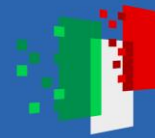




Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



POLITECNICO
MILANO 1863



UNIVERSITÀ
DI TRENTO



(PRIN 2022, COD. PROTOCOLLO: 2022H3S28T, CUP MASTER: D53D23005410006) FINANZIATO DALL'UNIONE EUROPEA – NEXT GENERATION EU, PNRR - MISSIONE 4 “ISTRUZIONE E RICERCA” - COMPONENTE C2 INVESTIMENTO 1.1 “FONDO PER IL PROGRAMMA NAZIONALE DI RICERCA E PROGETTI DI RILEVANTE INTERESSE NAZIONALE (PRIN)” D.D. N. 104/2022 “BANDO PRIN 2022”. PE11 Engineering of Metals and alloys.

40° CONVEGNO NAZIONALE AIM

ETCHING ELETTROCHIMICO SELETTIVO SU AA2024 CON SUPERFICIE ISPIRATA ALLA PELLE DI SQUALO PER LA RIDUZIONE DELLA RESISTENZA FLUIDODINAMICA

*Andrea Cristoforetti², Matteo Gamba¹, Andrea Brenna¹,
Marco Ormellese¹, Michele Fedel²*

¹ Dipartimento di Chimica, Materiali ed Ingegneria Chimica “Giulio Natta”, Politecnico di Milano

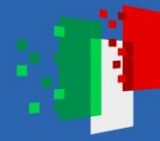
² Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di Trento



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



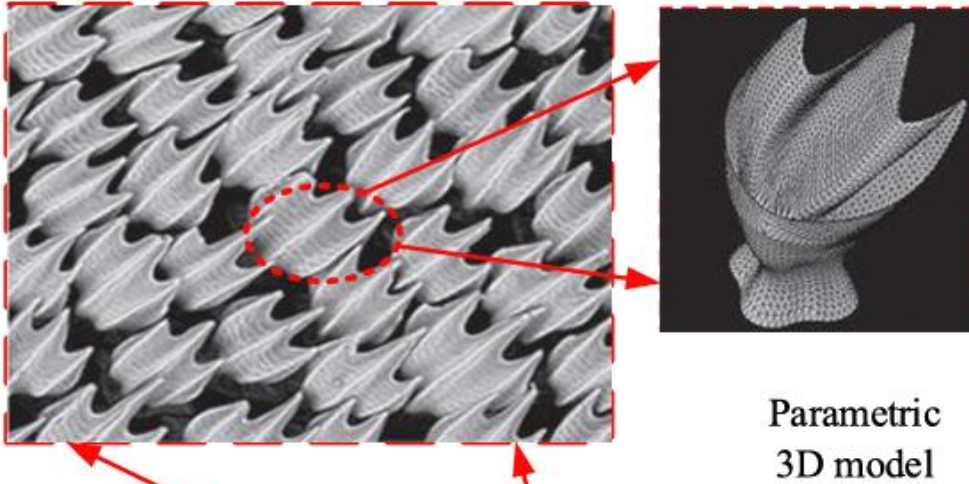
Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



POLITECNICO
MILANO 1863

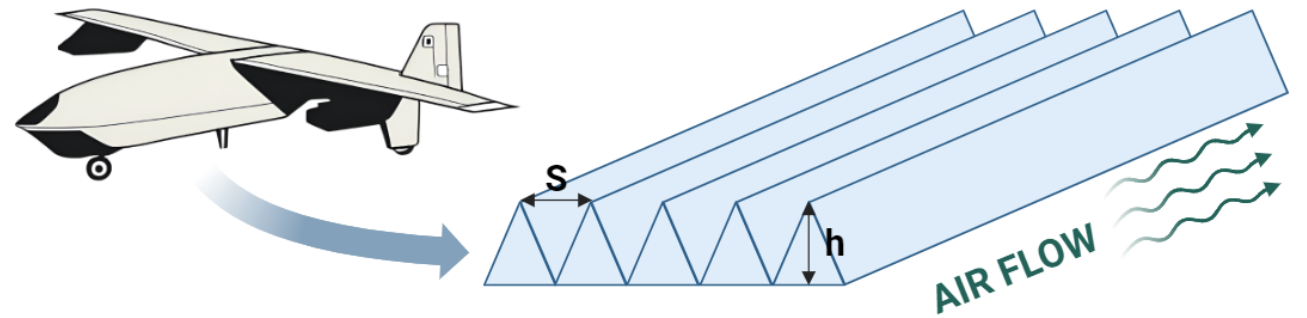


UNIVERSITÀ
DI TRENTO



Parametric
3D model

BIOMIMESI PROFILO DELLE SQUAME SQUALO MAKO





Finanziato dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero dell'Università e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA



POLITECNICO MILANO 1863



UNIVERSITÀ DI TRENTO

777-300ER **12 of 12**
SWISS

777F **4 of 11**
Lufthansa Cargo

NEW:
Welcome to the shark tank,
Austrian Airlines!

