

Ing. Stefano Andreini

VICI&C S.p.A.

stefano.andreini@vici.it

Metrologia

- La metrologia (dal greco metron+logos, - scienza della misura), è la scienza che studia il linguaggio delle misure, le unità di misura, i metodi più adatti ed accurati per misurare.
- La metrologia stabilisce uno standard internazionale di misura usato in tutto il mondo in ambito legale, scientifico ed industriale.
- Le norme ci aiutano a definire i concetti metrologici e ci danno le linee guida per una corretta interpretazione dei fenomeni che incontriamo in metrologia.

Misurazione

- La misurazione è l'atto del misurare inteso come la sequenza di operazioni e/o l'utilizzo di strumenti e la necessaria valutazione della qualità del risultato.
- E' il procedimento attraverso il quale si assegnano valori numerici a rappresentazione di grandezze fisiche.

Misura

- La misura è il risultato di una misurazione. È il numero che otteniamo alla fine del processo di misurazione.

Misurando

- Il misurando è l'oggetto che viene sottoposto a misurazione.

Metrologia industriale

- La metrologia industriale è la scienza della metrologia applicata ai processi industriali.
- Studia i processi ed i procedimenti di misurazione dei processi produttivi e dei materiali prodotti e/o lavorati.
- Fornisce informazioni comprensibili e non equivocabili sulle misure.

Metrologia dimensionale

- La misura dimensionale permette di definire la corrispondenza alle specifiche progettuali delle dimensioni di un oggetto.
- Definisce i valori dei parametri e/o delle dimensioni sottoposti a misurazione.
- Definisce l'accettabilità di una misura in base alle specifiche richieste (nominali e tolleranze).
- Definisce i metodi di misura e gli strumenti più idonei al processo (accuratezza, tempo, costo).

Controllo dimensionale

- Il controllo dimensionale permette la verifica di tutte le dimensioni di un prodotto, al fine di verificarne la corrispondenza alle quote richieste, come da specifica (disegno tecnico).
- Tradizionalmente la misurazione viene effettuata in sala metrologica a campione sulla produzione (avvio produzione e ad intervalli regolari).
- La tendenza moderna è quella di avvicinare sempre più il controllo dimensionale alla produzione: ispezione in tempo reale, on-line o in-process

1793

- il metro è la decimilionesima parte dell'arco meridiano che collega il Polo Nord all'equatore passando per Parigi.

1799

- il metro è la distanza fra le facce terminali del metro degli Archivi a 0°C, misurata in direzione ortogonale al piano delle facce.

1889

- il metro è la distanza a 0°C degli assi dei due tratti mediani tracciati sulla barra in platino iridio depositata presso il BIPM e dichiarata prototipo del metro.

1960

- il metro è la lunghezza uguale a 1.650.763,63 lunghezze d'onda, nel vuoto, della radiazione corrispondente alla transizione tra due livelli dell'atomo di kripto 86.

1983

- Il metro è la lunghezza del tragitto compiuto dalla luce nel vuoto in un intervallo di tempo pari a $1/299.792.458$ di secondo (UNI CEI ISO 80000 (parte 1): 2010).



- Temperatura controllata
- Umidità controllata
- Personale specializzato

Strumenti delicati e complicati
 Risultati di misura ottimali
 Tempi di misurazione lunghi



- Condizioni climatiche variabili (giorno/notte – inverno/estate)
- Personale specializzato

