

# DESIGN FOR CAPABILITY

**Ai progettisti tocca individuare la soluzione a maggior valore per il cliente, cercando di allargare al massimo le tolleranze dei parametri di progetto, assicurandosi sempre che le prestazioni del prodotto siano in linea con i requisiti del cliente.**

**Un problema preso come esempio**

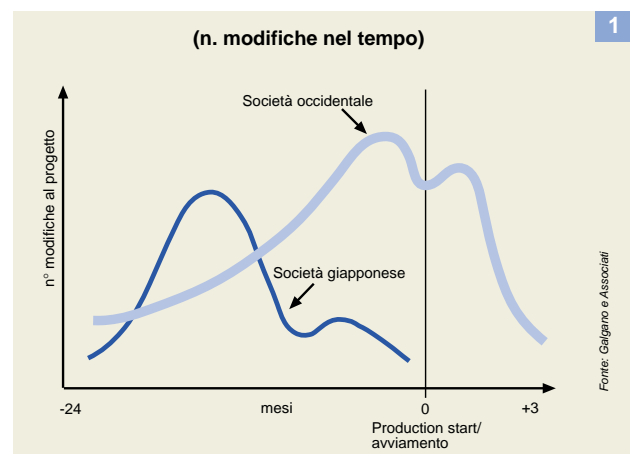
La metodologia 6 sigma® (Dfss) applicata allo sviluppo dei nuovi prodotti ha come obiettivo quello di ottenere un livello di qualità 6 sigma fin dall'inizio della prima produzione al più basso costo del prodotto e di sviluppo, rispettando il time to market

- riducendo drasticamente le non conformità lungo tutto il processo di sviluppo,
- massimizzando la prestazione del prodotto.

Il grafico di figura 1 presenta la situazione tipica di un'azienda occidentale e di una giapponese: nel primo caso le modifiche progettuali sono più tardive e numericamente più elevate.

Il design for six sigma, supporta l'ottica preventiva con l'introduzione di strumenti semplici che aiutano nell'individuazione tempestiva delle scelte progettuali migliori, in modo da garantire la qualità 6 sigma dei prodotti. Il Dfss è anche definito come "Design for capability".

L'indice di capability CP, riportato in figura 2, esprime il grado con cui il prodotto soddisfa i requisiti del cliente, attraverso il confronto tra l'ampiezza delle specifiche del progetto (derivate a loro volta dalle esigenze del cliente) e la tolleranza del processo. Il numeratore di questo indice è definito dalle scelte progettuali, quindi di competenza della progettazione; il denominatore, invece, di-



pende dalla variabilità dei processi produttivi e deriva dalle scelte tecnologiche prima e dalla qualità in produzione poi.

L'indice CP diventa così il punto di convergenza dell'attività di progettazione e produzione.

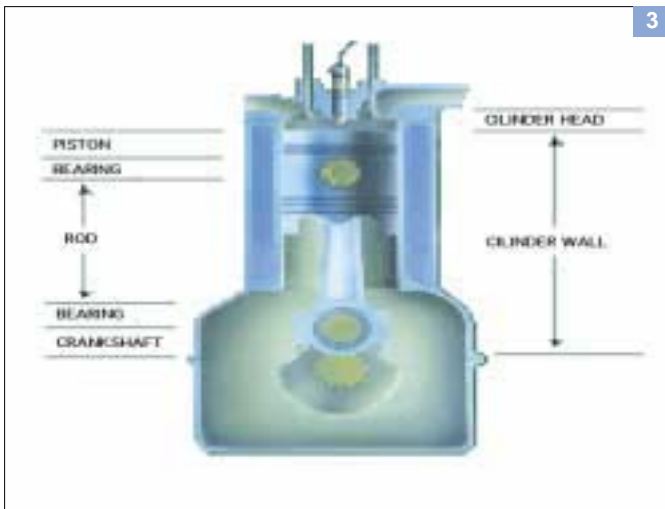
Il focus per la produzione è garantire la qualità migliorando sempre di più prestazione e gestione dei processi produttivi, riducendone la dispersione (sigma).

Il focus per i progettisti è individuare la soluzione a maggior valore per il cliente, cercando di allargare al massimo le tolleranze dei parametri di progetto, assicurandosi sempre che le prestazioni del prodotto siano in linea con i requisiti del cliente.

