



PROGETTO RANDIT



Analisi Statistica delle Tolleranze nella Progettazione Meccanica

Agenda degli articoli

- Articolo 1 SCENARIO – Introduzione alla problematica
- Articolo 2 DEFINIZIONI e METODOLOGIE GENERALI e WORST CASE Analysis
- Articolo 3 METODOLOGIE STATISTICHE- ASPETTI TEORICI e RSS
- Articolo 4 SIMULAZIONE CON METODO MONTECARLO
- Articolo 5 ANALISI COMPLESSE – CETOL (Concurrent Engineering Tolerance)
- Articolo 6 IMPATTO SULLE FUNZIONI AZIENDALI

Ing. Nicola Lippi
Engineering & Project Management



**DEFINIZIONE STATISTICA
DELLE TOLLERANZE**



DEFINIZIONE STATISTICA DELLE TOLLERANZE MECCANICHE

Articolo 1 – Lo Scenario

Le attività di sviluppo prodotto costituiscono sempre più un elemento vitale per il successo aziendale: negli ultimi anni, infatti, è notevolmente cresciuta la necessità di sviluppare e progettare in tempi brevi nuovi prodotti di successo, a elevato livello di qualità (Qualità 6 sigma).

L'approccio 6 sigma, oltre alla più diffusa metodologia di miglioramento dei prodotti e processi esistenti (DMAIC), propone una seconda metodologia (Design For Six Sigma – DFSS) basata sull'utilizzo di un pacchetto di tecniche, che possono essere facilmente applicate, capaci di progettare il livello di Capability del Prodotto (Cp e CpK).

Spesso si ha l'evidenza di problemi di qualità in fase tardive quali Prototipazione e Sperimentazione dovute a specifiche progettuali non corrette.

Vi è inoltre la tendenza ad assegnare tolleranze strette rispetto ai parametri progettuali critici (su cui il cliente chiederà livelli di capability elevati), già evidentemente non compatibili con i limiti tecnologici e/o con la capacità di misurarli in modo adeguato.

Queste scelte si tradurranno in:

- Costi elevati di fornitura,
- Livelli elevati di scarti interni (forse non necessari)
- Bassi livelli di qualità finale
- Abitudine ad avvalersi delle deroghe
- Scarsa fiducia da parte della Produzione nelle scelte effettuate in Progettazione.

Uno degli ostacoli principali è rappresentato dal mancato scambio di informazioni tra i diversi enti aziendali nelle fasi di sviluppo del prodotto, non tutti sanno però che esistono degli indici del livello di qualità che, mediante la loro adozione ponderata consentono ai diversi attori di dialogare e confrontarsi in particolare progettazione e produzione:

Più in generale la qualità di un prodotto è il grado con cui lo stesso soddisfa le aspettative esplicite ed implicite dei clienti.

Ogni prodotto deve possedere requisiti di:

Capacità tecnica - Capability cioè deve essere progettato e costruito per possedere caratteristiche funzionali (fisiche e di prestazioni) adatte a soddisfare le esigenze del cliente.

Affidabilità – Reliability – deve essere in grado di soddisfare le esigenze del cliente per tutto il tempo richiesto dallo stesso.

