

# Non-contact 3D optical profilometer for advanced surface characterization

Francesca Cirisano

UOS-Genova



# Microscopia Ottica 3D confocale

Confocale:

- La luce proveniente dalla sorgente illumina l'oggetto un solo punto per volta
- necessaria una scansione per formare l'immagine finale

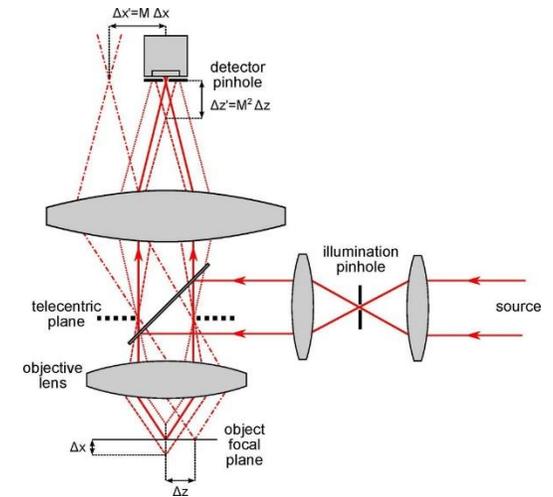
✓ Misura variazioni locali in altezza direttamente indipendentemente dall'illuminazione

Tradizionale:

- il fascio di illuminazione investe l'intero campione
- ✓ La microscopia classica lavora sul contrasto dell'immagine ed è funzione delle riflessioni multiple, delle proprietà ottiche del materiale e delle pendenze.

✓ Confocale necessario ottimizzare il rapporto S/N

✓ Possibilità si ottenere immagini 3D (somma di diverse sezioni ottiche)



# Profilometria

Il profilometro è uno strumento di misura per la quantificazione della rugosità di una superficie.

- A contatto
  - Senza contatto
- 
- ✓ Velocità: non toccando la superficie, la velocità di scansione dipende solo dalla velocità di riflessione della luce sulla superficie e dalla velocità di acquisizione dell'elettronica dello strumento.
  - ✓ Affidabilità: i profilometri ottici non toccano le superfici e non possono danneggiarle, sono più sicuri. Poca manutenzione.

# Lo strumento: *Sensofar S-Neox*

SENSOFAR

- Confocale
- Interferometria
- Focus Variation

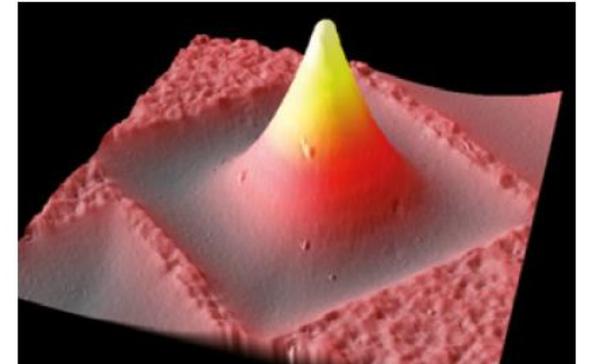
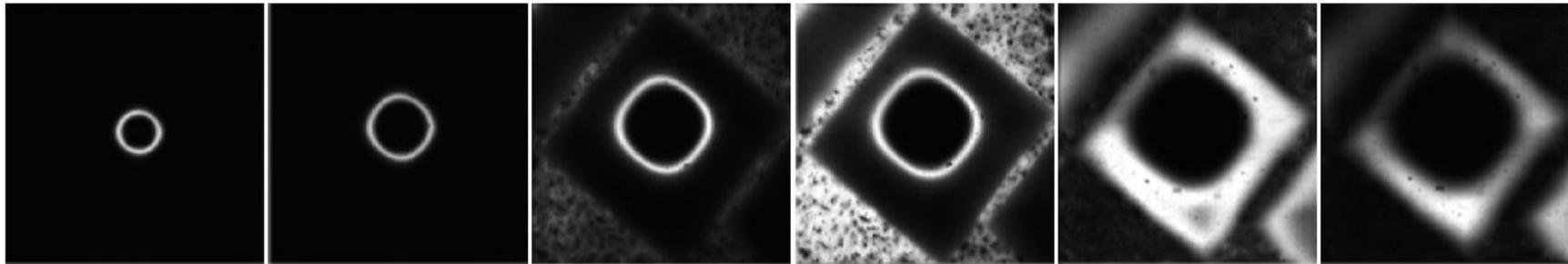
Le tecniche confocale e interferometrica possono essere utilizzate per misurare lo spessore di uno strato o una lamina trasparente, nonché la superficie del substrato. Le opzioni per le misurazioni dello spessore includono singoli punti, profili e topografia



# Confocale

- Sviluppati per misurare l'altezza di superfici lisce fino a molto ruvide.
- Massima risoluzione laterale che può essere raggiunta da un profilometro ottico
- Acquisizione di dati da superfici lisce con pendenze locali ripide oltre  $70^\circ$  (per superfici ruvide fino a  $86^\circ$ )

Alla luce fuori fuoco viene impedita l'entrata nel sistema di imaging e viene catturato solo il piano di messa a fuoco sul campione. Profili 2D e immagini di superfici 3D possono essere catturati scansionando l'apertura meccanicamente o digitalmente.

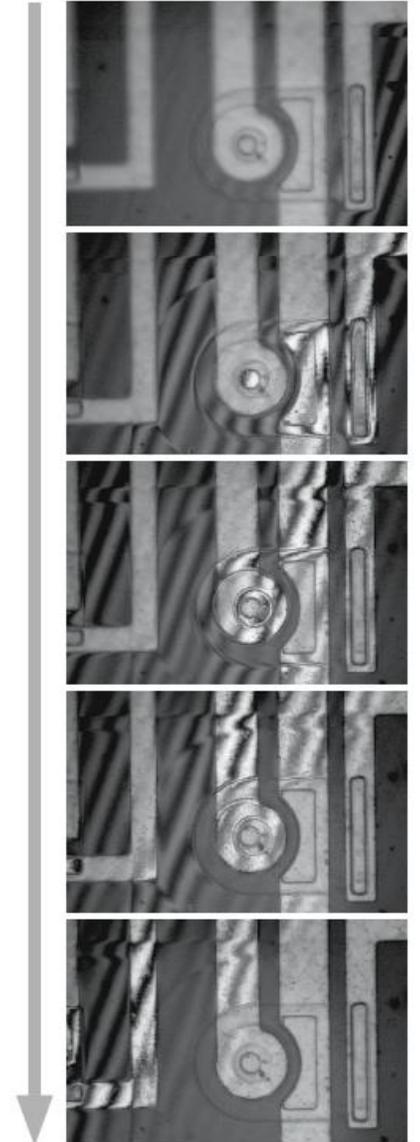


# Interferometria

L' interferometria ottica fa uso della differenza di percorso ottico tra la luce riflessa da un riferimento e quella proveniente dal campione per produrre un modello di interferenza spaziale (interferogrammi) che contiene informazioni sulla topologia superficiale del campione.

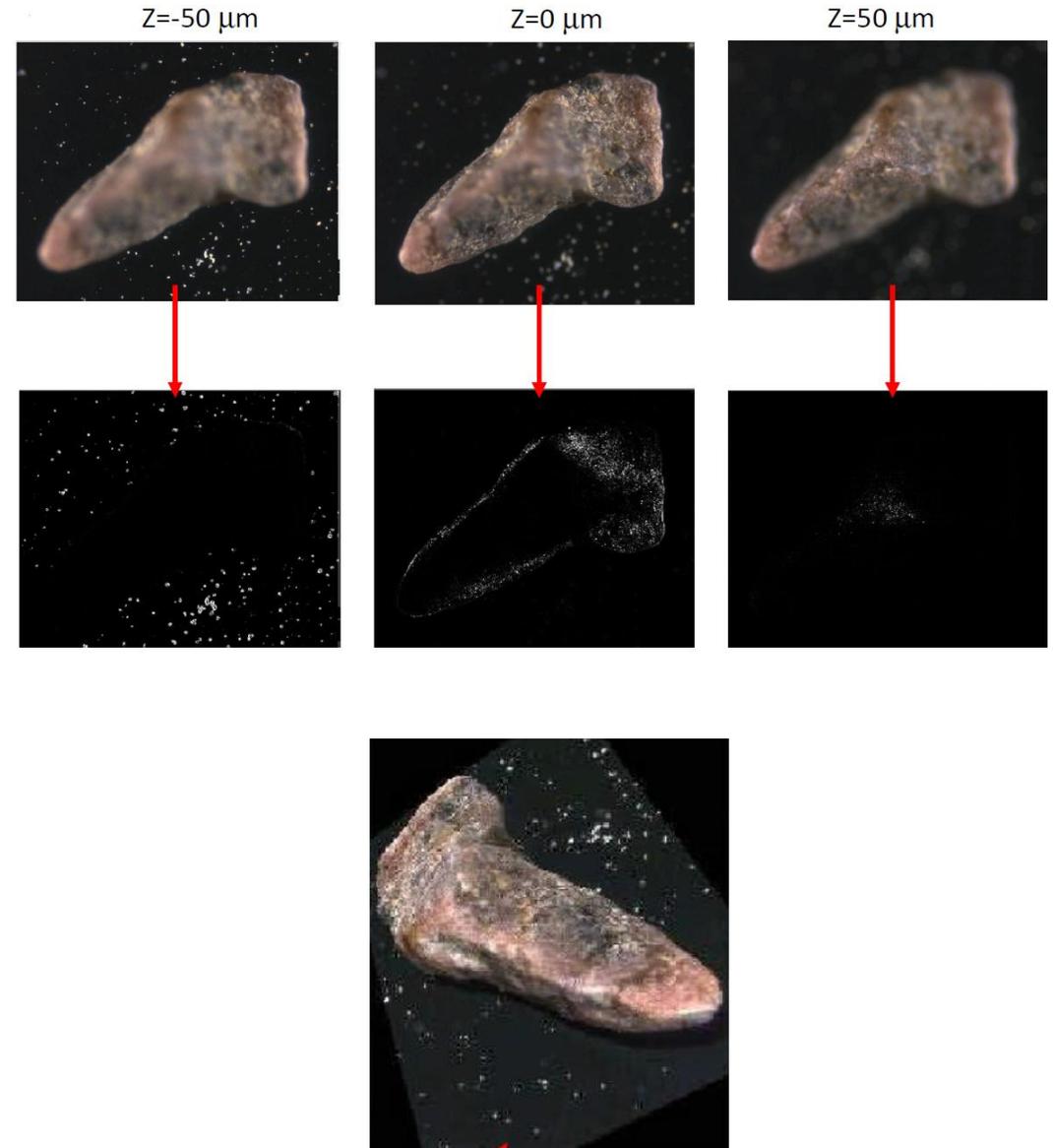
A seconda della topografia del campione, è possibile scegliere tra due modalità di interferometria:

- *Interferometria a scansione verticale (VSI)*, nota anche come White Light Interferometry (WLI – interferometria a luce bianca), per le superfici da lisce a moderatamente ruvide;
- *Phase Shift Interferometry (PSI – Interferometria a variazione di fase)* per le superfici estremamente lisce.
- VSI è ideale per la misurazione ad alta velocità delle superfici lucide con ruvidità media.

