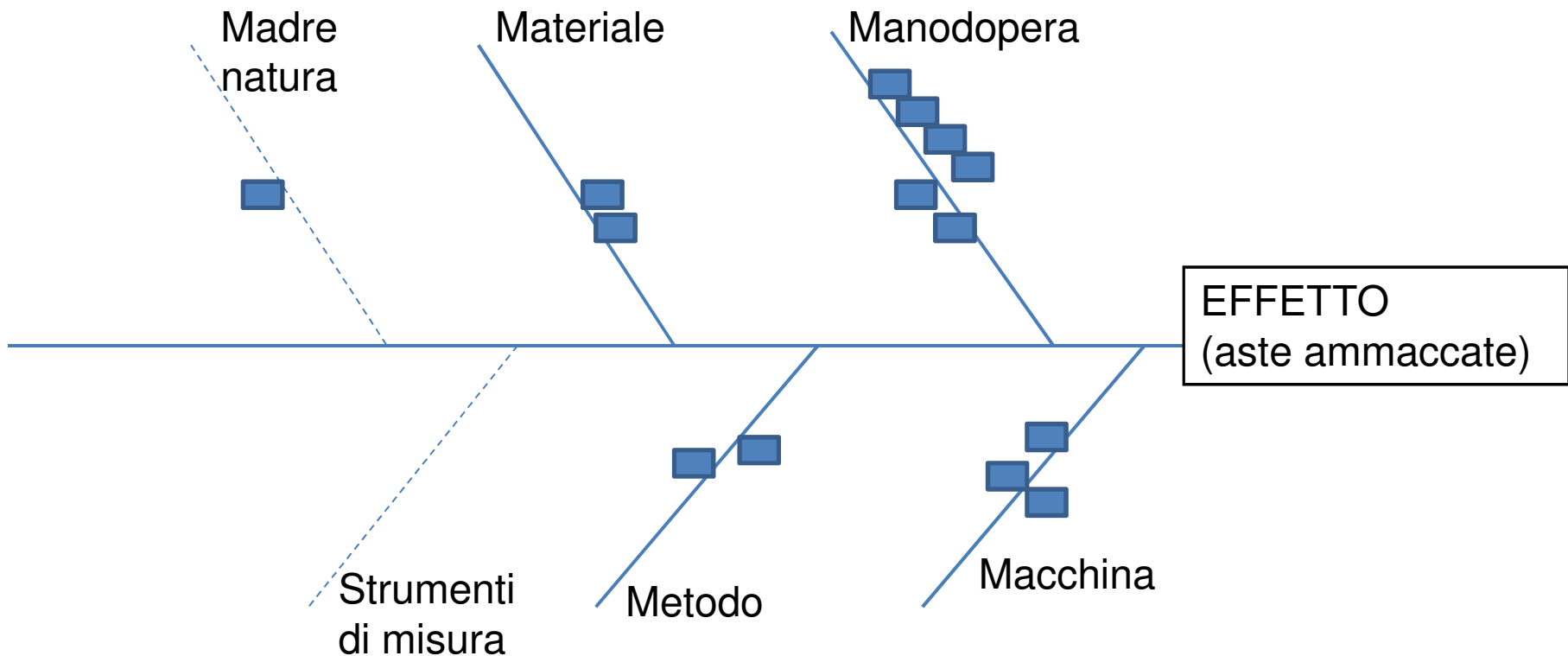
- Legge empirica: *la maggior parte degli effetti (circa 80%) è dovuta a poche cause (20%)*
- Esempio: *dei 102 difetti rilevati, 62 sono di tipo A (es. tondità)*



STRUMENTI E PRINCIPI PER IL MIGLIORAMENTO

● DIAGRAMMA DI ISHIKAWA A LISCA DI PESCE O CAUSA - EFFETTO

- Serve per una prima analisi di qualitativa di quali possono essere le cause che producono l'effetto
- Esempio indaghiamo sulle ammaccature. Quali possono essere le potenziali cause?



- Ishikawa pensò di classificarle in quattro categorie, le 4M, poi diventate 5, 6 etc.

