

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA A.D. 1222

Convegno
Controlli innovativi per la costruzione e la manutenzione di componenti meccanici ed opere infrastrutturali
 Vicenza, 26 giugno 2015

Tomografia computerizzata a raggi X per il controllo dimensionale di prodotti meccanici

Simone Carmignato
 Università degli Studi di Padova, DTG
simone.carmignato@unipd.it

Sommario

- Introduzione: Tomografia computerizzata industriale
- Potenzialità ed esempi applicativi:
 - Metrologia 3D
 - Analisi difetti interni
 - Analisi assemblati
 - Analisi prototipi
 - ...
- Limiti attuali, errori di misura, accuratezza
- Conclusioni

Univ. Padova, S. Carmignato Tomografia computerizzata a raggi X per il controllo dimensionale di prodotti meccanici #2

Gruppo Tecnologie e sistemi di lavorazione

23 ricercatori:
 6 docenti,
 2 tecnici,
 15 dottorandi e post-doc.

Laboratori (1600 m²) a Padova and Rovigo con apparecchiature allo stato dell'arte.
 5 aree di ricerca.

www.labtesi.dii.unipd.it

Metrologia dimensionale

Metal forming

Polymer processing

Additive manufacturing

Univ. Padova, S. Carmignato Tomografia computerizzata a raggi X per il controllo dimensionale di prodotti meccanici #4

Tomografia a raggi X: applicazioni industriali

PND e analisi difetti interni

Controllo di assemblati

Analisi materiali (3D)

Controllo dimensionale 3D

Origini della tomografia a raggi X

- 1895: Scoperta dei raggi X
- 1930: Stratigrafia
- 1971: Prima scansione TAC su paziente
- 1990: CT per prove non distruttive
- 2005: CT per metrologia dimensionale

CT = Computed Tomography

Univ. Padova, S. Carmignato Tomografia computerizzata a raggi X per il controllo dimensionale di prodotti meccanici #6

Dalla TAC medica al CT industriale

Medicale Industriale

Caratteristiche dei sistemi CT industriali metrologici:

- Sorgente e detector non ruotano; l'oggetto è su tavola rotante (asse verticale)
- Energie elevate: ad es. 200 KeV o 450 KeV
- Sorgenti microfocus, risoluzioni micrometriche
- Attenzione all'accuratezza e riferibilità delle misure (temperatura, verifica prestazioni, ...)

Univ. Padova, S. Carmignato Tomografia computerizzata a raggi X per il controllo dimensionale di prodotti meccanici #7

CT industriale: scanner 2D e 3D

Scanner 2D **Scanner 3D**

X-ray source rotary table line detector X-ray source rotary table area detector

- Detector 1D
- Acquisizione lenta: una sezione per giro
- Detector 2D
- Acquisizione rapida: intero volume

Univ. Padova, S. Carmignato Tomografia computerizzata a raggi X per il controllo dimensionale di prodotti meccanici #8

Processo di elaborazione dati CT

Proiezioni radiografiche Ricostruzione volume 3D Determinazione superficie

Pixels: Voxels: Coordinate di punti sulla superficie

Univ. Padova, S. Carmignato Tomografia computerizzata a raggi X per il controllo dimensionale di prodotti meccanici #9

CT: dalla scansione alle ricostruzioni 3D

Modello CAD Oggetto

Tomografia Computerizzata

Sezioni 2D (livelli di grigio)

Dati di misura 3D

Nuvola p.ti Modello stl

Confronto (Controllo dimensionale) Reverse Engineering

Visualizzazione di difetti (CND)

Prototipazione

Simulazione

Univ. Padova, S. Carmignato Tomografia computerizzata a raggi X per il controllo dimensionale di prodotti meccanici #10

Metrologia dimensionale: Confronto CAD-CT

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

TESI

Univ. Padova, S. Carmignato

Analisi spessore pareti

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

TESI

Univ. Padova, S. Carmignato

Analisi assemblati

Univ. Padova, S. Carmignato Tomografia computerizzata a raggi X per il controllo dimensionale di prodotti meccanici #13

Analisi dell'usura

- Studio dell'usura di protesi ortopediche
- Misura locale e globale del volume usurato

[Carmignato S., CIRP Annals 2011]

Univ. Padova, S. Carmignato Tomografia computerizzata a raggi X per il controllo dimensionale di prodotti meccanici #14

Analisi dell'usura

- Studio dell'usura di utensili da taglio
- Confronto tra utensile nuovo e usurato

