

Acquisire misure 3D affidabili L'approccio intelligente alla metrologia 3D



Acquisire misure 3D affidabili | L'approccio intelligente alla metrologia 3D

Comprendere i concetti di base dell'MSA

Definizione del sistema di misura

Indici di prestazione del sistema di misura

- Incertezza sistematica
- Incertezza casuale

Capacità e prestazioni del sistema di misura

Incertezza estesa

Scelta della metodologia appropriata per valutare l'incertezza di sistemi di misura 3D complessi

Esecuzione di studi MSA utilizzando la metodologia sperimentale e software di metrologia 3D intelligenti

Studi di ripetibilità

Studi R&R

Raccomandazioni per i metrologi

Conclusione

Acquisire misure 3D affidabili

L'approccio intelligente alla metrologia 3D

Le aziende manifatturiere monitorano quotidianamente la qualità dei prodotti acquisendo dati di misura dimensionali. Questi dati vengono utilizzati per studiare la stabilità di un processo di produzione, determinare la capacità del processo di garantire la qualità e la funzionalità dei particolari e fissare indici per quantificare la capacità del processo di soddisfare i requisiti dimensionali. Tutto questo è volto al continuo miglioramento.

Quando si introduce un nuovo processo di produzione, potrebbero essere percepiti problemi nella stabilità del processo senza tuttavia essere in grado di individuarne la causa e correggerla. Questi problemi, in taluni casi, non sono legati al processo di fabbricazione ma piuttosto al sistema di misura stesso.

I metrologi sanno che una misura non è mai esatta. Una moltitudine di fonti di variazione influisce sulle prestazioni del sistema di misura, causando incertezza nei risultati. Eseguendo una MSA (Measurement System Analysis, o analisi del sistema di misura) attraverso studi di ripetibilità e Gauge R&R, è possibile stimare le variazioni del sistema di misura. Questi studi consentono ai metrologi di valutare la validità del sistema di misura e di ridurre al minimo i fattori che contribuiscono alla variazione complessiva del processo misurato, effettivamente derivanti dal sistema di misura.

Uno studio di MSA può essere piuttosto complesso da impostare ed eseguire, a maggior ragione nel contesto della metrologia 3D, e richiede una conoscenza approfondita delle statistiche per ottenere dati utilizzabili.

Questo white paper:

- Spiega i concetti chiave dell'MSA e la loro applicazione pratica con i dispositivi di misura 3D.
- Mostra un processo completamente digitale dalla configurazione all'esecuzione di studi di ripetibilità e Gauge R&R per ottenere risultati direttamente in Excel da analizzare e condividere e.
- Fornisce ai metrologi riscontri per analizzare i risultati dello studio.



Acquisire misure 3D affidabili | L'approccio intelligente alla metrologia 3D

Comprendere i concetti di base dell'MSA

Definizione del sistema di misura

Indici di prestazione del sistema di misura

- Incertezza sistematica

- Incertezza casuale

Capacità e prestazioni del sistema di misura

Incertezza estesa

Scelta della metodologia appropriata per valutare l'incertezza di sistemi di misura 3D complessi

Esecuzione di studi MSA utilizzando la metodologia sperimentale e software di metrologia 3D intelligenti

Studi di ripetibilità

Studi R&R

Raccomandazioni per i metrologi

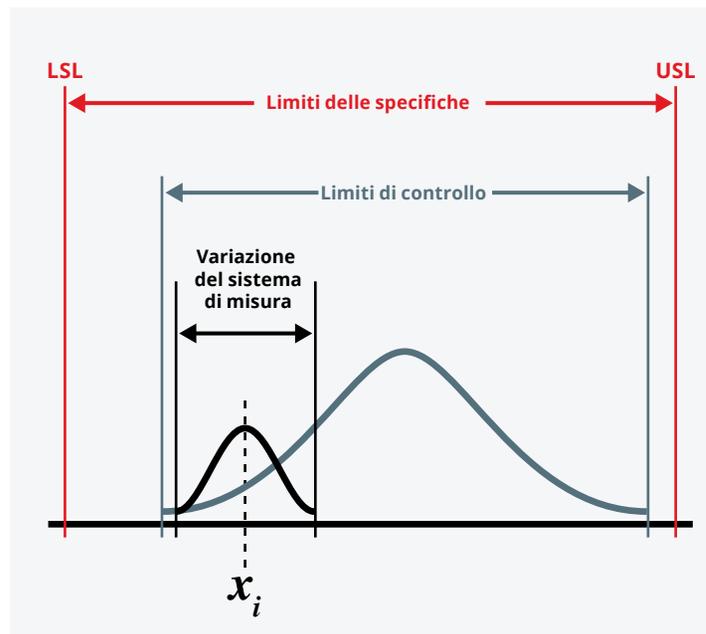
Conclusione

Comprendere i concetti di base dell'MSA

Esaminiamo il ruolo cruciale dell'MSA in un processo di ispezione di particolari nel suo complesso. Durante questo processo, i metrologi misurano caratteristiche chiave, come dimensioni, posizioni, profili e orientamenti, per determinare le loro deviazioni rispetto alle specifiche nominali. Viene valutato il rispetto delle specifiche tecniche, come indicato nel piano di controllo, attraverso tolleranze e requisiti. Ogni misura è caratterizzata da due componenti principali: una che rappresenta la deviazione effettiva (cioè il valore reale) e un'altra che riflette la variabilità del sistema di misura. Per garantire che il loro sistema di misura sia affidabile per questo compito, i metrologi devono individuare l'ampiezza della variazione del sistema di misura e assicurarsi che costituisca al massimo il 10% - 30% dei limiti delle specifiche. La variabilità, o prestazione del sistema di misura, deve essere proporzionalmente abbastanza piccola da non contribuire in modo significativo alla variazione totale del processo misurato, considerando sia la variazione del processo di fabbricazione sia il sistema di misura, e non dovrà portare il processo fuori dai limiti delle specifiche (*LSL*, *USL*) o tolleranze.

Figura 1
Prestazioni di un sistema di misura relative alla variazione totale del processo

La Figura 1 mostra questa interazione, in cui le prestazioni di un sistema di misura e i valori misurati (x_i) danno un contributo relativamente discreto e prevedibile alla variazione del processo misurato. Questa variazione è ottenuta da risultati misurati su particolari provenienti dalla linea di produzione utilizzando tecniche SPC. Di solito, le soglie di controllo vengono calcolate utilizzando questi dati. In altre parole, le prestazioni del sistema di misura influiscono sui risultati della variazione totale del processo misurato e l'analisi del sistema di misura (MSA) aiuta a identificare queste prestazioni.