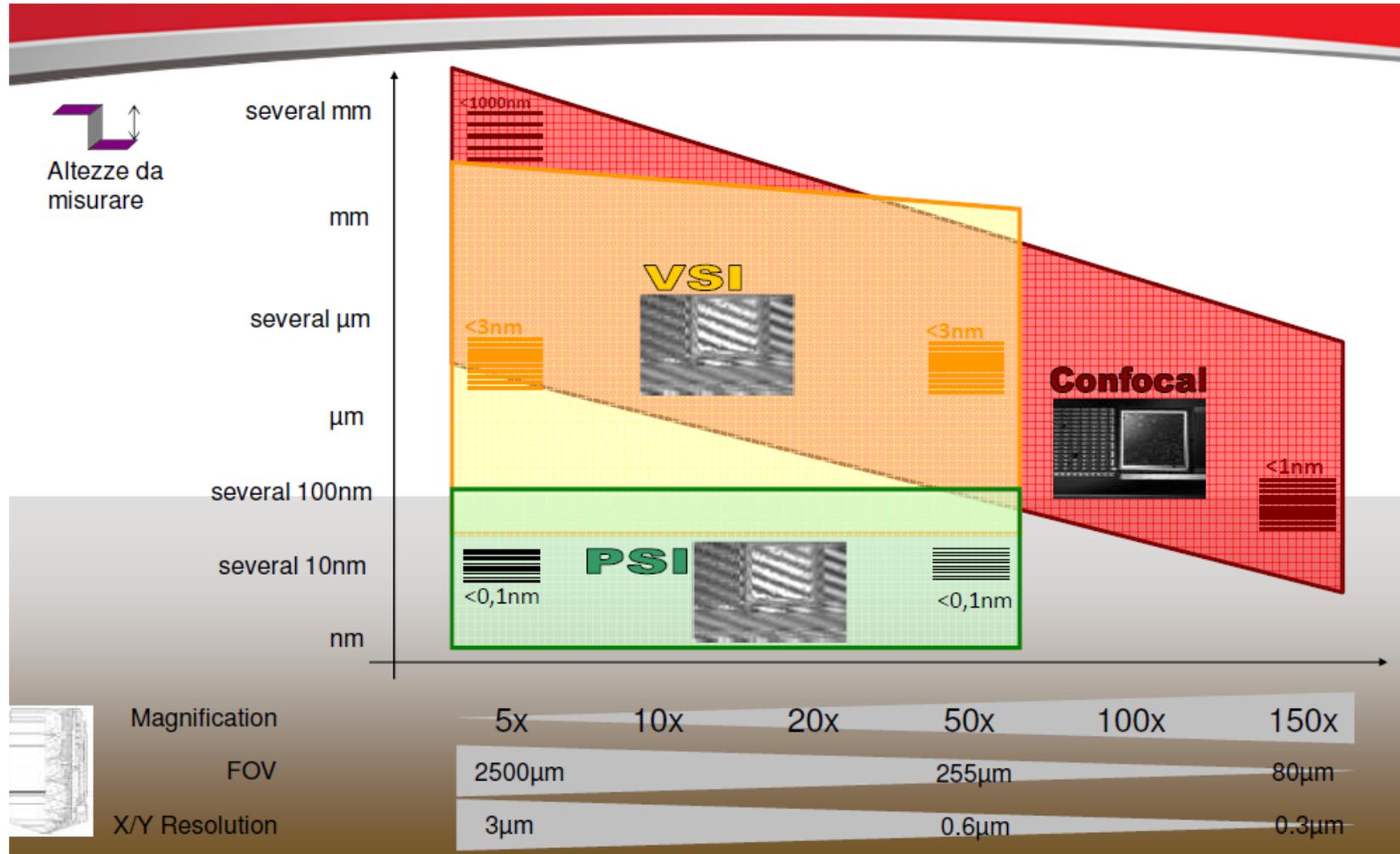


# Focus variation

- Focus Variation è una tecnica ideale per misurare la forma di grandi superfici. È stata progettata per integrare le misure confocali a basso ingrandimento.
- Focus Variation acquisisce le topografie in modalità campo largo, tutta la luce riflessa dal campione viene raccolta dall'obiettivo anche delle aree del campione con pendii ripidi fino a  $89^\circ$  o superfici estremamente ruvide.
- Misure di rugosità non attendibili (necessità di integrare misure confocali)
- Elevate velocità di misurazione (mm/s) e ampio range verticale
- Questa combinazione di misurazione sono principalmente utilizzate per le applicazioni e lo studio di utensili.



# Campo di utilizzo delle diverse tecniche



# Vantaggi

- Risoluzione laterale ottimale, risoluzione delle pendenze e visualizzazione con il microscopio confocale ad alta definizione (HD)
- Risoluzione verticale fino a 0.1 nm con interferometria HD
- Facile cattura di immagini in microscopia classica in modalità campo chiaro e campo scuro
- Quattro LED per la visualizzazione a colori HD RGB e per un ampio ambito di applicazioni (sistemi fotosensibili)
- Configurazione e obiettivo appropriati per ogni campione
- Non richiede la preparazione di campioni
- Scansione confocale digitale HD veloce e affidabile
- Cattura rapida di vaste superfici con ampio campo visivo e stitching topografico
- Software intuitivo 2D e 3D per l'acquisizione e l'analisi dei dati



# Software di lavoro Mountain SensoMap– Digital surf



Parametri di superficie e trasformate  
3D per le analisi 3D avanzate:

- parametri della struttura superficiale locale (ISO 25178, EUR 15178)
- parametri primari e di rugosità su profili di sezioni (ISO 4287)
- Fourier Analysis
- analisi frattale
- Applicare soglie
- Eliminare punti anomali
- Inserire punti non calcolati
- Creazione di report

# Superfici superidrofobiche e proprietà correlate a parametri superficiali

**Progetto:** RITMARE SP1\_WP2 e WP5

**Responsabile:** M. Ferrari, A. Benedetti

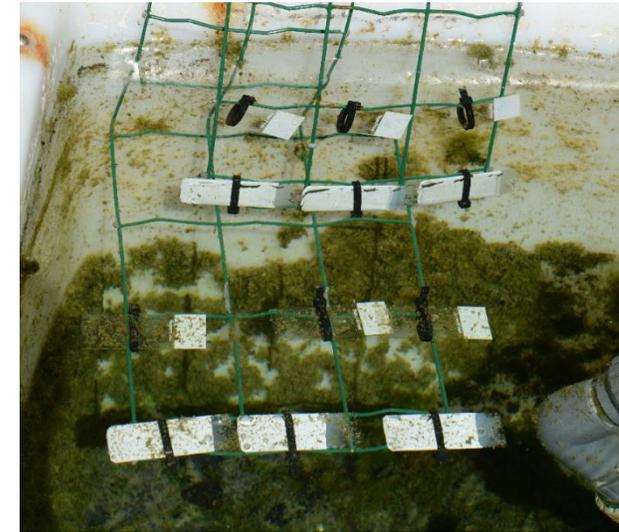
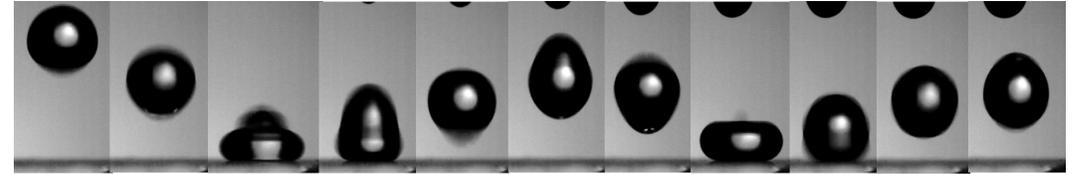
**Partecipanti:** CNR-ICMATE, DCCI

