

Metrologia, ispezioni e controllo qualità

Riferimento: capitolo 4 del Kalpakjian
(seconda parte)

Le tolleranze dei pezzi e il controllo sono fondamentali nel
processo di produzione.

Outline

- Metrologia e strumentazione
- Tolleranze dimensionali
- Ispezioni e testing
- Controlli qualità

Introduzione

- La metrologia riguarda la misura delle caratteristiche dimensionali di un pezzo, importanti per la standardizzazione e produzione di massa.
- Un altro aspetto importante è il testing e le ispezioni nei prodotti, i sistemi di misura distruttivi e non distruttivi.
- Infine uno degli aspetti più critici delle lavorazioni riguarda la qualità del prodotto. Costruire la qualità con il prodotto è molto più importante che ispezionarne le caratteristiche.

Outline

- **Metrologia e strumentazione**
- Tolleranze dimensionali
- Ispezioni e testing
- Controlli qualità

Metrologia ingegneristica

- La metrologia ingegneristica riguarda la misura delle dimensioni di un pezzo prodotto in tutti i suoi aspetti
- Tradizionalmente la misura del pezzo viene fatta dopo la sua produzione come ispezione post-processo
- La tendenza moderna è quella di misurare il pezzo mentre viene prodotto: ispezione in tempo reale, on-line o in-process.
- L'ispezione metrologica riguarda la misura, gli strumenti impiegati e l'osservazione se il pezzo è conforme con l'accuratezza richiesta.
- Accuratezza: quanto scartiamo dal valore voluto
- Precisione: quanto siamo ripetitivi su un certo valore

Tipi di strumenti

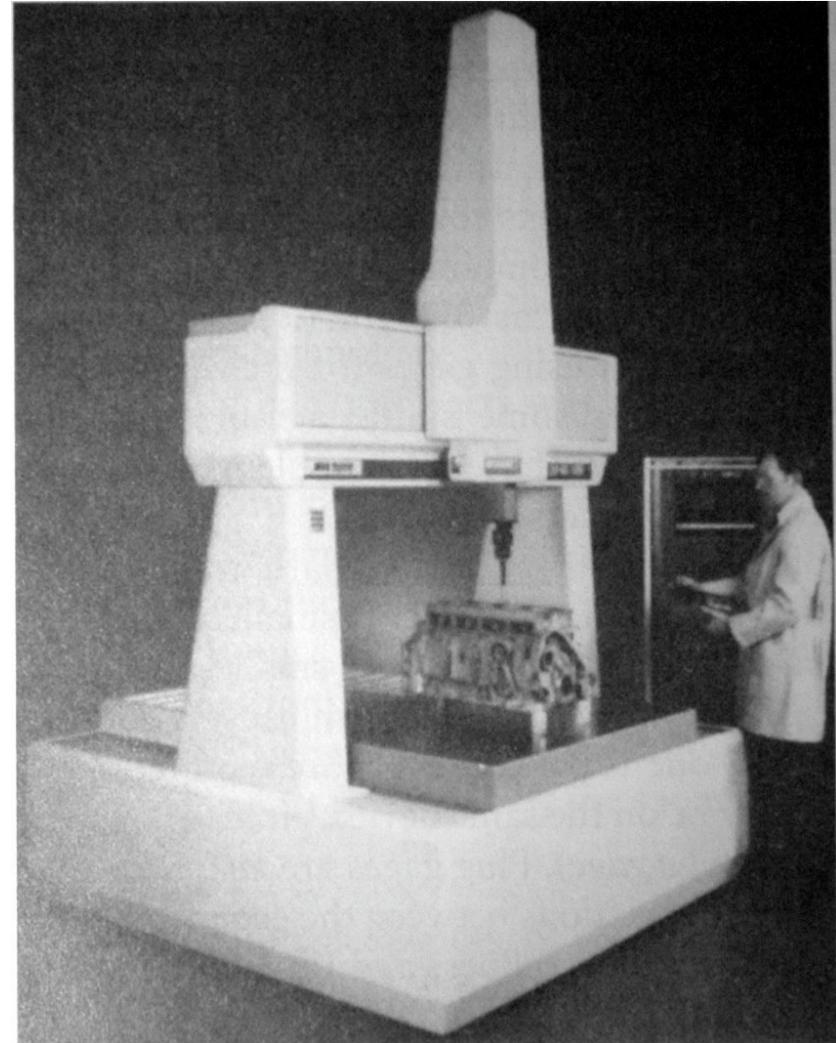
- Strumenti graduati (misurano lunghezze o angoli):
 - righe e aste graduate
 - calibri (25 micron)
 - micrometri (2.5 micron); usati per spessori etc.
 - griglie di diffrazione: (2.5 micron) due vetri graduati a linee equispaziate, la loro distanza relativa determina delle figure di interferenza
- Strumenti a lettura indiretta: sono strumenti per prendere dei riferimenti da misurare in seguito con uno strumento graduato
- Angoli in genere sono molto più difficili da misurare

Tipi di strumenti

- Strumenti di misura comparativi:
 - questo tipo di strumenti misura variazioni di lunghezza
 - un tipo comune trasforma lo spostamento di un puntatore in rotazione di una lancetta su un quadrante
- Misura di profilo e curvatura:
 - gli interferometri possono misurare curvature molto basse
 - comparatori ottici (proiettano l'immagine moltiplicata)
 - comparatori meccanici e micrometri speciali
 - autocollimatori (usano un fascio di luce che viene riflessa dalla superficie da misurare)

Tipi di strumenti

- Strumenti per la misura delle coordinate
- Sono macchine molto rigide e precise (0.25 microns)
- Il pezzo da misurare viene messo sul piano e spostato. Uno stilo registra tutte le coordinate misurate.



