

TOLLERANZE.

Un aiuto a portata di click

Questo articolo riprende, anche nel titolo, un tema di fondamentale valore e interesse per il settore industriale e manifatturiero, già trattato nel precedente articolo "Attenzione alle tolleranze!", pubblicato su Macchine Utensili di maggio 2025. L'intento è far sentire il progettista meccanico e l'ingegnere manifatturiero o il tecnologo meno soli davanti a questo argomento particolarmente complesso, che troppi professionisti affrontano senza un'adeguata preparazione.

A loro discolpa va detto che non è semplice trovare corsi adeguati né nel sistema della formazione scolastica né presso enti di formazione professionale.

Alla base delle difficoltà nel trattare l'intrinseca aleatorietà di un mondo che vorremmo perfetto, come quello delle lavorazioni meccaniche, c'è la normale avversione del cervello umano verso ciò che è ignoto e difficilmente governabile. In realtà tutta l'ingegneria sfida l'incertezza attraverso metodi consolidati e normati di cui le tolleranze sono la parte che riguarda la gestione dell'aleatorietà nella definizione dei componenti meccanici. Non si tratta quindi di un vezzo, ma di qualcosa di irrinunciabile per comunicare tra professionisti e aziende allo scopo di produrre oggetti secondo le funzionalità e le performance progettate e per far valere le proprie ragioni nel caso di contenziosi.

Quello delle **tolleranze** è un **tema complesso**, reso ancora più ostico dalla normale avversione del cervello umano verso ciò che è ignoto e difficilmente governabile. Ma il digitale può aiutarci

■ **Massimiliano Annoni**

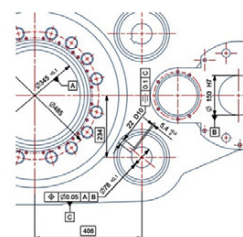
Software a supporto del progettista e del tecnologo

Enventive è un'azienda statunitense fondata nel 2002 che produce software per l'analisi delle tolleranze poste a disegno con lo scopo di verificare non soltanto l'assemblabilità delle parti, ma anche la performance dei sistemi meccanici prodotti in termini di forze, momenti, giochi, cinematica e deflessione. Rispetto a altri software, Enventive punta proprio sulla verifica del comportamento dell'assemblato in fun-



TOLERANCE ANALYSIS ARTICLE RES

What is Tolerance Analysis? Why is It Needed? How to Do It?



An introduction to the what, why, and how of tolerance analysis for manufactured products based on mechanisms. Topics covered include:

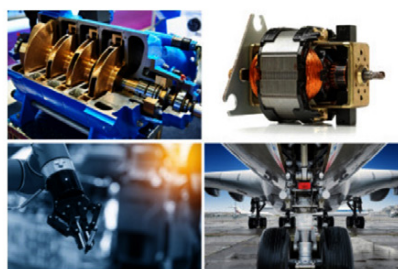
- What is tolerance analysis and why is it needed?
- What products need tolerance analysis?
- How to do tolerance analysis?
- What is functional tolerance analysis?
- What are the benefits?



zione delle tolleranze imposte. Questo approccio permette ai designer di valutare il trade off tra progettare con tolleranze più strette in modo da avere funzionalità migliori a un costo più elevato, rispetto a usare tolleranze più lasche a un minor costo, ma con funzionalità soddisfacenti. Non solo si valuta la variazione dimensionale dei componenti all'interno delle loro tolleranze e si verifica che tali componenti siano assemblabili, ma si traggono altre importanti informazioni come la rigidità, l'espansione termica, la con-

SOURCES

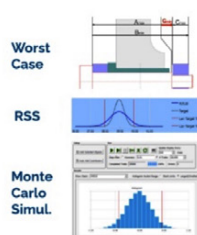
When to Use 1D, 2D, and 3D Tolerance Analysis?



Learn about 1D, 2D, and 3D stack-up modeling and analysis options, their differences, when to use them, and their tradeoffs for tolerance analysis. Here's the contents:

- What is 1D stack-up tolerance analysis?
- What is 2D stack-up tolerance analysis?
- What is 3D stack-up tolerance analysis?

What are Worst Case, RSS, and Monte Carlo Stackup Calculation Methods?