Univ. Padova, S. Carmignato Tomografia computerizzata a raggi X per il controllo dimensionale di prodotti meccanici #15

Misura del volume di microcavità

- Stent coronarici a rilascio di farmaco

500 μ m

[Carmignato S., CIRP Annals 2011]

Univ. Padova, S. Carmignato Tomografia computerizzata a raggi X per il controllo dimensionale di prodotti meccanici #16

Fibrinforzati: Analisi orientazione fibre

TESI

Univ. Padova, S. Carmignato Tomografia computerizzata a raggi X per il controllo dimensionale di prodotti meccanici #17

CT for Additive Manufacturing

TESI

Univ. Padova, S. Carmignato Tomografia computerizzata a raggi X per il controllo dimensionale di prodotti meccanici #18

CT per l'Additive Manufacturing

- Fase 3: Analisi porosità

Univ. Padova, S. Carmignato Tomografia computerizzata a raggi X per il controllo dimensionale di prodotti meccanici #19

Ruoli della CT nella produzione industriale

Esempio: CT per l'Additive Manufacturing (AM)

- Controllo qualità e metrologia dimensionale:


```

            graph LR
            AM[AM] --> CT[CT] --> Report[Report]
            
```
- Sviluppo prodotto e ottimizz. processo:


```

            graph LR
            AM[AM] --> CT[CT] --> AM
            
```
- Reverse engineering per l'AM:


```

            graph LR
            Object[Object] --> CT[CT] --> AM[AM]
            
```

Esempio AM: Microvalvola in titanio

Univ. Padova, S. Carmignato Tomografia computerizzata a raggi X per il controllo dimensionale di prodotti meccanici #20

Ingrandimento

$Ingrandimento = DSD / DSO$

DSD = Distanza Sorgente-Detector
DSO = Distanza Sorgente-Oggetto

Univ. Padova, S. Carmignato Tomografia computerizzata a raggi X per il controllo dimensionale di prodotti meccanici #21

Spot size

$Ingrandimento = DSD / DSO$

Univ. Padova, S. Carmignato Tomografia computerizzata a raggi X per il controllo dimensionale di prodotti meccanici #22

Determinazione della superficie (valore di soglia)

[Fonte: CIRP Keynote 2011]

Univ. Padova, S. Carmignato Tomografia computerizzata a raggi X per il controllo dimensionale di prodotti meccanici #23

Determinazione della superficie (valore di soglia)

Valore di soglia crescente

Univ. Padova, S. Carmignato Tomografia computerizzata a raggi X per il controllo dimensionale di prodotti meccanici #24

Beam hardening

- Radiazione non monocromatica
- Le radiazioni a energia più bassa sono attenuate maggiormente
- Solo i raggi a energia più elevata riescono a penetrare spessori maggiori
- Attenuazione non lineare

Univ. Padova, S. Carnignato Tomografia computerizzata a raggi X per il controllo dimensionale di prodotti meccanici #25

Beam hardening

Non filtrato Filtrato

Rimedi:

- Filtraggio
- Correzioni software
- Sorgenti monocromatiche (Sincrotrone)

Univ. Padova, S. Carnignato Tomografia computerizzata a raggi X per il controllo dimensionale di prodotti meccanici #26

Spessore di materiale

Source (kV)	Max. thickness (mm)		
	Alumin.	Steel	Lead
100 kV	40	8	0.5
160 kV	100	15	1
225 kV	150	50	4
320 kV	250	60	7
450 kV	350	75	8

Maximum material thickness versus power. Given values may vary 70 mm depending on type of source, frequency, current, exposer time, etc.) [Source: X-TEK]

Univ. Padova, S. Carnignato Tomografia computerizzata a raggi X per il controllo dimensionale di prodotti meccanici #27

Sviluppo di campioni e procedure per la verifica e il miglioramento dell'accuratezza

CT Tetrahedron Pan Flute Gauge Hourglass standard

Increasing structure resolution

Univ. Padova, S. Carnignato Tomografia computerizzata a raggi X per il controllo dimensionale di prodotti meccanici #28

Determinazione errori sistematici: soglia ed errori di scala

- Correzione degli **errori di scala** impiegando una **barra a fori cilindrici** (diametri e interassi tarati):

$$\text{Fattore di scala} = \frac{L_{\text{riferimento (da taratura)}}}{L_{\text{misurato da CT}}}$$

$L_{\text{misurato da CT}}$ non è influenzato dalla soglia!