STRUMENTI E PRINCIPI PER IL MIGLIORAMENTO

● DIAGRAMMA DI ISHIKAWA A LISCA DI PESCE O CAUSA - EFFETTO

- I post-it nelle lisce del pesce sono potenziali cause elencate in Brainstorm da un team di operatori che deve risolvere velocemente il problema nato sul processo/impianto
- Supponiamo che sulla lisca Manodopera ci sia un post-it che faccia riferimento ad una causa del tipo *'l'operatore butta le aste una sopra l'altra per tanto si ammaccano'*, guardando il foglio raccolta dati stratificato il dato è maggiore nei turni notturni...la stanchezza aggrava la situazione....
- 5 WHYS (5 perché) per arrivare alla vera causa alla radice. Esempio:

- *l'operatore butta le aste una sopra l'altra. Perché, è soltanto la stanchezza la causa?*
- *il pallet aste è scomodo da raggiungere. Perché, è solo una questione di scomodità?*
- *il pallet non è collegato all'impianto da uno scivolo come nei restanti impianti*



Vera causa: manca lo scivolo, non è colpa dell'operatore

- 5WHYS significa non accontentarsi della prima causa, chiedersi perché più volte

STRUMENTI E PRINCIPI PER IL MIGLIORAMENTO

● ANALISI TRAMITE STRUMENTI STATISTICI

- Il diagramma causa-effetto offre un primo approccio di tipo qualitativo, non quantitativo all'analisi dei problemi e ricerca cause
- Spesso per capire quali sono le vere cause che influenzano gli effetti (output) si devono utilizzare strumenti statistici
- Nel caso di correlazione fra 2 variabili si utilizzano gli strumenti sotto

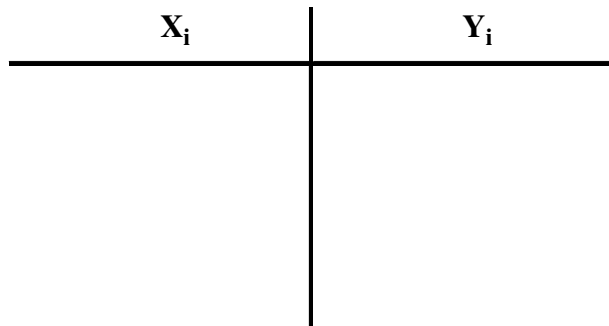
IV	DV	Hypothesis Test	Esempio
Categoriale	Categoriale	Chi-square, Phi & Cramers V	Intervalli di classe di pressione e conformità
Categoriale	Continua	T-test, Mann-Whitney U, ANOVA,	Intervalli di classe di pressione e temperatura
Continua	Continua	Regressioni lineari	Pressione e temperatura

- SI RIMANDA AL CORSO DI STATISTICA E/O TESTI SPECIFICI

STRUMENTI E PRINCIPI PER IL MIGLIORAMENTO

● REGRESSIONI LINEARI

- Serve per valutare se esiste una correlazione fra una IV e DV di tipo continuo
- Esempio, sospettiamo esista una relazione lineare fra pressione di esercizio dell'impianto e temperatura . Raccogliamo n coppie di valori $(x_i ; y_i)$.
- Sistemiamo le coppie di valori su un diagramma cartesiano analizzando qualitativamente se possa esistere una relazione $y = f(x)$



STRUMENTI E PRINCIPI PER IL MIGLIORAMENTO

● REGRESSIONI LINEARI

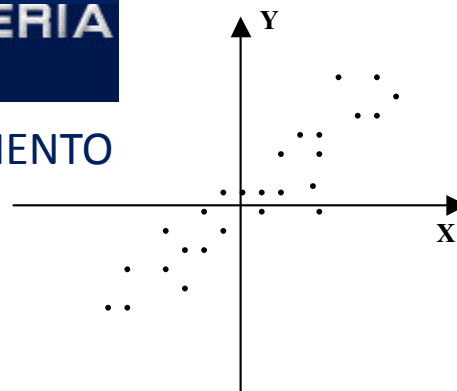
- Le situazioni di figura sono abbastanza chiare
- Di fronte a situazioni di incertezza e comunque se vogliamo calcolare il grado di correlazione possiamo utilizzare il coefficiente 'r' di *Bravais Pearson* :

$$-1 \leq r = \frac{\text{Cov}(X, Y)}{\sqrt{\text{VAR}(X)\text{VAR}(Y)}} \leq +1$$

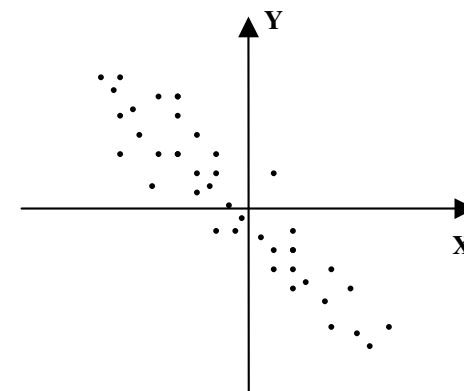
$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