Tipi di strumenti

- Microscopi (per le misure di elementi microscopici, in microelettronica soprattutto):
 - microscopi ottici fino a particolari di dimensioni intorno al micron
 - microscopio elettronico a scansione (SEM); fino 100000X

Misurazioni automatiche

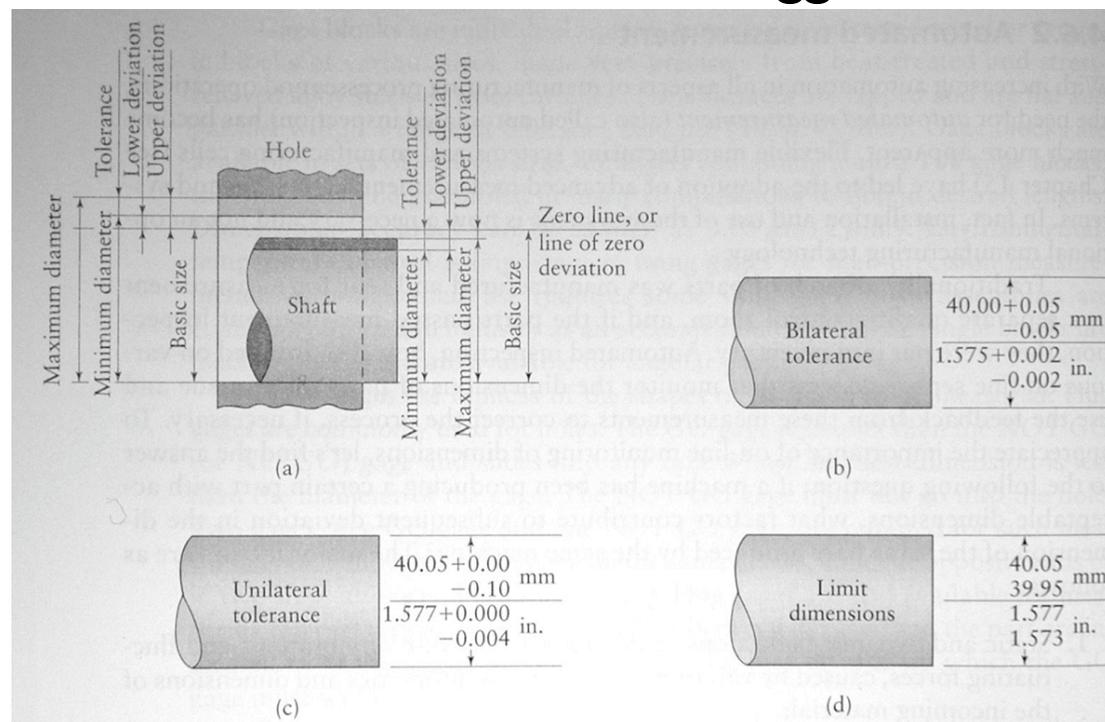
- Tradizionalmente si usavano misure a batch; un certo numero di pezzi prelevato e misurato
- Ora si usa misurare in continuo sulla linea:
 - si mettono dei sensori per la misura di alcune dimensioni
 - in base alla misura si prendono delle misure correttive per mantenere costante la produzione
- Quali sono i fattori che causano maggiori deviazioni:
 - Deflessioni statiche e dinamiche dei macchinari
 - Deformazioni termiche per variazioni di temperatura
 - Usura di utensili e stampi

Outline

- Metrologia e strumentazione
- **Tolleranze dimensionali**
- Ispezioni e testing
- Controlli qualità