777-200ER **4 planned**
Austrian

747-400 1 of 1
Lufthansa

17 AeroSHARK-modified aircraft already active in the Lufthansa Group

11 additional AeroSHARK modifications already contracted for 777 fleets

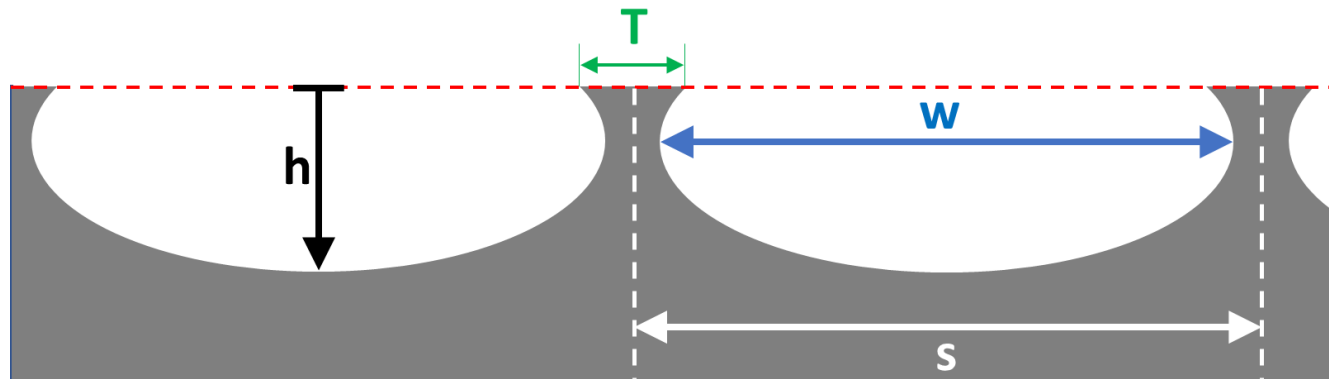
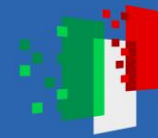
~48 metric tons of carbon dioxide are currently saved every day!

100,000+ flight hours logged with the AeroSHARK modification

24

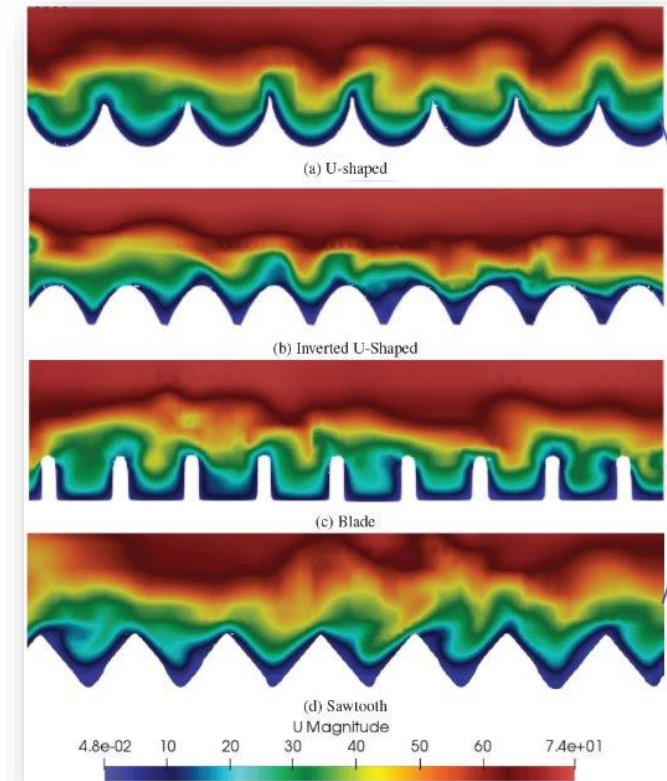
<https://www.lufthansa-technik.com/en/aeroshark>

APPLICAZIONE FOGLI POLIMERICI → USURA → COSTI DI MANUTENZIONE



STATO DELL'ARTE:

- Geometria del profilo non è cruciale, ma le dimensioni sì
 - profilo variabile per ogni punto dello scafo
- Il maggiore requisito del profilo è l'affilatezza dei «riblets» → problema usura
- convenienza costi/benefici: produzione, distribuzione sullo scafo, manutenzione...





