

# 4.0° CONVEGNO NAZIONALE AIM

NAPOLI | 11-13 SETTEMBRE | 2024



## Effetto di varie tecniche di modifica superficiale sulle proprietà di superfici di leghe a memoria di forma

L. Stendardo<sup>a,c</sup>, C.A. Biffi<sup>a</sup>, G. Rollo<sup>b</sup>, D. Parlato<sup>c</sup>, C. Antonini<sup>c</sup>, P. Bassani<sup>a</sup>

<sup>a</sup>CNR ICMATE, Via Previati 1/E, 23900 Lecco, Italy

<sup>b</sup>CNR IPCB, Via Previati 1/E, 23900 Lecco, Italy

<sup>c</sup>Dipartimento di Scienza dei Materiali, Università degli Studi di Milano-Bicocca, via R. Cozzi 55, 20125 Milan, Italy

**ORGANIZZATO DA**



ASSOCIAZIONE ITALIANA DI METALLURGIA



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



DI  
C  
Ma  
PI  
Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale  
Università degli Studi di Napoli Federico II

**CON IL PATROCINIO DI**



MINISTERO DELLA CULTURA



Federacciai

ASSOFOND  
ASSOCIAZIONE ITALIANA FONDERIE



## Aeronautica



La presenza del ghiaccio è un problema per tutti i tipi di velivoli.

- Elevata potenza per rimuovere il ghiaccio
- Gravi rischi di stallo aerodinamico e caduta
- Ridotta efficienza dei sistemi di sghiacciamento
- Problemi di compatibilità ambientale degli agenti chimici per lo sghiacciamento



## L'aereo precipitato in Brasile ad agosto aveva un notevole accumulo di ghiaccio, dice un rapporto preliminare sull'incidente

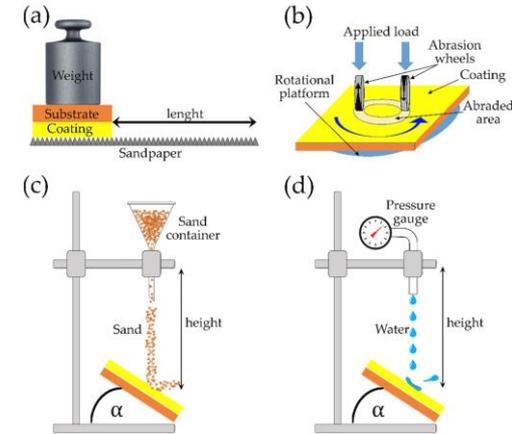
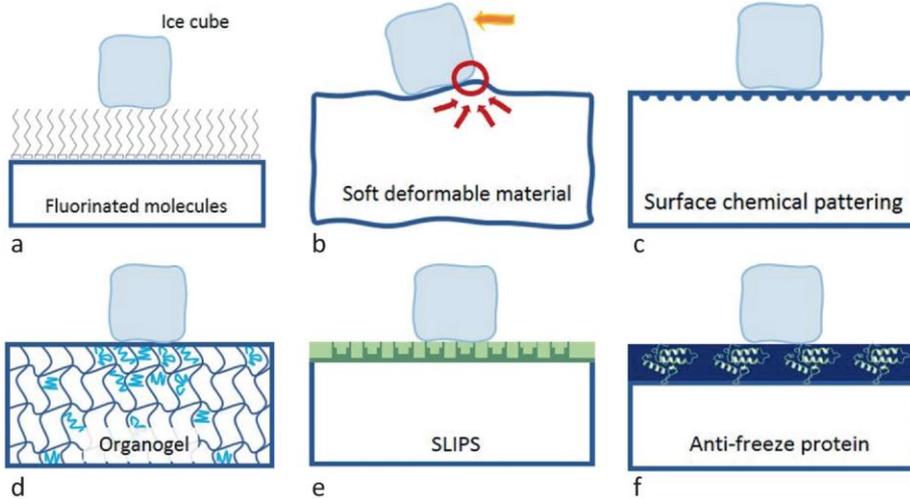
Condividi



me  
, esposte sia  
io marino  
osferico.