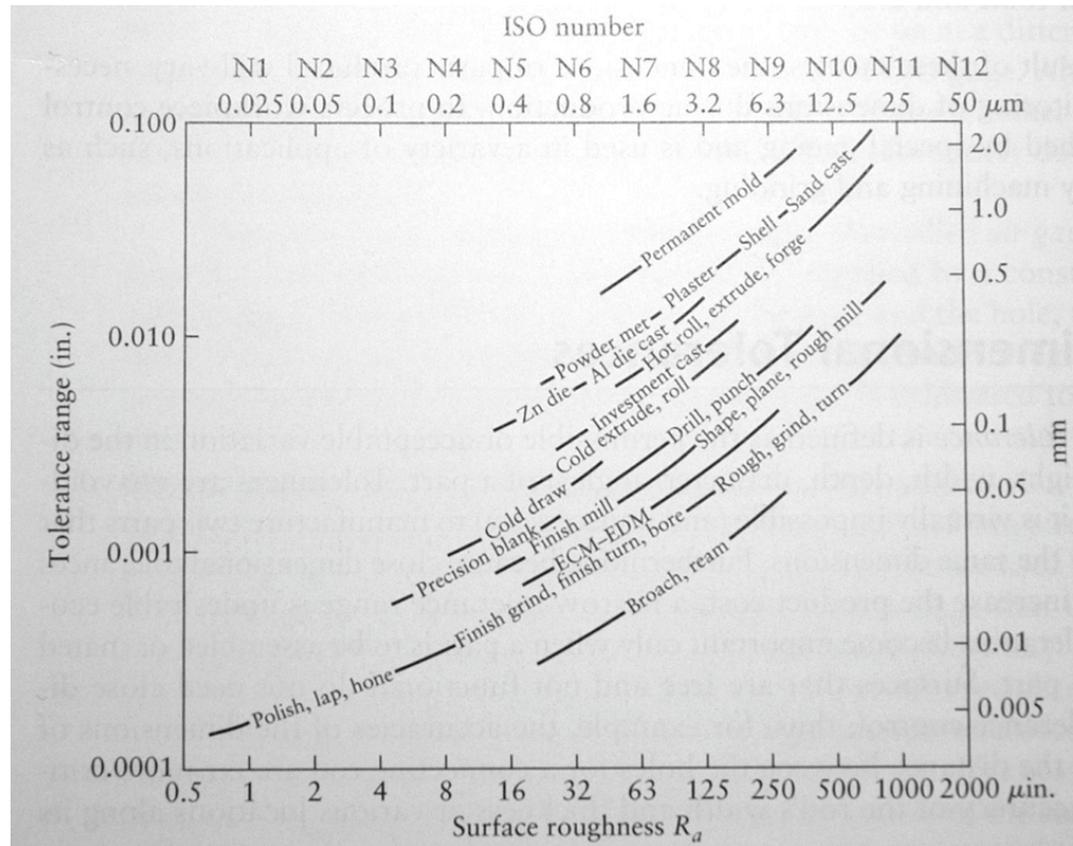
Tolleranze dimensionali

- Le tolleranze dimensionali definiscono la massima variazione accettabile sulle dimensioni del pezzo.
- Le tolleranze più strette sono richieste da pezzi le cui superfici devono combaciare (incastri, buchi, posizioni etc.)
- Tolleranze basse richiedono costi maggiori



Tolleranze dimensionali

- Tolleranze e rugosità per un pezzo di 25 mm
- L'inaccuratezza dimensionale cresce con la radice cubica; es. per un pezzo $\times 2 \Rightarrow$ inaccuratezza cresce di $2^{1/3}$



Outline

- Metrologia e strumentazione
- Tolleranze dimensionali
- **Ispezioni e testing**
- Controlli qualità

Ispezioni e testing

- Sono molto importanti per prodotti la cui rottura può portare a problemi alle persone
- I tests si suddividono in:
 - test non distruttivi
 - test distruttivi
- Oltre a questi test si possono avere ispezioni automatiche in linea tramite sensori (come nel caso delle misurazioni automatiche in linea)

Test non distruttivi

- Liquidi penetranti (solo per difetti superficiali)
- Polvere magnetica sulla superficie (individua discontinuità)
- Ultrasuoni (funzionano sullo stesso principio del sonar): un fascio ad ultrasuoni viene fatto passare attraverso il pezzo e viene riflesso dalla superficie sottostante. Se trova un difetto ritorna indietro prima.
- Emissioni acustiche: si controllano segnali acustici emessi dal pezzo per deformazioni plastiche, propagazione cracks...
- Impatto-acustico: si impatta la superficie con un oggetto opportuna e si analizza il segnale per scoprire difetti sottostanti.

Test non distruttivi

- Radiografie (X-ray): un fascio raggi-X penetrante viene registrato dalla parte opposta del pezzo per monitorare variazioni di densità e difetti.
- Induzione elettromagnetica: la presenza di difetti altera il campo magnetico e le correnti nell'induttore
- Ispezione termica: si monitora il flusso di calore, discontinuità alterano questo flusso
- Tecniche olografiche: si controlla la forma del pezzo in maniera accurata tramite ologramma. Con carichi applicati e difetti presenti la deformazione non è omogenea.
- Diffrazione-X per sforzi residui: si controlla le distanze interplanari al variare dell'angolo di incidenza

Test distruttivi

- Come dice la parola comportano la rottura del pezzo.
- Rientrano in tali tests tutti i test meccanici, anche solo per il fatto che si deve ricavare un provino di forma opportuna
- Anche test di usura, indentazioni, analisi microstrutturali rientrano in questa categoria

Outline

- Metrologia e strumentazione
- Tolleranze dimensionali
- Ispezioni e testing
- **Controlli qualità**