Da qui l'enfasi all'utilizzazione di tecniche in grado di:

- aumentare la conoscenza sistemica,
- massimizzare le tolleranze, riproducendo il comportamento reale dei processi interni o dei fornitori, attraverso la simulazione Montecarlo,
- aiutare a esplorare configurazioni progettuali alternative e a individuare quella più robusta, ovvero quella me-





3

no sensibile ai noise di produzione e di utilizzazione (Robust Design). La possibilità di applicare il Dfss passa attraverso la diffusione del concetto di sigma e di capability in ambito progettuale e l'applicazione delle tecniche statistiche e di simulazione rese semplificate dall'utilizzo di software "smile" quali Minitab e Crystal Ball.

**ANALISI DELLE TOLLERANZE**

Il problema preso in esame è quello di definire le specifiche per i componenti del pistone e del cilindro che soddisfino i requisiti assegnati sul gap di assemblaggio (figura 3). La differenza nella lunghezza tra le due parti, pistone e cilindro, detta appunto gap di assemblaggio, deve essere compresa tra 0,07617 mm e 0,5078 mm. Questo potrebbe sembrare un semplice problema, ma fintanto che i processi di lavorazione non sono esatti e il controllo qualità ha un effetto diretto sui prezzi, a ciascun componente è associato un errore detto tolleranza. Questi errori si sommano e creano una tolleranza cu-

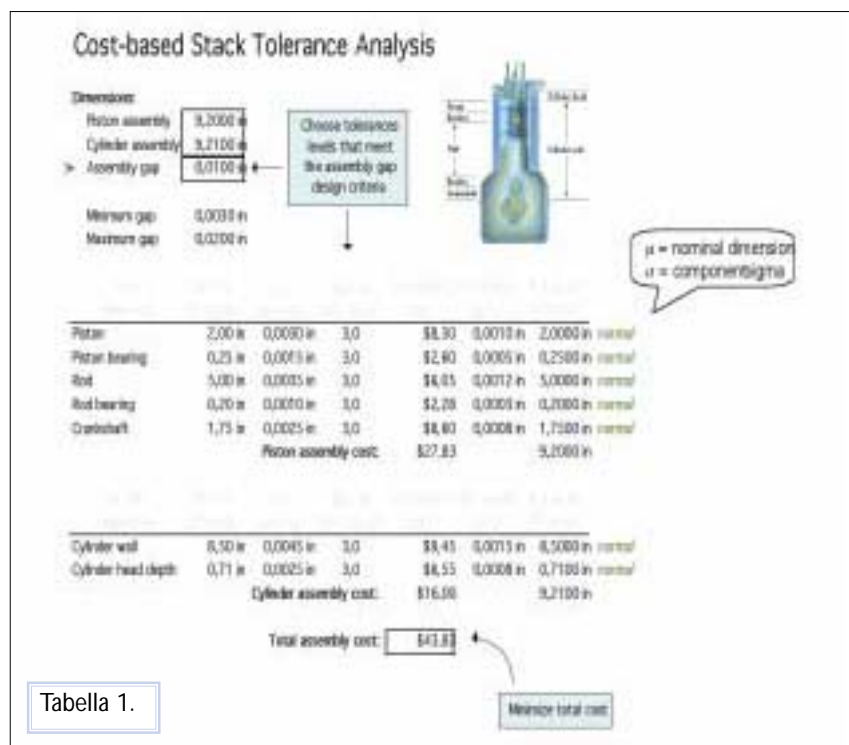


Tabella 1.

mulata. Questo tipo di problemi è detto optimal stack tolerance analysis, che potremmo tradurre come "analisi della tolleranza ottima cumulata".

Ma un pistone è composto da 5 componenti e un cilindro è composto da 2 componenti, e ciascun componente ha determinate dimensioni nominali. Queste componenti vengono poi raccolte e predisposte per l'assemblaggio.

Quando un lotto di componenti viene lavorato e misurato, le reali dimensioni dei componenti formano una distribuzione intorno alla dimensione nominale o desiderata degli stessi.

Una soluzione semplicistica consiste nel prendere la tolleranza totale consentita e dividerla per il numero di componenti. Ma a causa della com-

plexità delle componenti individuali e dei diversi processi di fabbricazione, ciascun componente ha una differente funzione di costo associata alla specifica di qualità.