■ ovvero

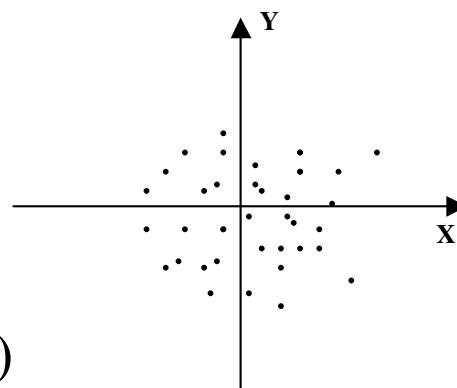
$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$



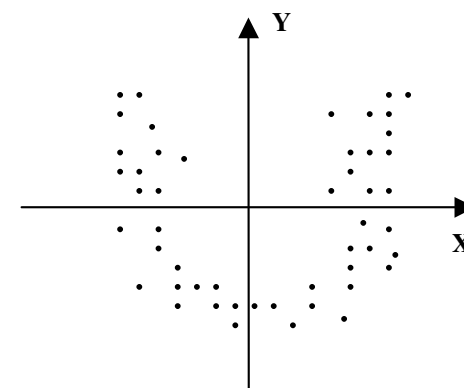
Correlazione lineare positiva



Correlazione lineare negativa



Assenza di correlazione lineare



Correlazione di secondo grado

r=+1: perfetta dipendenza lineare diretta (retta con inclinazione positiva)

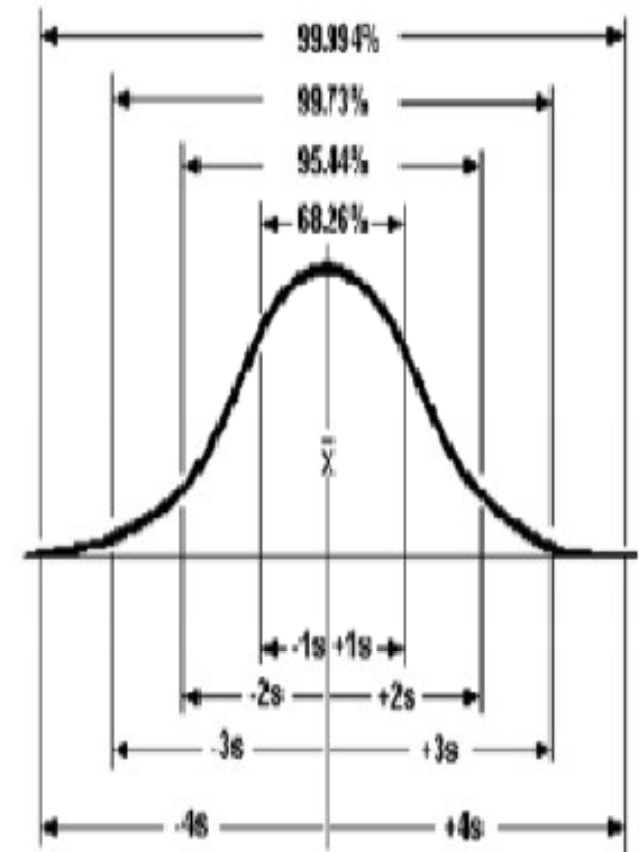
r=0: assenza di correlazione

r=-1: perfetta dipendenza lineare inversa (retta con inclinazione negativa)