oni dei  
via terra

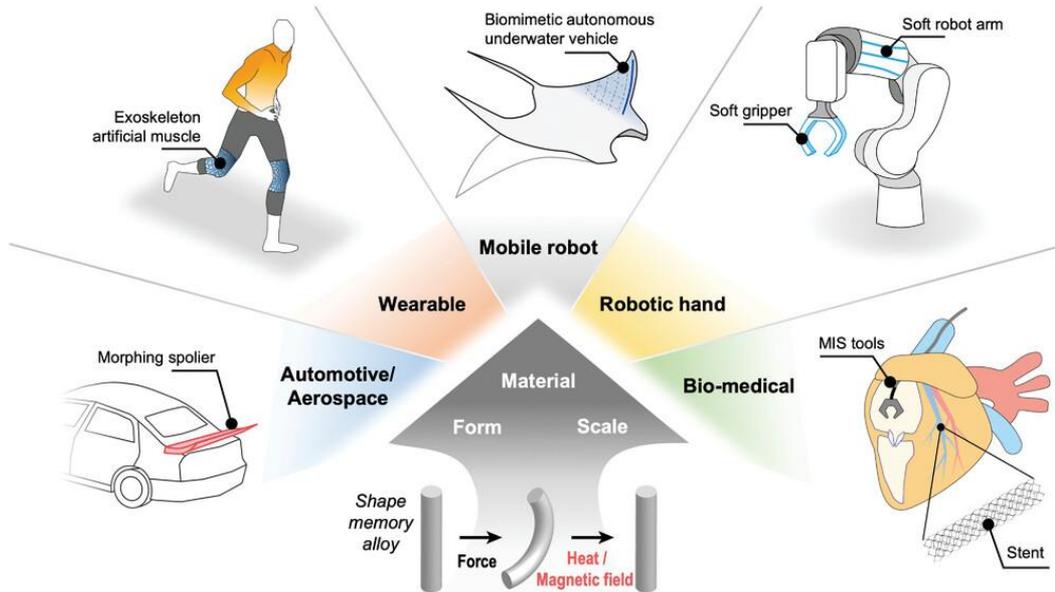
o può  
l'operatività  
nti ricreativi,  
elli sciistici.



Adapted from:  
<https://doi.org/10.3390/ma17010235>

Taken from: Tagliaro, I., Cerpelloni, A., Nikiforidis, VM., Pillai, R., Antonini, C. (2022). On the Development of Icephobic Surfaces: Bridging Experiments and Simulations. In: Marengo, M., De Coninck, J. (eds) The Surface Wettability Effect on Phase Change. Springer, Cham.

→ **Superfici anti-ghiaccio efficaci con una buona durabilità**



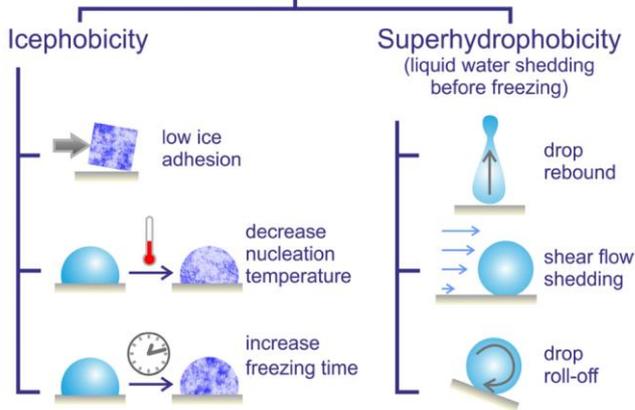
Adopted from: <https://doi.org/10.1002/adma.202208517>

- Vari utilizzi delle leghe a memoria di forma (SMA)
- Utilizzati come attuatori e sensori
- Resistenza meccanica e modulo elastico sufficientemente elevato per componenti strutturali