● **Void volum vs pulizia coating**

**Progetto:** ANFISOL

**Responsabile:** M. Ferrari

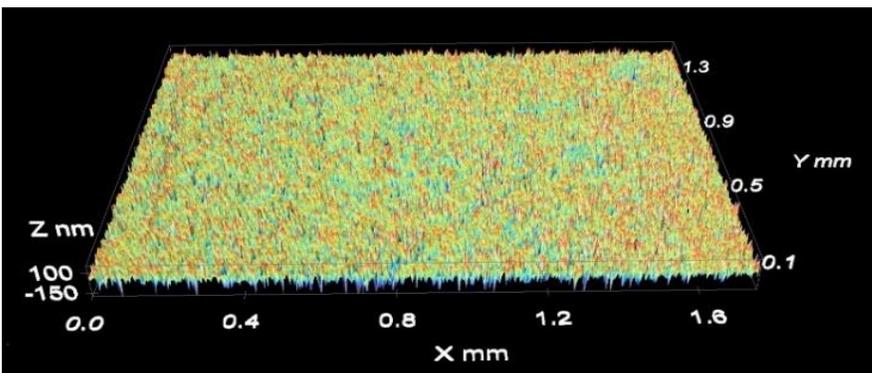
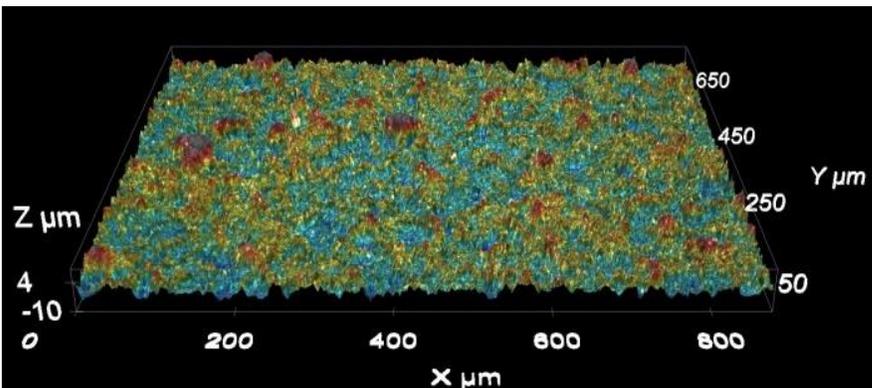
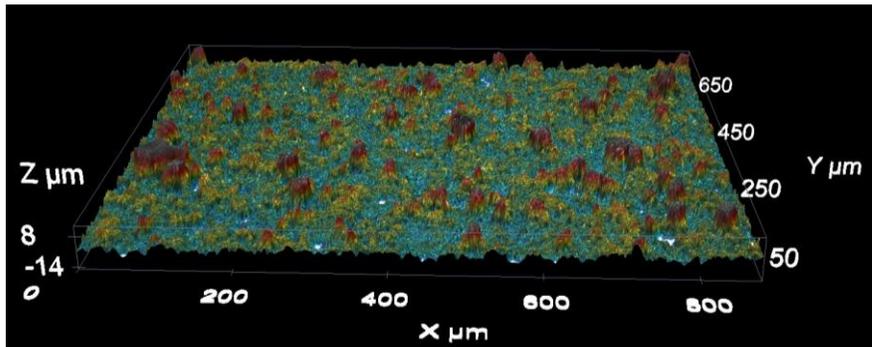
**Partecipanti:** CNR-ICMATE, DCCI



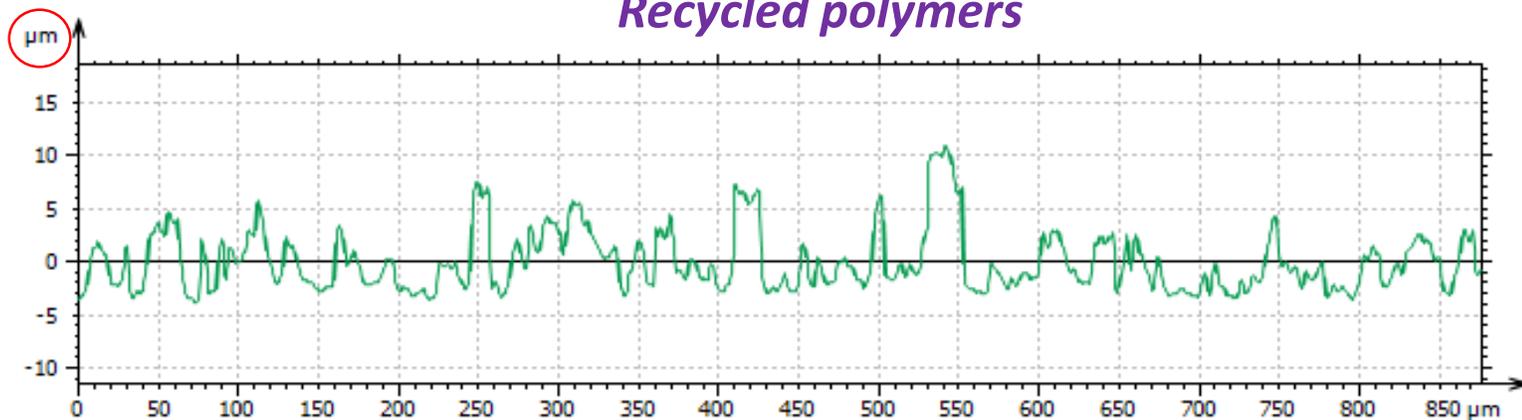
*Cirisano F. et al. Amphiphobic coatings for antifouling in marine environment, Colloids Surf. A 505 (2016) 158-164*

*Ferrari M. et al. Superhydrophobic coating from recyclable materials for protection in a real sea environment, Coatings 2019, 9, 303*