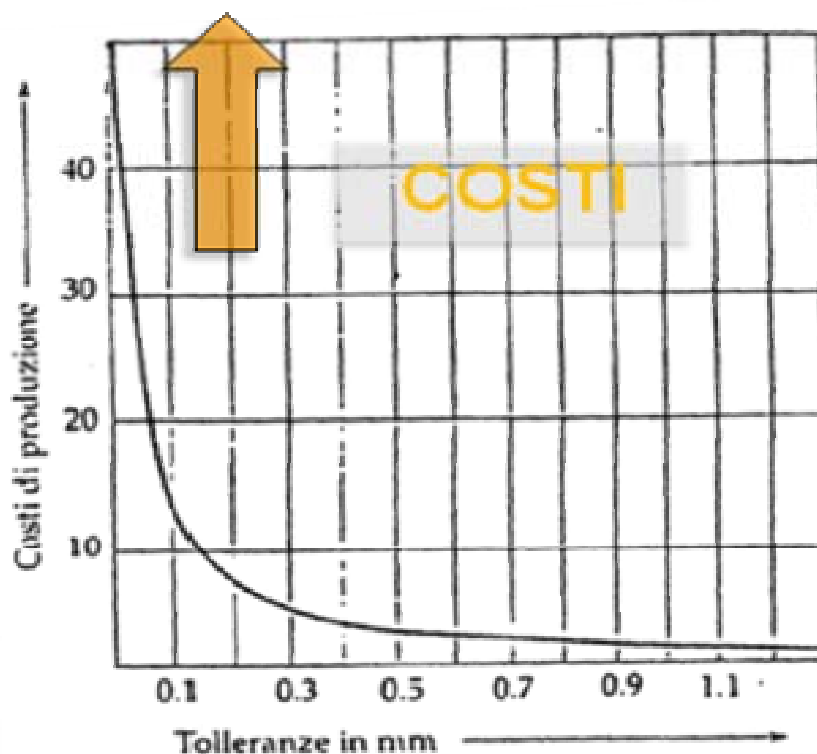
Contemporaneamente l'azienda deve mantenere **un costo prodotto commisurato** a quanto il mercato riconosce alle prestazioni del prodotto stesso **identificando le**



caratteristiche critiche per la qualità del prodotto prendendo in considerazione soluzioni tecniche realizzabili con processi produttivi economicamente idonei.

Spesso si è portati ad attribuire le tolleranze sulla base di:

- **Consuetudine** (si è sempre fatto così)
- **Incertezza** sulla influenza di una certa tolleranza sui parametri funzionali (si stringono le tolleranze al limite del consentito)
- Si ha la tendenza a non considerare l'impatto che la mancata analisi e verifica del requisito reale in termini di ampiezza di tolleranza può avere sul costo prodotto



Si devono quindi adottare delle metodologie che consentano di attribuire le tolleranze sulla base del loro impatto sulle caratteristiche di prodotto.

Il costo prodotto è fortemente influenzato dalla ampiezza delle tolleranze, allo stesso modo anche il costo di assemblaggio risente degli errori indotti dalla mancanza di analisi dettagliate delle catene di tolleranze



DIMINUIZIONE DEI COSTI MIGLIORAMENTO DEL PROCESSO DI MONTAGGIO

- ▣ Prodotti complessi
- ▣ Assemblaggi strutturali
- ▣ Elevato numero di parti
- ▣ Diversi livelli di assemblaggio



IMPORTANZA DEL COSTO DI MONTAGGIO

Montaggio

45%

Trasformazione

30%

Materiali

25%



NECESSITA' DI GESTIRE E MIGLIORARE IL PROCESSO DI MONTAGGIO

Il miglioramento della assemblabilità può essere ottenuta riducendo gli errori al montaggio e quindi riducendo il numero delle parti e conducendo delle analisi dettagliate delle tolleranze di assemblaggio.