Da un punto di vista ingegneristico questo problema può essere affrontato in due modi:

- con la worst case analysis deterministica, che individua le condizioni di massimo e minimo gap, mettendosi ai limiti delle tolleranze assegnate ai componenti e verifica che queste soddisfino i requisiti posti sul gap;
- con la simulazione Montecarlo, in cui si riproduce la situazione reale tipica dei lotti di fornitura dei compo-

4

Simulation	Minimize Objective: Total assembly cost: Final Value	Requirement: Assembly gap(1): Range: Min Range: Max	Requirement: Assembly gap(2): Range: Min Range: Max	Piston	Piston bearing	Rod
1	438300	1,5202E-04 - 3,7458E-04	2,1077E-02 - 3,7458E-02	3,000000	3,000000	3,000000
3	401300	3,3683E-03	1,6403E-02	5,000000	5,000000	5,000000
11	356745	3,4186E-03	1,7283E-02	4,074113	4,625885	4,440000
Best of 11	307967	3,2400E-03	1,6427E-02	3,348894	4,922106	4,266000

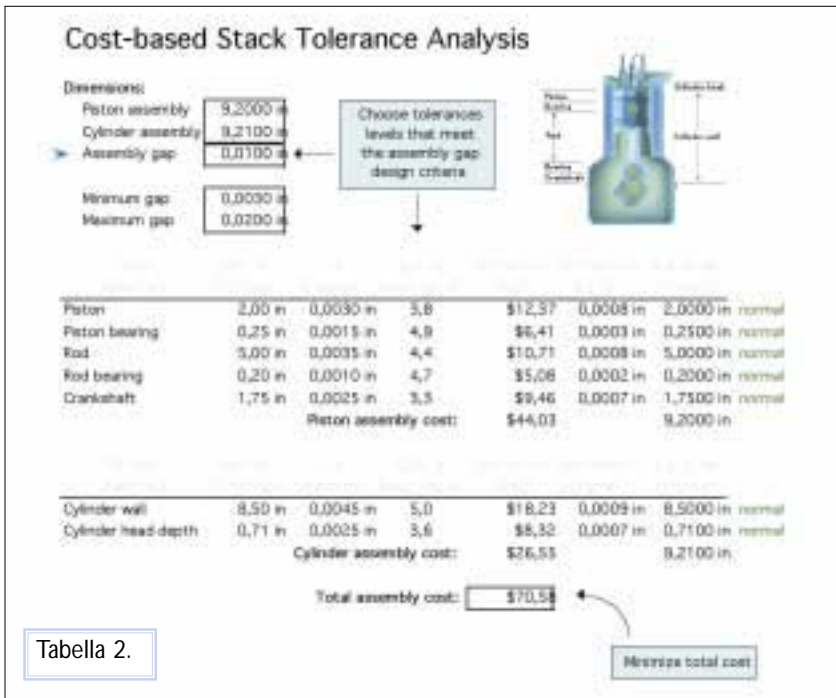


Tabella 2.

dratica (il costo è proporzionale rispetto al quadrato del livello di qualità richiesto). La colonna in verde esprime i parametri che si suppongono variabili.

La simulazione assumerà come legge di variazione dei parametri una distribuzione normale avente come media la dimensione nominale e come deviazione standard il sigma definito su ogni componente.

Questo allora diviene un problema di bilanciamento tra :

- tolleranza cumulativa,
- costi associati.

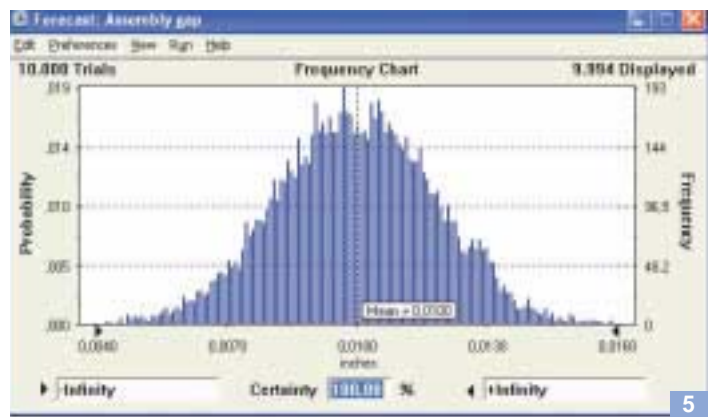
I problemi che vengono affrontati sono due:

1. trovare la soluzione tecnica in linea con i requisiti assegnati al gap, che minimizza il costo,
2. minimizzare l'ampiezza della variabilità del gap di assemblaggio, dato un vincolo di costo.

enti, nell'ipotesi che siano rispettati gli obiettivi di qualità posti sulle caratteristiche, rappresentate dal valore medio (valore nominale) e deviazione standard (coerente con l'obiettivo di capability assegnato alla caratteristica).