Acquisire misure 3D affidabili | L'approccio intelligente alla metrologia 3D

Comprendere i concetti di base dell'MSA

Definizione del sistema di misura

Indici di prestazione del sistema di misura

- Incertezza sistematica
- Incertezza casuale

Capacità e prestazioni del sistema di misura

Incetezza estesa

Scelta della metodologia appropriata per valutare l'incertezza di sistemi di misura 3D complessi

Esecuzione di studi MSA utilizzando la metodologia sperimentale e software di metrologia 3D intelligenti

Studi di ripetibilità

Studi R&R

Raccomandazioni per i metrologi

Conclusione

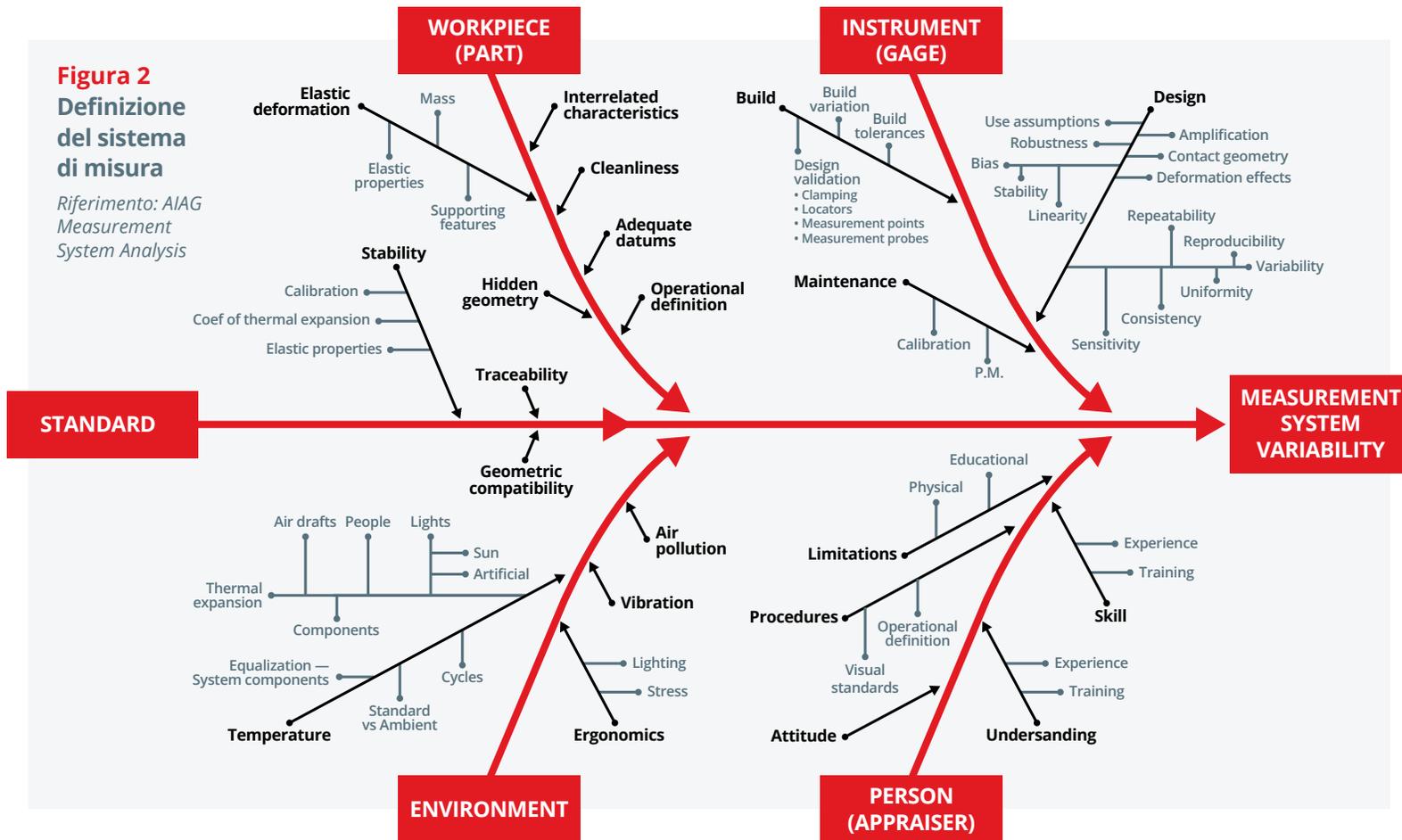
Definizione del sistema di misura

Prima di determinare le prestazioni del sistema di misura, è fondamentale individuare tutte le potenziali fonti di variazione che potrebbero influenzare il processo di misura di una caratteristica chiave. L'**Automotive Industry Action Group (AIAG)** afferma che un sistema di misura è composto dalla "raccolta di strumenti o calibri, standard, operazioni, metodi, dispositivi, software, personale,

ambiente e assunti utilizzati per quantificare un'unità di misura o fissare la valutazione rispetto alla caratteristica dell'entità da misurare; il processo completo utilizzato per ottenere le misure. L'MSA deve considerare tutti questi fattori, così come dettagliato nella Figura 2, dal momento che influenzano l'incertezza complessiva del sistema di misura.

Figura 2
Definizione del sistema di misura

Riferimento: AIAG
Measurement System Analysis



Acquisire misure 3D affidabili | L'approccio intelligente alla metrologia 3D

Comprendere i concetti di base dell'MSA

Definizione del sistema di misura

Indici di prestazione del sistema di misura

- Incertezza sistematica
- Incertezza casuale

Capacità e prestazioni del sistema di misura

Incetezza estesa

Scelta della metodologia appropriata per valutare l'incertezza di sistemi di misura 3D complessi

Esecuzione di studi MSA utilizzando la metodologia sperimentale e software di metrologia 3D intelligenti

Studi di ripetibilità

Studi R&R

Raccomandazioni per i metrologi

Conclusione

Indici di prestazione del sistema di misura

Le prestazioni di un sistema di misura vengono determinate utilizzando indici che classificano e quantificano l'incertezza di misura. Raccogliendo dati sul processo, il metrologo può quantificare la variabilità totale della misura determinando uno specifico comportamento ad essa associato. Di solito, questo comportamento viene descritto come variabile casuale (Random Variable, RV) con una distribuzione gaussiana (normale). La Figura 3 illustra questo concetto, con la curva nera che rappresenta i dati raccolti, ovvero i valori misurati provenienti dal processo di misura e la sua distribuzione definita dai parametri di posizione (media) e larghezza (*deviazione standard*).

I molteplici fattori che influenzano il processo di misura costituiscono numerose fonti di incertezza, che possono essere sistematiche (ad es. valore medio di misura rispetto al valore effettivo) o casuali (ad es. lo spread, o dispersione delle misure). È possibile classificare queste incertezze a seconda dell'effetto che hanno sui parametri di distribuzione individuati. Come illustrato nella Figura 4, l'incertezza sistematica include bias, linearità e stabilità, mentre l'incertezza casuale include ripetibilità e riproducibilità. Ciascuna categoria è chiaramente identificabile dal suo modello di distribuzione unico.

