

## Misurare l'invisibile *Measuring the Invisible*

Il termine "metrotomografia" indica il risultato del connubio tra metrologia e tomografia.

A differenza della tradizionale tomografia computerizzata, la metrotomografia va oltre i puri controlli visivi, offrendo l'opportunità di misurare anche le geometrie interne ed esterne di particolari molto complessi in modo accurato, completo e non distruttivo.

L'immagine 3D dell'intero volume dell'oggetto viene ottenuta componendo una sequenza di immagini ricavate tramite radiazioni elettromagnetiche, durante una rotazione di 360° del pezzo.

Avendo una descrizione completa del particolare è possibile effettuare tutta una serie di analisi che in alcuni casi diminuiscono notevolmente le tempistiche rispetto ai metodi tradizionali, in

altri casi permettono indagini fino ad oggi non realizzabili.

*The term "metrotomography" is the result of the combination of metrology and tomography.*



**Claudio Gagliardini**

Founding member of the Metrology Laboratory Quality, he is currently Quality Manager and Technical Director in the same laboratory of the company Carl Zeiss Quality Services of Novara, Italy, which specializes in measuring and calibration of measuring instruments services.



**Daniele De Console**

Mechanical Engineer, specialized in measuring using coordinate measuring instruments, he is currently the Manager of the SIT Laboratory and of the Metrotom Services at the Metrology Carl Zeiss Quality Services Laboratory of Novara, Italy. He deals with measurement services and with defect analysis through the use of computed tomography.

*Unlike traditional computer tomography, metrotomography goes beyond pure visual checks, offering the opportunity to accurately measure internal and external geometries of complex objects, using non-destructive procedures. The 3D model of the object is obtained by composing a sequence of images obtained through electromagnetic radiation during a 360° rotation of the object.*

*The accurate and complete description of the micro scale detail of the object allows to perform analysis and tests that, in some cases, significantly reduce the timeframes in respect to traditional methods and in other cases allow investigations that couldn't be completed until today.*



Fig. 1. Macchina di misura tomografica prodotta dalla Ditta Carl Zeiss (modello Metrotom 1500).

Il termine “metrotomografia” indica il risultato del connubio tra metrologia e tomografia.

A differenza della tradizionale tomografia computerizzata (CT), la metrotomografia va oltre i puri controlli visivi, offrendo l’opportunità di misurare anche le geometrie interne ed esterne di particolari molto complessi in modo accurato, completo e non distruttivo.

Avendo una descrizione completa del particolare è

possibile effettuare tutta una serie di analisi che in alcuni casi diminuiscono notevolmente le tempistiche rispetto ai metodi tradizionali, in altri casi permettono indagini fino ad oggi non realizzabili.

#### PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

La metrotomografia si basa sul principio della tecnologia dei raggi X: una sorgente produce delle radiazioni elettromagnetiche che, irradiando un

oggetto, creano la sua immagine bidimensionale, catturata in differenti livelli di grigio (radiografia) da uno schermo detettore posizionato all’estremità opposta. Se l’immagine ottenuta tramite la tecnologia a raggi X è bidimensionale e quindi utilizzabile solo per controlli visivi, la composizione della sequenza di immagini, acquisite durante una rotazione di 360° del pezzo, produce un’immagine 3D dell’intero volume dell’oggetto. La qualità delle informazioni dipende