STRUMENTI E PRINCIPI PER IL MIGLIORAMENTO

● ISTOGRAMMI DI FREQUENZA

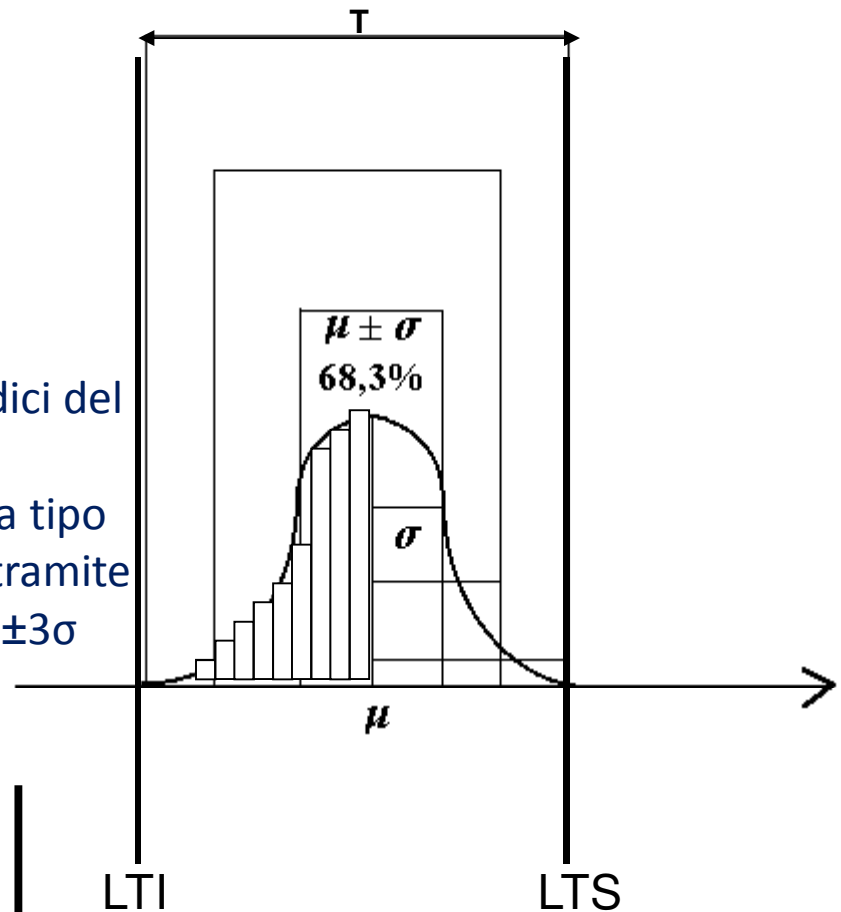
- Come già visto nelle slide 12 le distribuzioni di tipo normale mi permettono di fare dell'inferenza statistica (campione → stima sulla popolazione)
- Si raccoglie un determinato campione n di misure di una caratteristica di prodotto o di processo, si calcolano media μ o \bar{X} e deviazione standard σ o s (stima)
- Assumendo che la distribuzione sia approssimativamente normale si confronta la Tolleranza 'T' o Range con quante deviazioni standard stanno all'interno di tale range: $T/n\sigma = 1$ significa che n volte σ cade esattamente all'interno di $T = LTS - LTI$. Ad esempio, calcolato σ se esattamente $T/6\sigma = 1$ allora si può stimare che il 99,73% della popolazione (area compresa fra -3σ e $+3\sigma$), rimanendo il processo in quelle condizioni, è compreso all'interno di T. Se al di fuori dei limiti di T il prodotto/processo non è accettato significa che ho una probabilità del 0,27% di uscire dai limiti



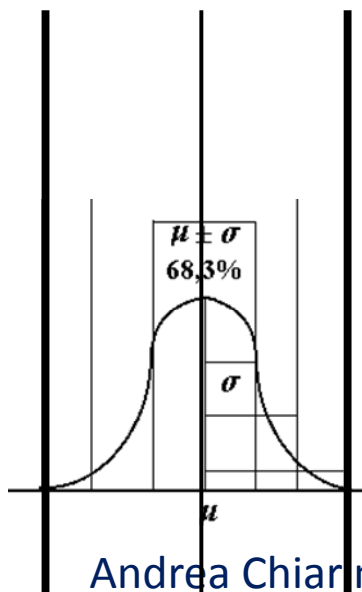
STRUMENTI E PRINCIPI PER IL MIGLIORAMENTO

● ISTOGRAMMI DI FREQUENZA

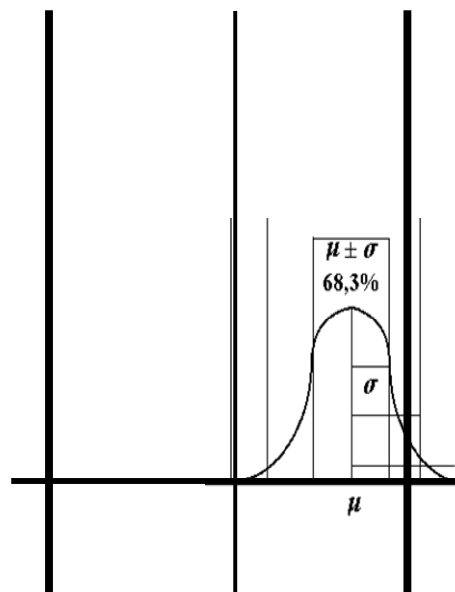
Per capire se un processo è 'capace' di rispettare le tolleranze definite dai progettisti si calcola quindi indici del tipo $T/n\sigma$ detti *indici di capacità del processo* o C_p (*Capability*). Per processi/impianti medi dell'industria tipo senza particolari rischi per l'utilizzatore (evidenziati tramite FMEA) si considerano gli indici in basso a destra con $\pm 3\sigma$. Per capire la 'centratura' è importante il C_{pk}