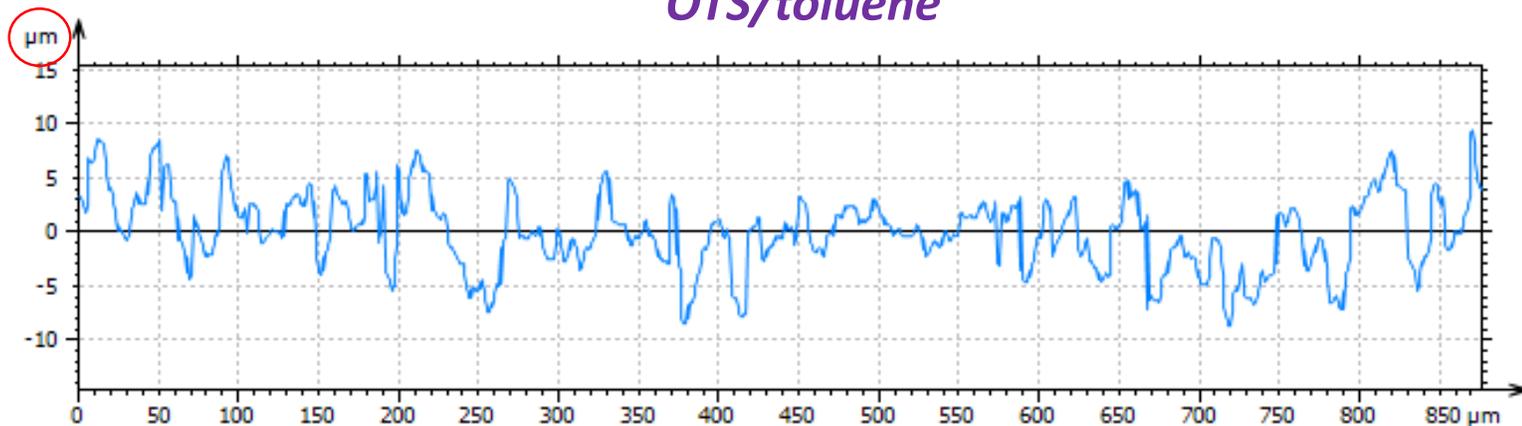
# Immagini 3D e profili



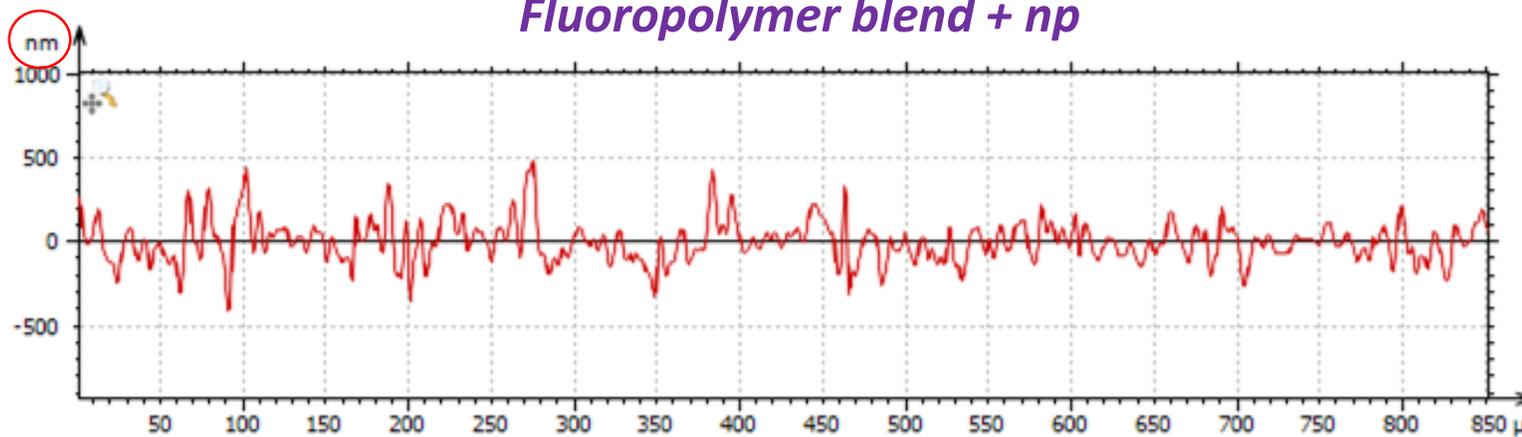
*Recycled polymers*



*OTS/toluene*

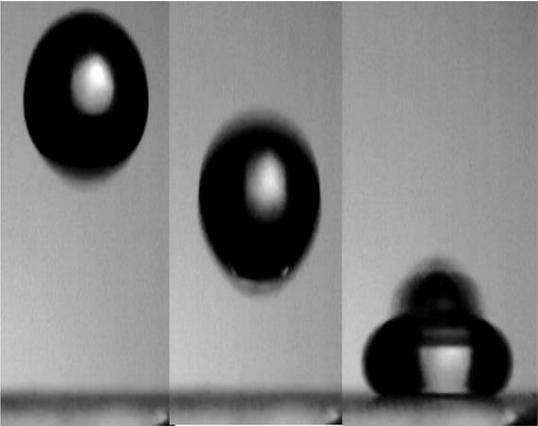


*Fluoropolymer blend + np*

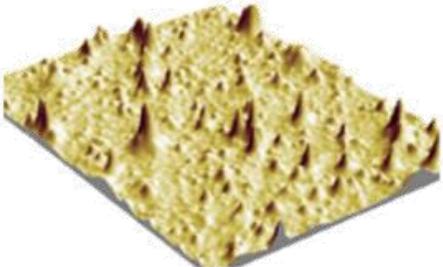


# Correlazione bouncing e parametri superficiali

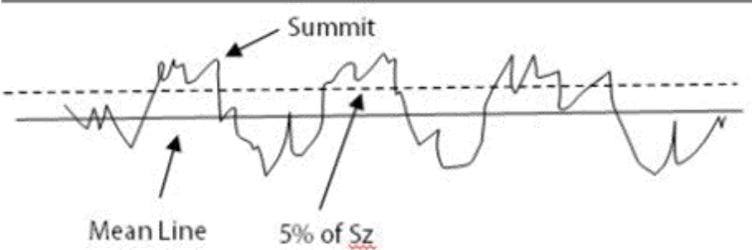
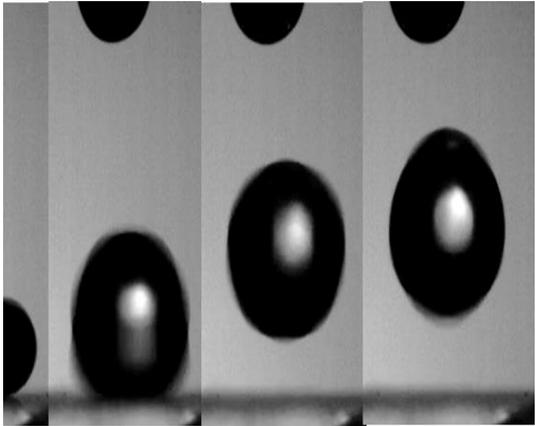
SdS = densità dei picchi ↔ Numero di rimbalzi

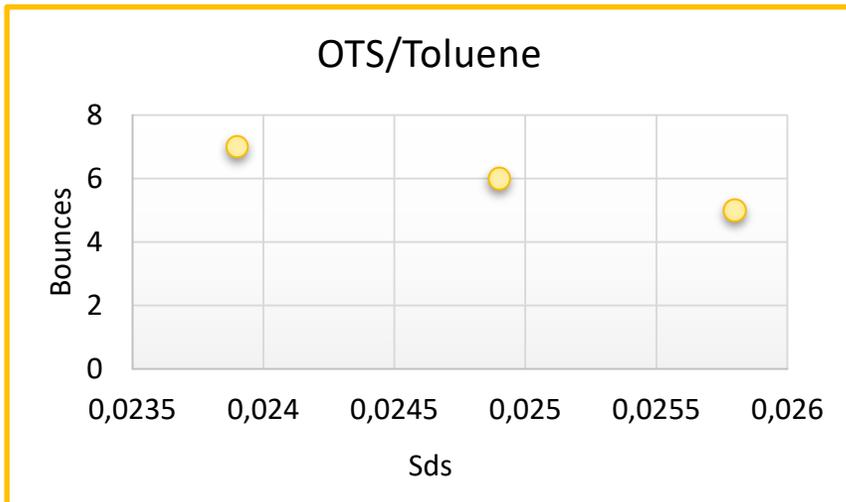
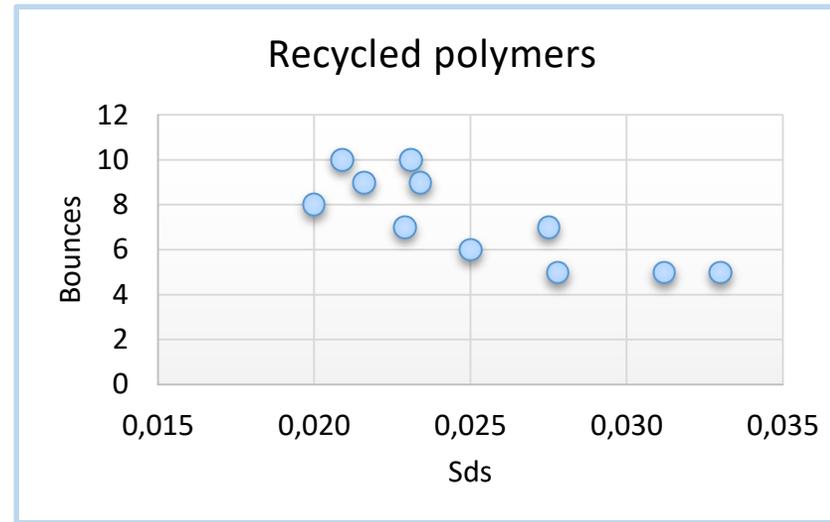
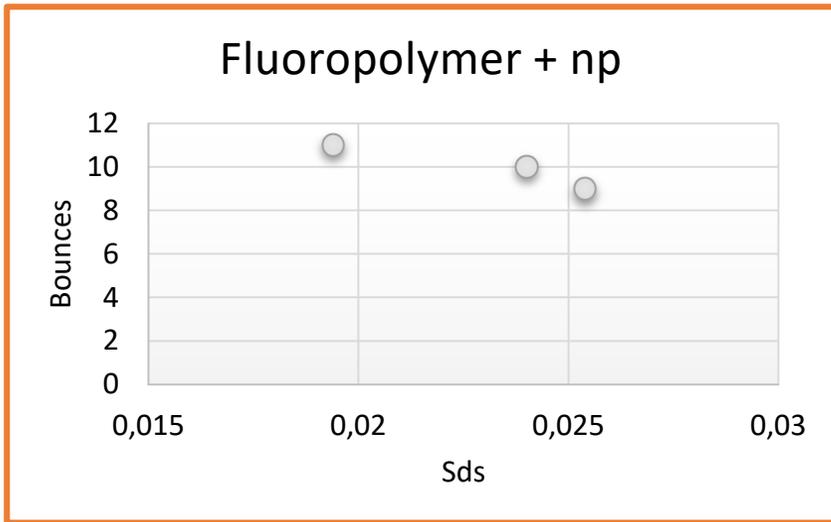


$$S_{ds} = \frac{\text{Number of Peaks}}{\text{Area}}$$



Surface with Sds ~ 2600 summits/mm.





All'aumentare di Sds diminuiscono i rimbalzi

>Sds >numero di picchi

Picchi più fitti → Si va verso una superficie liscia

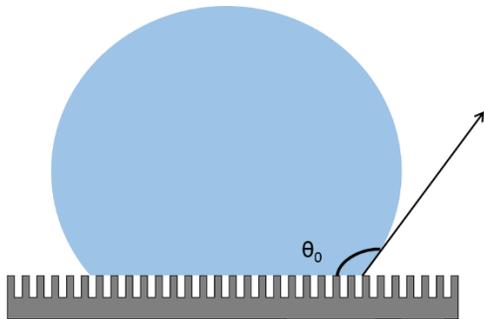
~~superidrofobità~~

# Correlazione proprietà Anti biofouling e parametri superficiali

## Void volume ( $\mu\text{m}^2 / \mu\text{m}^3$ )

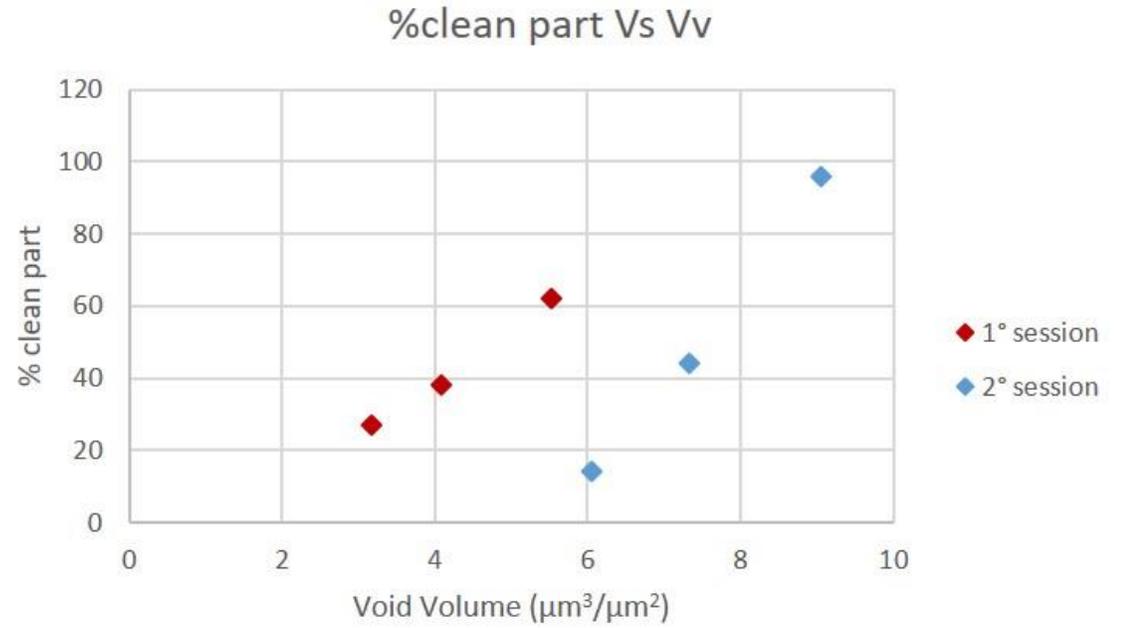
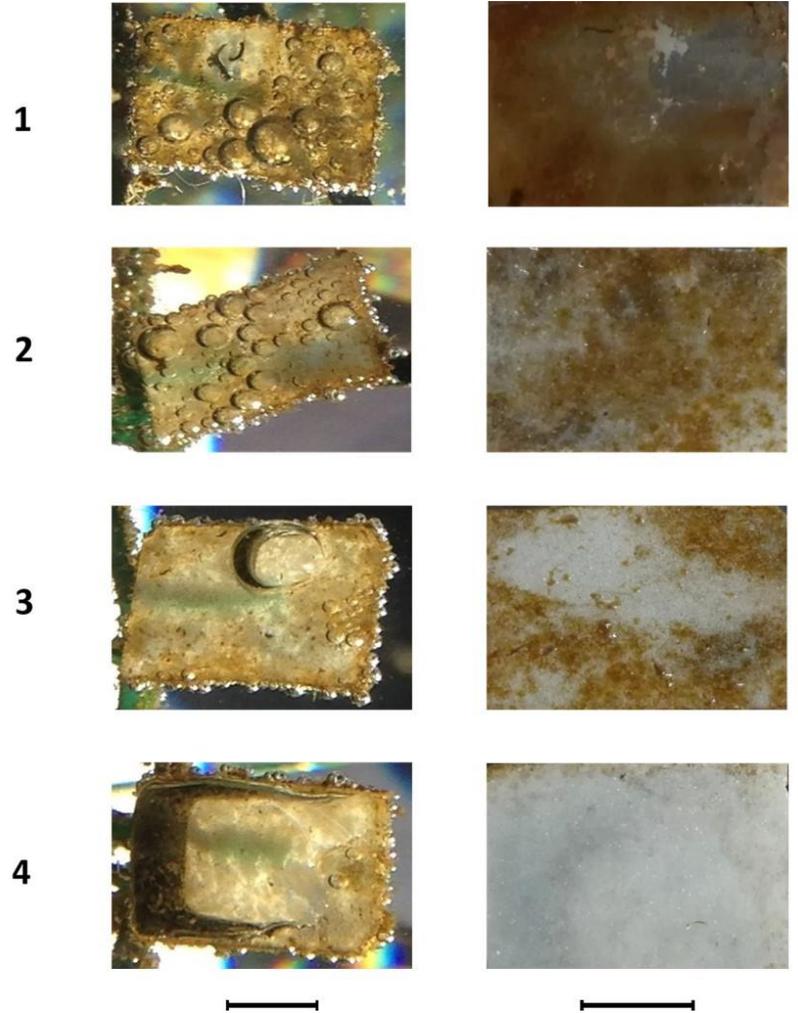
Correlato con le distribuzioni delle altezze la curva di Abbott–Firestone. Utilizzato usualmente per caratterizzare il comportamento funzionale delle superfici come l'usura, la lubrificazione e il contatto.