- **PROGETTO MAKO: TESTURIZZAZIONE SUPERFICIE LEGA AA2024**

AA2024 (4% Cu; 1% Mg; 0.5% Mn)

- Elevate proprietà meccaniche e leggerezza
- Scarsa resistenza a corrosione

SCOPO:

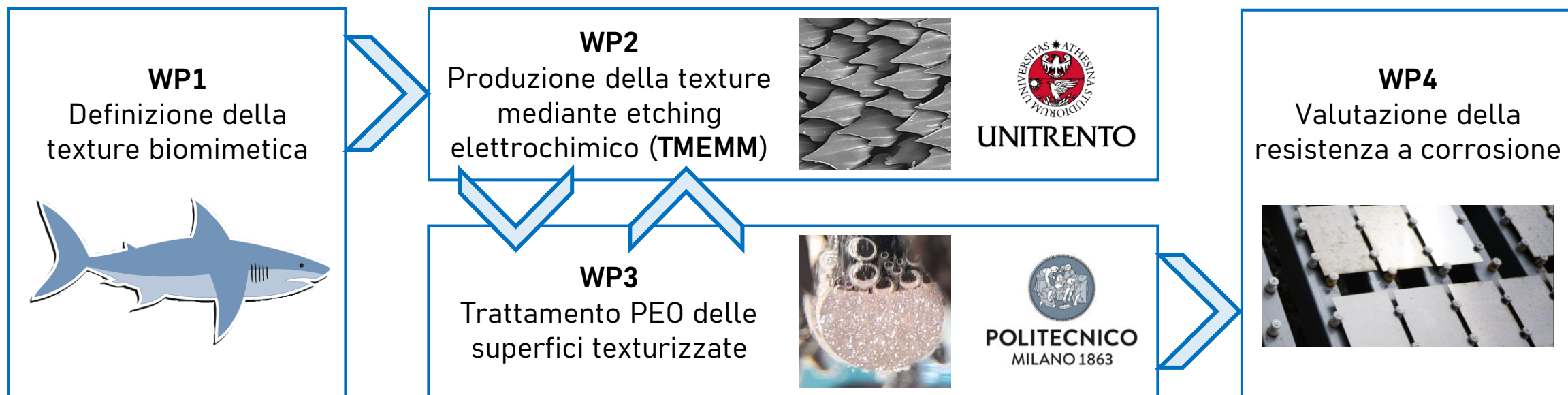
- Drag reduction → superfici testurizzate → Biomimesi – Mako Shark

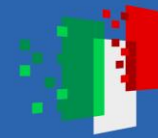


Microlavorazione Elettrochimica con Maschera (TMEMM)

- Migliorare la resistenza a corrosione: coating PEO (Plasma Electrolytic Oxidation)

PROGRAMMA DEL PROGETTO MAKO





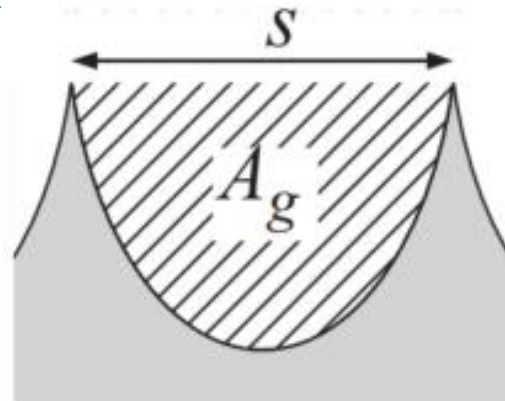
PROGRAMMA DEL PROGETTO MAKO

WP1

Definizione della
texture biomimetica



Tre ipotetici **scenari applicativi** definiti in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale, Politecnico di Milano



Scenario	Fluido	Velocità	$S_{ottimale}$
#1: Drone	Aria	Bassa	200 μm
#2: Aereo civile	Aria	Alta	80 μm
#3: Barca a vela	Acqua	Alta	10,5 μm