Controllo Qualità

- Il produttore fa in modo che il suo prodotto sia conforme alle specifiche e standard definiti.
- Come si può raggiungere questo risultato? Tramite controlli su un campione statistico, che consistono in:
 - controllo del materiale fornito che risponda alle richieste (dimensioni, proprietà, finitura superfici...)
 - controlli sui componenti in produzione per verificare che rispondano alle specifiche
 - controllo del prodotto finale per garantire che sia stato montato correttamente
 - prova del prodotto

Qualità totale

- Come si raggiunge questo obiettivo:
 - controlli qualità
 - i controlli devono essere continui in quanto la produzione continua a cambiare (usura, forniture....)
 - analisi dei difetti e loro eliminazione o riduzione
 - per migliorare bisogna:
 - misurare il livello di qualità
 - identificare tutti i materiali e variabili di processo che possono essere controllate per una qualità migliore

Metodi statistici per il controllo di qualità

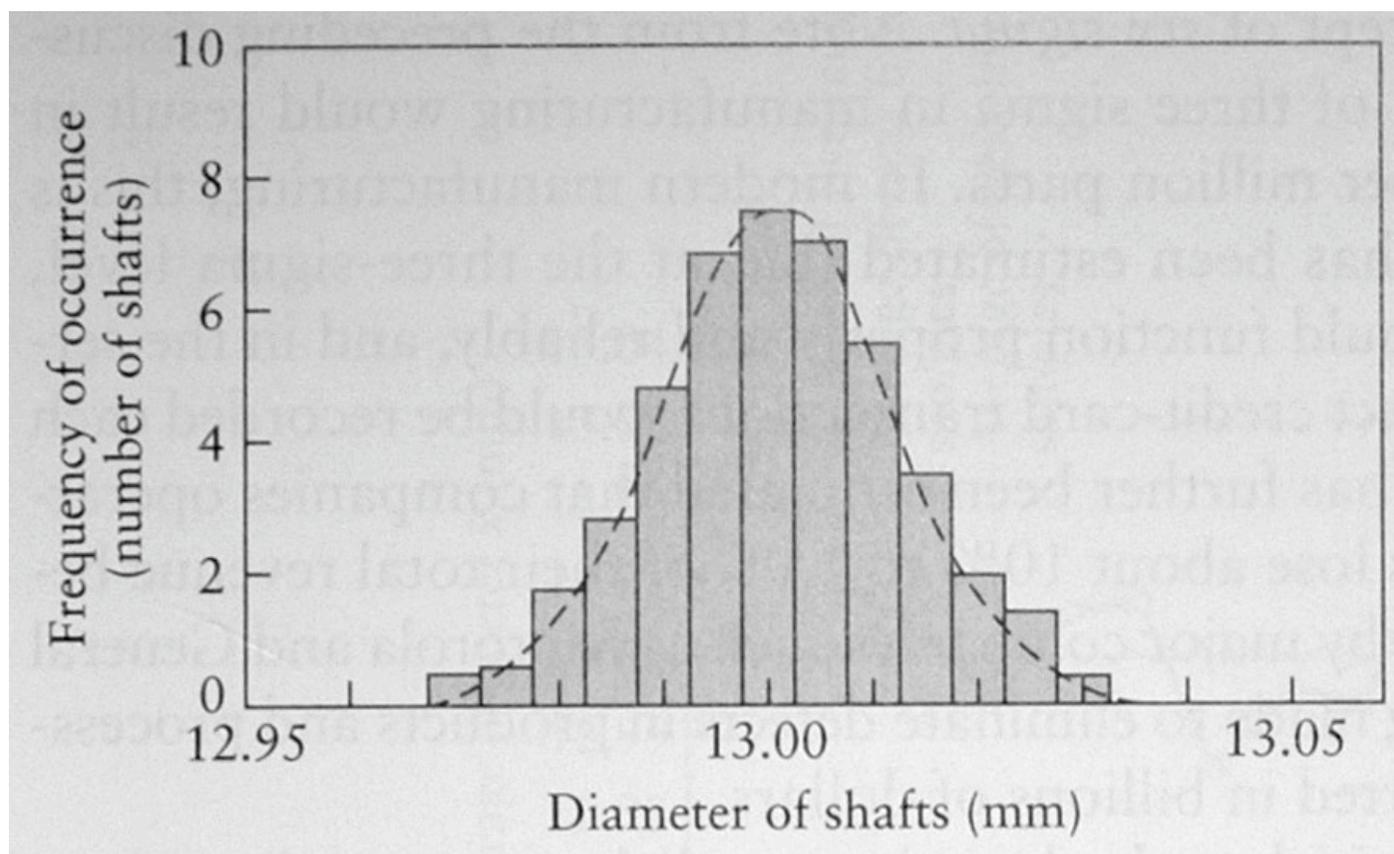
- Due tipi di errore:
 - statistico
 - sistematico (dovuto a cause ben precise)
- Il controllo di qualità statistico (SQC) richiede alcune definizioni:
 - dimensione del campione statistico: numero di parti da ispezionare
 - campionatura statistica (o random): i campioni devono essere rappresentativi dell'intera popolazione
 - popolazione (o universo): tutti i pezzi da cui i campioni vengono prelevati
 - dimensione del lotto: una parte della popolazione