Figura 3
Distribuzione gaussiana

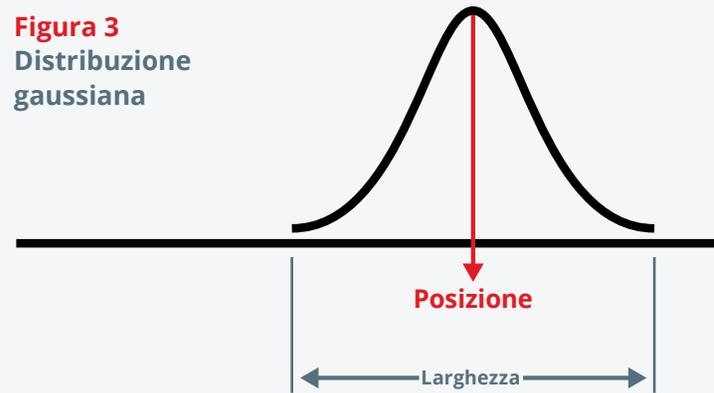
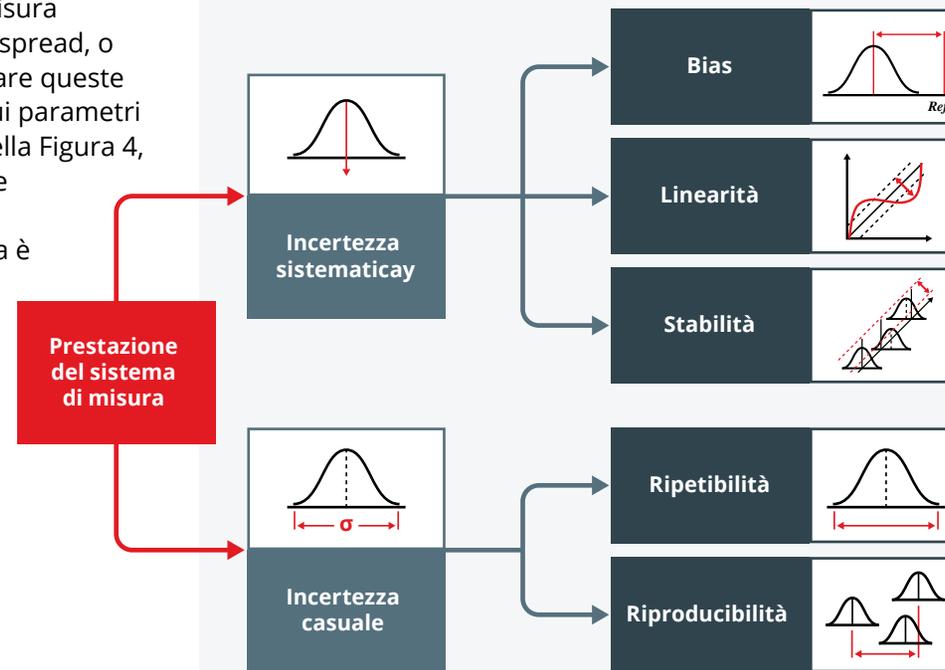


Figura 4
Indici di prestazione



Acquisire misure 3D affidabili | L'approccio intelligente alla metrologia 3D

Comprendere i concetti di base dell'MSA

Definizione del sistema di misura

Indici di prestazione del sistema di misura

- Incertezza sistematica
- Incertezza casuale

Capacità e prestazioni del sistema di misura

Incetza estesa

Scelta della metodologia appropriata per valutare l'incetza di sistemi di misura 3D complessi

Esecuzione di studi MSA utilizzando la metodologia sperimentale e software di metrologia 3D intelligenti

Studi di ripetibilità

Studi R&R

Raccomandazioni per i metrologi

Conclusione

• Incertezza sistematica

L'incertezza sistematica è un'incertezza di misura fortemente associata alla posizione della distribuzione normale rispetto a un riferimento noto.

Matematicamente, influenza il valore medio dei dati misurati. Il termine utilizzato comunemente per definirla è errore di accuratezza. L'errore di accuratezza rappresenta lo scarto tra la media di uno o più risultati misurati e un valore di riferimento. L'errore di accuratezza è generalmente riproducibile, ed è spesso imputabile a problemi che avrebbero potuto essere quantificati e corretti. I tre tipi di incertezza sistematica sono bias, linearità e stabilità, dove il bias è il più comune. Il bias rappresenta lo scarto tra la media di uno o più risultati misurati (\bar{x}) e un valore di riferimento (*Ref*).

Matematicamente, il bias viene dedotto dalla differenza tra il valore reale (*Ref* e valore) la media osservata delle misure sulla stessa caratteristica dello stesso particolare. La *linearità*, d'altra parte, indica quanto i dati raccolti nel campo di misura di uno strumento corrispondono al valore di riferimento. Si tratta della differenza nel bias sull'intero campo di misura previsto dell'apparecchiatura. La *linearità* rappresenta la variazione del bias da un estremo all'altro del campo di misura. L'ultimo tipo di incertezza sistematica è la *stabilità*. Rappresenta l'attitudine di un sistema di misura a mantenere la propria capacità metrologica nel tempo. La stabilità è la variazione del *bias* nel tempo, solitamente il tempo che intercorre tra due calibrazioni del sistema.



• Incertezza casuale

La fonte di incertezza di misura restante è l'incertezza casuale, comunemente chiamata *errore di precisione*. L'errore di precisione rappresenta le fluttuazioni statistiche nei dati misurati dovute alle limitazioni del sistema di misura. L'errore di precisione è la variazione prevista delle misure ripetute nel campo di misura. I due tipi di incertezza casuale sono la ripetibilità e la riproducibilità. La *ripetibilità* è l'ampiezza della dispersione delle misure ottenute in un insieme di condizioni molto controllate. È la capacità del sistema di ottenere la stessa misura, con la stessa apparecchiatura, lo stesso particolare, lo stesso modello e le stesse condizioni ambientali. Una distribuzione stretta indica una misura più ripetibile. La *riproducibilità* rappresenta la variazione tra misure eseguite da operatori diversi, con la stessa apparecchiatura e nelle stesse condizioni. Matematicamente, è la variazione nella media delle letture effettuate da ciascuno degli operatori.