Which method(s) to use depends on factors such as how critical a stackup is, how many components, or the complexity of geometries. This article overviews:

- Worst-case stack-up calculations
- Statistical stack-up calculations
- RSS stack-up calculations
- Monte Carlo simulation stack-up calculations
- Additional stack-up calculation methods



Figura 1: Risorse disponibili sul sito di Enventive
(<https://enventive.com/tolerance-analysis-resources/>)

ducibilità elettrica. Il software valuta statisticamente i KPI (key performance indicator) e permette un'analisi what-if che aiuta il progettista a scegliere correttamente le tolleranze in base alla funzione dell'assemblato.

Il prodotto progettato secondo questo approccio risulta robusto, cioè meno sensibile alla variabilità, essendo tale variabilità studiata in termini di effetto sulla funzione del sistema.

Il sito di Enventive offre la possibilità di documentarsi sui concetti tipici dell'analisi delle tol-

leranze che sono utilizzati dal software.

Per esempio, si può trovare un'utile trattazione (Figura 1) dei metodi di analisi delle tolleranze. Lo scopo di questi metodi è valutare come le tolleranze dei vari componenti si sommano tra loro per verificare la funzionalità dell'assemblato. L'analisi può essere mono- bi- o tri-dimensionale, con complessità ovviamente crescente. I tre metodi che si possono utilizzare sono il "worst-case", cioè il metodo che considera il caso peggiore nel sommare le tolleranze in mo-

Drafter's way

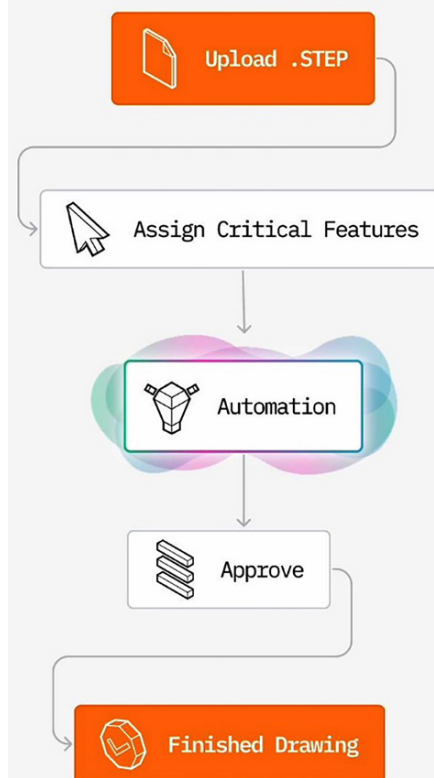


Figura 2: Flusso di lavoro di Drafter
(<https://www.drafterinc.com>)

do da automaticamente garantire che il sistema funzioni in tutti gli altri casi, il metodo RSS ("Root Sum Squared", radice della somma dei quadrati delle deviazioni standard), che risolve il fatto che il metodo worst-case sia troppo conservativo (quindi costoso) considerando che le dimensioni si distribuiscono secondo una gaussiana nel loro range di ammissibilità, avendo le loro variazioni la possibilità di sommarsi ma anche di sottrarsi tra loro. Il terzo metodo è il fa-

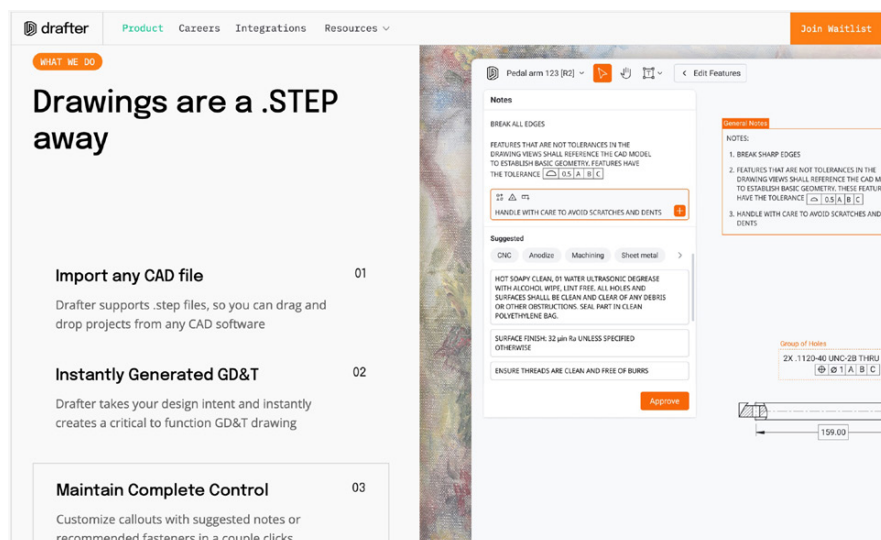


Figura 3: Flusso di lavoro di Drafter
(<https://www.drafterinc.com>)