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



POLITECNICO
MILANO 1863



UNIVERSITÀ
DI TRENTO

Airplane A320



Cruise speed **233 m/s**

$$s_{opt} = 80 \mu m - h_{opt} = 48 \mu m$$

Commercial UAV



Cruise speed **25 m/s**

$$s_{opt} = 200 \mu m - h_{opt} = 108 \mu m$$

Sailboat AC75



Cruise speed **22 m/s**

$$s_{opt} = 11 \mu m - h_{opt} = 6 \mu m$$

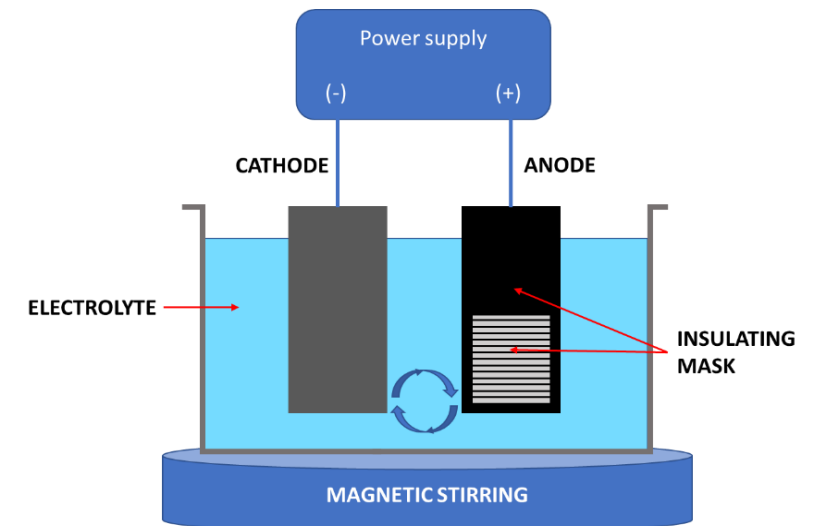
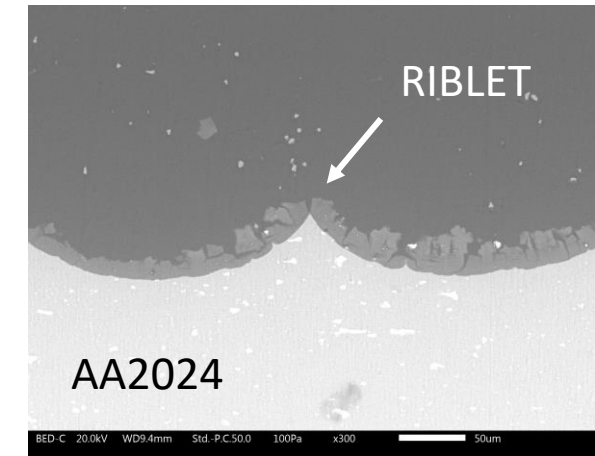


Definizione del Profilo:

- Specifiche applicative – **DRONE (UAV)**
- Dimensioni ottimali dei riblets: **PASSO $S=200\ \mu\text{m}$**
- Forma acuta dei riblets

Processo TMMEM:

1. Deposizione maschera polimerica con tecnologia **inkjet** su AA2024
2. **Polarizzazione anodica** del campione in modalità galvanostatica → **etching selettivo** delle zone non mascherate