Acquisire misure 3D affidabili | L'approccio intelligente alla metrologia 3D

Comprendere i concetti di base dell'MSA

Definizione del sistema di misura

Indici di prestazione del sistema di misura

- Incertezza sistematica
- Incertezza casuale

Capacità e prestazioni del sistema di misura

Incetezza estesa

Scelta della metodologia appropriata per valutare l'incertezza di sistemi di misura 3D complessi

Esecuzione di studi MSA utilizzando la metodologia sperimentale e software di metrologia 3D intelligenti

Studi di ripetibilità

Studi R&R

Raccomandazioni per i metrologi

Conclusione

Capacità e prestazioni del sistema di misura

La capacità di un sistema di misura ($\sigma_{\text{capacità}}$), nota anche come incertezza standard totale, è la combinazione di tutte le incertezze sistematiche e casuali. Quantifica il dubbio associato a una misura in condizioni note, e viene utilizzata per identificare l'incertezza totale del sistema di misura in un breve periodo. La capacità può essere calcolata utilizzando la formula:

$$\sigma_{\text{capacità}}^2 = \sigma_{\text{Bias (linearità)}}^2 + \sigma_{\text{R\&R}}^2$$

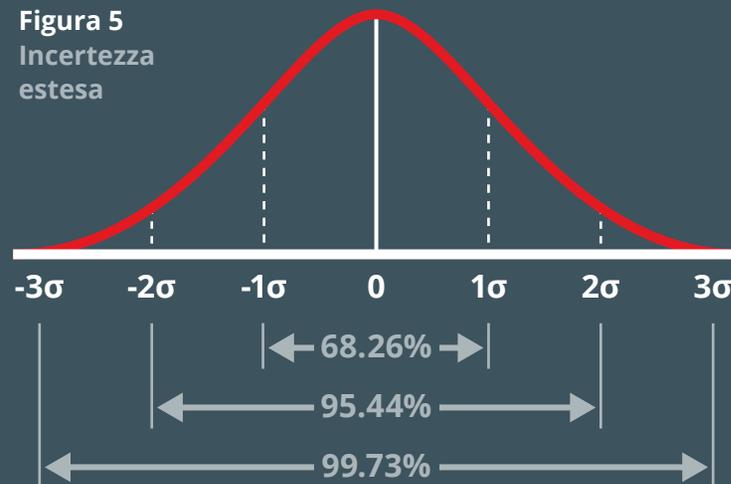
La performance, d'altra parte, considera non solo le fonti di variazioni sistematiche e casuali, ma anche le fonti di deriva che si verificano nel tempo. Viene calcolata utilizzando la formula:

$$\sigma_{\text{prestazione}}^2 = \sigma_{\text{capacità}}^2 + \sigma_{\text{stabilità}}^2$$

Incertezza estesa

La fase finale del processo di analisi del sistema di misura determina l'incertezza estesa (U) associata al sistema di misura. L'incertezza estesa rappresenta il valore totale dell'incertezza di misura che indica, all'interno di uno specifico livello di affidabilità, l'intervallo che si prevede conterrà il risultato della misura reale ottenuto da un sistema. Può essere espressa come: $U = \pm K\sigma_{\text{tot}}$ dove U è l'incertezza estesa, K è il fattore di copertura che rappresenta l'area sotto la curva normale in un livello di affidabilità desiderato (es. $K=3$ per un livello di affidabilità del 99,73%), e σ_{tot} è l'incertezza standard totale del sistema di misura che normalmente corrisponde alle sue prestazioni. I fattori di affidabilità maggiormente utilizzati durante l'analisi del sistema di misura sono riportati nella figura seguente.

Figura 5
Incertezza estesa



Acquisire misure 3D affidabili | L'approccio intelligente alla metrologia 3D

Comprendere i concetti di base dell'MSA

Definizione del sistema di misura

Indici di prestazione del sistema di misura

- Incertezza sistematica
- Incertezza casuale

Capacità e prestazioni del sistema di misura

Incertezza estesa

Scelta della metodologia appropriata per valutare l'incertezza di sistemi di misura 3D complessi

Esecuzione di studi MSA utilizzando la metodologia sperimentale e software di metrologia 3D intelligenti

Studi di ripetibilità

Studi R&R

Raccomandazioni per i metrologi

Conclusione

Scelta della metodologia appropriata per valutare l'incertezza di sistemi di misura 3D complessi

Per valutare l'incertezza di misura di un sistema, è necessario prima definire il suo modello di misura. Questo modello è una rappresentazione matematica della relazione tra la grandezza in uscita del sistema di misura e le grandezze in ingresso note da includere nel processo di misura. Esistono due tipi di misura: diretta e indiretta, e questo influenza il modo in cui il modello viene definito. La misura diretta avviene quando un dispositivo di misura fornisce direttamente la grandezza in uscita. Ad esempio, un diametro esterno (Y) viene misurato utilizzando un micrometro, che fornisce direttamente il valore fisico X . In questo caso, il modello di misura (vale a dire la funzione) viene identificato come $Y=X$. Tuttavia, la maggior parte dei dispositivi 3D esegue misure indirette. Non possono fornire direttamente il valore (Y), ma considerano invece una funzione di più (n) valori fisici (X_i), $Y=f(X_1, \dots, X_n)$. Ad esempio, una CMM portatile utilizza la posizione e l'orientamento di più encoder per ottenere un output specifico. Questi valori fisici, in questo esempio la posizione e l'orientamento degli encoder utilizzati per calcolare la grandezza in uscita, sono tutti influenzati da una specifica incertezza di misura (u_{x_i}). Pertanto, il risultato misurato fornito dal braccio (Y) dipende dall'insieme dei valori (X_i) e dalle incertezze associate (u_{x_i}) utilizzati per la stima. Infine, il valore misurato (Y) presenta anche un'incertezza totale (u_y).

Se il modello che rappresenta il sistema di misura è formulato in modo esplicito, potrebbe essere utilizzato per propagare le incertezze dalle grandezze di ingresso alle grandezze di uscita utilizzando due strategie: una serie di Taylor o una simulazione Monte Carlo. Queste strategie vengono trattate in modo approfondito in pubblicazioni come la [Guida all'espressione dell'incertezza di misura \(GUM\)](#)¹. D'altra parte, **se il modello è troppo complesso per essere formulato in modo esplicito o se i parametri sono sconosciuti, dovrebbe essere utilizzata una strategia sperimentale**. Analizzando la grandezza in uscita mediante strumenti statistici, è possibile stimare l'incertezza totale del sistema di misura. Ad esempio, nei casi in cui un metrologo utilizza una CMM portatile con uno scanner per misurare il profilo di una superficie, la funzione di misura è molto più complessa da identificare. In questo caso, deve essere utilizzata l'analisi sperimentale. Dal momento che viene eseguita direttamente sui risultati della misura, il metrologo non dovrà necessariamente scomporre l'intero sistema di misura, il che lo rende più semplice, diretto e di facile comprensione.