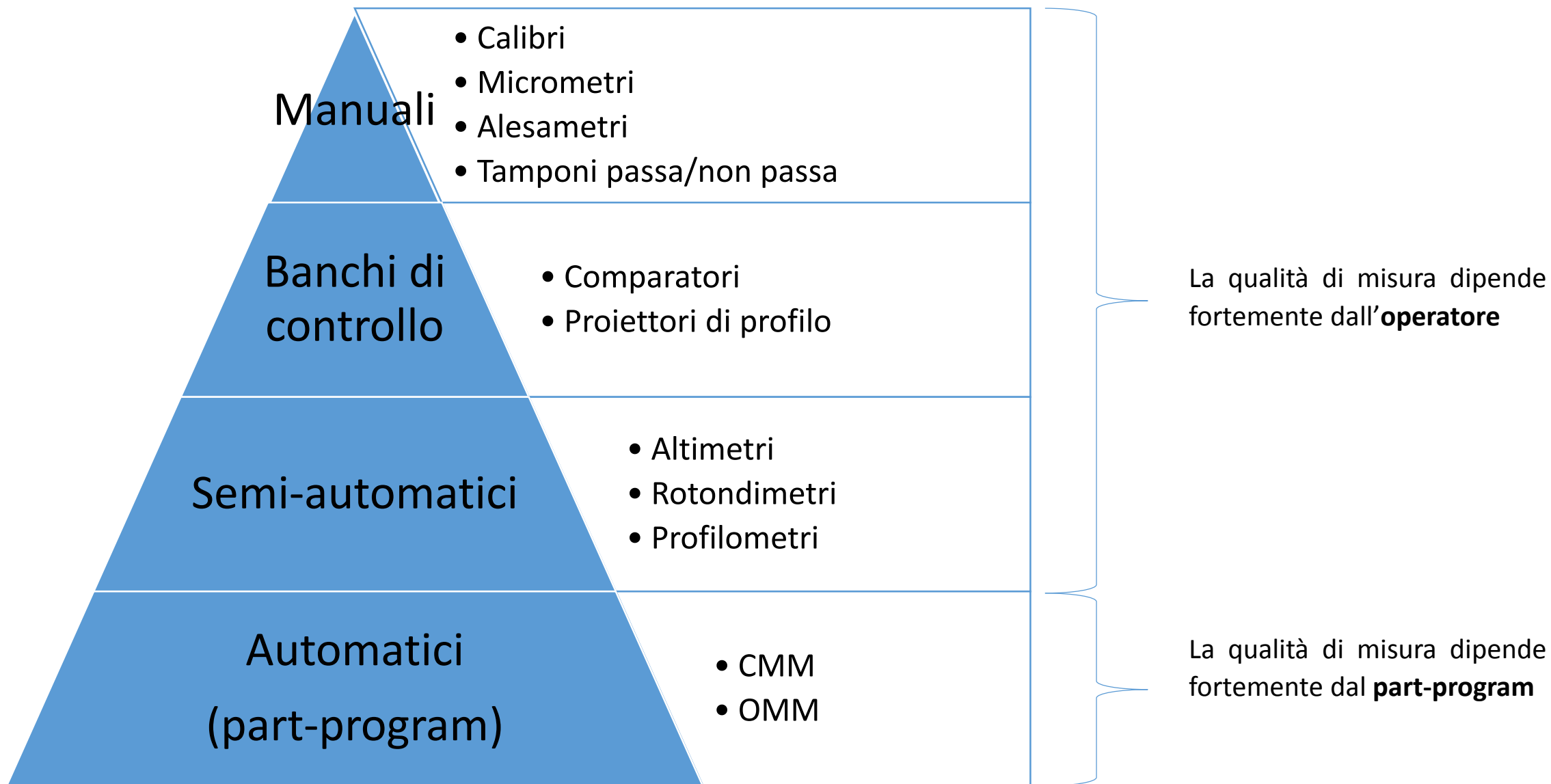
Strumenti robusti ma non semplici
 Risultati di misura adeguati alle esigenze
 Tempi di misurazione medio-brevi



- Ambiente NON controllato
- Personale NON specializzato

Strumenti robusti e semplici
 Risultati di misura adeguati alle esigenze
 Tempi di misurazione brevi