LTI $C_p=C_{pk}=1$ LTS



LTI $C_p > 1$
 $C_{pk} < 1$



$$C_p = \frac{LTS - LTI}{6\sigma}$$

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{LTS - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LTI}{3\sigma} \right\}$$

STRUMENTI E PRINCIPI PER IL MIGLIORAMENTO

■ LA MACHINE CAPABILITY

I calcoli dei C_p e C_{pk} sono particolarmente importanti per l'ingegnere di processo e di prodotto per validare la produzione (vedere sequenza della slide pagina 3),
OVVERO RENDERE CAPACE AL MEGLIO LA MACCHINA/IMPIANTO PER POI PARTIRE CON LA PRODUZIONE

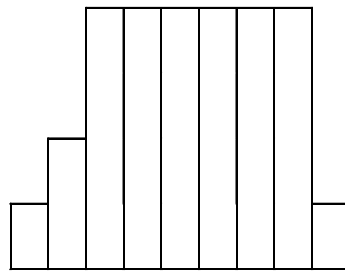
L'obiettivo di questo studio è quello di indagare sulla sola variabilità della macchina, pertanto le restanti cause di variazione (si ricordino le 4 M) quali materiali, manodopera e metodi, devono essere sotto controllo. Ciò equivale a lavorare in macchina/impianto materia prima/semilavorato ben testato (conforme), avere metodi certi e manodopera ben addestrata.

A questo punto i C_p e C_{pk} se non performano bene ci dicono che le cause di variazione andranno ricercate nell'impianto in sé e non in qualcosa di altro

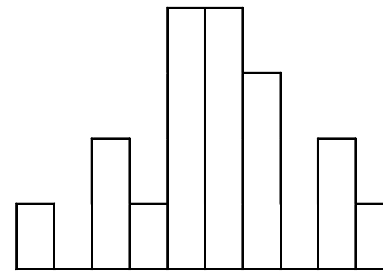
STRUMENTI E PRINCIPI PER IL MIGLIORAMENTO

● CONSIDERAZIONI SULLA NORMALITA' DEI DATI

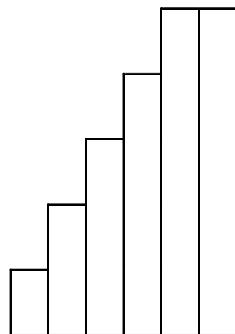
Prima di arrivare a conclusioni del tipo *non è normale quindi non posso fare le considerazioni delle pagine precedenti* è meglio a volte riflettere...è veramente una distribuzione non normale?



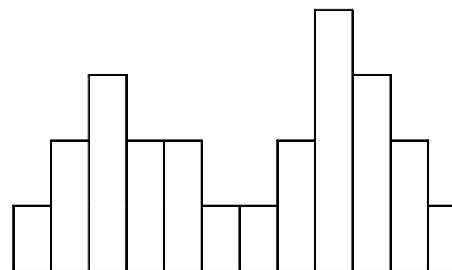
A - Rettangolare – piatto
forse strumento di misura a bassa precisione