¹ Valutazione dei dati di misura - Guida all'espressione dell'incertezza di misura (JCGM 100:2008) pubblicata dall'Ufficio internazionale dei pesi e delle misure

Acquisire misure 3D affidabili | L'approccio intelligente alla metrologia 3D

Comprendere i concetti di base dell'MSA

Definizione del sistema di misura

Indici di prestazione del sistema di misura

- Incertezza sistematica
- Incertezza casuale

Capacità e prestazioni del sistema di misura

Incertezza estesa

Scelta della metodologia appropriata per valutare l'incertezza di sistemi di misura 3D complessi

Esecuzione di studi MSA utilizzando la metodologia sperimentale e software di metrologia 3D intelligenti

Studi di ripetibilità

Studi R&R

Raccomandazioni per i metrologi

Conclusione

Esecuzione di studi MSA utilizzando la metodologia sperimentale e software di metrologia 3D intelligenti

L'esecuzione di un'analisi sperimentale per determinare l'incertezza estesa di sistemi di misura 3D complessi richiede prima uno studio di ripetibilità seguito da uno studio Gauge R&R completo. Raccogliendo dati sui risultati della misura del sistema con diverse configurazioni e prove, il metrologo può stimare la variazione totale utilizzando gli indici di prestazione descritti in precedenza. Tuttavia, questi studi sono tradizionalmente complessi da eseguire e richiedono una conoscenza approfondita delle statistiche per ottenere risultati adeguati.

Figura 6
PolyWorks MSA barra degli strumenti



PolyWorks® offre una soluzione software di metrologia 3D intelligente MSA integrata per condurre studi su sistemi di misurazione 3D complessi in processi completamente digitali. Consente di:

- 1 Specificare le caratteristiche chiave richieste dal piano di controllo;
- 2 Realizzare lo studio selezionandone la tipologia e definendo i parametri chiave, indispensabili per il controllo qualità e la tracciabilità;
- 3 Eseguire lo studio effettuando l'acquisizione dei dati per tutte le configurazioni dei dispositivi di misura 3D e i contesti di misura, all'interno di una sola piattaforma software universale;
- 4 Produrre report ricchi di informazioni, pubblicati direttamente in Microsoft Excel con fogli di calcolo preformattati e collegati a dati di ispezione 3D intelligenti; e
- 5 Eseguire sofisticate analisi in Excel senza la necessità di competenze avanzate nelle applicazioni software statistiche.

Dall'impostazione degli studi all'acquisizione delle misure, ai risultati generati automaticamente, come indici e grafici, la soluzione PolyWorks MSA assicura che tutti i calcoli vengano eseguiti all'interno di un solo ecosistema software, e la catena completamente digitale garantisce l'integrità dei dati e risultati attendibili.

Acquisire misure 3D affidabili | L'approccio intelligente alla metrologia 3D

Comprendere i concetti di base dell'MSA

Definizione del sistema di misura

Indici di prestazione del sistema di misura

- Incertezza sistematica
- Incertezza casuale

Capacità e prestazioni del sistema di misura

Incertezza estesa

Scelta della metodologia appropriata per valutare l'incertezza di sistemi di misura 3D complessi

Esecuzione di studi MSA utilizzando la metodologia sperimentale e software di metrologia 3D intelligenti

Studi di ripetibilità

Studi R&R

Raccomandazioni per i metrologi

Conclusione

Studi di ripetibilità



Il primo passo per eseguire un'analisi del sistema di misura è uno studio di ripetibilità. Serve a valutare la variabilità dei sistemi di misura (variazione delle apparecchiature) quando sono interessati da un numero minimo di fonti di variazione. Viene utilizzato

durante la valutazione iniziale di un sistema di misura per confrontare rapidamente diverse configurazioni del sistema, come le posizioni di bloccaggio dell'apparecchiatura o i parametri dell'hardware metrologico.

Uno studio di ripetibilità viene eseguito:

- 1 - Posizionando un particolare in un supporto (se applicabile);
- 2 - Misurando il particolare utilizzando un dispositivo di misura 3D;
- 3 - Rimuovendo il particolare dal supporto e
- 4 - Ripetendo i passaggi da uno a tre, utilizzando sempre lo stesso particolare, lo stesso supporto e lo stesso dispositivo di misura.

Con il piano di controllo, il metrologo individua le caratteristiche chiave su cui deve essere effettuata l'analisi statistica. Il particolare viene misurato un minimo di 10 volte, ma solitamente almeno 30 volte, al fine di ottenere una buona stima della variazione dell'apparecchiatura. Questo tipo di studio viene solitamente eseguito da un metrologo esperto con l'esperienza necessaria per rilevare rapidamente eventuali problemi nel processo di misura e risolverli facilmente.

² Requisiti di analisi del sistema di misura per la catena di approvvigionamento dei motori aeronautici (AS13003) pubblicati da SAE International

³ Analisi del sistema di misura (MSA) pubblicato dall'Automotive Industry Action Group (AIAG).

Esistono due tipi di studi di ripetibilità :

Studio Gauge Tipo 1² :

- Valuta l'effetto del bias e della ripetibilità sulla misura
- Richiede un riferimento certificato di dimensioni note
- Produce due metriche: Cg e Cgk
- Si applica quando è disponibile un riferimento certificato e la stabilità del sistema di misura non è un problema

Studio Gauge R³ :

- Valuta la ripetibilità e la stabilità del sistema di misura
- Non richiede un riferimento certificato
- Utilizza il grafico I-MR come base per la valutazione della variazione e della stabilità

La differenza principale tra loro è che lo studio di Tipo 1 necessita di un riferimento certificato che aiuti a identificare un possibile bias e non valuta la stabilità del sistema di misura.

Acquisire misure 3D affidabili | L'approccio intelligente alla metrologia 3D

Comprendere i concetti di base dell'MSA

Definizione del sistema di misura

Indici di prestazione del sistema di misura

- Incertezza sistematica
- Incertezza casuale

Capacità e prestazioni del sistema di misura

Incertezza estesa

Scelta della metodologia appropriata per valutare l'incertezza di sistemi di misura 3D complessi

Esecuzione di studi MSA utilizzando la metodologia sperimentale e software di metrologia 3D intelligenti

Studi di ripetibilità

Studi R&R

Raccomandazioni per i metrologi

Conclusione

Entrambi gli studi di ripetibilità sono facilitati dalla soluzione PolyWorks MSA:

- 1 - Il metrologo viene guidato passo-passo nelle fasi necessarie dello studio con la creazione di un progetto di ispezione completo di tutte le misure richieste, le loro caratteristiche, i controlli, le metriche di uscita e il numero di pezzi da misurare, garantendo così un modello di misura robusto.
- 2 - Gli operatori vengono quindi guidati con istruzioni e guide 3D sullo schermo durante l'acquisizione della misura.
- 3 - Una volta completato il processo di acquisizione delle misure, i risultati dell'ispezione vengono pubblicati automaticamente su fogli di calcolo Excel preformattati e collegati dinamicamente ai dati dell'ispezione 3D del progetto di ispezione.
- 4 - I fogli di calcolo preformattati forniscono al metrologo la variazione dell'attrezzatura calcolata automaticamente e pronta per l'analisi, ovvero ripetibilità, indici di prestazione e grafici.
- 5 - Per completare questa analisi e ottimizzare rapidamente il processo di misura, il metrologo può regolare i parametri di misura nel progetto di ispezione e vedere la loro influenza diretta sulla variazione dell'apparecchiatura, mentre PolyWorks aggiorna automaticamente l'indice del foglio di calcolo e i valori del grafico.