Si dimostra facilmente che le tolleranze individuate con il secondo metodo sono più ampie a pari condizioni di quelle individuate con il primo.

Di seguito mostriamo, usando il Software Crisall Ball, come sia pos-



5

Statistics

Statistic	Value
Trials	10,000
Mean	0.0100
Median	0.0100
Mode	-
Standard Deviation	0.0022
Variance	0.0000
Skewness	0.00
Kurtosis	2.97
Coeff. of Variability	0.21
Range Minimum	0.0020
Range Maximum	0.0180
Range Width	0.0162
Mean Std. Error	0.0000

Tabella 3.

Il problema 1 si traduce nel seguente:

$$\begin{cases} \min ( total\ assembly\ cost ) \\ req1 ( assembly\ gap \geq 0.003 ) \\ req2 ( assembly\ gap \leq 0.020 ) \end{cases}$$

Lancio della simulazione e ricerca della soluzione ottimale - RISULTATI [simulazione eseguita per un tempo massimo di 15 min., n° trials=10.000]

Dalla figura 4 si evince che la prima scelta iniziale non è fattibile e viene selezionata invece la 22 con i seguenti obiettivi di qualità assegnati alle tolleranze (sigma level): il pistone per esempio a fronte di un livello di sigma iniziale pari a tre (il sigma deve essere tale che nel range di tolleranza (+/-) devono essere contenuti 3 sigma), viene portato a un livello di

sibile attuare facilmente la simulazione Montecarlo e risolvere problemi di soluzione ottimale in presenza di vincoli di costi, per esempio.

Viene presentata in tabella 1 una situazione iniziale in cui, definiti i sigma per ogni quota, si stabiliscono i limiti di tolleranza, per ciascun para-

metro a +/- 3 sigma. Nella colonna colorata in giallo sono riportati i sigma level richiesti per ogni componente, ovvero il numero di sigma compresi tra il valore nominale e la tolleranza (3 in questo caso).

Nella colonna successiva si riporta il costo espresso come funzione qua-

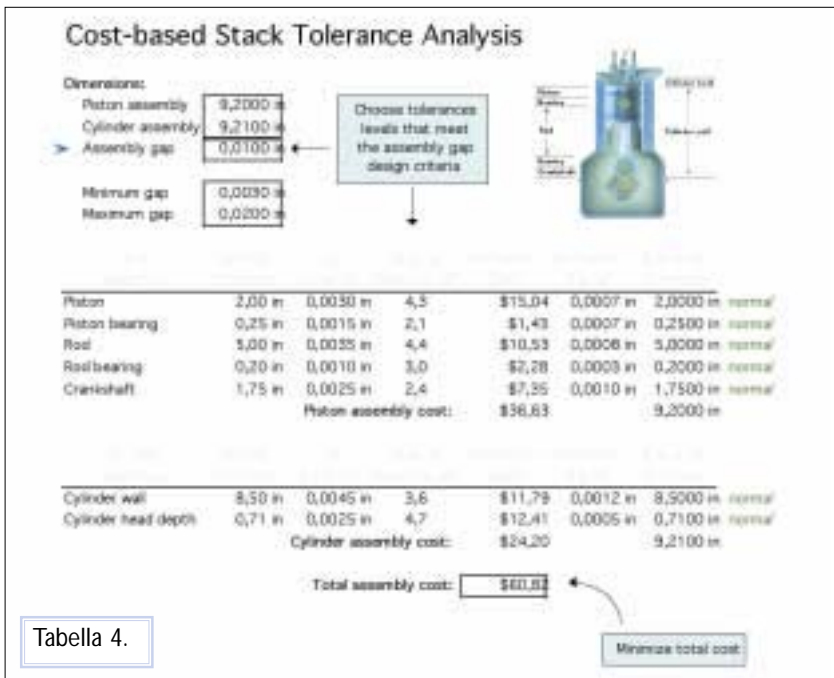


Tabella 4.

sigma pari a 3,8 (ovvero nel range di tolleranza in +/-, devono essere contenuti 3,8 sigma), con conseguente ricalcolo del valore target di sigma che dovrà essere realizzato e dimostrato dal fornitore dei componenti.