B - A pettine
forse troppe classi



C - Asimmetrico a precipizio
forse dati omissi

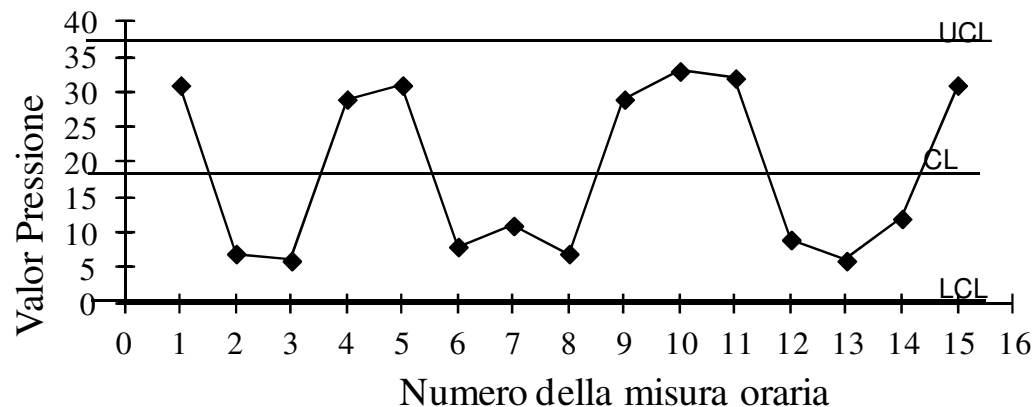


D - Bimodale
forse dati mescolati

STRUMENTI E PRINCIPI PER IL MIGLIORAMENTO

LE CARTE DI CONTROLLO

Supponiamo di avere un impianto di levigatura in funzione. L'ingegnere di processo definisce che una determinata superficie debba stare levigata di circa 20 centesimi con Tolleranza accettata 0 – 40. Al di fuori di questi limiti il prodotto levigato è scarto. Se ogni ora, considerati due turni (16 ore), si misura lo spessore e lo si riporta in un diagramma temporale si ottiene una cosiddetta *carta di controllo*



- Le Carte di Controllo possono essere definite come strumenti grafici di controllo continuo de in linea del processo, del quale forniscono una rappresentazione grafica dell'evoluzione temporale

STRUMENTI E PRINCIPI PER IL MIGLIORAMENTO

● LE CARTE DI CONTROLLO – TEOREMA DEL LIMITE CENTRALE

Sfruttando il teorema del limite centrale un ingegnere che lavorava nei laboratori AT&T americani mise a punto le carte più utilizzate in industria: *la carta per variabili delle medie*

■ Teorema del limite centrale:

se consideriamo un campione formato da un numero n sufficientemente grande di elementi, la distribuzione campionaria della media aritmetica può essere approssimata dalla distribuzione normale. Questo vale qualsiasi sia la distribuzione dei singoli valori della popolazione da cui il campione è tratto

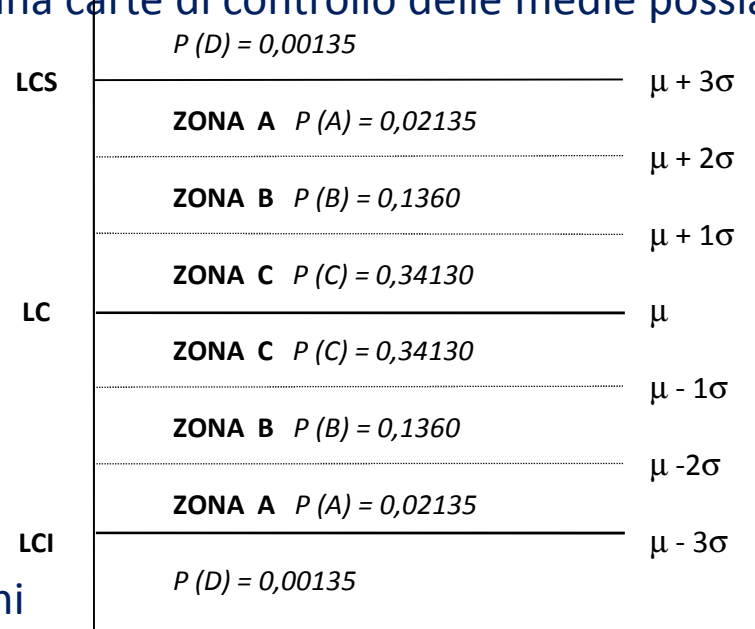
■ Il fatto che valga qualsiasi la distribuzione dei singoli valori è molto importante poiché non è così scontato che gli output dei processi rispondano a distribuzioni normali !

● LE CARTE DI CONTROLLO – TEOREMA DEL LIMITE CENTRALE

La distribuzione della media campionaria ha una deviazione standard stimata pari a:

$$\sigma = s \approx \frac{\sigma'}{\sqrt{n}}$$

dove n è la numerosità campionaria e σ' è la deviazione standard della distribuzione originaria. Ma se la distribuzione delle medie campionarie approssima una normale, possiamo fare le medesime considerazioni viste con gli istogrammi di frequenza, ovvero una volta terminata la compilazione di una carte di controllo delle medie possiamo calcolare il Cp e Cpk