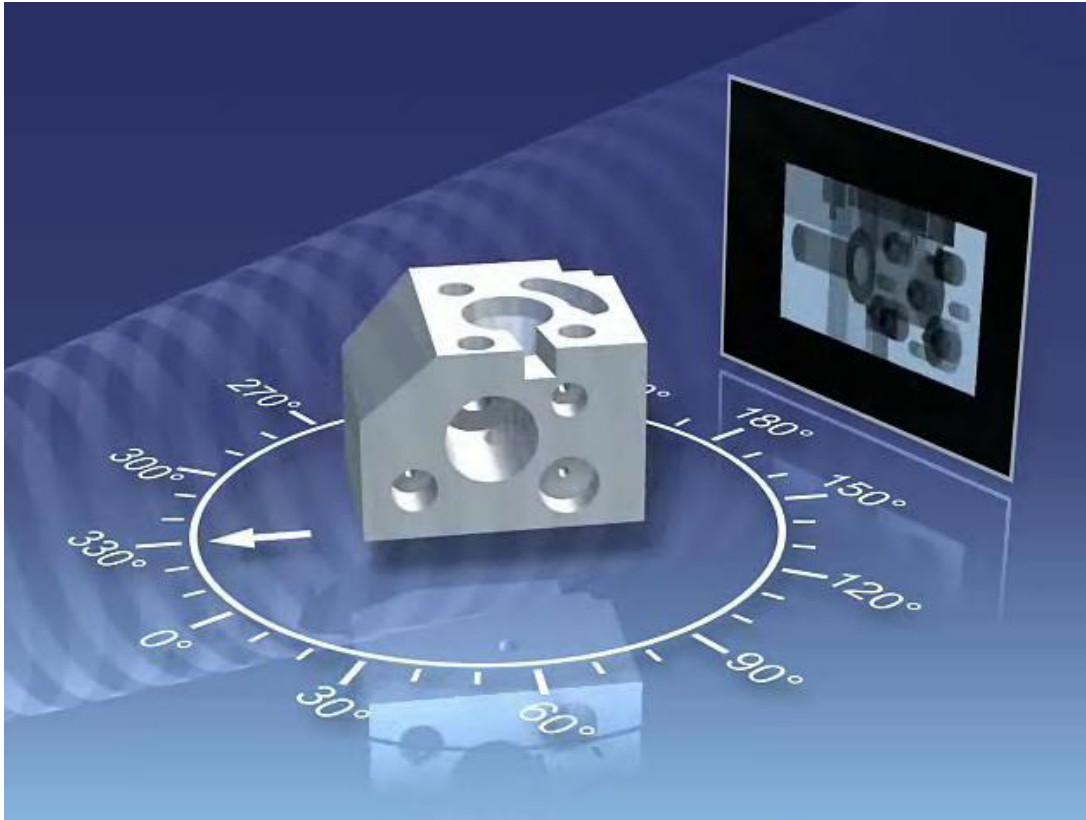


Fig. 2. Principio di funzionamento della tomografia computerizzata.

dalla qualità dell'immagine: maggiore è la definizione dell'immagine, più accurate sono le valutazioni che se ne ricavano. Grazie alla perfetta visualizzazione delle geometrie, anche di quelle più complesse, la metrotomografia consente valutazioni complete e analisi accurate.

I componenti principali di cui è composta la macchina sono:

1. Tubo radiogeno: Per mezzo dell'alta tensione viene

generato nel tubo radiogeno un fascio di elettroni che, dopo essere stato formato ed altamente focalizzato nella testa del tubo, va a colpire un elemento bersaglio (target). Il punto di impatto degli elettroni è detto macchia focale e costituisce nel sistema CT la sorgente dei raggi X. Le elevate perdite dovute alla conversione dell'energia cinetica degli elettroni in intensità di radiazione provocano il riscaldamento della testa del tubo che deve quindi essere raffreddata.

La radiazione di forma conica passa attraverso un diaframma e si diffonde in direzione dello schermo detettore.

2. Il sistema di posizionamento è formato da 3 slitte per lo spostamento secondo i tre assi x, y e z, che permettono il centraggio del pezzo rispetto al fascio conico. Il pezzo ruota per mezzo della tavola rotante che costituisce il quarto asse.

3. Nello schermo detettore i raggi X vengono

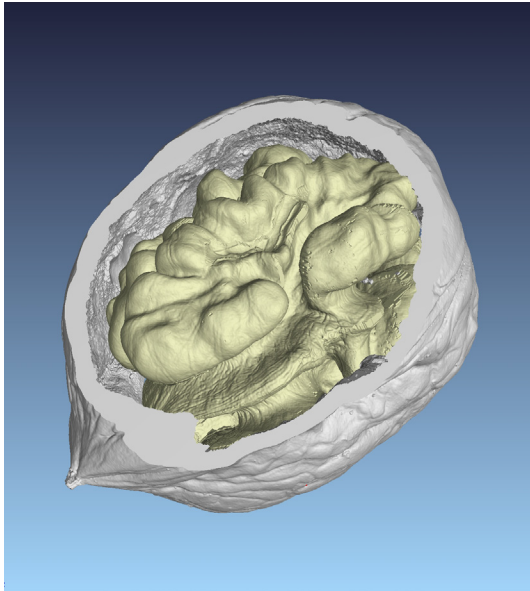


Fig. 3. Noce con separazione regioni di volume di differente densità.

convertiti in luce da un primo strato sensibile. La luce, a sua volta, viene convertita in carica elettrica dai fotodiodi posti al di dietro. La capacità di carica viene trasformata in un segnale di tensione che sul monitor del computer corrisponde ad un valore di grigio, modificabile per mezzo del guadagno dello schermo e del tempo di integrazione.