Studi R&R

Mentre gli studi di ripetibilità consentono di analizzare e ottimizzare la variazione delle apparecchiature del sistema di misura, per completare la convalida finale di un sistema di misura sono necessari studi di ripetibilità e riproducibilità dello strumento, noti anche come studi Gauge R&R. .

Gli studi Gauge R&R vengono generalmente eseguiti dopo gli studi di ripetibilità perché richiedono più risorse, particolari e costi. Inoltre, eseguendo prima uno studio di ripetibilità, il metrologo può correggere la variazione dell'apparecchiatura prima di analizzarne e correggerne la riproducibilità. Esistono diversi metodi empirici accettati per stimare l'incertezza della ripetibilità e riproducibilità del sistema di misura. I due metodi più comuni sono *il metodo della media e dell'intervallo (X-bar R)* e *il metodo dell'analisi della varianza (ANOVA)*. In entrambi i casi, la raccolta dei dati segue regole rigorose per garantire risultati credibili:

- **Numero di operatori:** è richiesto un minimo di 3 operatori che devono utilizzare il sistema di misura in un ambiente di produzione.
- **Numero di particolari:** È necessario selezionare un minimo di 2 particolari, rappresentativi delle variazioni riscontrate nel processo di fabbricazione. Se possibile, il numero ideale sarebbe 10; maggiore è il numero di particolari, migliore sarà la stima del comportamento del processo.
- **Numero di ripetizioni:** Ciascun operatore deve misurare tutti i particolari più di una volta. Di solito vengono eseguite 2 o 3 ripetizioni.
- **Misure con ordine casuale:** Per garantire che l'ordine delle misure non influisca sui risultati, ogni operatore deve misurare i particolari in un ordine casuale.

Acquisire misure 3D affidabili | L'approccio intelligente alla metrologia 3D

Comprendere i concetti di base dell'MSA

Definizione del sistema di misura

Indici di prestazione del sistema di misura

- Incertezza sistematica
- Incertezza casuale

Capacità e prestazioni del sistema di misura

Incetezza estesa

Scelta della metodologia appropriata per valutare l'incertezza di sistemi di misura 3D complessi

Esecuzione di studi MSA utilizzando la metodologia sperimentale e software di metrologia 3D intelligenti

Studi di ripetibilità

Studi R&R

Raccomandazioni per i metrologi

Conclusione

La soluzione PolyWorks MSA consente di creare ed eseguire uno studio Gauge R&R completo utilizzando questi due metodi standard:

- 1 - Il metrologo seleziona rapidamente il metodo di analisi e specifica parametri come il numero di operatori, ripetizioni e particolari.
- 2 - PolyWorks crea quindi il progetto di ispezione con tutti i particolari necessari in un ordine di esecuzione specifico.
- 3 - Viene quindi esportata automaticamente una scheda con l'ordine di esecuzione in un foglio di calcolo Excel, che guida gli operatori durante il processo di acquisizione delle misure, assicurando che venga seguito un ordine casuale.
- 4 - Una barra degli strumenti guida gli operatori attraverso il processo di ispezione, assicurando che tutte le caratteristiche chiave vengano misurate e che vengano acquisiti abbastanza dati tramite tastatura e scansione per ottenere estrazioni affidabili delle misure.
- 5 - Al termine della misura, il metrologo utilizza il progetto di ispezione per stimare la variabilità del sistema di misura.

La principale differenza tra le metodologie X-bar R e ANOVA è nell'analisi dei risultati. Il metodo X-bar R consente di quantificare la ripetibilità e la riproducibilità utilizzando i calcoli del grafico di controllo. La guida "Analisi del sistema di misura" dell'AIAG presenta la metodologia in dettaglio. L'analisi Gauge R&R con la metodologia ANOVA offre maggiori informazioni ed è quindi più completa.

L'analisi della varianza (ANOVA) è un'analisi statistica che scompone le fonti delle variazioni in un sistema di misura come segue:

- **Ripetibilità:** Variazione dal sistema di misura non imputabile ad altre fonti di variazione.
- **Operatore:** Variazione tra gli operatori.
- **Interazione particolare/operatore:** Variazione risultante dall'interazione tra operatori e particolari (quando un operatore misura vari particolari in modo diverso).
- **Da particolare a particolare:** Variazione proveniente dai particolari nello studio. Rappresenta la variazione del processo di fabbricazione.

Indipendentemente dal metodo utilizzato, le fonti di variazione vengono considerate statisticamente indipendenti. Pertanto, vengono assemblate su base casuale (somma delle varianze) per esprimere l'incertezza totale.

In primo luogo, la metodologia determina se la variazione risultante dall'interazione tra particolari e operatori è significativa. Se lo è, deve essere considerata nella riproducibilità complessiva del sistema (**$\sigma_{riproducibilità}$**) come segue:

$$\sigma_{riproducibilità}^2 = \sigma_{operatore}^2 + \sigma_{interazione}^2$$

Una volta identificata direttamente la ripetibilità (**$\sigma_{ripetibilità}$**) durante lo studio, è possibile determinare la ripetibilità e la riproducibilità (**$\sigma_{R\&R}$**) del sistema di misura come segue:

$$\sigma_{R\&R}^2 = \sigma_{riproducibilità}^2 + \sigma_{ripetibilità}^2$$

Acquisire misure 3D affidabili | L'approccio intelligente alla metrologia 3D

Comprendere i concetti di base dell'MSA

Definizione del sistema di misura

Indici di prestazione del sistema di misura

- Incertezza sistematica
- Incertezza casuale

Capacità e prestazioni del sistema di misura

Incetezza estesa

Sceita della metodologia appropriata per valutare l'incertezza di sistemi di misura 3D complessi

Esecuzione di studi MSA utilizzando la metodologia sperimentale e software di metrologia 3D intelligenti

Studi di ripetibilità

Studi R&R

Raccomandazioni per i metrologi

Conclusione

Infine, la variazione totale misurata del processo (σ_{totale}) si ottiene sommando la ripetibilità e riproducibilità del sistema di misura alla variazione stimata del processo di fabbricazione ($\sigma_{da\ particolare\ a\ particolare}$) come segue:

$$\sigma_{totale}^2 = \sigma_{R\&R}^2 + \sigma_{da\ particolare\ a\ particolare}^2$$

Lo scopo dell'analisi dei risultati dello studio è:

- Garantire che l'incertezza del sistema di misura ($\sigma_{R\&R}$) apporti un piccolo contributo alla variazione totale del processo misurato. La variazione stimata del processo di produzione (da particolare a particolare) dovrebbe tenere conto della maggior parte della variabilità. Quando il contributo della variazione da particolare a particolare è relativamente superiore al resto dell'incertezza, significa che il sistema di misura può distinguere in modo affidabile gli errori di fabbricazione.