moso metodo Monte Carlo, che è adatto per assemblati molto complessi e che analizza la somma delle tolleranze estraendo casualmente il valore della dimensione di ogni dimensione secondo la propria distribuzione di probabilità. Un grande numero di combinazioni, tipicamente nell'ordine di 10.000, viene estratto in modo da calcolare il comportamento probabile del sistema.

Il software di Eventive può usare ognuno di questi metodi a seconda delle esigenze del progettista e può calcolare gli indici di performance desiderati come la probabilità di failure, quale componente contribuisce maggiormente al failure e gli indici di capacità Cp e Cpk.

Un altro software interessante per le tolleranze e la loro applicazione nei disegni meccanici è Drafter (vedi QR CODE al termine dell'articolo). Anche in questo caso si tratta di un software sviluppato negli Stati Uniti.

Figura 4: Tolleranza di runout spiegata nel sito di Drafter
(<https://www.drafterinc.com/post/runout-ensuring-rotational-precision>)

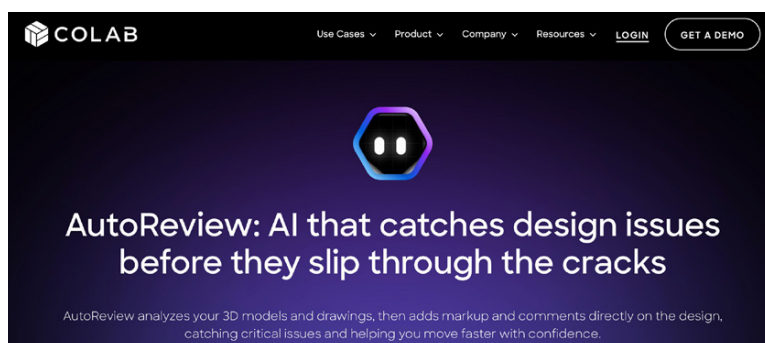
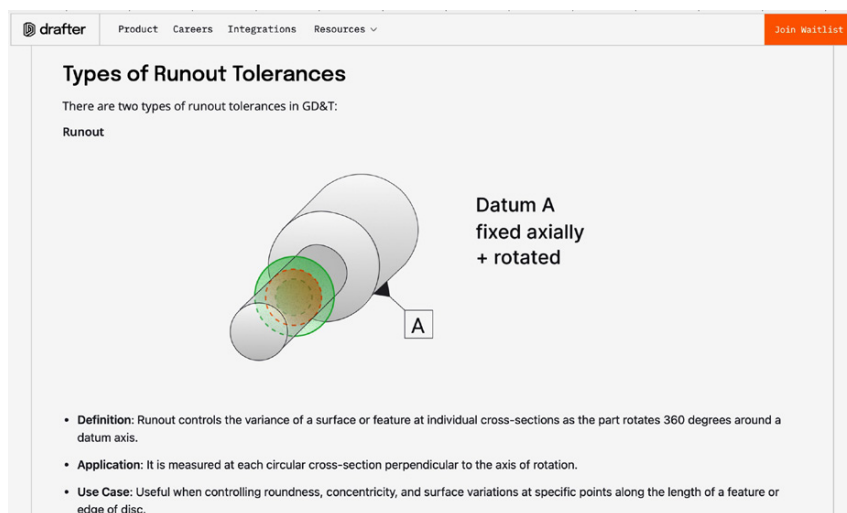
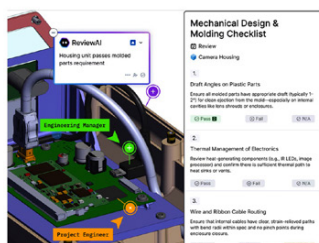
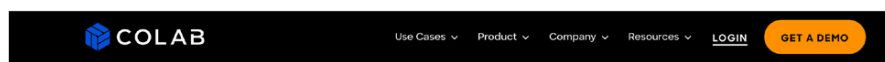


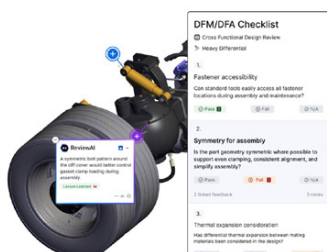
Figura 5: Home page di CoLab
(<https://www.colabsoftware.com/product/autoreview>)



Surface past DFM feedback with AI

CoLab brings consistency to every DFM review with structured checklists and workflows. Then AutoReview makes those reviews smarter over time. It scans new designs against past feedback to flag common issues like draft angle problems or tight tolerances. So instead of starting from scratch, every DFM review starts with your team's collective knowledge applied.