Metodi statistici

- Le caratteristiche da ispezionare possono essere di due tipi:
 - quelle misurabili quantitativamente
 - quelle misurabili qualitativamente (attributi)
- A queste corrispondono due metodi:
 - quello delle variabili in cui le quantità vengono misurate e comparate con le specifiche (es. dimensioni)
 - quello degli attributi in cui si osserva la presenza o meno di determinate caratteristiche (es. difetti)
- Le quantità e attributi variano nella produzione e se consideriamo la variazione di una dimensione, questa assume una certa distribuzione

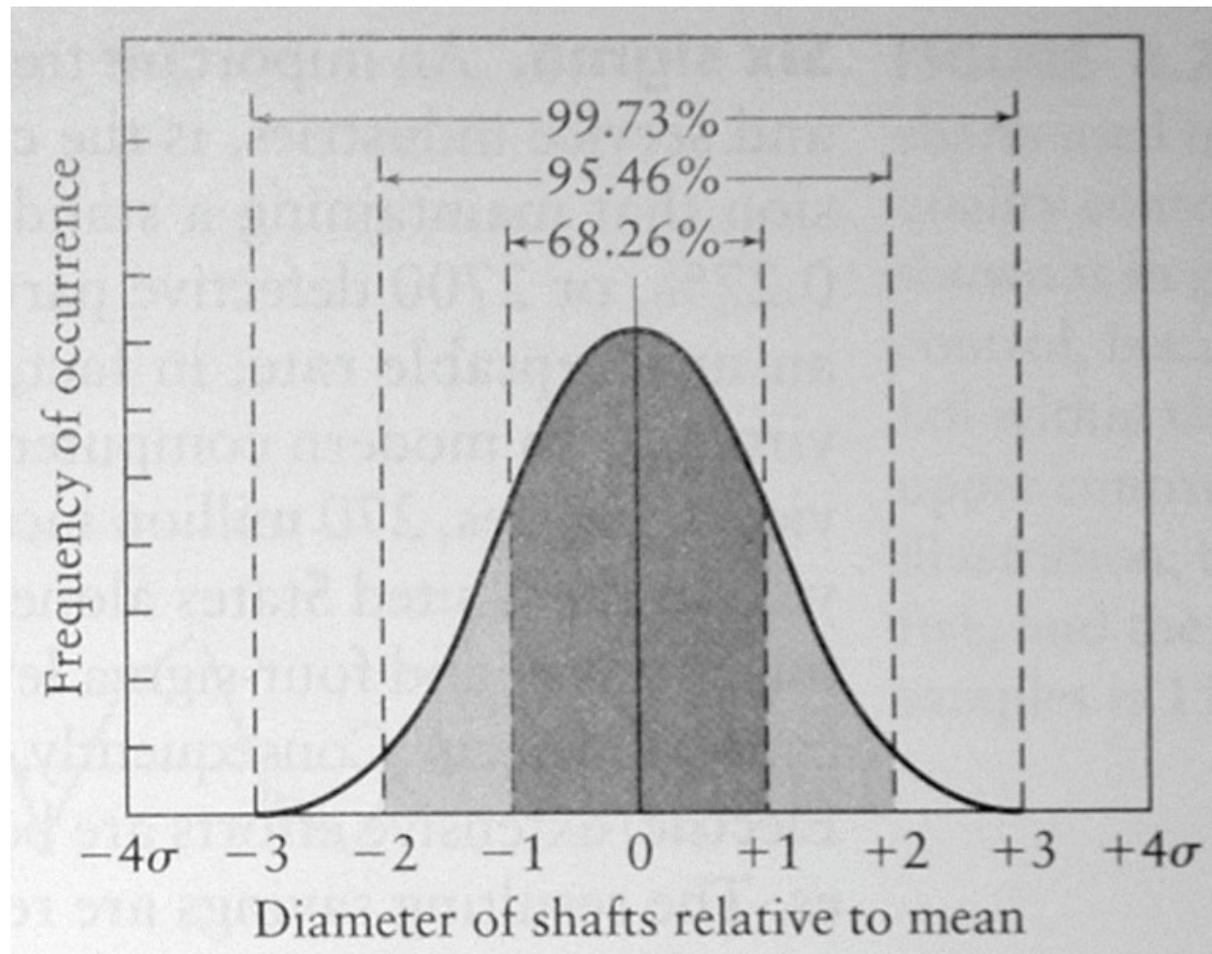
Distribuzioni ed errori statistici

- La distribuzione statistica più comune e la distribuzione normale o gaussiana



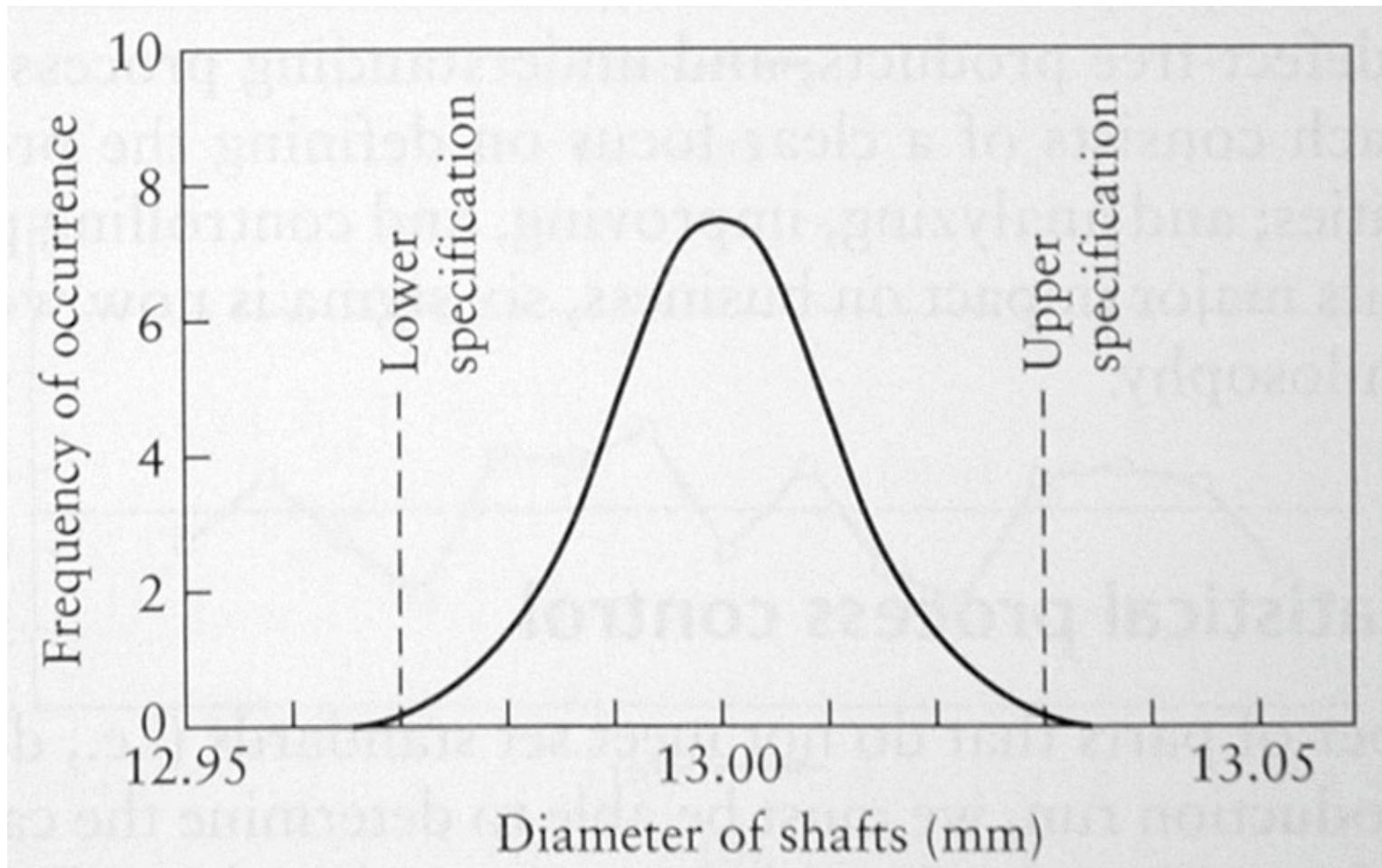
Curve di distribuzione

- Media e deviazione standard σ



Curve di distribuzione

- Limiti di specifica nella distribuzione



Curva di distribuzione normale

- Media aritmetica:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

- Range della distribuzione (differenza tra il valore massimo e minimo):

$$R = x_{\max} - x_{\min}$$

- Deviazione standard:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Criterio delle 6 sigma

- Iniziato da grandi industrie come Motorola e General Electric
- Si considera che i pezzi buoni stiano all'interno dei 6 sigma
- Ad esempio se consideriamo i 3 sigma risultano inaccettabili il 0.27% dei pezzi, il che si riflette in un numero molto maggiore di prodotti difettosi (perdite dal 10 al 15%)
- Il criterio dei 6 sigma impone standard e management della qualità totale

Controllo di processo statistico

- Esempio: controllo diametro interno boccola; valore di progetto: $x=25.04$ mm
- Definiamo la dimensione del campione: 5 pezzi
- Misuriamo il campione per 10 volte; faremo un totale di 10x5 misurazioni

1	25.062	25.065	25.064	25.026	25.024
2	25.022	25.029	25.015	25.090	25.084
3	25.045	25.047	25.015	25.047	25.036
4	25.058	25.013	25.016	25.061	25.035
5	25.047	25.072	25.042	25.025	25.035
6	25.068	25.094	25.062	25.003	25.023
7	25.086	25.076	25.020	25.021	25.003
8	25.075	25.015	25.085	25.031	25.036
9	25.024	25.035	25.056	25.024	25.028
10	25.076	25.046	25.042	25.035	25.024