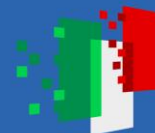




Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



POLITECNICO
MILANO 1863

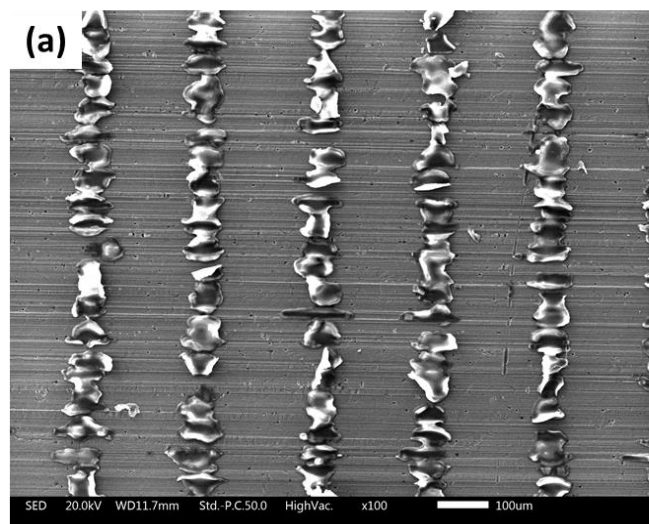


UNIVERSITÀ
DI TRENTO

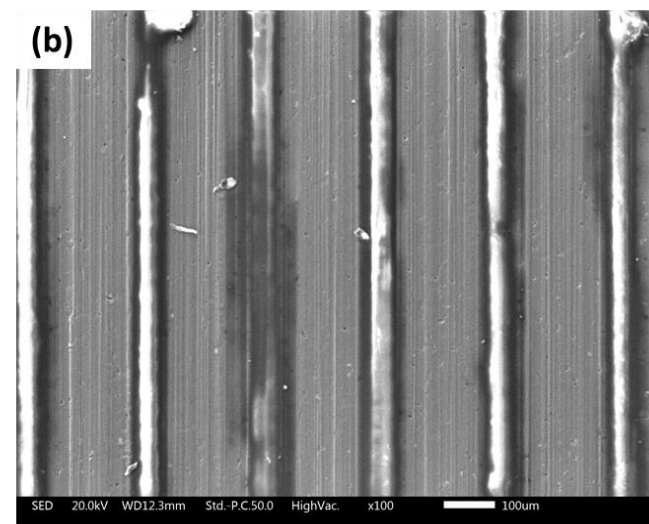
STAMPA INKJET MASCHERA A BASE ACRILICA

- **Pattern di linee parallele**

Pattern \perp Rolling Direction



Pattern $//$ Rolling Direction

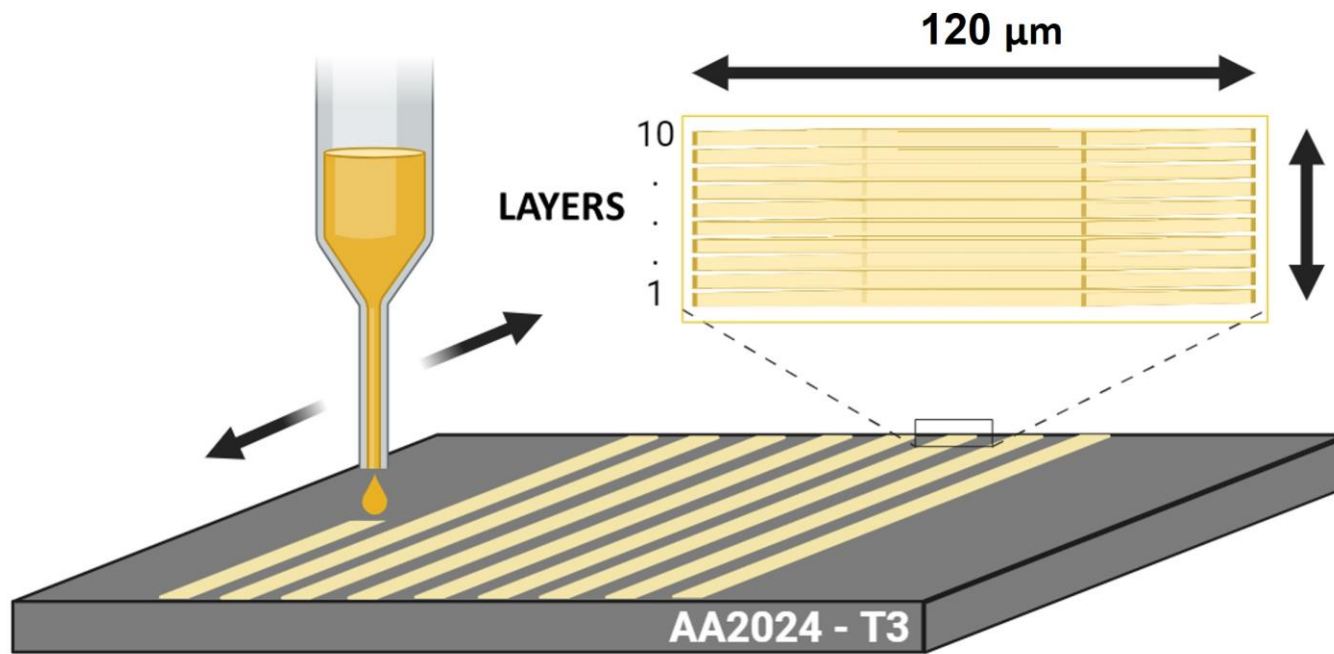


→ CERADROP F-Series (MGI group) ink-jet printer – UV CURING

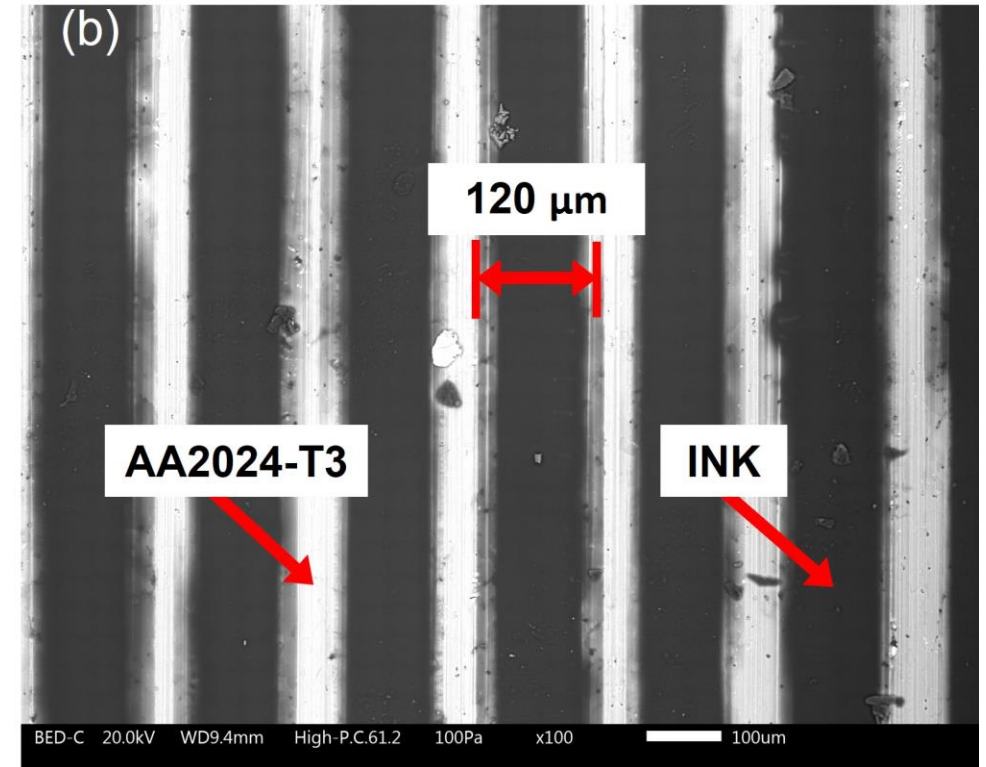


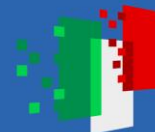


(a)