- Confronto della variazione del sistema di misura con i limiti di specifica (tolleranze) per garantire che la variazione rappresenti un massimo del 30% dei limiti.

La fase di pubblicazione della soluzione PolyWorks MSA converte i dati dello studio MSA in risultati interpretabili e dati utilizzabili, tramite tabelle, riepiloghi e grafici di facile lettura, come illustrato nella Figura 8. Si tratta di una parte potente e importante del processo di studio digitale in quanto facilita notevolmente l'interpretazione e la risoluzione dei problemi dei risultati dello studio. Consente di pubblicare i risultati nel modello Excel X-Bar R o ANOVA selezionato e di analizzare rapidamente l'errore di misura e altre fonti di variabilità. Quando esegue uno studio ANOVA, ad esempio, il metrologo può suddividere la varianza in quattro categorie: particolari, operatori, interazione tra particolari e operatori ed errore di replica dovuto allo strumento di misura.

Acquisire misure 3D affidabili | L'approccio intelligente alla metrologia 3D

Comprendere i concetti di base dell'MSA

Definizione del sistema di misura

Indici di prestazione del sistema di misura

- Incertezza sistematica
- Incertezza casuale

Capacità e prestazioni del sistema di misura

Incetezza estesa

Sceita della metodologia appropriata per valutare l'incertezza di sistemi di misura 3D complessi

Esecuzione di studi MSA utilizzando la metodologia sperimentale e software di metrologia 3D intelligenti

Studi di ripetibilità

Studi R&R

Raccomandazioni per i metrologi

Conclusione

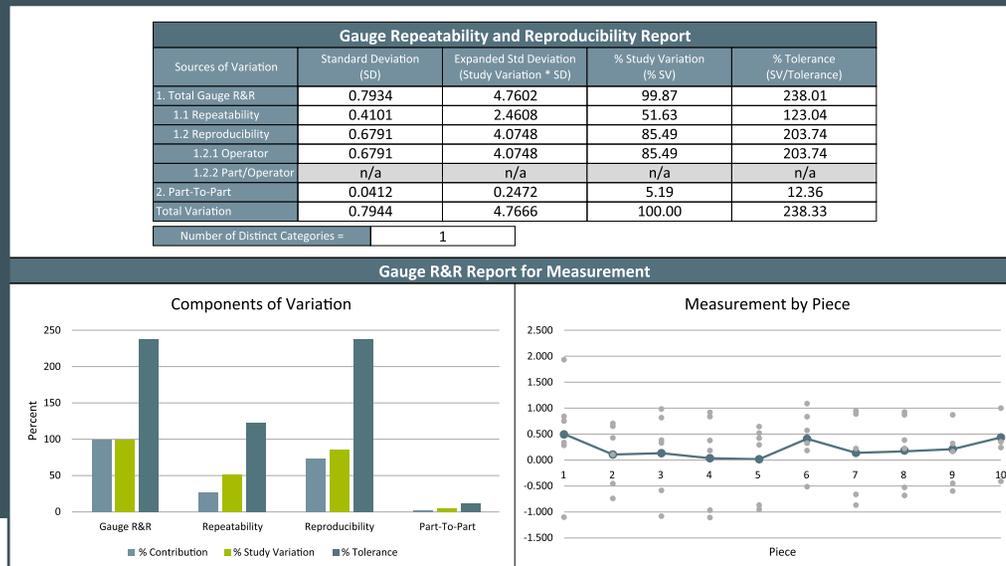


Figura 7
Gauge R&R

Raccomandazioni per i metrologi

I dati raccolti sui risultati della misura del sistema forniscono un feedback sull'effetto delle incertezze di misura. Utilizzando gli indici di prestazione (pagina 5), il metrologo può applicare dei correttivi per ottimizzare il suo processo di misura. Usiamo un esempio concreto: un grafico target e a dispersione dei valori di errore, come illustrato nella Figura 8.

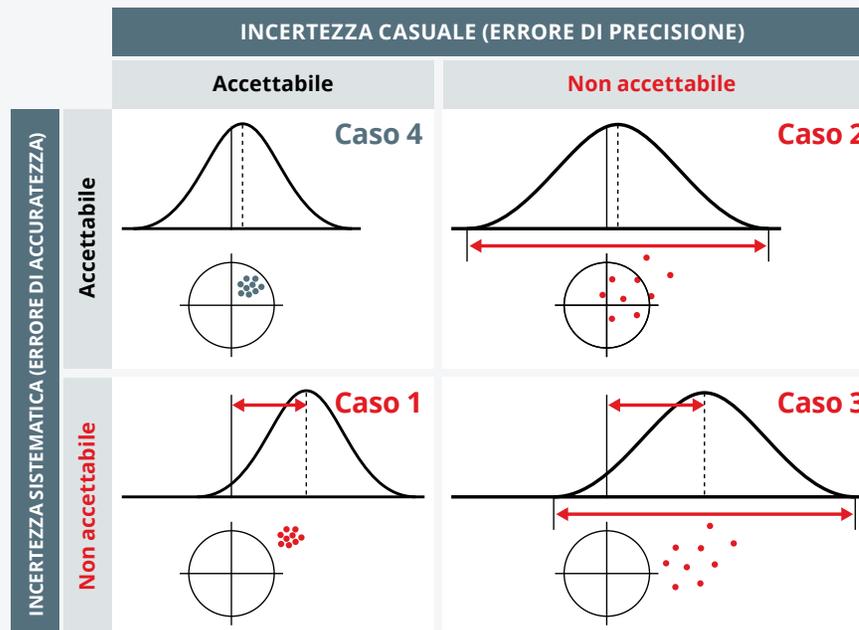


Figura 8 Errori di accuratezza e precisione

Il primo problema (caso 1) che un metrologo può individuare è se è presente un errore di accuratezza: potrebbe derivare dal bias della linearità del sistema, ma in entrambi i casi questo errore può essere facilmente corretto. Le possibili cause dell'errore di accuratezza possono essere⁴:

- Il dispositivo metrologico deve essere tarato
- Un dispositivo, un apparecchio o un supporto usurati
- Un errore nel riferimento utilizzato nel processo di analisi
- Il metodo di misurazione (ad es. la meccanica di bloccaggio)

Il secondo problema che un metrologo può affrontare è quando si verifica un errore di precisione (caso 2). Quest'ultimo potrebbe essere correlato al sistema di misura stesso (ripetibilità) o causato dagli operatori (riproducibilità).