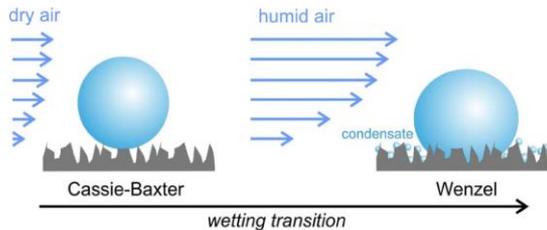
### Contenuti

- Risultati preliminari di caratterizzazione di superfici SMA
- SMA sottoposte a varie modifiche termo-meccaniche (tra cui la testurizzazione laser)
- Analisi di rugosità e bagnabilità superficiale

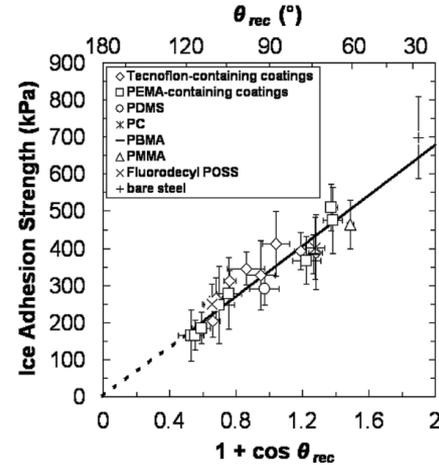
## Anti-icing surfaces



Adapted from doi:10.1039/9781782623953-00319  
A. Amirfazli and C. Antonini, 2016



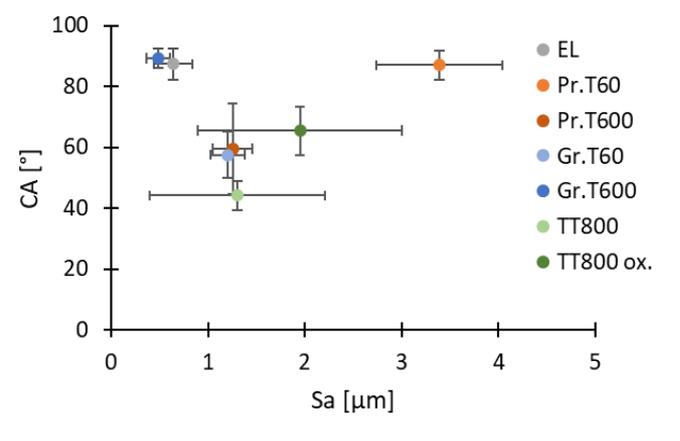
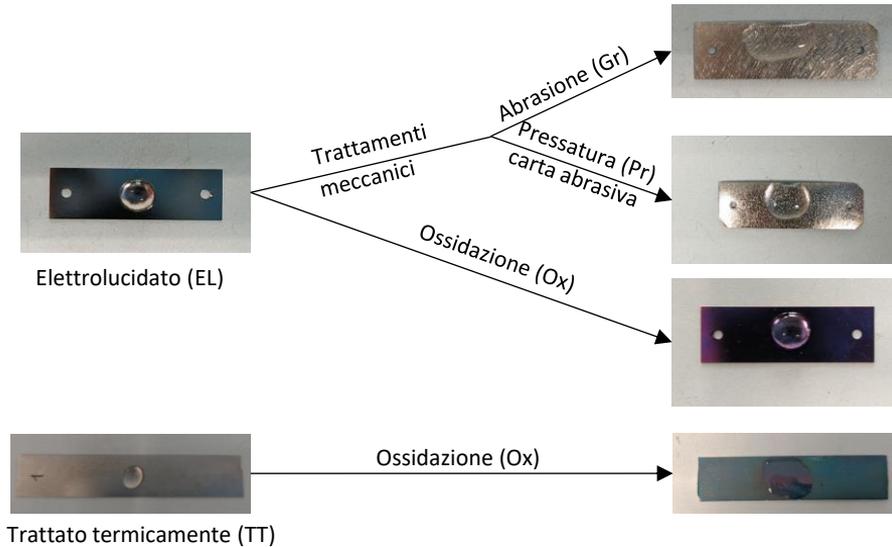
Adapted from doi:10.1039/9781782623953-00319  
A. Amirfazli and C. Antonini, 2016