Con  $V_v$  si misura il volume dei vuoti



Modello di Cassie - Baxter

**SHS dovuta all'aria intrappolata nella micro-nano struttura**



> Void volume > parte non colonizzata



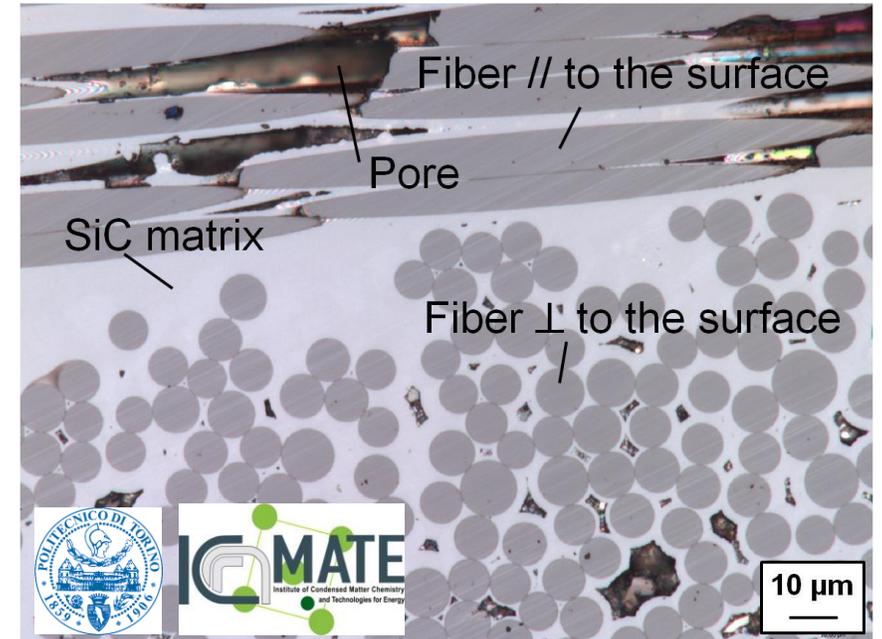
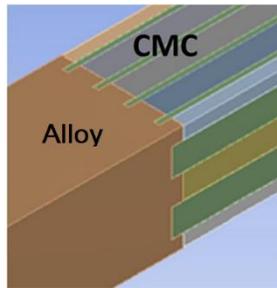
> Void volume > quantità di aria intrappolata

# Ingegneria superficiale dei compositi $\text{SiC}_f / \text{SiC}$ mediante rimozione termica selettiva: valutazione mediante analisi di superficie e test di bagnabilità

**Progetto:** ADMACOM

**Responsabile:** Politecnico di Torino (Prof. M. Ferraris)  
Valutazione dell'efficacia della rimozione selettiva in seguito a TT

**Partecipanti:** NANOFORCE-LTD. (UK); CNR-ICMATE (I),  
IFAM-Fraunhofer (D); EMPA (CH); AIRBUS (EU); MTA  
(AEROSPACE (D))  
Aumentare l'area di contatto tra compositi  $\text{SiC}_f / \text{SiC}$  e la lega brasante (AgCuNi) introducendo un "incernieramento" tra le superfici.



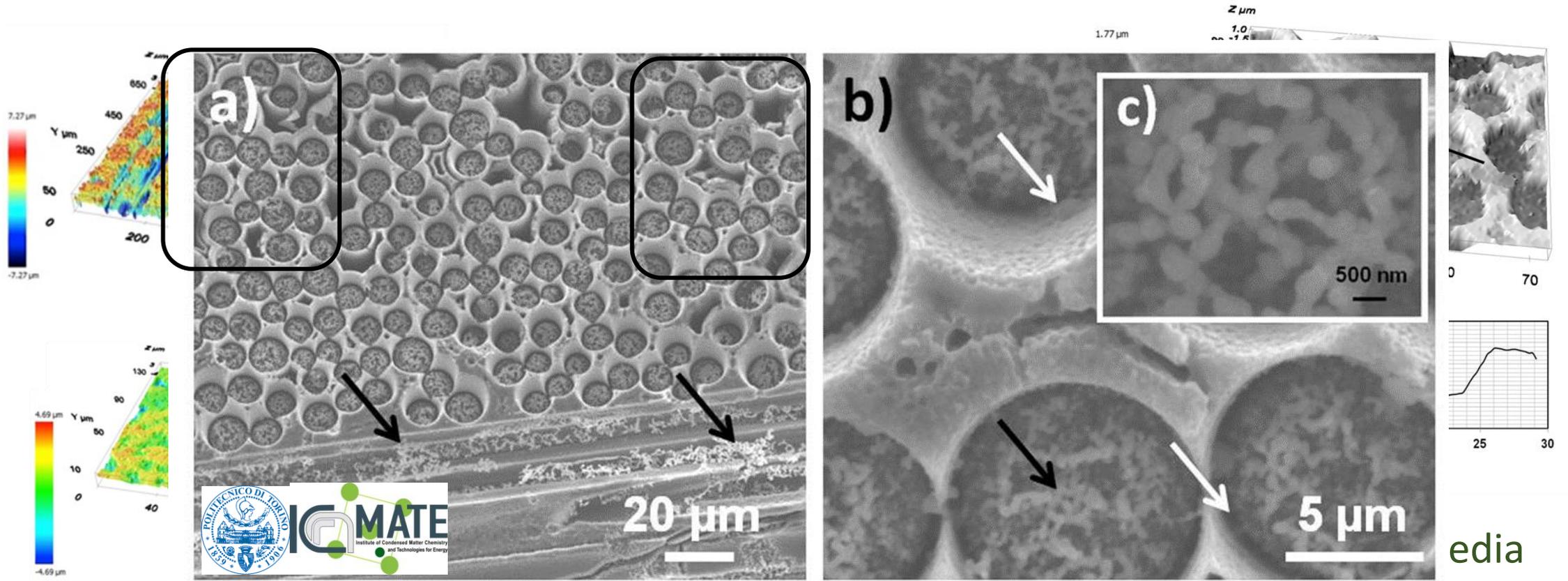
$\text{SiC}_f / \text{SiC}$  superficie “*brush-like*” ottenute utilizzando trattamento termico in grado di rimuovere selettivamente le fibre di SiC

Trattamento termico: 1450°C per 2 h in flusso di Ar ( $\text{O}_2 < 1\text{ppm}$ )

cross-section  $\text{SiC}_f / \text{SiC}$

# Prima STR

# Dopo STR



media della rimozione delle fibre: 2,4 μm

# Aumento area superficiale

Misurato mediante Sdr (ISO 25178)

Sdr (developed area ratio) è espresso come la percentuale di superficie addizionale fornita dalla trama rispetto a un piano ideale delle dimensioni della regione di misurazione.