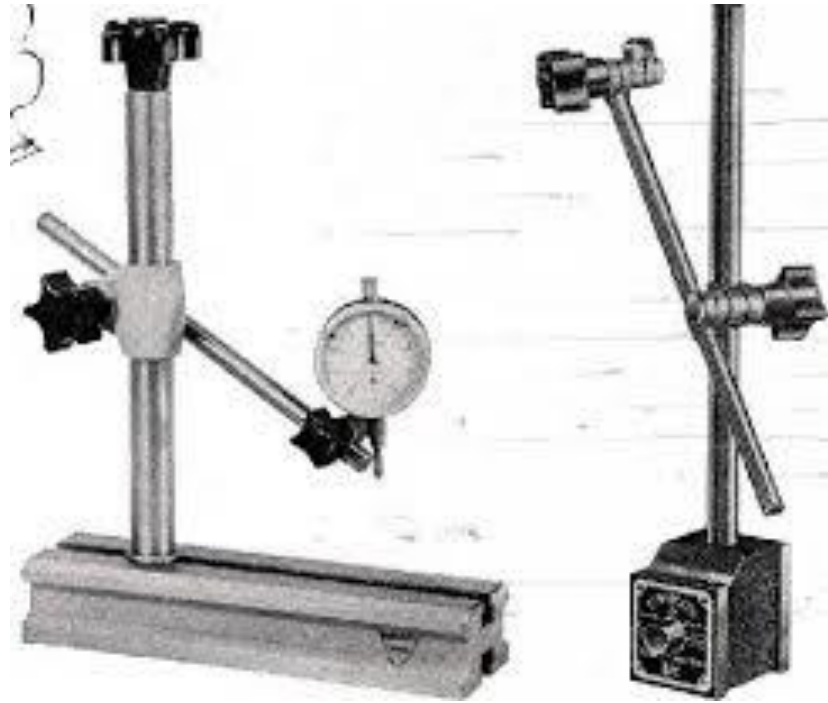
GLI STRUMENTI



STRUMENTI MANUALI

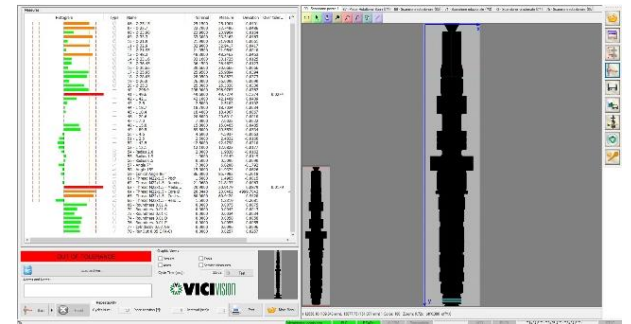
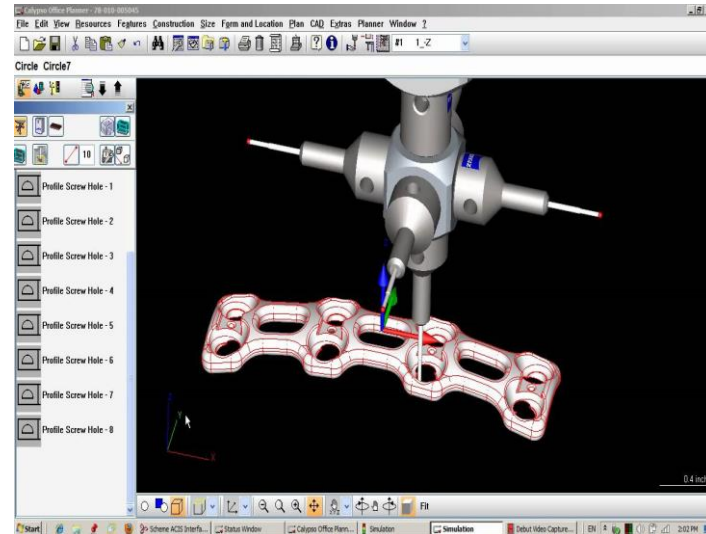


BANCHI DI CONTROLLO



SEMI-AUTOMATICI





Il part-program (o ricetta) è una sequenza di operazioni (movimenti e calcoli) che sono necessari al fine di ottenere le misure desiderate.

Per ogni tipologia di pezzo è necessario scrivere un part-program specifico definendo tutti i passi della misurazione:

- Come viene determinata la posizione dell'oggetto all'interno del campo di lavoro della macchina
- Quali sono i punti necessari per ottenere le misure desiderate
- Quali sono i parametri da utilizzare per la determinazione dei punti (CMM-tastatore, OMM-telecamera)
- Quali sono le movimentazioni che lo strumento deve effettuare
- Quali misure si intende determinare ed i relativi limiti di tolleranza che deve rispettare

Il part-program viene scritto utilizzando gli strumenti messi a disposizione del costruttore della macchina di misura