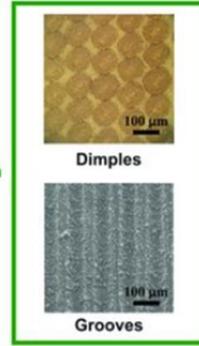
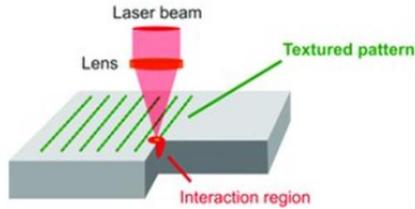
Adapted from doi: 10.1021/am1006035  
Meuler et al., 2016

- La rugosità superficiale può influire sulle prove di adesione del ghiaccio.
- L'adesione del ghiaccio aumenta in condizioni di alta umidità atmosferica
- Formazione di condensa nelle micro-strutture.

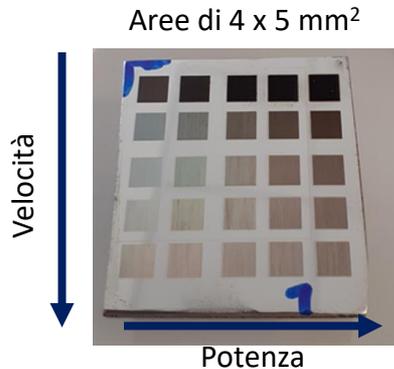
→ E' fondamentale controllare e ottimizzare la morfologia superficiale per lo sviluppo di SMA anti-ghiaccio.



- Correlazione non univoca tra angolo di contatto e rugosità.
- L'ottimizzazione della morfologia richiede un maggiore controllo sui parametri di processo
- Studio della relazione tra rugosità e bagnabilità

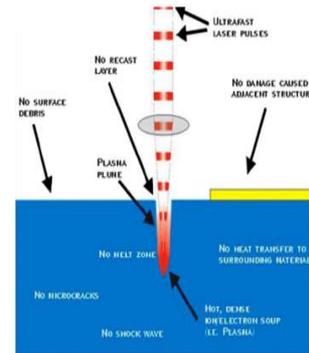
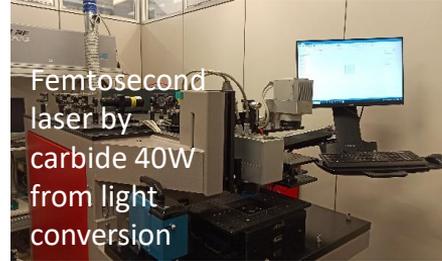


E' una tecnica avanzata per effettuare modifiche superficiali, in grado di agire sulla morfologia 3D e la microstruttura della superficie.