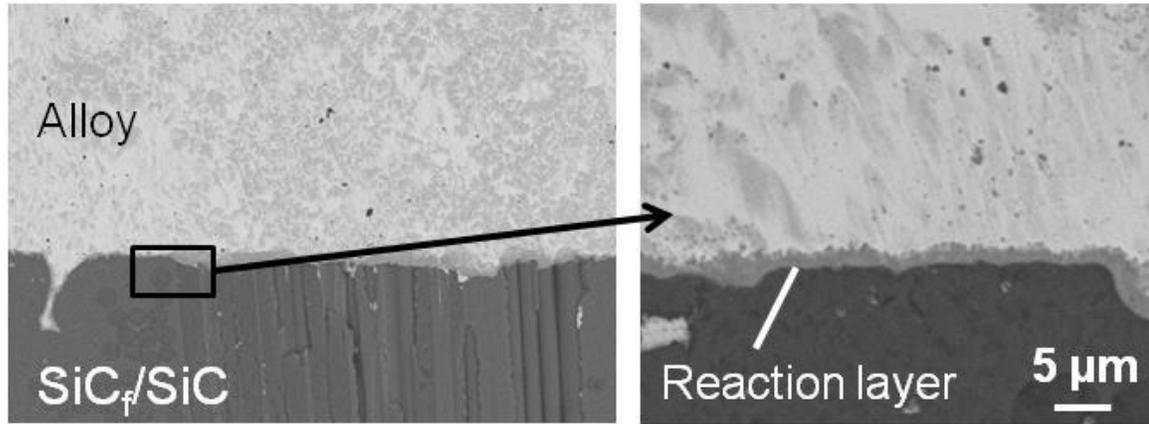
$$Sdr = \frac{(Texture\_Surface\_Area) - (Cross\_Sectional\_Area)}{Cross - Sectional - Area}$$

Parametro utilizzato propriamente per studiare i fenomeni di adesione

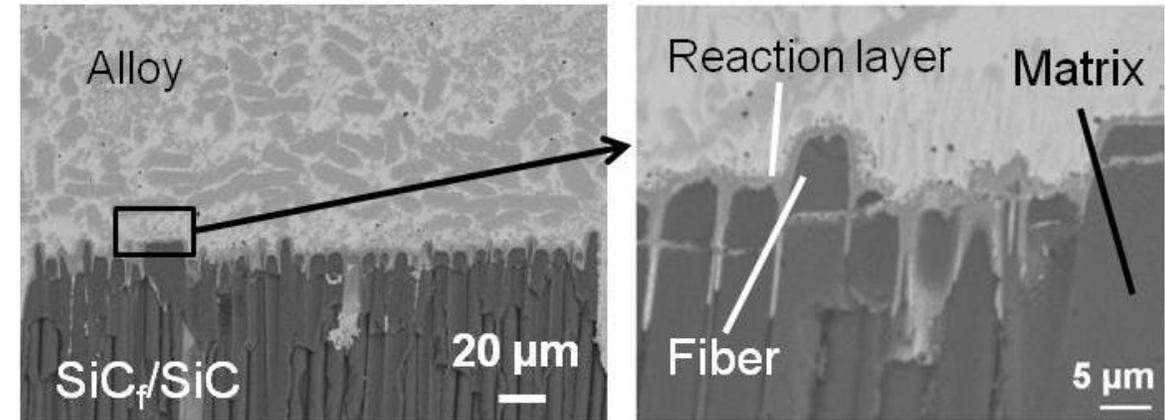
Materiale	Sdr %
SiC/SiC	53 (fibre // alla superficie) 43 (fibre ⊥)
SiC/SiC Dopo TT	89 (fibre // alla superficie) 129 (fibre ⊥)

# Test di bagnabilità

Senza trattamento termico

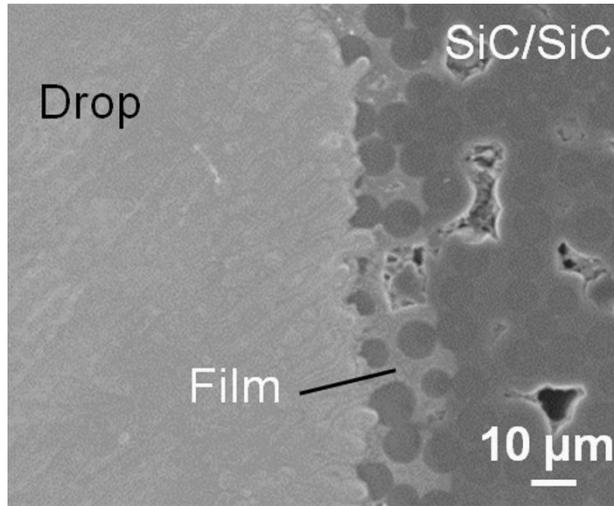


SiC<sub>f</sub>/SiC trattato termicamente



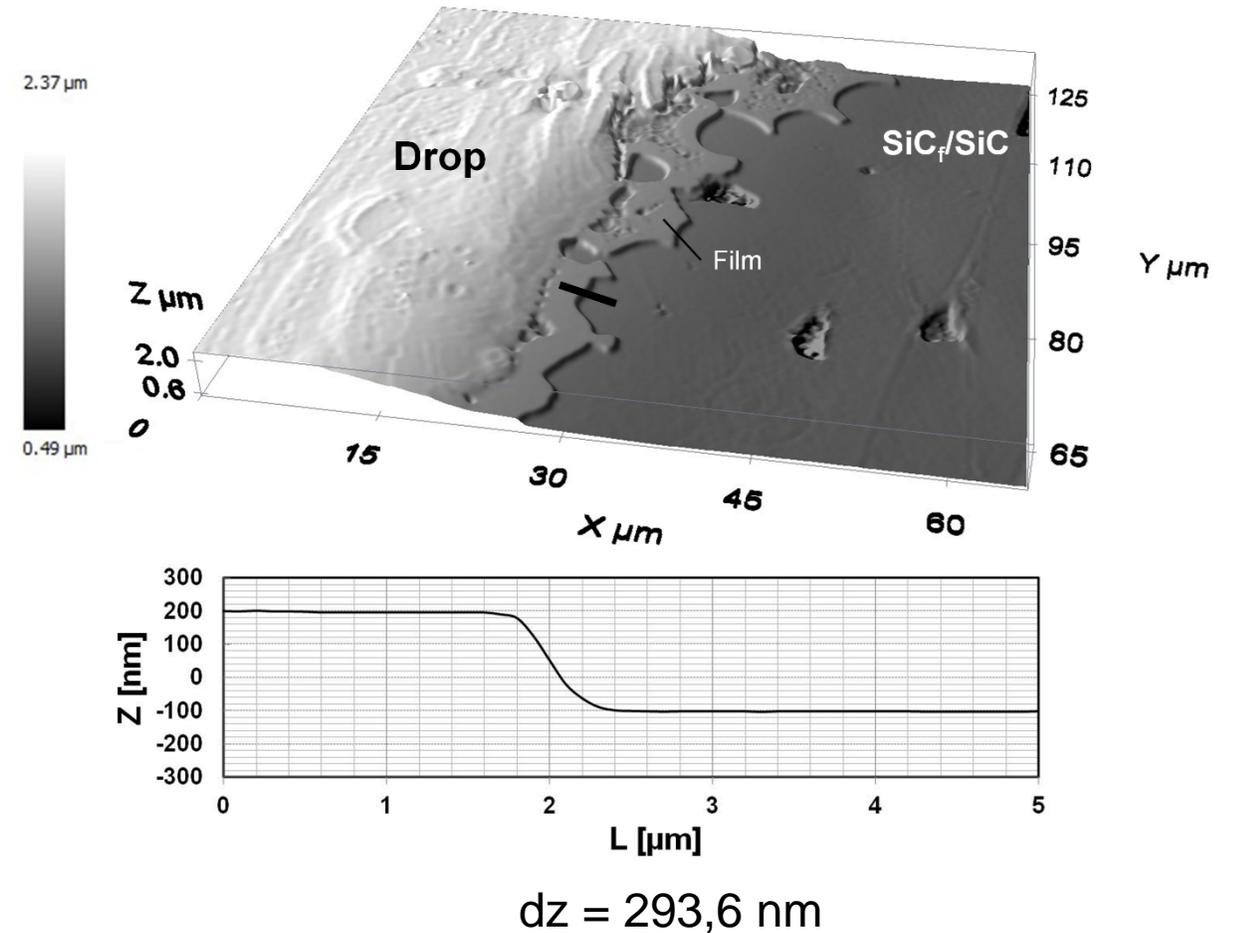
La lega brasante (AgCuTi) aderisce perfettamente al SiC<sub>f</sub>/SiC riempiendo tutti i buchi introdotti col TT

# Caratterizzazione di superfici di compositi dopo modifica superficiale



SEM goccia di lega brasante su  $\text{SiC}_f/\text{SiC}$

Film ricco in Ti che precede la goccia durante lo spreading.



# Profilometria 3D confocale e studio di cellule

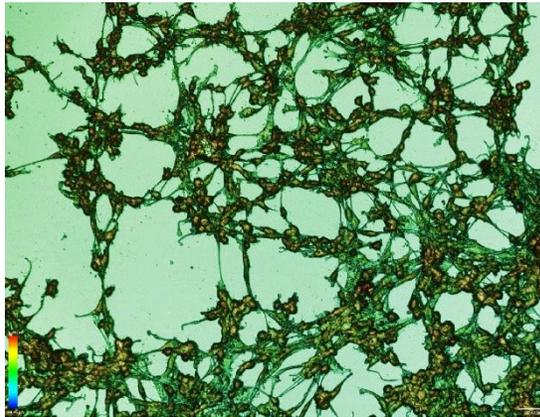
**Progetto:** Accordi di collaborazione con facoltà di Farmacia/IN2UB Università di Barcellona (Spagna)