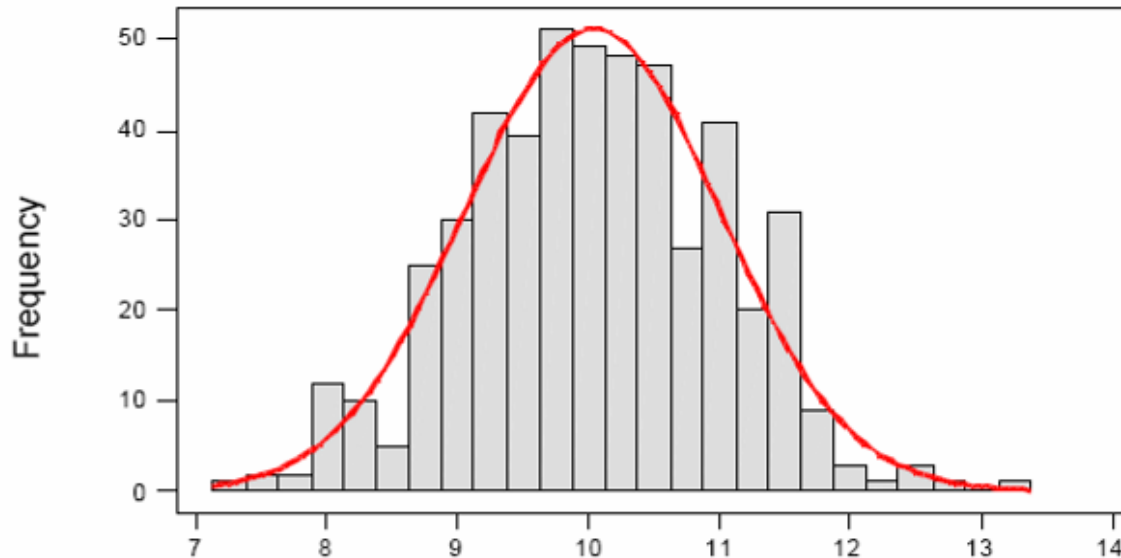


ANALISI DELLE CATENE DI TOLLERANZE INDIVIDUAZIONE E RIDUZIONE DELLE POSSIBILI FONTI DI VARIAZIONE

In linea generale si deve cercare di **ampliare il più possibile le tolleranze** massimizzando le capability interne mantenendo inalterate le prestazioni. (DFM design for manufacturing). Per perseguire questi obiettivi **efficacemente** si devono adottare metodologie statistiche.

Spesso, infatti, si è portati a pensare a vedere dimensioni, risultati di calcoli, valori tabellati come entità fisse, immutabili, nella realtà si tratta sempre di valori medi, oppure massimi o minimi di distribuzioni di probabilità: il concetto del "THINK IN RANGES".

In natura non abbiamo mai un dato fisso e immutabile, ma un dato con la relativa distribuzione di probabilità e quando siamo in presenza di un numero considerevole di componenti **conviene** ragionare in termini probabilistici.



E' un dovere dell'ingegnere progettare, di un dato valore o dimensione, anche la distribuzione di probabilità, prendendo decisioni in funzione dei processi e dei controlli economicamente più idonei si tratta quindi di un diverso approccio alla definizione delle tolleranze e più in generale alla progettazione.

UN DIVERSO APPROCCIO

APPROCCIO CLASSICO

☐ Risposte prestazionali

Il valore peggiore della risposta è accettabile?



☐ Risposte affidabilistiche (resistenza, sollecitazione)

Il coefficiente di sicurezza è sufficientemente grande (resistenza/sollecitazione)?



- ☐ Accettando la "variabilità" delle nostre condizioni al contorno dobbiamo avere un diverso approccio nei confronti della progettazione
- ☐ Diventa importante comprendere la molteplicità delle sorgenti di variazione

APPROCCIO PROBABILISTICO

☐ Risposte prestazionali

La percentuale di parti avente la /le risposte fuori dai limiti di conformità è inferiore ad una soglia prestabilita?

☐ Risposte affidabilistiche (resistenza, sollecitazione)

La probabilità di guasto è inferiore ad un target prestabilito?



Alcuni concetti base:

Processo : è una combinazione unica di strumenti, materiali, metodi e metodologie, in abbinamento alle risorse che li utilizzano per fornire un risultato (prodotto, macchina, impianto o attività) che sia misurabile in termini di qualità e quantità.

Ad esempio un Processo è la linea di montaggio di motore o di una sospensione, piuttosto che le lavorazioni a Controllo Numerico di uno stampo, ecc.

Tutti i processi hanno una Variabilità Statistica intrinseca che deve essere valutata in termini statici con metodi statistici, ovvero non esiste un processo perfetto, ma piuttosto la necessità di definire il livello di imperfezione di un processo (SIGMA) per migliorarlo.

La **Process Capability (CP)** è una proprietà misurabile di un processo, che si esprime attraverso degli indici detti Indici di Capacità del Processo (**Process capability Index**) (es., C_{pk} or C_{pm}), piuttosto che indici che misurano le prestazioni di un processo (**Process Performance Index**) (es., P_{pk} or P_{pm}).