## Laser a femtosecondi

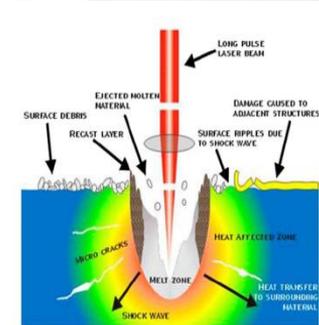
### Sublimazione



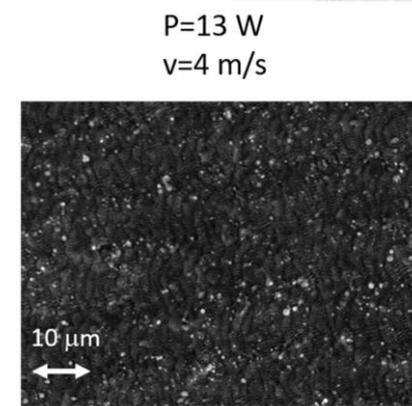
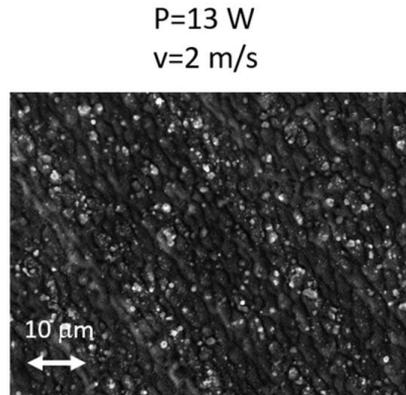
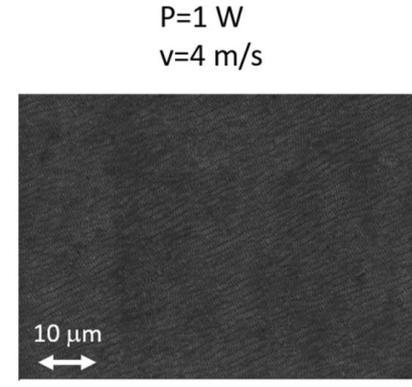
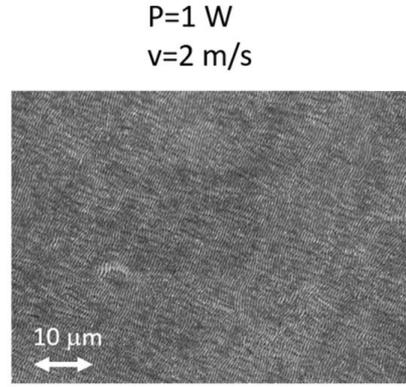
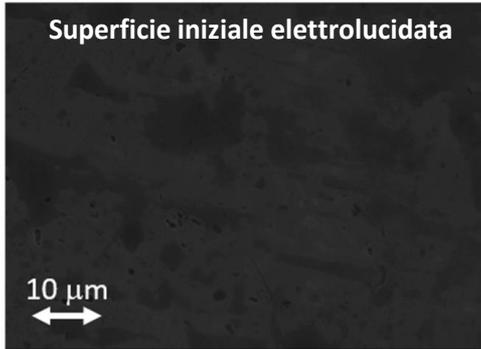
- Ablazione fine
- Ridotta alterazione termica

## Laser a nanosecondi

### Fusione

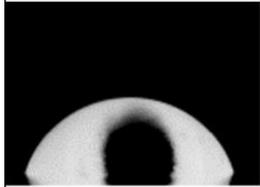


- Laser a impulso lungo/continuo
- Zone termicamente alterate



Parametri	Valori
Potenza media	1-13 W
Velocità	2-4 m/s
Durata impulso	213 fs
Punto laser	18 μm
Frequenza	75 Hz
Sovrapposizione	50 %