**Responsabile:** M. Ferrari, M.C. Moran

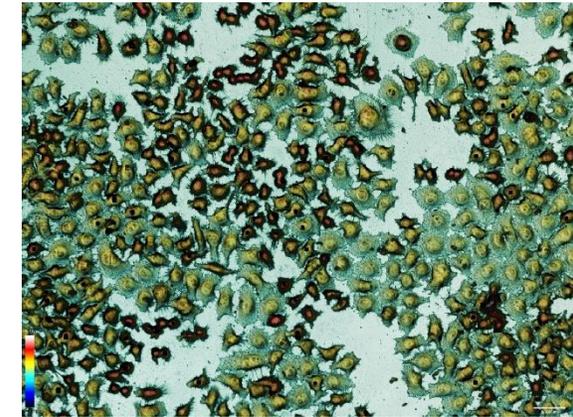
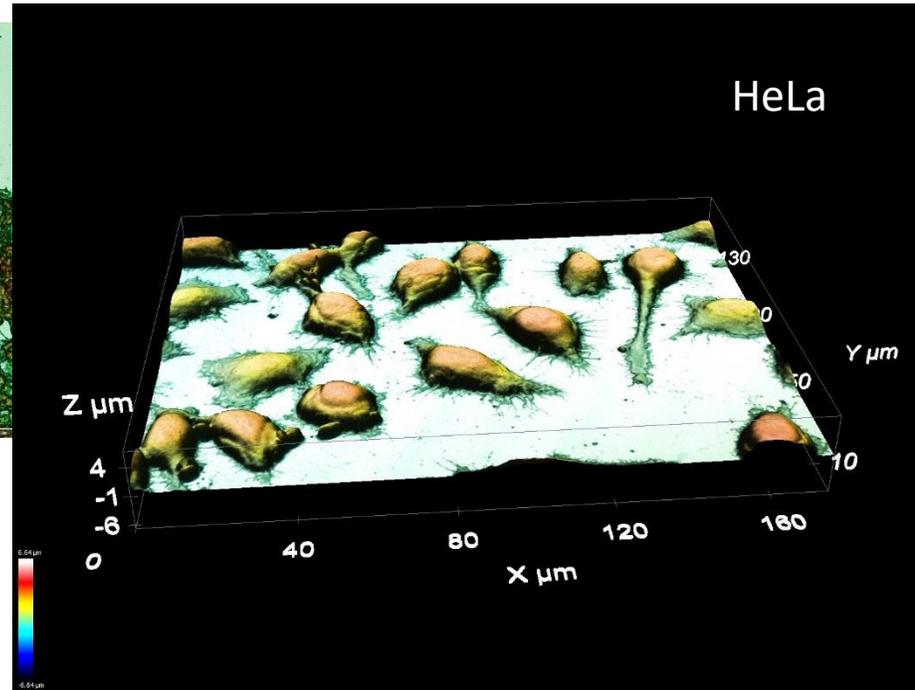
**Partecipanti:** F. Cirisano, M. Ferrari, M.C. Moran

# Profilometria 3D confocale e studio di cellule

- Risoluzione nanometrica in grado di caratterizzare la morfologia di singole cellule in tempo reale in seguito a stimoli chimici esterni.
- Non è richiesto una lavorazione del campione con proteine fluorescenti o coloranti ottici
- Veloce e facilmente ripetibile
- Possibile correlazione tra volume e stadi iniziali di necrosi o apoptosi delle cellule



3T3



HeLa

File Configuration Export Image Stage Help

NEW ACQUISITION

Topography Objective: ELWD 100X-N  
 ID: 1360 x 1024 data points  
 Operator: system administrator Measured: 93.9% Confocal Z Scan: 15.2  $\mu\text{m}$

MEASURE Area: 175.31 x 131.97  $\mu\text{m}^2$

PROFILE Length: 127.20  $\mu\text{m}$

Sa = 0.7446 $\mu\text{m}$	Pa = 1.1957 $\mu\text{m}$
Sq = 0.9493 $\mu\text{m}$	Pq = 1.2848 $\mu\text{m}$
Sp = 3.9489 $\mu\text{m}$	Pp = 2.1096 $\mu\text{m}$
Sv = 1.4114 $\mu\text{m}$	Pv = 1.1291 $\mu\text{m}$
Sz = 5.3603 $\mu\text{m}$	Pz = 3.2388 $\mu\text{m}$
Smean = 0.0000 $\mu\text{m}$	Pmean = 0.4869 $\mu\text{m}$

DATA

RESTORED

TERM

FILTER  
 2D: None  
 3D: None

VIEW

DISPLAY  
 NON INVERTED

RENDERING

SCALE  
 Peak to Valley  
 2.60  $\mu\text{m}$   
 + rms  
 -0.64  $\mu\text{m}$

ZOOM  
 1X: 1360 x 1024 pixels

Volume

CALCULATIONS

	dl, nm	dz, nm	a, °	h, nm
1				
2				
3				
4				
5				
Avg				
Std				

STEP HEIGHT

AUTO

CURSOR

L = 0.0000 nm

z = -0.5238  $\mu\text{m}$

DIFFERENCE

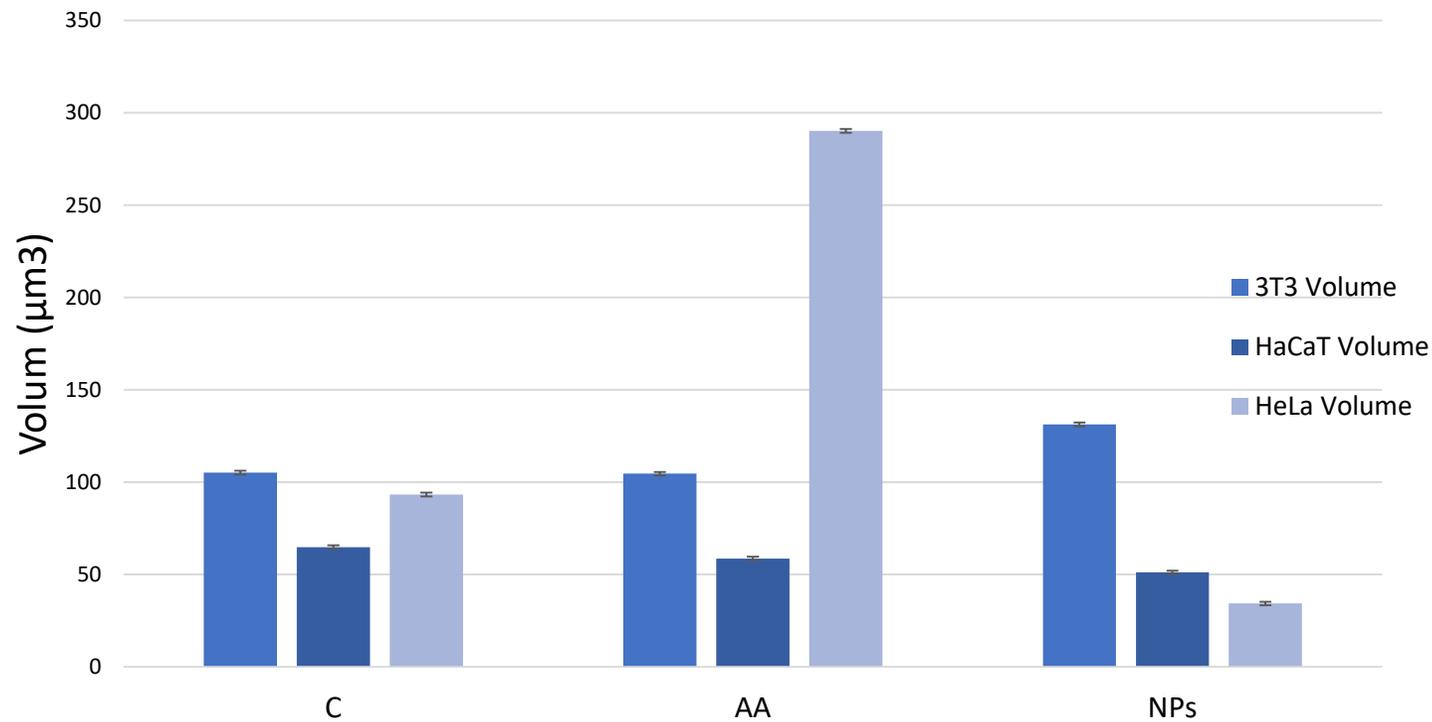
angle = 0.00 °

dL = 0.0000 nm

dz = 0.0000 nm

System Ready - Warnings

### 3D interferometric scanning profilometry



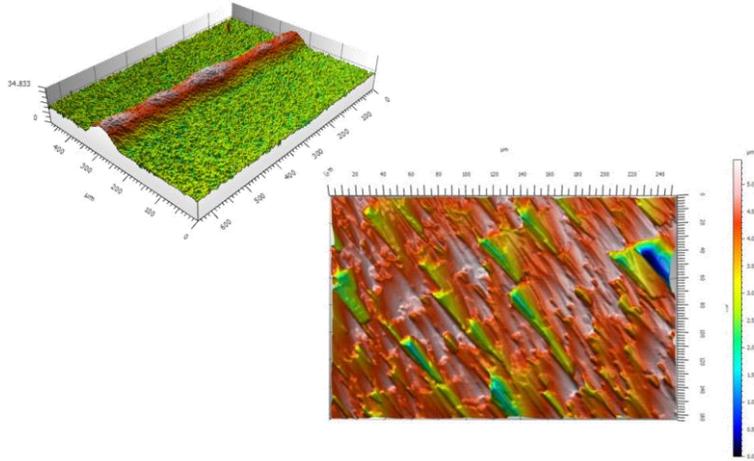
C: controllo  
AA: acido ascorbico  
NPs: nanoparticelle

Variazione di volume rispetto all'ambiente di coltura.

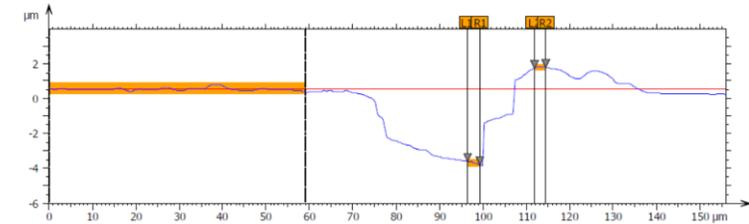
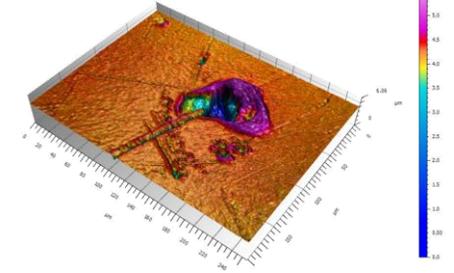
Esiste una correlazione tra variazione di volume e i processi fisiologici