Possibili cause di un errore di precisione⁴:

- Correlate al particolare: forma, posizione, finitura superficiale, conicità, coerenza del campione
- Correlate allo strumento: riparazione, usura, guasto dell'apparecchiatura o del supporto, qualità o manutenzione scarse
- Correlate alla metodologia: variazione nel settaggio, tecnica, presa, bloccaggio
- Correlate all'operatore: tecnica, posizione, mancanza di esperienza, abilità di manipolazione o addestramento, senso di affaticamento

Se sono presenti tutte le fonti di errore (caso 3), il metrologo dovrebbe analizzare le prestazioni del sistema di misura utilizzando gli indici e correggere un tipo di errore alla volta affinché il sistema di misura sia accettabile (caso 4).

⁴Analisi del sistema di misura (MSA) pubblicato dall'Automotive Industry Action Group (AIAG)

Acquisire misure 3D affidabili | L'approccio intelligente alla metrologia 3D

Comprendere i concetti di base dell'MSA

Definizione del sistema di misura

Indici di prestazione del sistema di misura

- Incertezza sistematica
- Incertezza casuale

Capacità e prestazioni del sistema di misura

Incetezza estesa

Scelta della metodologia appropriata per valutare l'incertezza di sistemi di misura 3D complessi

Esecuzione di studi MSA utilizzando la metodologia sperimentale e software di metrologia 3D intelligenti

Studi di ripetibilità

Studi R&R

Raccomandazioni per i metrologi

Conclusione

Conclusione

Un efficace processo di analisi del sistema di misura garantisce un'acquisizione di misure 3D attendibili. Oggi non è più necessario affidarsi a processi obsoleti e complessi che richiedono differenti soluzioni software di terze parti e competenze avanzate nelle applicazioni software statistiche.

La soluzione software di metrologia 3D intelligente PolyWorks® MSA semplifica notevolmente la configurazione e l'esecuzione di studi MSA per ambienti con dispositivi di misura 3D, fornendo un'analisi affidabile delle variazioni del sistema di misura. Fornisce un flusso di lavoro completamente digitale, facile da attuare, che garantisce l'integrità dei dati di misura e consente ai fabbricanti di eseguire con sicurezza studi MSA su ogni nuovo particolare, offrendo un miglior controllo della qualità.

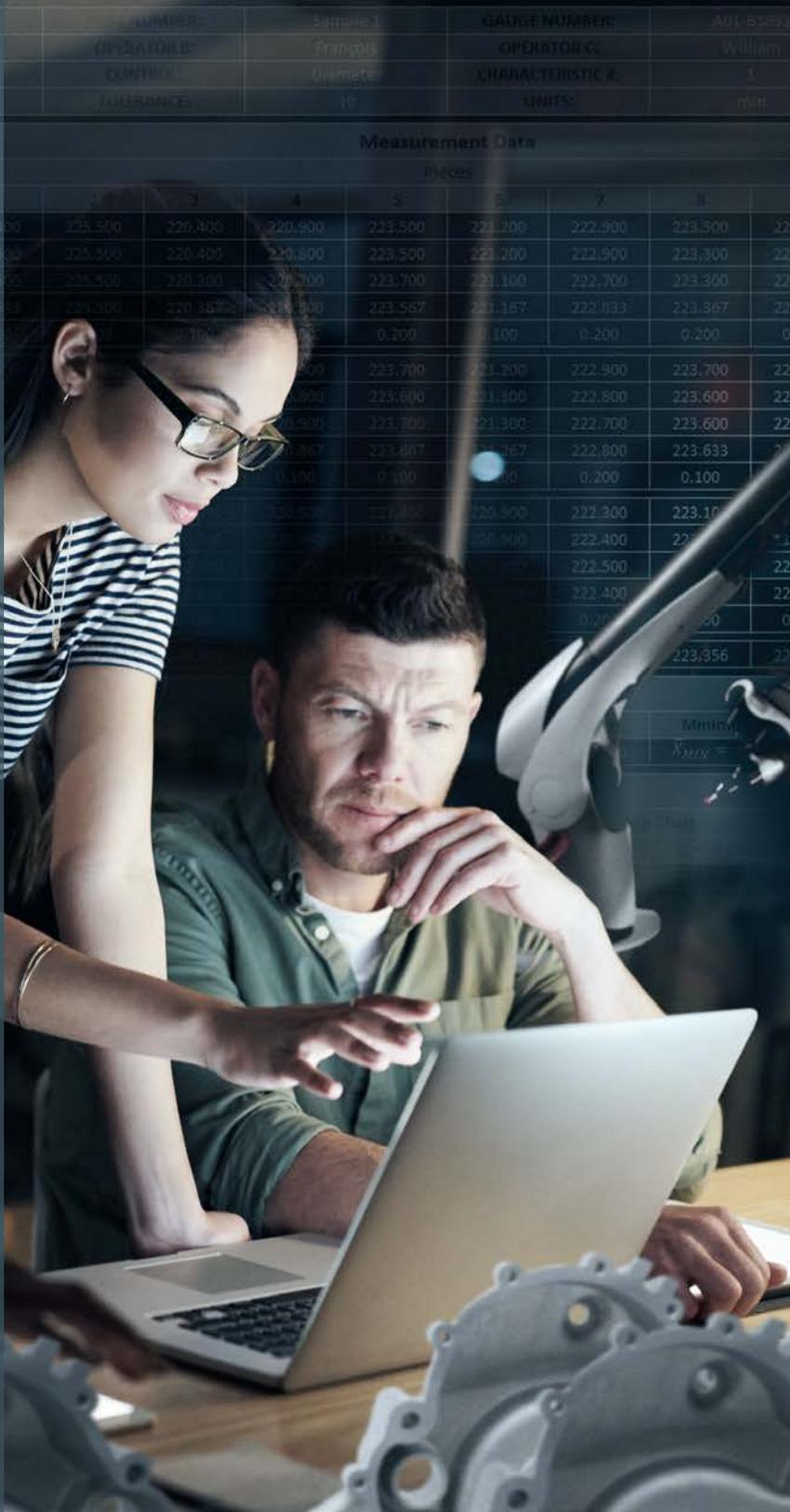
Laurent Émond-Girard, P.Eng., M.A.Sc.
Manufacturing Process Engineer, InnovMetric

polyworks europa

Per ulteriori informazioni

Contattaci: [39 0573 1812250](tel:3905731812250) | infoitalia@polyworkseuropa.com

Visita il nostro sito web: www.polyworkseuropa.com/it



Acquisire misure 3D affidabili | L'approccio intelligente alla metrologia 3D

Comprendere i concetti di base dell'MSA

Definizione del sistema di misura

Indici di prestazione del sistema di misura

- Incertezza sistematica
- Incertezza casuale

Capacità e prestazioni del sistema di misura

Incertezza estesa

Scelta della metodologia appropriata per valutare l'incertezza di sistemi di misura 3D complessi

Esecuzione di studi MSA utilizzando la metodologia sperimentale e software di metrologia 3D intelligenti

Studi di ripetibilità

Studi R&R

Raccomandazioni per i metrologi

Conclusione