#### ACCURATEZZA DELLO STRUMENTO

Nel campo della misura mediante tomografia computerizzata non esistono ancora norme internazionali generalmente applicabili: costruttori ed utilizzatori, di fatto, si accordano su determinate specifiche da seguire per la verifica delle prestazioni di questo tipo di sistemi di misura. Sono stati realizzati, secondo standard internazionali, pezzi campione da

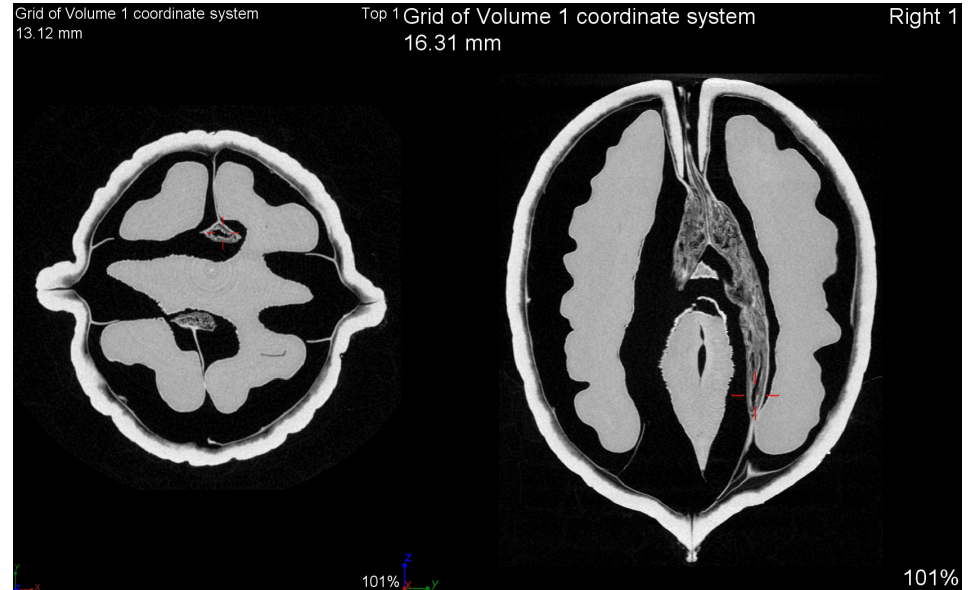


Fig. 4. Visualizzazione tomografica interna di una noce.

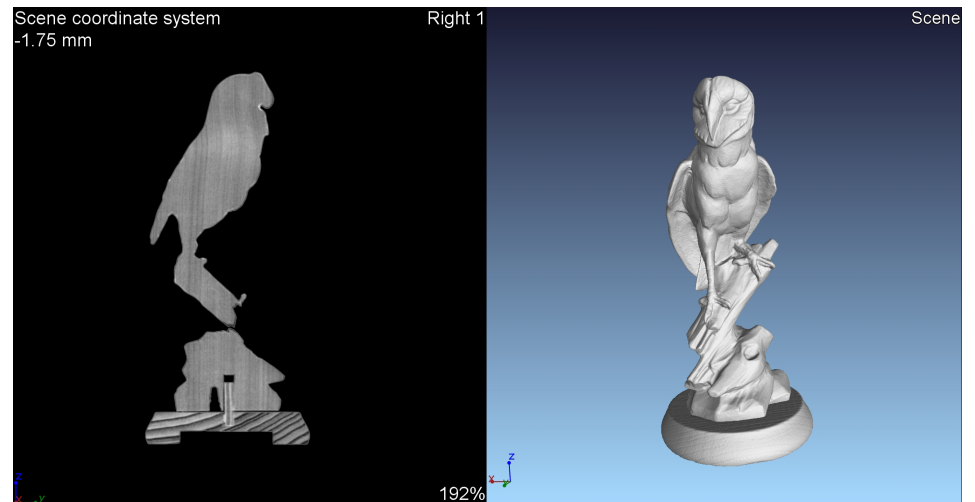


Fig. 5. Reverse engineering di una scultura in legno.