Grafici di controllo

- Calcoliamo:
 - Valor medio di ogni campione
 - Range per ogni campione

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad R = x_{\max} - x_{\min}$$

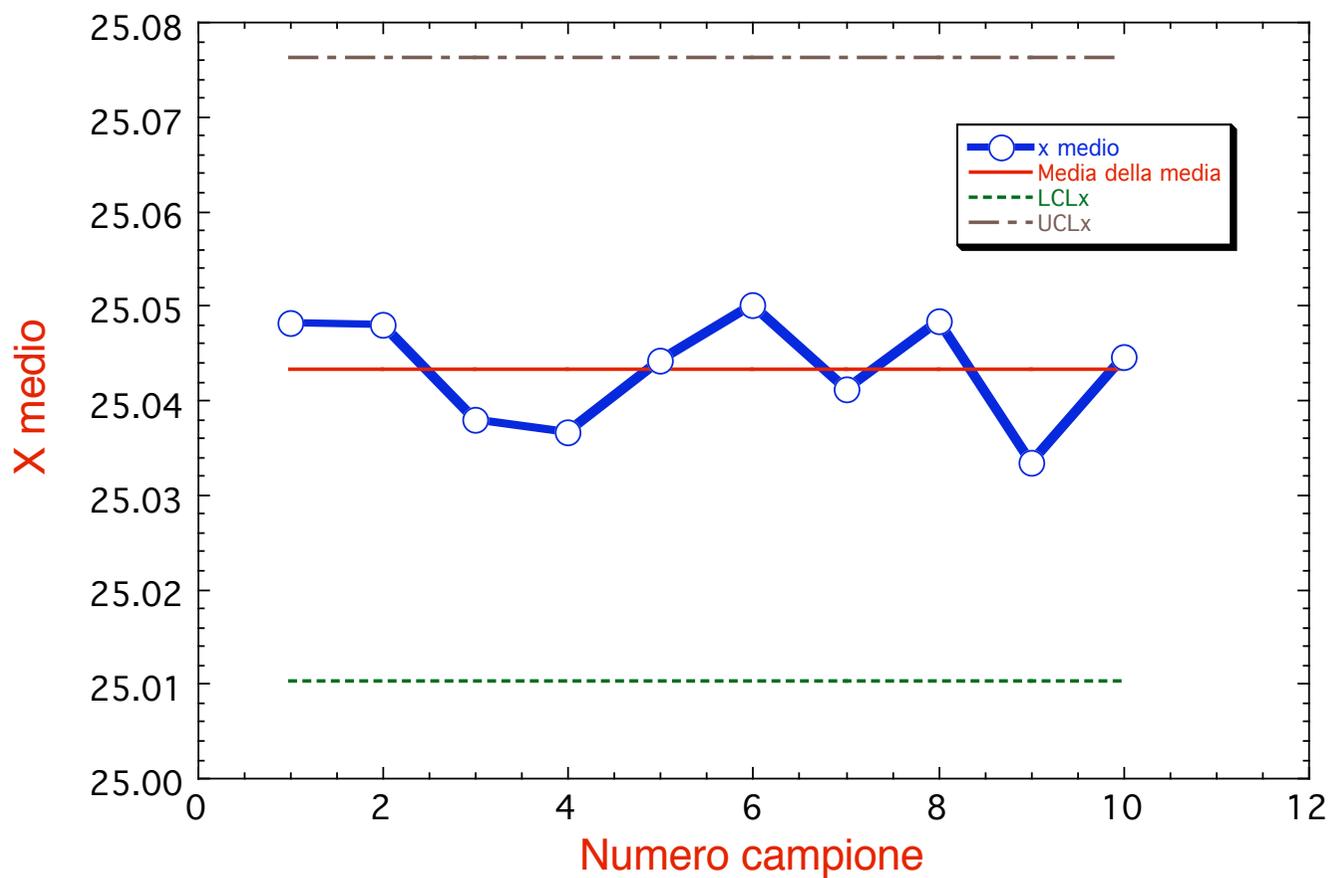
25.062	25.065	25.064	25.026	25.024
25.022	25.029	25.015	25.090	25.084
25.045	25.047	25.015	25.047	25.036
25.058	25.013	25.016	25.061	25.035
25.047	25.072	25.042	25.025	25.035
25.068	25.094	25.062	25.003	25.023
25.086	25.076	25.020	25.021	25.003
25.075	25.015	25.085	25.031	25.036
25.024	25.035	25.056	25.024	25.028
25.076	25.046	25.042	25.035	25.024

25.0482	0.041
25.0480	0.075
25.0380	0.032
25.0366	0.048
25.0442	0.047
25.0500	0.091
25.0412	0.083
25.0484	0.070
25.0334	0.032
25.0446	0.052