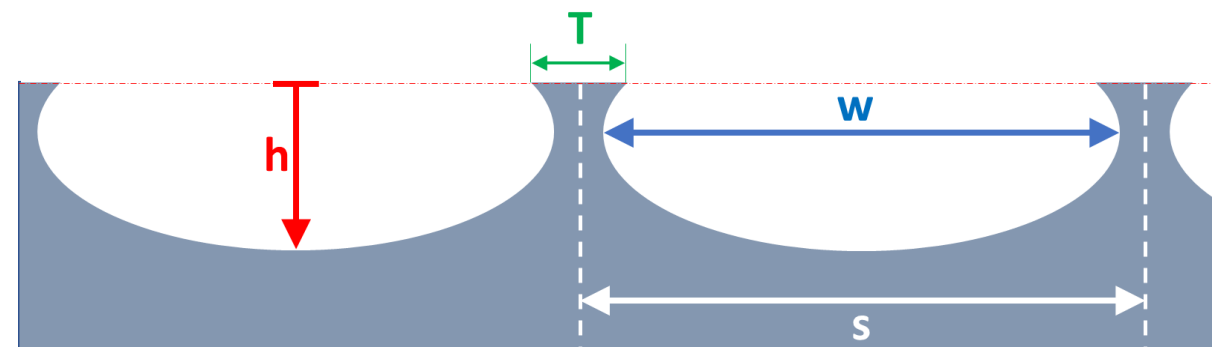
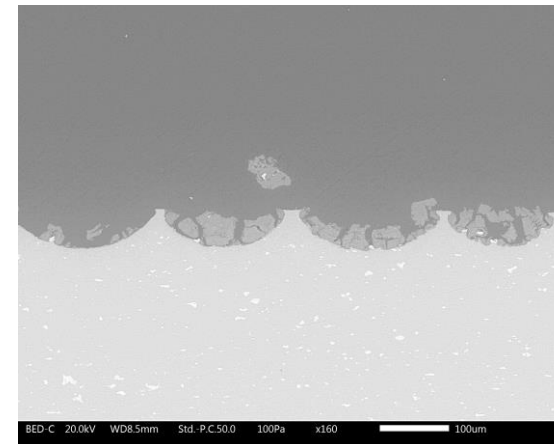
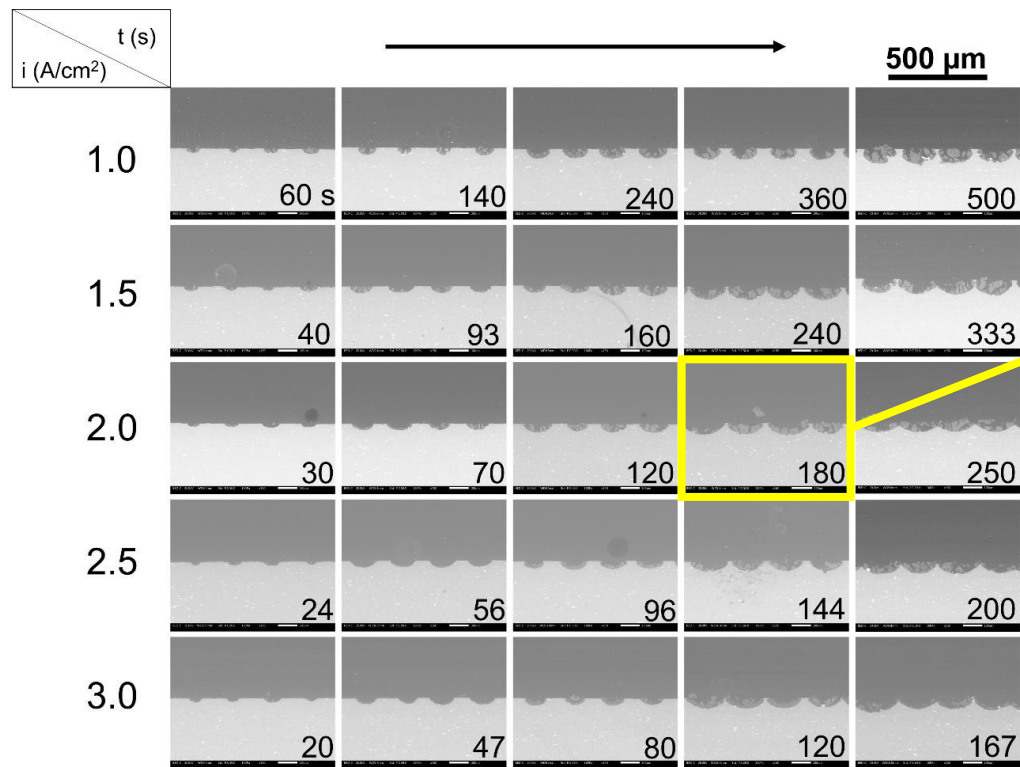
(b)