Fig. 6. Separazione regioni di volume di materiale differente.

certificare presso enti accreditati: questi campioni contengono determinati elementi geometrici, da misurare sia attraverso la ricostruzione diretta dell'intero volume dell'oggetto, sia attraverso la misura di sezioni medie estratte dall'oggetto stesso. I risultati di misura ottenuti, comparati con i valori

di riferimento certificati, determinano il grado di accuratezza dello strumento.

Per verificare i diversi tipi di prestazioni metrologiche, le norme ISO 10360 definiscono parametri di valutazione in termini di massimo errore ammesso (MPE).

I valori MPE dovrebbero costituire il criterio più importante nella scelta della macchina di misura da utilizzare per le misurazioni su particolari singoli o poco numerosi. Di seguito si riportano i valori di MPE caratteristici di due diversi modelli di macchine di misura tomografiche prodotte dalla ditta Carl Zeiss:

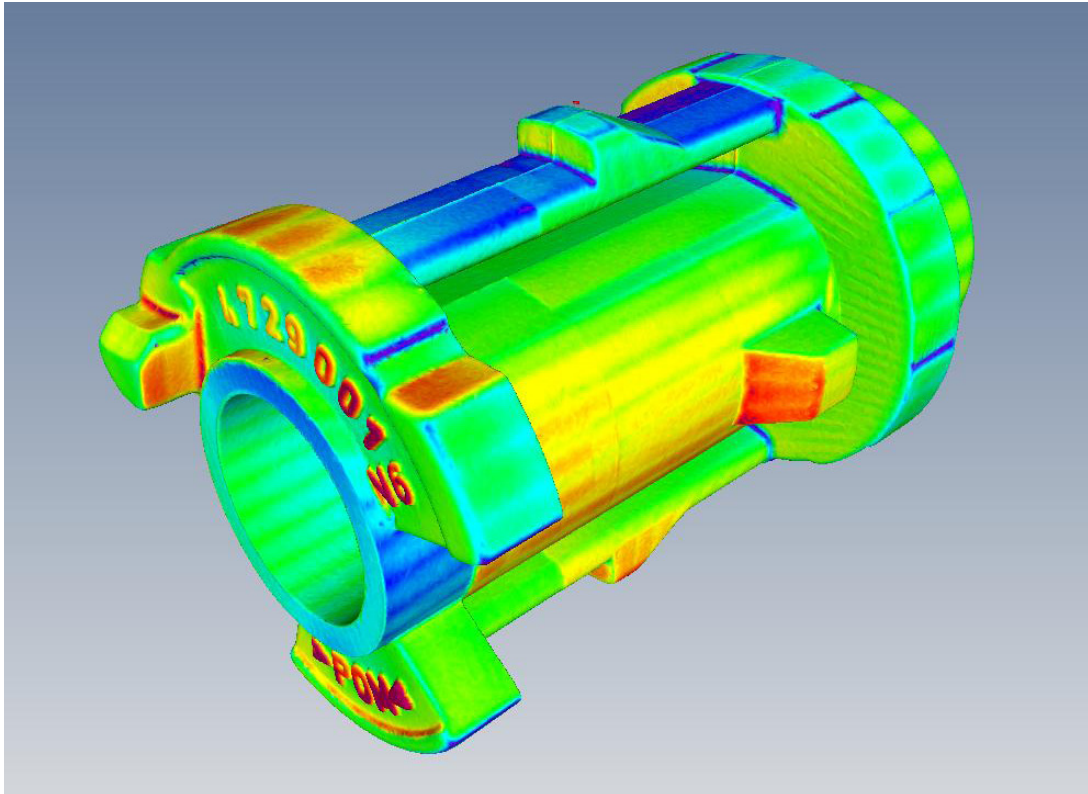


Fig. 7. Comparazione dimensionale del pezzo reale misurato rispetto al disegno CAD nominale.