IL risultato di queste misure è normalmente illustrato tramite degli **istogrammi** o tramite delle **tabelle di calcolo** che prevedono o predicono quante parti saranno statisticamente prodotte fuori dalle specifiche di progetto (ndr. <<del processo o del prodotto>>)

La **Process Capability (CP)** è anche definita dalla capacità di un processo di raggiungere gli scopi/obiettivi proposti e stabiliti dall'organizzazione aziendale preposta per una determinata struttura di processo (**ISO15504**)

In una Process Capability ci sono due sezioni principali:

- Misura della variabilità di un processo
- Comparazione della variabilità con una tolleranza di base proposta (relativamente al processo stesso o al prodotto che deve essere lavorato o assemblato).

La Misura del Processo

Il risultato di un processo è solitamente una o più caratteristiche (es. Dimensione) misurabili che sono utilizzate per specificare i risultati.

I valori risultanti possono essere analizzati statisticamente, dove i dati di uscita raggruppati per competenza mostrano una **Distribuzione Normale**, ovvero dove i dati d'uscita del processo stanno principalmente nell'intorno di un **Valore Medio** e sono soggetti ad una **Deviazione Standard**.

Un processo deve essere soggetto ad un **controllo di processo** appropriato. Solitamente viene descritto un **diagramma di controllo** che si utilizza per verificare se il processo è "*statisticamente sotto controllo*".

Se così non fosse, non avrebbe senso parlare di Process Capability (CP).

Quindi la Process Capability serve in presenza di Variazione per cause speciali (**Special Cause Variation**) e non per situazioni nella normalità (**Common Cause Variation**).

Il processo deve generare una mole di dati sufficiente a fare le valutazioni corrette; più dati sono disponibili e più il modello è affidabile in termini di risultato, ovvero esiste un limite inferiore al di sotto del quale non è possibile definire il risultato come accettabile o meno.

Nella definizione del processo si deve tener conto dei dati ambientali, delle condizioni imposte dalla produzione, dei materiali utilizzati e delle risorse umane disponibili (quantità e competenza).



Solitamente in un processo produttivo si tiene conto di tre fasi: una fase di avvio, una fase di sviluppo ed una fase a regime.

In questo modo I risultati del processo, sia esso il valor medio o la deviazione standard, possono essere calcolati in modo corretto.

Con una distribuzione normale, le code possono estendersi ben oltre il “caso pessimo” minimo e massimo, ma normalmente il valore accettato in termini di pezzi prodotti in modo corretto alla fine della linea è del 99,73% (3 sigma).

Una distribuzione normale di dati/risultati relativi ad un determinato processo, sia esso di lavorazione o fabbricazione/montaggio, è spesso descritto avendo come riferimento un programma di lavoro che tenga conto delle deviazioni standard (SixSigma program)

La Capability di un Processo

Il risultato di un processo deve incontrare I cosiddetti Customer Requirements (ovvero le specifiche richieste in termini di prestazione attesa). **Risultati, specifiche e tolleranze**, sono I tre capisaldi a cui la Process Capability riferisce.

L'ufficio ingegneria, di Prodotto o di Processo, all'interno di un'azienda manifaturiera, ma non solo, definisce e studia la Process Capability per determinare quale intervallo (variazione) è accettabile rispetto ai valori nominali definiti dal progetto.

L'abilità di un processo di cogliere le specifiche richieste può essere espresso da un numero utilizzando proprio l'indice di Process Capability (Cp o CpK) e può essere inserito all'interno di una mappa di controllo (**Control Chart**).

L'ufficio ingegneria deputato ricerca quindi il massimo della confidenza per poter definire il processo STABILE, solo così il Valor Medio risultante e la Variazione, vengono accettati ai fini della stima del risultato.

Il controllo di processo è quindi un'attività statistica e serve a determinare in modo appropriato le componenti che concorrono a rendere stabile un processo ed a metterlo sotto controllo.

Per informazione le ISO 15504 contengono le norme e l'infrastruttura necessaria a definire le misure della capacità di un processo (Process Capability). Il modello ideale è costituito da 6 livelli: da un livello ZERO (Capability Level 0) ad un livello 5 (CL 5), ovvero da nessun controllo del processo ad un controllo completo..

Randit – Ing. Giorgio Nava