- Correzione **soglia** utilizzando una **barra a fori cilindrici** (diametri e interassi tarati):

[Carnignato, AITEM 2007]

Univ. Padova, S. Carnignato Tomografia computerizzata a raggi X per il controllo dimensionale di prodotti meccanici #29

Progetto CT Audit

Progetto internazionale coordinato da Università di Padova

CT Audit

'CT Audit' è stato il **primo confronto internazionale** di sistemi CT per la metrologia dimensionale

CT Audit Workshop – Padova, ottobre 2011.

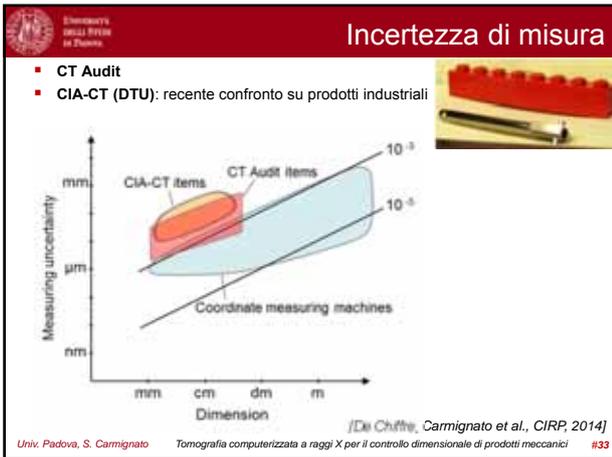
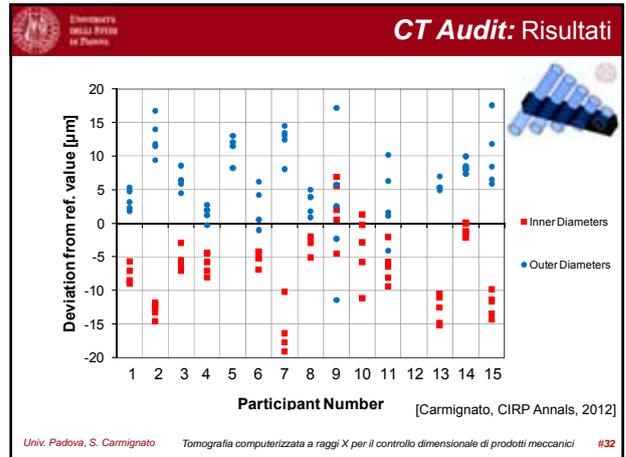
Univ. Padova, S. Carnignato Tomografia computerizzata a raggi X per il controllo dimensionale di prodotti meccanici #30

CT Audit: Partecipanti

Partner con sistemi CT per metrologia dimensionale in Europa, America e Asia.

- AIST/NMIJ – National Metrol. Inst. (J)
- BAM, Federal Inst. Mater.&Test. (D)
- Elettra Sinc. S.C.p.A (I)
- Human Tech. Reas. Inst. at AIST (J)
- ITC of Tochigi (J)
- Katholieke Universiteit Leuven (B)
- Nikon Metrology, XTek Systems (UK)
- Novo Nordisk – Device R&D (DK)
- Novo Nordisk – DMS (DK)
- Pratt&Whitney Austin (USA)
- RayScan Technologies GmbH (D)
- RWTH Aachen University WZL (D)
- Univ. Erlangen – QFM (D)
- Univ. Padova (I)
- Univ. Zaragoza (E)
- Werth Messtechnik GmbH (D)

Univ. Padova, S. Carmignato Tomografia computerizzata a raggi X per il controllo dimensionale di prodotti meccanici #31



ISO TC 213 WG 10 test study - material influence in CT

Developing new ISO standard on performance verification of CT systems. (equivalent to ISO 10360 – CMM)

10 mm

Univ. Padova, S. Carmignato Tomografia computerizzata a raggi X per il controllo dimensionale di prodotti meccanici #34

Conclusioni

Vantaggi della tomografia:

- Misura tridimensionale e navigabile della struttura interna ed esterna;
- Analisi di prodotti assemblati, multi-materiale e materiali compositi;
- Da un'unica scansione: misura dimensionale e controllo non distruttivo;
- Tempi di scansione indipendenti dalla complessità della geometria;
- Consente una forte riduzione dei tempi di sviluppo di nuovi prodotti.

Sfide:

- Riduzione di tempi e costi di scansione;
- Molti parametri influenzano la qualità dei risultati;
- Accuratezza e riferibilità delle misure dimensionali.

Univ. Padova, S. Carmignato Tomografia computerizzata a raggi X per il controllo dimensionale di prodotti meccanici #35

E-mail: simone.carmignato@unipd.it

Grazie!
Domande?