STRUMENTI E PRINCIPI PER IL MIGLIORAMENTO

● LE CARTE DI CONTROLLO – I LIMITI DI CONTROLLO SUPERIORE ED INFERIORE

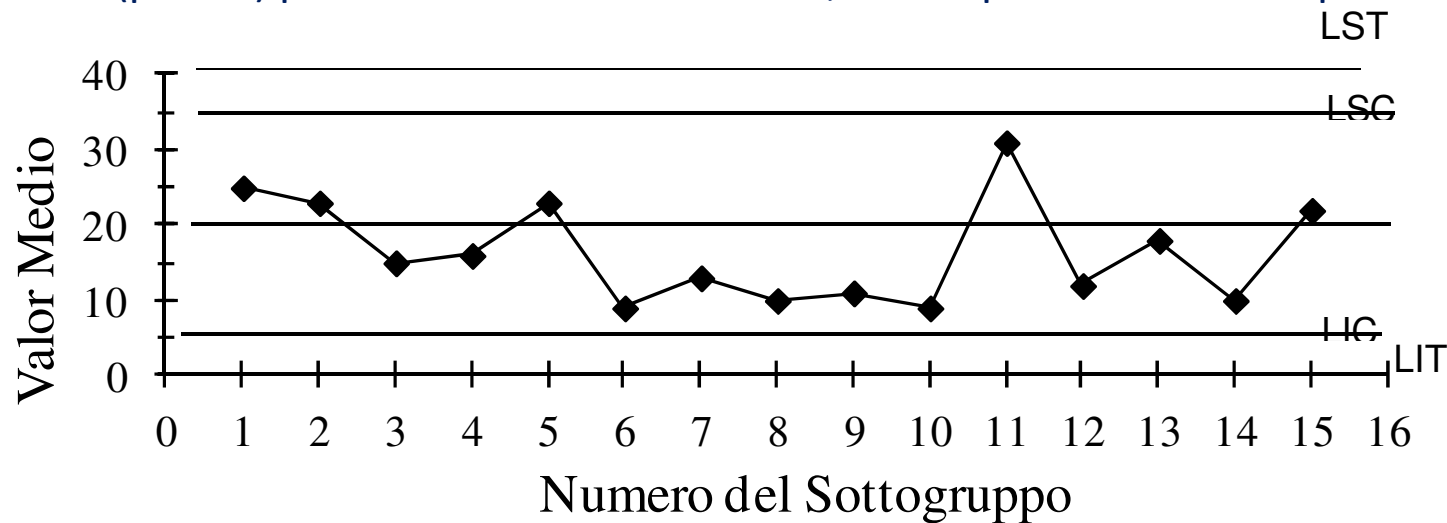
- Nelle carte di controllo $\mu \pm 3\sigma$ vengono chiamati *limiti di controllo (superiore ed inferiore)* DA NON CONFONDERE CON I LIMITI SUPERIORE ED INFERIORE DELLA TOLLERANZA DEFINITI DALL'INGEGNERE !

LCS	$P(D) = 0,00135$	$\mu + 3\sigma$
	ZONA A $P(A) = 0,02135$	$\mu + 2\sigma$
	ZONA B $P(B) = 0,1360$	$\mu + 1\sigma$
LC	ZONA C $P(C) = 0,34130$	μ
	ZONA C $P(C) = 0,34130$	$\mu - 1\sigma$
	ZONA B $P(B) = 0,1360$	$\mu - 2\sigma$
LCI	ZONA A $P(A) = 0,02135$	$\mu - 3\sigma$
	$P(D) = 0,00135$	

STRUMENTI E PRINCIPI PER IL MIGLIORAMENTO

● LE CARTE DI CONTROLLO – INTERPRETAZIONE E CONTROLLO

La carta di controllo sotto mostra un *andamento causale* e i punti stanno all'interno dei limiti di controllo ($\mu \pm 3\sigma$) pertanto abbiamo oltre il 99,73% di probabilità che il processo



mantendosi tale non vada oltre i limiti della tolleranza (generando non conformi)

I limiti di controllo sono calcolati al termine di un carta (normalmente formata da 20-25 sottogruppi) e riportati su quella successiva



STRUMENTI E PRINCIPI PER IL MIGLIORAMENTO

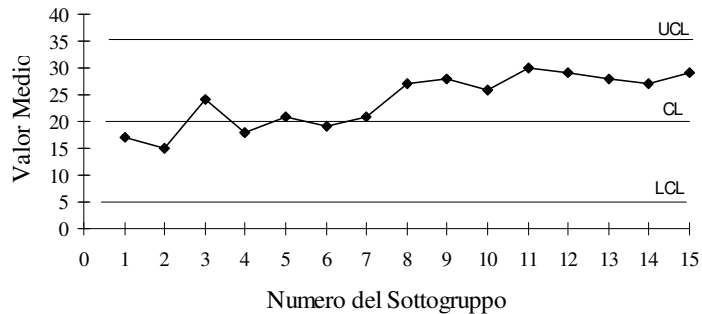
- LE CARTE DI CONTROLLO – INTERPRETAZIONE E CONTROLLO
- Cause comuni e cause speciali (o attribuibili)