Figura 6: Design For Manufacturing nel software AutoReview



Iterate faster with AI-powered design checks

Engineers spend too much time reviewing low-level design issues. CoLab's AutoReview generates comments based on your team's past feedback and design checklists – so common problems get flagged automatically. Each comment is pinned to the model, with clear context on what to fix and why it matters. So, engineers can focus on impactful decisions, not basic checks.

Figura 7: Revisioni dei progetti tramite intelligenza artificiale nel software AutoReview

Il software promette di applicare le tolleranze ai disegni garantendo il rispetto delle normative e permettendo quindi la trasferibilità delle informazioni in esse contenute tra azienda e azienda, cosa che sappiamo essere non banale e spesso disattesa nell'industria. Grazie alla recente integrazione con SolidWorks, il modello solido e i disegni tollerati sono sempre collegati e aggiornati.

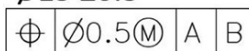
Una volta caricato il modello solido del pezzo, il progettista si deve preoccupare di indicare le feature rilevanti per la funzionalità dello stesso e i margini consentiti per la variazione delle loro dimensioni e il software si occupa di mettere a disegno le tolleranze secondo le norme (Figura 2 e 3).

La cosa interessante è che il progettista può indicare il processo di lavorazione tramite cui sono realizzate le feature. Sebbene chi scrive non abbia ancora testato il software, questa caratteristica fa ben sperare nella possibilità di tenere conto della capacità del processo selezionato, cosa che potrebbe consigliare il progettista



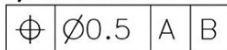
GD&T Fun for the Week! Because I am just coming back from some family time and what better way to return than GD&T fun! ... altro

$\varnothing 15 \pm 0.3$



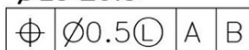
Actual Feature Size	Feature Condition	Available Position Tolerance
14.7	MMC	0.5
14.8		0.6
14.9		0.7
15.0		0.8
15.1		0.9
15.2		1.0
15.3	LMC	1.1

$\varnothing 15 \pm 0.3$



Actual Feature Size	Feature Condition	Available Position Tolerance
14.7	MMC	0.5
14.8		0.5
14.9		0.5
15.0		0.5
15.1		0.5
15.2		0.5
15.3	LMC	0.5

$\varnothing 15 \pm 0.3$



Actual Feature Size	Feature Condition	Available Position Tolerance
14.7	MMC	1.1
14.8		1.0
14.9		0.9
15.0		0.8
15.1		0.7
15.2		0.6
15.3	LMC	0.5

400

38 commenti · 30 diffusioni post



Figura 8: GD&T Fun for the Week di Andy Thompson (<https://www.linkedin.com/in/athompson-pe/>)



R. Dean Odell  • 1°

GD&T CMM Training & Consulting, YouTuber, College Instruc...

[Visita il mio sito web](#)

2m • Modificato • 

Here is a written explanation of MMC applied to internal thread position. This is the first time I'm releasing an article before a video on a subject. I've recorded the video three times and I'm still not ... altro



Position at Maximum Material Condition (MMC) Applied to Internal Threads

R. Dean Odell

 Tu e 134 altre persone

17 commenti • 4 diffusioni post



Figura 9: Un post di R. Dean Odell su LinkedIn
(<https://www.linkedin.com/in/r-dean-odell-4164b2234/>)

nelle scelte di lavorazione da effettuare.

Il sito di Drafter riporta un'ulteriore spiegazione dell'analisi delle tolleranze già menzionata (worst-case, RSS e Monte Carlo), fornendo un'efficace rappresentazione grafica (QR CODE 2 nel al termine dell'articolo). Inoltre, il sito descrive i vari tipi di tolleranza in modo chiaro e guidato (Figura 4).