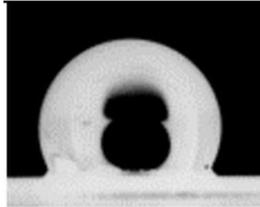
Superficie iniziale  
elettrolucidata



CA = 70.3°  
Sa = 0.41 μm

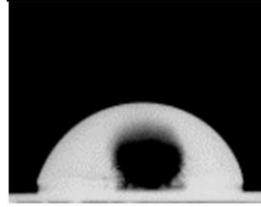
Volume goccia = 5 μL

P=1 W  
v=2 m/s



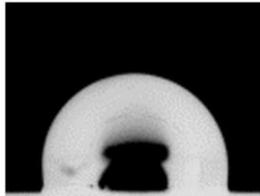
CA = 106.3°  
Sa = 0.36 μm

P=1 W  
v=4 m/s



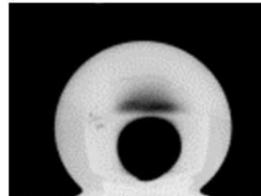
CA = 71.0°  
Sa = 0.28 μm

P=13 W  
v=2 m/s

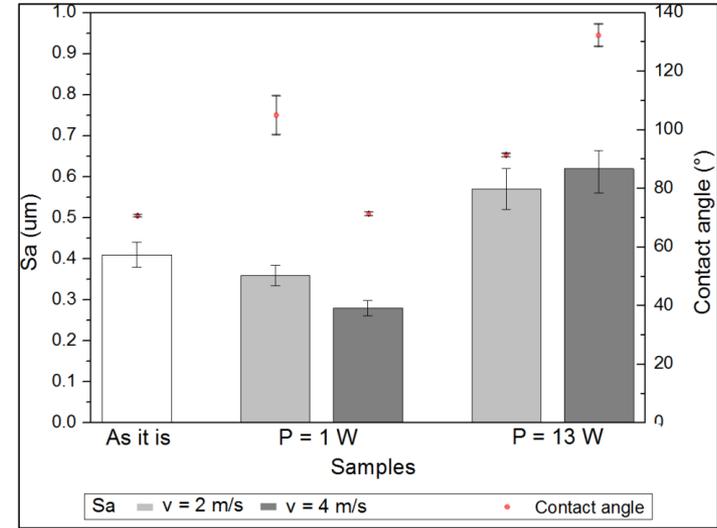


CA = 90.6°  
Sa = 0.57 μm

P=13 W  
v=4 m/s

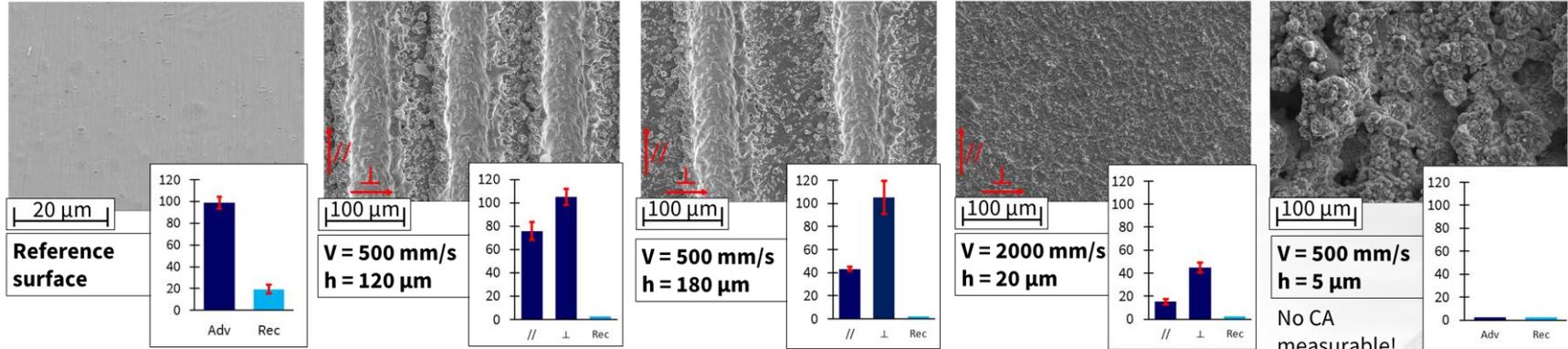


CA = 131.2°  
Sa = 0.62 μm



- Bassi livelli di energia producono strutture sub-micrometriche con dimensione caratteristica inferiore al punto laser → riduzione della rugosità
- Alti livelli di energia producono una struttura gerarchica: le micro scanalature sono ricoperte da strutture nanometriche → aumento della rugosità