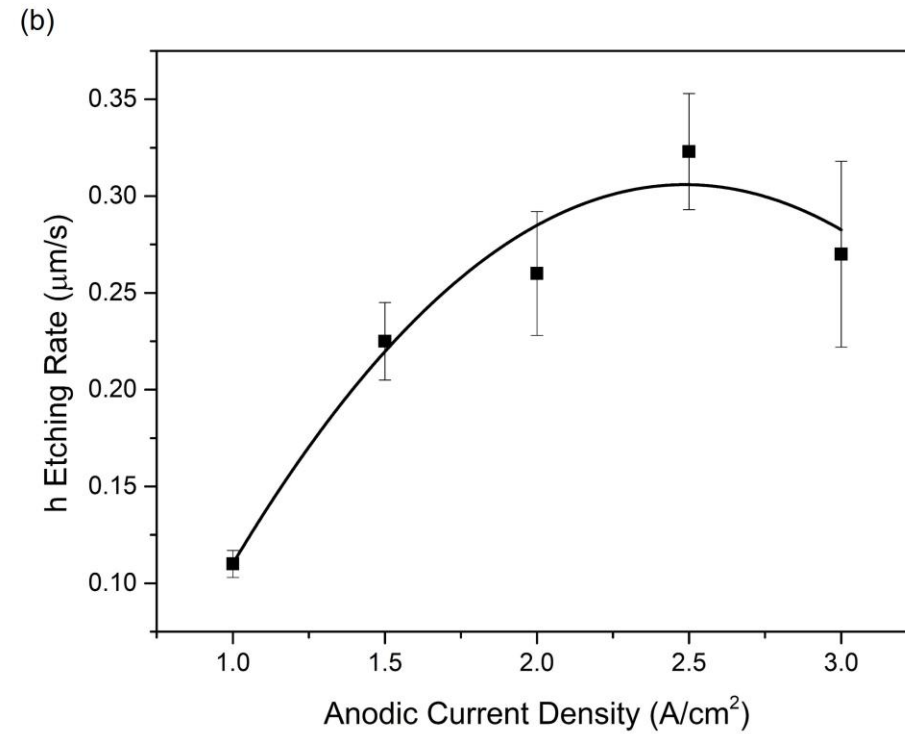
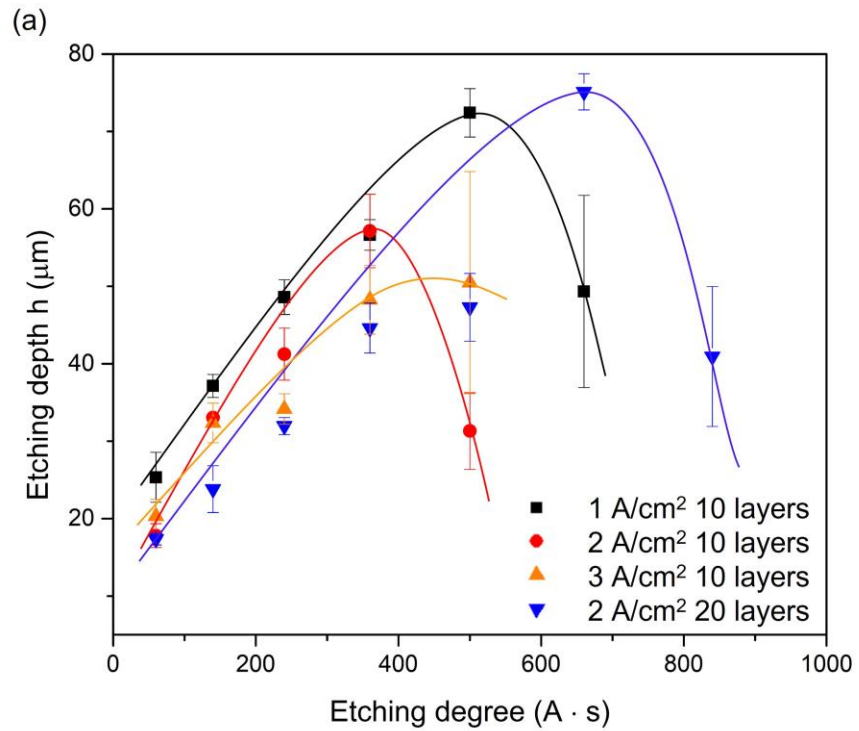
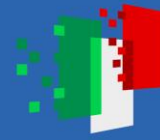