Le Cause comuni sono intrinseche al processo: esistono sempre e sono indicate come la causa della naturale variazione di un processo. Provengono da fattori generalmente numerosi e individualmente poco importanti e sono di difficile identificazione. Non possono essere eliminate totalmente. Quando la variabilità dovuta ad esse è piccola, si ha un Sistema Stabile di Cause Comuni : un processo operante in queste condizioni è detto 'sotto controllo statistico' e l'andamento della carta di controllo è del tutto casuale

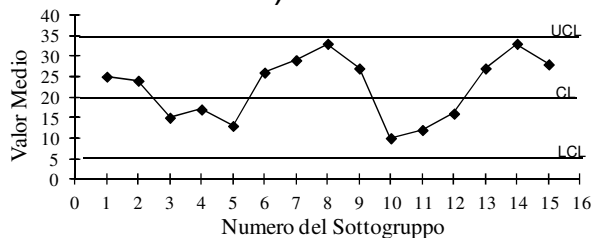
Le Cause speciali provengono invece da fattori che contribuiscono alla variabilità in modo maggiore che non le cause comuni. Tali fattori possono essere identificati ed eliminati apportando un miglioramento al processo. Se nascono delle cause speciali l'andamento della carta non è più casuale, bensì nascono degli andamenti che hanno pochissime probabilità di accedere

La prima causa speciale: 'sfiorare' i limiti di controllo ! Anche se non si ha bucato il limite della tolleranza (prodotto ancora conforme), si ha lo 0,27 % di probabilità di generare nc rimanendo in tali condizioni

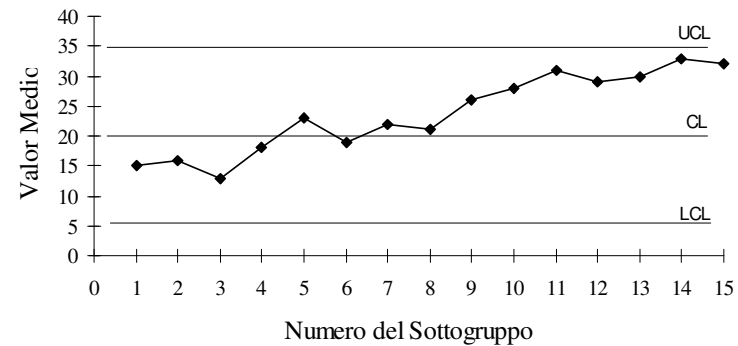
LE CARTE DI CONTROLLO – ESEMPI DI CAUSE SPECIALI



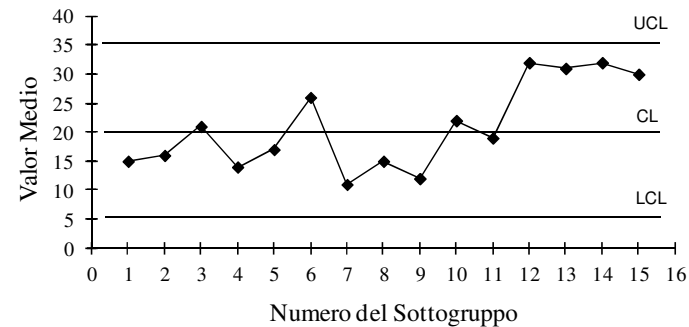
Derive graduali
(es. utensili che si usurano)



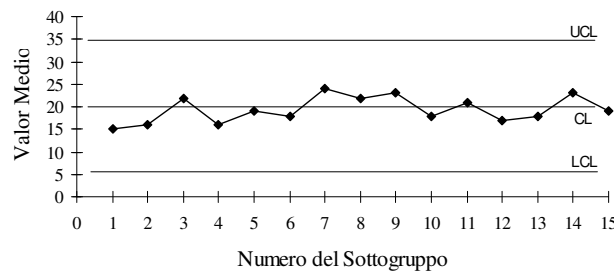
Ciclicità
(es. forniture cicliche, cambio periodico di operatore)



Tendenze (es. parti che si usurano)



Gruppi (4 o più punti oltre 2σ) es. macchine diverse usate per breve periodo, cambio di operatore per breve periodo



Stratificazione (es. strumento di misura)