- Media della media e range medio

25.04326	0.0571
----------	--------

Grafico x medio



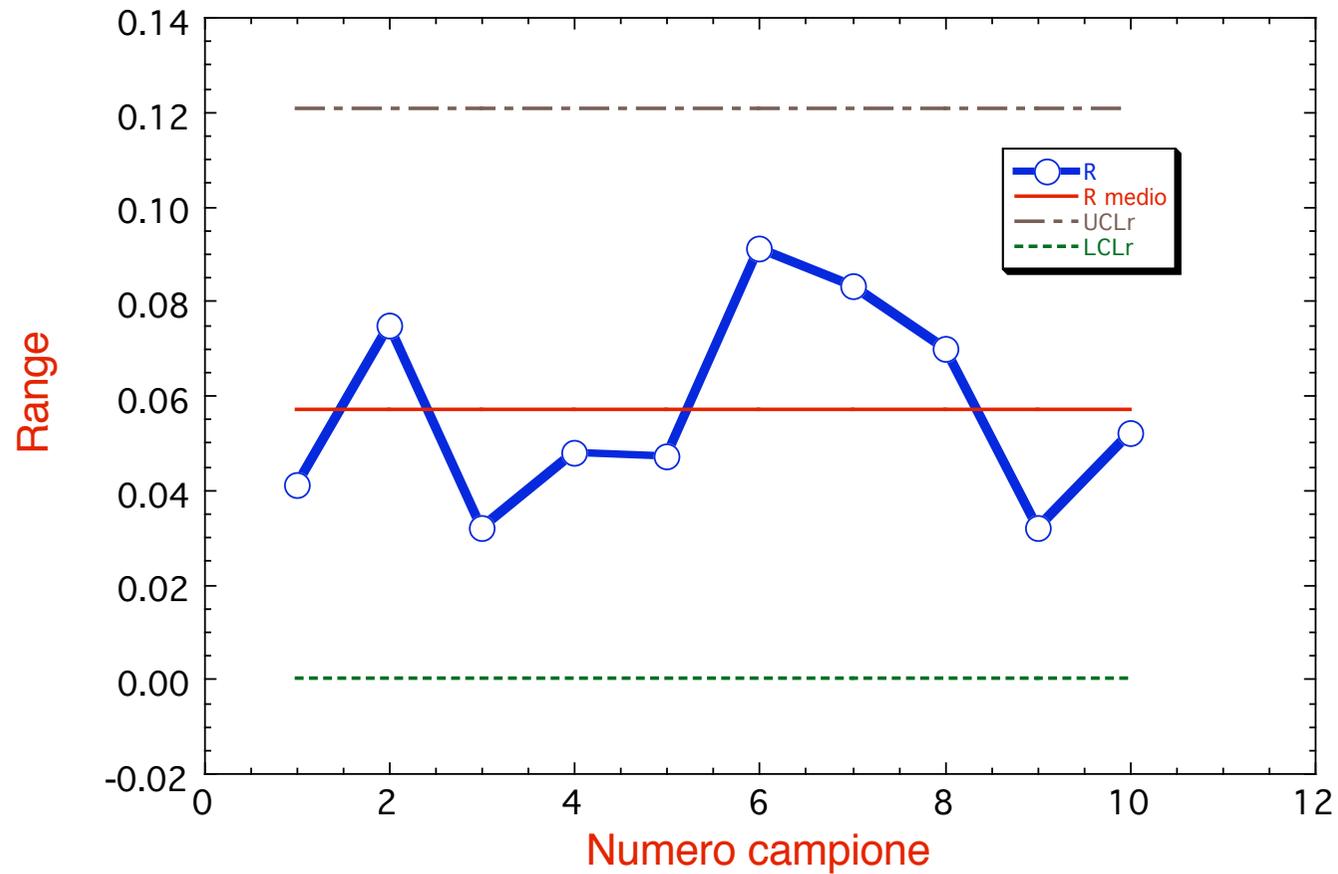
$$LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - 3\sigma = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$$

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + 3\sigma = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$$

Costanti per i grafici di controllo

N campioni	A_2	D_4	D_3	d_2
2	1.88	3.267	0	1.128
3	1.023	2.575	0	1.693
4	0.729	2.282	0	2.059
5	0.577	2.115	0	2.326
6	0.483	2.004	0	2.534
7	0.419	1.924	0.078	2.704
8	0.373	1.864	0.136	2.847
9	0.337	1.816	0.184	2.97
10	0.308	1.777	0.223	3.078
12	0.266	1.716	0.284	3.258
15	0.223	1.652	0.348	3.472
20	0.18	1.586	0.414	3.735

Grafico Range



$$LCL_{\bar{R}} = D_3 \bar{R}$$

$$UCL_{\bar{R}} = D_4 \bar{R}$$

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Controllo totale della qualità

- Ingegneria di qualità come filosofia:
 - management dedicato alla qualità
 - puntare al profitto a lungo termine e non breve
- Metodo di Taguchi:
 - qualità scarsa => insoddisfazione cliente
 - servizi di assistenza e riparazione costano
 - il produttore perde credibilità sul mercato
 - il produttore perde quote di mercato
- bisogna:
 - aumentare relazioni tra team di lavoro e progettazione
 - design analysis (studio simultaneo di tutti i fattori)
 - minimizzare variazioni tra i componenti