Metrotom 800 -> volume di misura  $\varnothing 125 \times 150$  mm ->  
 $MPE = 4.5 + L/100 \mu\text{m}$

Metrotom 1500 -> volume di misura  $\varnothing 300 \times 350$  mm  
->  $MPE = 9 + L/50 \mu\text{m}$

Uno studio di capacità tipo GR&R (Gage Repeatability and Reproducibility) può essere invece un buon investimento laddove la macchina di misura sia

impiegata nel controllo di elevati numeri di pezzi identici o simili. Nella misura mediante tomografia computerizzata, l'applicazione di criteri analoghi incontra tuttavia una serie di difficoltà. Sebbene il comitato 3.33 VDI/VDE stia attualmente sviluppando standard specifici, il risultato è ostacolato da conflitti di interesse. Per garantire la massima affidabilità dei risultati di misurazione ottenuti tramite CT, è necessario effettuare test di valutazione completi ed

applicare procedure di accettazione e di verifica della accuratezza di misura estremamente esaustive. Significative attività in tal senso sono state effettuate nel corso degli ultimi anni presso clienti di primaria importanza e con la collaborazione diretta degli stessi.

#### POSSIBILITÀ E LIMITI DELLA TECNOLOGIA

Le analisi che si possono effettuare a partire

dall'immagine acquisita possono essere così raggruppate:

1. comparazione 3D rispetto al modello CAD nominale o rispetto ad un altro particolare misurato;
2. reverse engineering: ricostruzione fedele del 100% delle superfici del particolare in esame, senza limitazioni di sottosquadra o di pareti interne;
3. analisi delle difettosità interne, come porosità ed inclusioni;
4. controllo di particolari assemblati, per verificare mal posizionamenti e rotture interne;
5. verifica dimensionale delle quote indicate a disegno.

A seconda della potenza del tubo radiogeno è possibile analizzare differenti tipi di materiale in quanto maggiore è la densità del materiale sottoposto

a scansione e minore sarà lo spessore penetrabile. Per i materiali a bassa densità quali legno, gomma, plastica, cellulosa, gesso, ecc. gli spessori massimi penetrabili variano tra i 120 e 250 mm, riducendosi a soli 10 mm per i metalli quali l'acciaio, l'ottone, ecc. Ogni immagine catturata dallo schermo detettore (1024 x 1024 pixel) viene descritta tramite una scala di 65000 livelli di grigio.

Nel caso in cui il particolare sia costituito da più materiali di diversa densità ad essi corrisponderanno valori della scala di grigi differenti, cosicché diviene possibile separare in maniera semi-automatica regioni interne al particolare analizzato.

#### CONTROLLO DIMENSIONALE DEI PARTICOLARI

La comparazione tra le quote rilevate e le quote

nominali rappresenta lo strumento per verificare, in modo rapido e accurato, la corretta realizzazione di un pezzo. I dati ricavati sono utilizzati nelle fasi di sviluppo, di progettazione e di produzione: errori e potenziali punti critici possono così essere individuati e adeguatamente corretti. Questi processi, che in passato richiedevano settimane di lavoro, sono oggi realizzabili in poche ore con la metrotomografia. Misurare la prima campionatura di un particolare richiede normalmente molte ore di lavoro, se non addirittura giorni. Oggi è possibile, basandosi sul file CAD, creare un programma di misura off-line completo ed eseguirlo in pochi minuti dopo l'acquisizione tomografica, risparmiando così fino all'80% di questo tempo ed ottenendo risultati di elevata qualità nella forma desiderata.

In questo modo la produzione e lo sviluppo interagiscono con il Controllo di Qualità in un solo giorno e concordano tempestivamente eventuali interventi correttivi.

#### CONCLUSIONI

La capacità della tomografia computerizzata di catturare l'intero volume di un pezzo in una sola scansione è unica. Ciò è particolarmente vantaggioso per pezzi con geometrie complesse, dove le macchine di misura a contatto non riescono a catturare talune dimensioni, mentre le ombre o i sottosquadri impediscono la misura ottica di altre quote. Questa tecnologia offre inoltre possibilità del tutto nuove, permettendo il riconoscimento delle superfici interne non visibili, la separazione di regioni del volume e

l'identificazione spaziale delle difettosità interne, il tutto mantenendo il particolare integro.