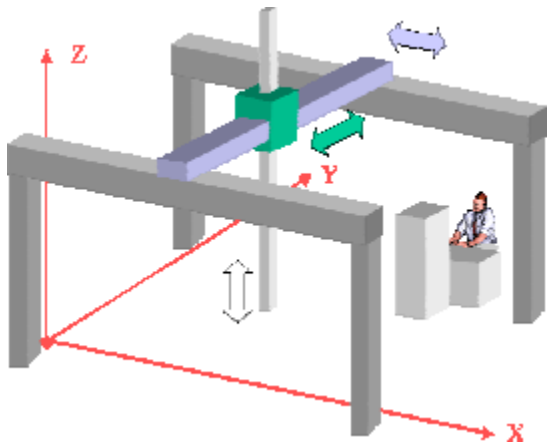
- PC-DMIS (Dimensional Measuring Interface Standard): è su base CAD ed è compatibile con buona parte delle CMM
- Sistemi visuali proprietari: utilizzati principalmente per le macchine ottiche



COORDINATE MEASURING MACHINE (3D)

Le CMM sono macchine di misura che permettono di definire le coordinate di punti nello spazio sulla superficie del misurando. La combinazione matematica tramite algoritmi di calcolo applicati a questi punti permette la determinazione delle misure dimensionali dell'oggetto.

movimentazione e assi cartesiani



sensori di contatto con il misurando



scale graduate (righe ottiche / encoder)





OPTICAL MEASURING MACHINE (principalmente 2D)

Le OMM sono macchine di misura che permettono di definire le coordinate di punti nello spazio sulla superficie del misurando. La combinazione matematica tramite algoritmi di calcolo applicati a questi punti permette la determinazione delle misure dimensionali dell'oggetto.



PROIETTORE DI PROFILI

Il proiettore di profili è il primo esempio di macchina di misura ottica:

- Analogico
- Manuale
- Visivo



MACCHINA OTTICA

È il risultato dell'applicazione delle nuove tecnologie al concetto del proiettore di profili

- Digitale
- Automatico
- Computer Vision

Gli strumenti a contatto sfruttano trasduttori a contatto fisico per la determinazione di punti sulla superficie del misurando

Trasduttore: è un dispositivo che legge una grandezza presente in **ingresso** e ne genera un'altra in **uscita**, proporzionale alla prima.

- Posizione (encoder e righe ottiche): trasformano l'informazione di posizione in un segnale elettrico (onda quadra o sinusoidale)
- Temperatura (termocoppie): trasformano l'informazione di temperatura in un segnale elettrico (tensione)
- Peso (estensimetro) : trasformano l'informazione di forza in un segnale elettrico (variazione di resistenza)

Tastatore di misura: è il trasduttore utilizzato nella misura a contatto. Il **contatto** tra il tastatore ed il misurando permette la determinazione di punti sulla superficie dell'oggetto

- Monodirezionale: è sensibile solo in una direzione (micrometro, altimetro, rotondimento, rugosimetro)
- Omnidirezionale: è sensibile in tutte le direzioni XYZ
 - A singolo punto: fornisce l'informazione del momento in cui avviene il contatto
 - A scansione: fornisce un'informazione continua (segnale analogico) proporzionale allo spostamento

Gli strumenti ottici utilizzano la tecnologia della Computer Vision in sostituzione dei trasduttori a contatto fisico.

Sistema di visione artificiale: è un sistema composto da una o più telecamere e da un sistema di elaborazione delle immagini acquisite tramite software dedicati. **La telecamera è il trasduttore.**

- Guida robot: identificazione, localizzazione ed informazioni di presa
- Analisi qualitativa: presenza componenti, ricerca difetti
- Analisi dimensionale: metrologia ottica

Tastatore «**virtuale**» di misura: l'analisi software delle immagini acquisite permette di identificare le coordinate di punti appartenenti alla superficie dell'oggetto senza alcun tipo di contatto tra l'oggetto e lo strumento

- 2D: le telecamere forniscono informazioni bidimensionali XY
- 3D: esistono tecniche della Computer Vision che permettono di determinare informazioni anche in direzione Z
 - Stereoscopia
 - Triangolazione laser
 - Tomografia
- 1D: non sono veri e propri sistemi di visione, ma sfruttano trasduttori di distanza contact-less (misura senza contatto)
 - Laser ad interferometria
 - Laser a luce bianca (confocali)

OMM (Optical Measuring Machine) è un termine molto generico che comprende tutti gli strumenti che sfruttano sistemi ottici per effettuare rilievi dimensionali di un oggetto.