La prestazione attesa per questa soluzione ipotizzando che la prestazione dei fornitori dei vari componenti sia espressa da una Normale avente come media i valori nominali e come deviazione standard i sigma ricalcolati nella tabella 2, è presentata nel grafico di figura 5, i cui parametri statistici sono sintetizzati nella tabella 3, in cui la media è 0,010, allineata al valore nominale del Gap, e come ampiezza massima 0,0133, ampiamente minore dell'ampiezza di specifica per il

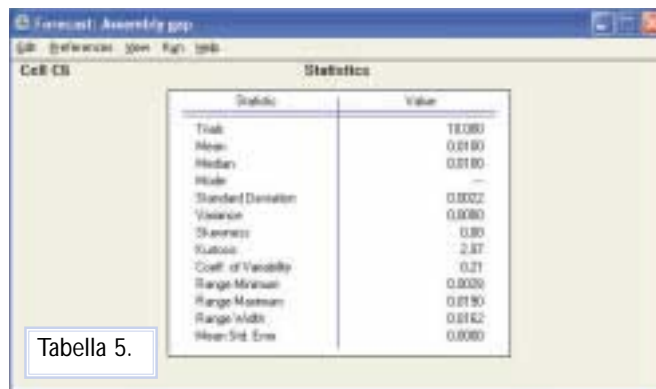
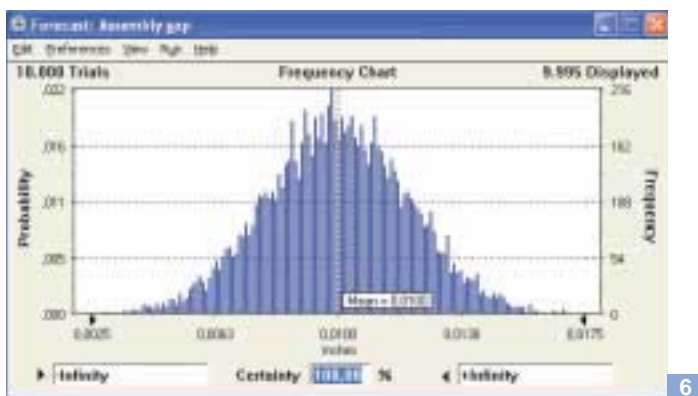


Tabella 5.

gap pari a 0,017. Il problema 2 richiede di minimizzare l'ampiezza della variabilità del gap di assemblaggio, dato un vincolo di costo. Supponiamo che il target di costo sia 65

$$\begin{cases} \min (\text{assembly gap}) \\ \text{req} (\text{total assembly cost} \leq 65) \end{cases}$$



6

Lanciando la simulazione e l'algoritmo di ottimizzazione si arriva alla soluzione di tabella 4.

La prestazione attesa per il gap, considerando i nuovi livelli di sigma per il componente, individuati dalla simulazione e espressa nel grafico di figura 6, i cui indici sono riportati nella tabella 5. La deviazione standard di questa ultima soluzione è più elevata di quella del caso precedente, ma ancora compatibile con i requisiti di qualità richiesti al gap. La soluzione è in linea con il costo massimo di 65.

### IMPLEMENTAZIONE DEL Dfss

A seconda dello stato iniziale l'applicazione del Dfss avverrà in modo graduale, focalizzandosi inizialmente sui seguenti punti relativi a

- processo di Sviluppo dei Nuovi Prodotti:
    - sistema di design review strutturato
    - costruzione metriche
    - spingere la integrazione con il project management e una gestione cooperativa e creativa del fornitore
  - prodotto in via di sviluppo:
    - analysis customer needs
    - utilizzo strutturato dati di prodotti "smile"
    - system engineering
    - deployment funzionale con albero delle ctq
    - criteri di classificazione delle caratteristiche di progetto
    - definizione cp target
    - robust design
    - statistical tolerancing
  - piano qualità:
    - criteri di definizione piano
    - analisi preventive
    - capability assessment
    - gage r&r analysis
    - reliability test
    - supplier quality plan.
- Il Dfss, anche se utilizza approcci innovativi, si inserisce, quindi nell'esistenza di un flusso di attività di Sviluppo del Prodotto, in modo evolutivo.

L. Degan, consulente senior  
 Gruppo Galgano.