# Altre applicazioni

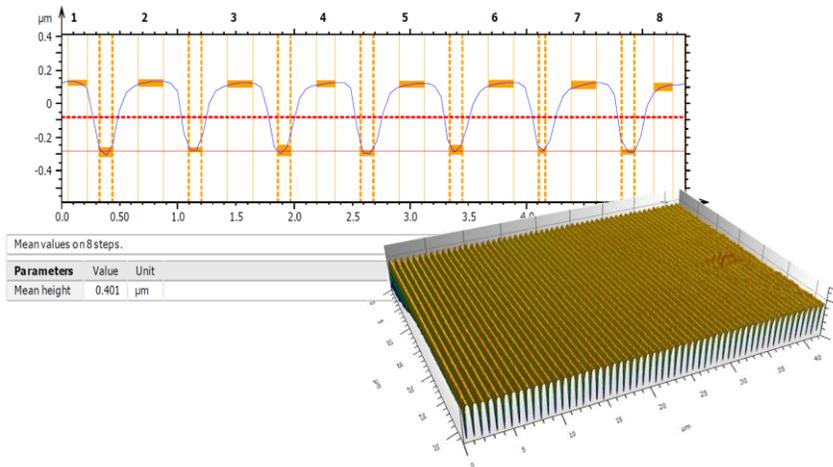
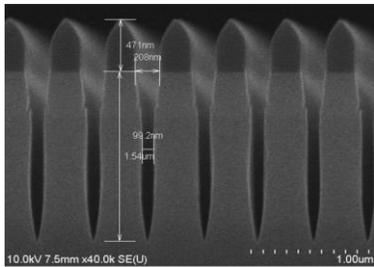
## Pannelli solari



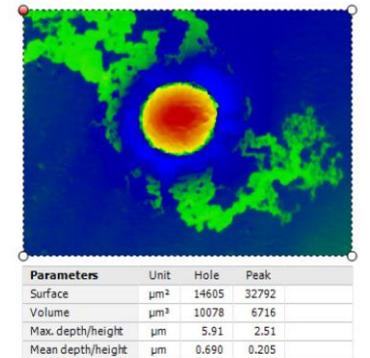
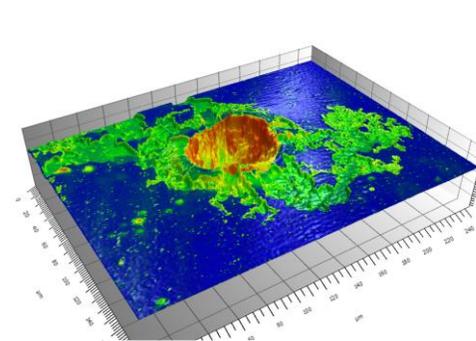
## Analisi dei Difetti



## Periodic Grating (Microelectronics)

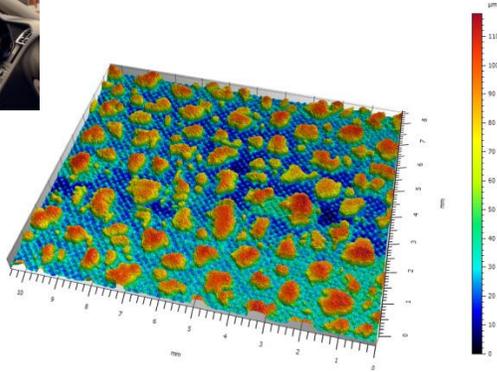


## Corrosione

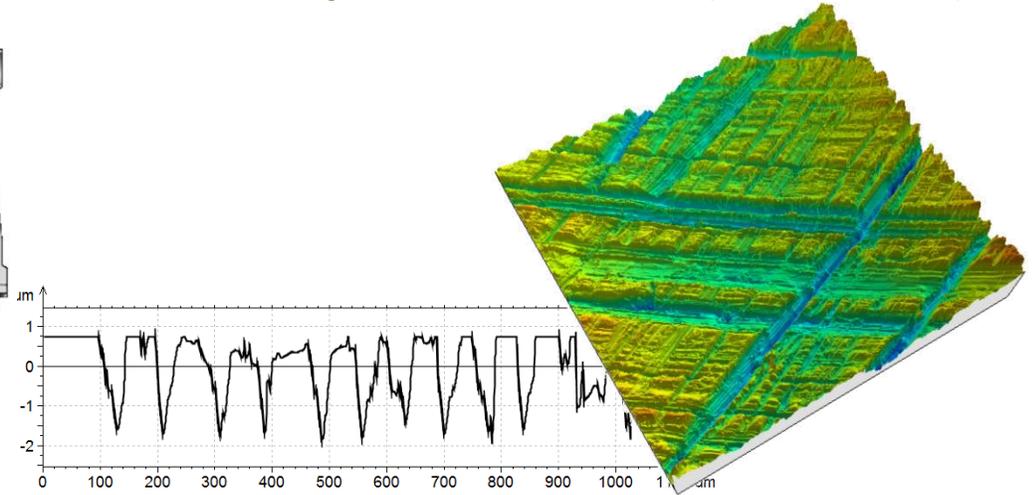


# Altre applicazioni

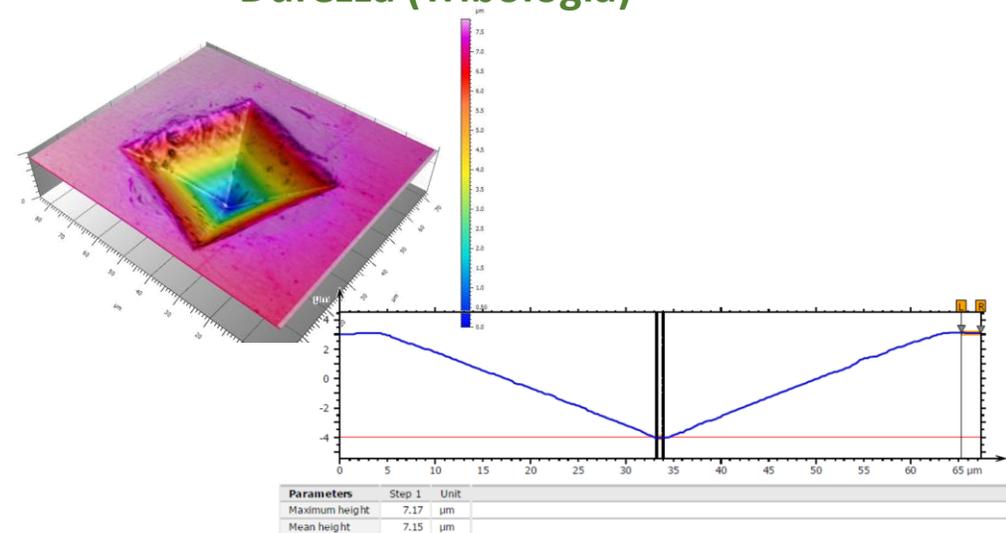
## Struttura di plastiche (Automotive)



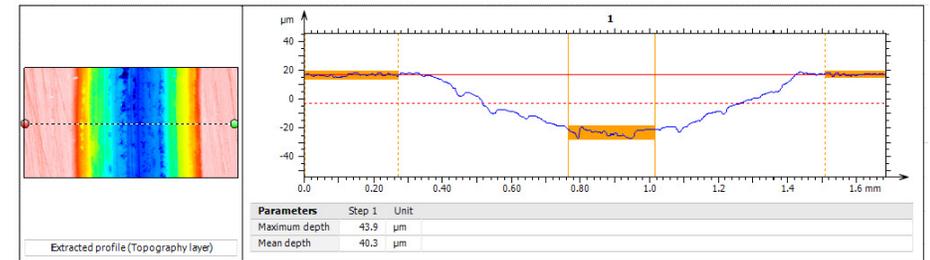
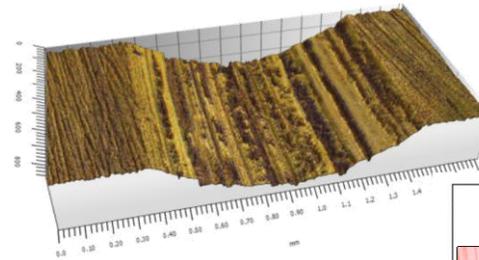
## Analisi della superficie funzionale (Automotive)



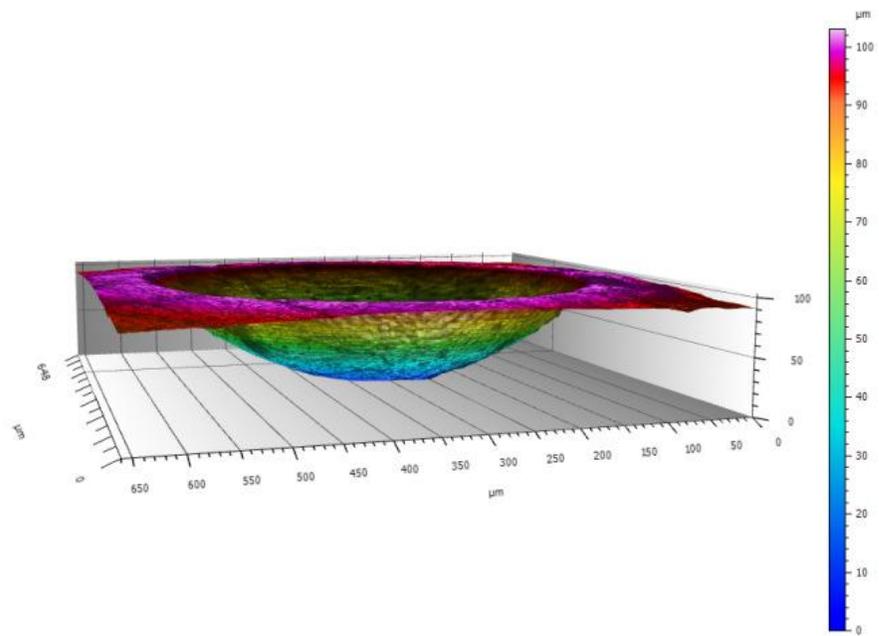
## Durezza (Tribologia)



## Test pin-on-disk (Tribologia)



Grazie per l'attenzione



Parameters	Unit	Hole	
Surface	mm <sup>2</sup>	0.234	
Volume	μm <sup>3</sup>	11770380	
Max. depth/height	μm	98.5	
Mean depth/height	μm	50.2	

# Physiological conditions that involves a change in cell volume as a sensor

- Transepithelial transport-absorption
- Regulation of metabolism-anabolism
- Excitability and contraction
- Cell proliferation
- Cell migration
- Necrosis



- Transepithelial transport-secretion
- Regulation of metabolism-catabolism
- Cell differentiation
- Programmed cell death