La caratteristica che accomuna tutti gli strumenti è il concetto di misura contact-less (senza contatto). L'unico contatto tra macchina e misurando avviene esclusivamente per il caricamento dell'oggetto all'interno della macchina di misura.

- O-CMM (Optical-CMM): tramite l'utilizzo di assi cartesiani si genera un movimento relativo tra oggetto e telecamera. È una CMM dove la telecamera sostituisce il tastatore.
 - Il sistema si ferma e scatta una foto in tutte le posizioni in cui si desidera determinare un punto di misura.
 - Tutto è guidato dal part-program (posizione di misura, parametri del sistema di visione)
 - Le informazioni contenute nelle immagini vengono estrapolate e combinate con le informazioni di posizione degli scatti
- Macchine FOV (Field Of View): telecamera e piano di lavoro sono fissi. Tutte le informazioni sono contenute all'interno di un'unica immagine.
 - Il sistema scatta un'unica foto che contiene tutte le informazioni dimensionali del misurando
 - Il part-program definisce i parametri con cui viene scattata la foto (o le foto) e quali dimensioni devono essere rilevate

Esistono strumenti ottici che sono il risultato della combinazione dei due concetti:

- Macchine FOV montate su assi cartesiani
- Macchine FOV con tecnologia stitching: La tecnologia stitching (cucitura) permette di aumentare il campo inquadrato «incollando» immagini parziali di un oggetto di dimensioni maggiori del campo inquadrato, tramite lo spostamento dell'oggetto stesso

O-CMM



Piano di appoggio in vetro su cui viene posizionato il misurando

Sistema ottico (telecamera e lente)

Illuminazione diascopica (retro-illuminazione): il profilo del misurando è determinato dall'ombra proiettata sulla telecamera

Illuminazione episcopica (fronte-illuminazione): permette di determinare punti che non fanno parte del profilo esterno (posizione fori non passanti)

Sistema di movimentazione cartesiano

- Asse XY per lo spostamento all'interno del piano di lavoro
- Asse Z per la messa a fuoco del sistema ottico

Software di misura: permette la creazione del part-program e la sua esecuzione

Creazione del part-program:

1. Si posiziona l'oggetto in macchina
2. Si determinano tutte le posizioni in cui si devono rilevare i punti di misura
3. In ogni posizione si determinano i parametri con cui la telecamera deve scattare la foto
4. In ogni immagine si determinano gli strumenti software (tools) da utilizzare per determinare il punto desiderato
5. Si definisce come devono essere combinati i punti per la determinazione delle misure

Esecuzione del part-program:

1. Si posiziona l'oggetto in macchina (random o in posizione predeterminata)
2. Si avvia il ciclo: il sistema ripercorre in sequenza ed automaticamente tutte le operazioni salvate nel part-program
3. In ogni posizione definita dal part-program il sistema scatta una foto con i parametri impostati
4. In ogni immagine si determinano gli strumenti software (tools) da utilizzare per determinare il punto desiderato

FOV



Si differenziano dalle O-CMM per:

- Assenza di un sistema di movimentazione cartesiano (solo asse Z per messa a fuoco)
- Sistema ottico (telecamera + lente telecentrica)

Tutto il campo inquadrato dal sistema ottico è considerato utile.

La misurazione avviene totalmente in pixel e viene convertita in millimetri grazie alle informazioni di calibrazione

È prevista la misura simultanea multi-pezzo

Creazione del part-program:

1. Si posiziona l'oggetto in macchina
2. Si determinano i parametri con cui la telecamera deve scattare la foto
3. Si imposta il metodo di individuazione automatica della posizione e dell'orientamento (Pattern Matching)
4. Sull'immagine si determinano gli strumenti software (tools) da utilizzare per determinare le misure desiderate

Esecuzione del part-program:

1. Si posiziona l'oggetto in macchina (random)
2. Si avvia il ciclo: il sistema ripercorre in sequenza ed automaticamente tutte le operazioni salvate nel part-program
3. Possono essere scattate più foto con differenti parametri/condizioni
4. In ogni immagine si determinano gli strumenti software (tools) da utilizzare per determinare il punto desiderato

| | Tipo di tastatore | Tempo di misurazione | Dimensioni misurabili | Qualità di misura | Versatilità di misura | Difficoltà di utilizzo | Difficoltà di programmazione |
|--|-------------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------------|
| Manuali & banchi di controllo | A contatto | Lungo (>10 min) | Piccole (~ 30 mm) | Media (~ 2-3 um) | Bassa | Medio - Alta | N.A. |
| Semiautomatici (rotondimetro) | A contatto | Lungo (>10 min) | Piccole (~ 100 mm) | Alta (sub-um) | Bassa | Alta | Alta |
| CMM | A contatto | Medio (<5 min) | Grandi (metri) | Alta (~ 1-2 um) | Alta | Media | Alta |
| O-CMM | Telecamera | Medio (<5 min) | Grandi (~ 500mm) | Alta (~ 2-3 um) | Alta | Medio - Bassa | Media |
| FOV | Telecamera | Molto breve (<30 sec) | Piccole (~100mm) | Media (~ 5-10um) | Alta | Bassa | Medio -Bassa |

NON esiste la macchina di misura perfetta. Il compito del metrologo è anche quello di definire il miglior strumento da utilizzare per ogni specifica applicazione

MISURA A CONTATTO

PRO:

- Alta qualità
- Tecnologia consolidata
- Grandi dimensioni misurabili
- Bassa suscettibilità alla finitura del pezzo ed alle condizioni di pulizia

CONTRO:

- Tempi lunghi
- Operatori specializzati
- Rischio di rotture del tastatore
- Difficoltà di misura di piccoli dettagli

MISURA CONTACT-LESS

PRO:

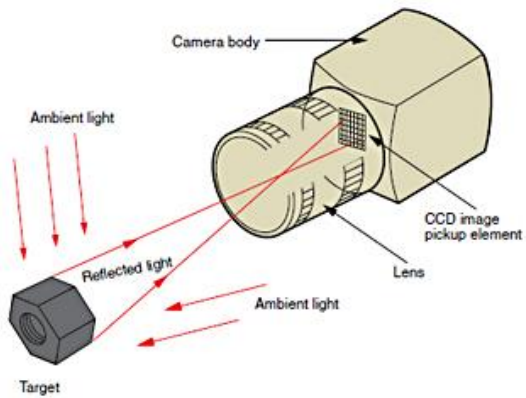
- Qualità Medio-Alta
- Tempi brevi
- Operatori NON specializzati
- Semplicità di misura anche di piccoli dettagli

CONTRO:

- Tecnologia in evoluzione
- Dimensioni misurabili limitate
- Quote interne NON misurabili
- Forte suscettibilità alla finitura del pezzo ed alle condizioni di pulizia

Sistemi di visione tradizionali (2D – XY):

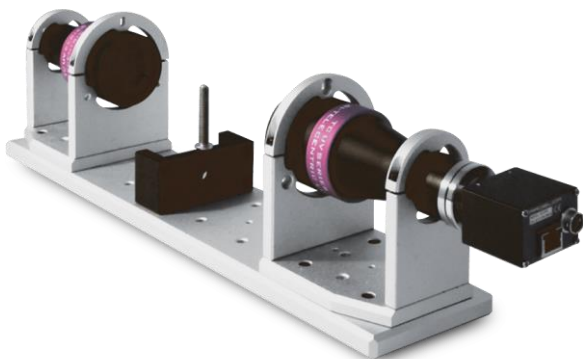
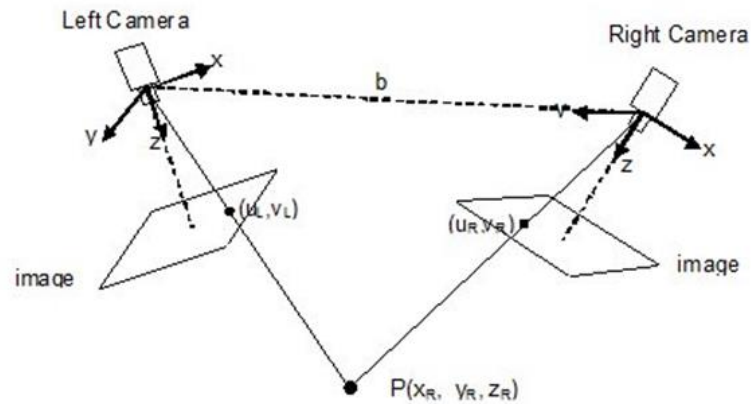
Telecamera