Laser parameters: Power = 30 W, Frequency = 100 kHz, Pulse duration = 200 ns



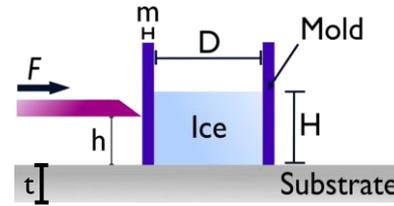
Idrofilia crescente



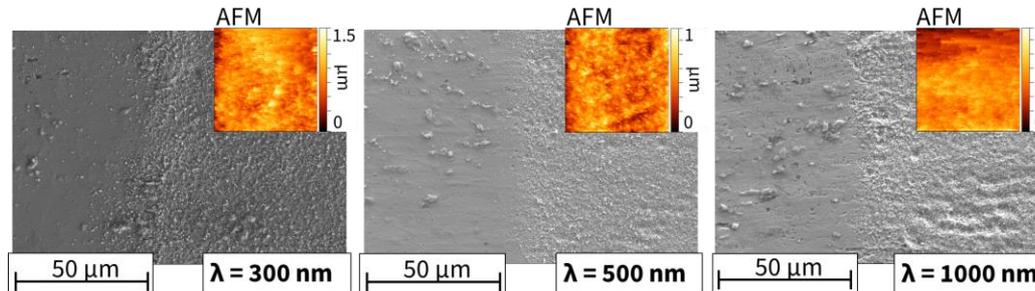
- A seconda delle strategie di lavorazione laser, è possibile ottenere proprietà di bagnabilità anisotrope.
- La formazione di ossidi può aumentare la bagnabilità.



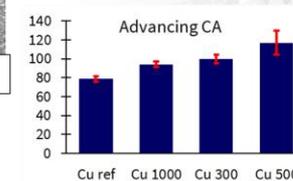
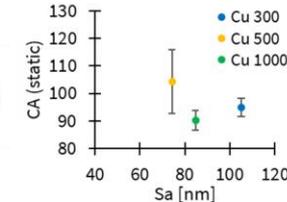
- La bagnabilità di SMA a base di NiTi e Cu è regolata ottenendo substrati con rugosità e bagnabilità variabile.
- Proprietà anisotrope di bagnabilità
- La relazione tra rugosità superficiale e bagnabilità non è immediata.



- Test di adesione del ghiaccio con SMA NiTi e Cu
- Interazione tra spessore del substrato e riscaldaenza sarà studiata per lo sviluppo di superfici a base di NiTi con una bassa adesione del ghiaccio.



- Con il laser a femtosecondi si possono ottenere micro e nano-strutture gerarchiche che aumento l'idrofobicità di SMA a base di Cu.
- Valori simili di rugosità ( $S_a$ ) possono comportare valori diversi dell'angolo di contatto.



Idrofobicità

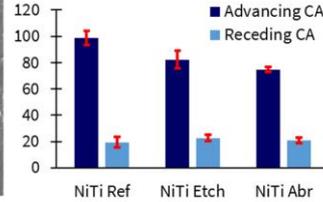
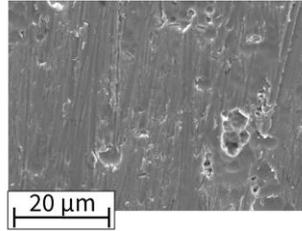
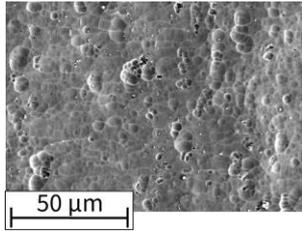




Backup

4.0°  
GOVERNINO  
NAZIONALE  
AIM





Decapaggio (v/v):      Abrasione  
 H<sub>2</sub>O 50%, HNO<sub>3</sub> 40 %,      meccanica: 1200 grit  
 HF 10%

In the absence of oxidation phenomena and for the tested surface morphologies, a stable receding contact angle can be observed.



The theoretical description indicates that ultrashort laser radiation causes two-photon absorption on the surface. The energy, which is transferred by the photons to the electrons, provokes the vibration of high temperature electrons, therefore the energy is transferred to the surrounding electrons and lattice, increasing the integral temperature of the sample surface [26,27]. When the laser pulse energy reaches the damage threshold value, the lattice of the sample surface starts to break with partial high energy atoms as well as electrons stripping from the surface and splashing away with high velocity. Therefore, plasma can be produced in the laser irradiated zone, due to the direct vaporization of the material or forming bubbles. The shock waves generated during the bubble splitting arouses a transformation in the structure of the sample surface. By increasing the laser power or energy, the bubble size and pressure expanded with the increase in shock depth and width formed by ruptures, thus enlarging the pore size on the sample surface.