Un altro software che ha attratto l'attenzione di chi scrive è prodotto dall'azienda canadese Co-Lab e si chiama AutoReview (Figure 5, 6 e 7). Il software analizza i modelli 3D dei pezzi da produrre e permette ai team di lavoro di indica-

re commenti e note sulle singole feature in modo da cogliere gli aspetti critici e risolverli.

Ancora più interessante è il fatto che il software è in grado di analizzare nuovi modelli e di riconoscere feature già trattate in precedenza in modo da ereditare le scelte fatte precedentemente. Questo sembra un modo molto efficace di catturare l'esperienza aziendale, spesso detenuta da pochi operatori esperti, e di sintetizzarla per farla diventare un patrimonio aziendale, pronto per essere esteso a nuove generazioni di progettisti e a neoassunti.

Non sembra un caso il fatto che le case di sof-



Tutta l'ingegneria sfida l'incertezza attraverso metodi consolidati e normati di cui le tolleranze sono la parte che riguarda la gestione dell'aleatorietà nella definizione dei componenti meccanici

ware citate risiedono in Nord America, dove il problema della difficoltà di reperimento di forza lavoro specializzata nel manufacturing è particolarmente evidente. L'autore non poteva terminare questo articolo sugli strumenti software che possono aiutare le aziende nella scelta e nell'applicazione delle tolleranze senza citare alcuni professionisti che animano le discussioni su LinkedIn su questi argomenti e che producono materiale utile per la formazione dei tecnici. Se ne citano tre, senza la pretesa di essere esaurienti, dato che il panorama offerto da LinkedIn e da altri canali è molto vasto.

Il primo è Andy Thompson (Figura 8), Manufacturing Engineer presso Northrop Grumman, azienda statunitense produttrice di apparecchiature per il settore spaziale e della difesa, ed esperto di GD&T (Geometric Dimensioning and Tolerancing), tanto da pubblicare post per la serie "GD&T Fun for the Week". I temi dei post di Thompson sono di carattere squisita-



mente tecnico e riguardano sempre il significato e la giusta applicazione delle tolleranze secondo le normative e soprattutto secondo l'intento del progettista.

Il secondo professionista che merita una citazione in questo articolo sulla conoscenza e applicazione delle tolleranze è R. Dean Odell (Figura 9), Insegnante di GD&T, CAD, CMM, Metallurgia e Robotica presso l'Hudson Valley Community College di Troy, nello stato di New York, Stati Uniti. Odell pubblica su LinkedIn e YouTube dei filmati riguardanti la formazione in tema GD&T. Attraverso la consultazione di questi filmati si può acquisire una buona conoscenza dei temi del settore. Ovviamente ciò non sostituisce corsi professionali e certificati sul tema, ma permette agli appassionati per lavoro e per interesse personale di comprendere la normativa e le tecniche di gestione delle tolleranze in ambito industriale. L'ultimo professionista che è utile citare in questo articolo è Charles A. Gillis (Figura 10) di Dynamic Design Consulting, LLC, società di servizi del Massachusetts (USA). Gillis pubblica ogni settimana su LinkedIn un test per permettere al lettore di valutare la propria capacità di interpretare disegni tecnici. Chi voglia cimentarsi o raccogliere esempi per creare test di verifica su una delle capacità tipiche per un operatore del settore quale la lettura di disegni tecnici troverà qui diversi spunti. ■



Figura 10: Un post di Charles A. Gillis su LinkedIn (<https://www.linkedin.com/in/charlesagillisper/>)

Consigliato da **Massimiliano Annoni**

Charles A. Gillis, P.E. · 2°
Better Designs. Better Drawings. Better Parts.™ | TheBa...
1 giorno ·

+ Segui

Friday Viz Quiz!

Part of our ongoing series on Blueprint Reading Basic Tips...
Visualizing the 3D part from orthographic views: Which view shows the part in the orthographic projection direction indicated by the "Top" view arrow?

#mechanicalengineering #manufacturing #training

For more practice visualizing parts: <https://lnkd.in/ezhkPvjn>

35 51 commenti

Per saperne di più



Il sito di Drafterinc
<https://www.drafterinc.com>



Rappresentazione grafica dell'analisi delle tolleranze
<https://www.drafterinc.com/post/why-your-tolerance-stack-up-keeps-failing--and-a-free-guide-to-fix-it>