Sistemi stereoscopici (3D - XYZ)

2 Telecamere inclinate

1 proiettore di pattern (opzionale)

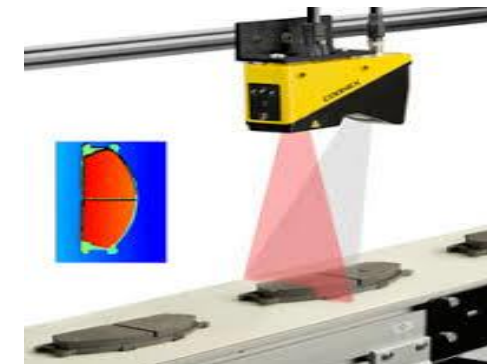
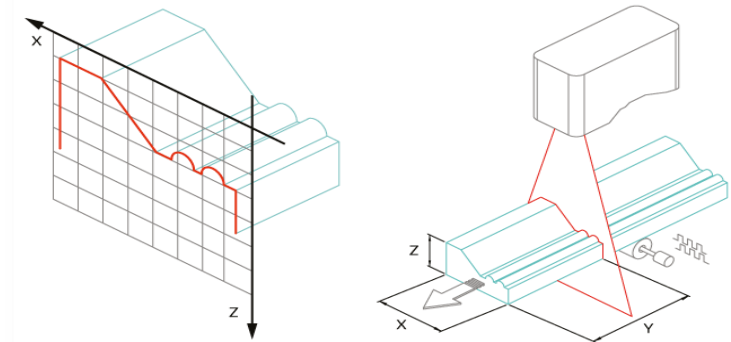


Sistemi a triangolazione laser (3D – XYZ)

1 Telecamera

1 lama laser

Movimento di scansione



SENSORI CONTACT-LESS

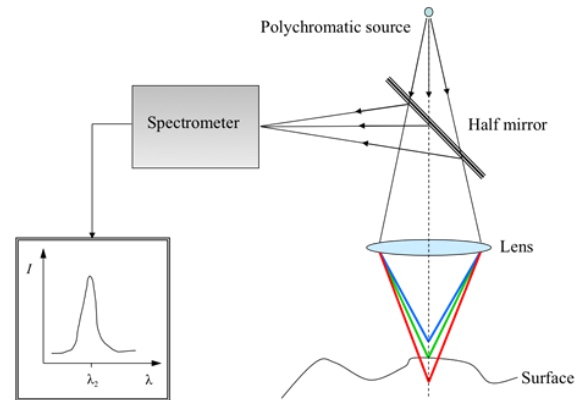
Sistemi ad interferometria di Michelson: (1D – L)

1Laser

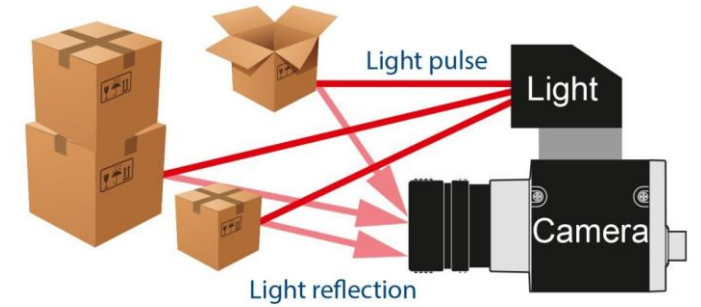
1ricevitore:



Sistemi a laser a luce bianca (confocale): (1D – L, spessore)



Sistemi a laser a luce bianca (confocale) : (3D - XYZ)



La combinazione di diverse tecnologie permette la progettazione di strumenti di misura sempre più completi:

- CMM integrate con sensori contact-less (telecamere, laser)
- O-CMM con tecnologia FOV
- Sistemi a scansione
- Sistemi 3D completamente ottici
- OMM con sensori a contatto

L'evoluzione e la diffusione degli algoritmi di Computer Vision e l'evoluzione tecnologica dei dispositivi optoelettronici permettono lo sviluppo di funzionalità sempre più avanzate:

- Migliore qualità di misura
- Sviluppo di nuovi tool di misura
- Identificazione automatica del part-program da utilizzare (Self-Detection)
- Identificazione automatica delle dimensioni misurabile e delle relative misure (Self-Programming)