RISULTATI OTTIMIZZAZIONE PROCESSO – t (s), i (A/cm²)

• INFLUENZA DEI PARAMETRI SPERIMENTALI SUL PROFILO

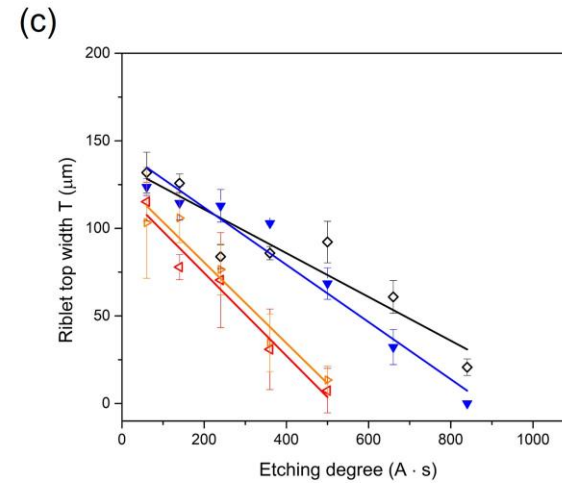
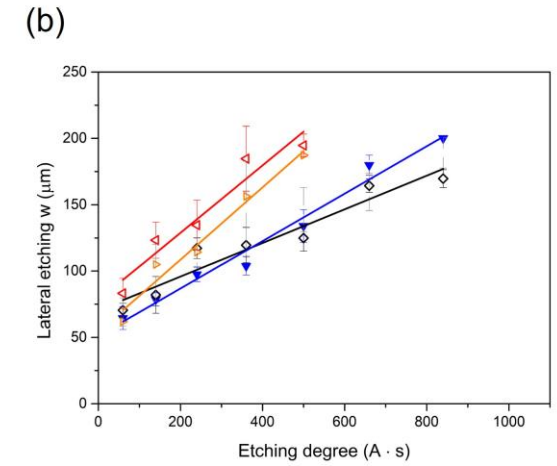
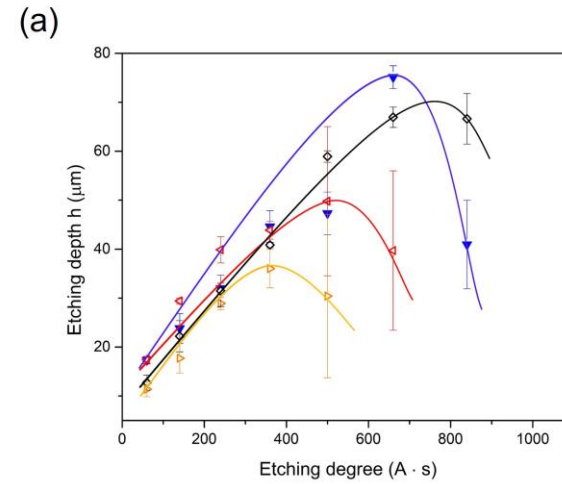
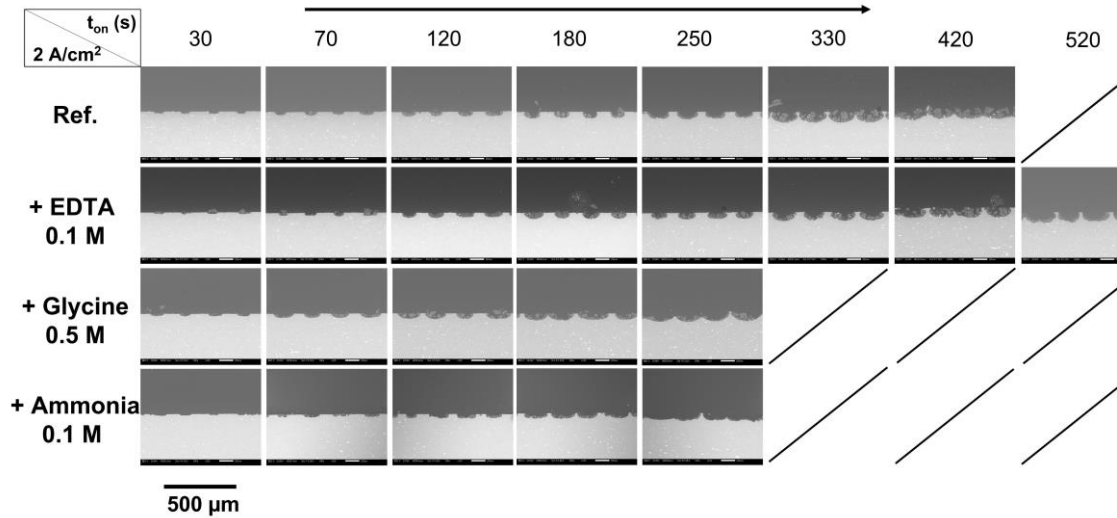




10 vs. 20 layers mask

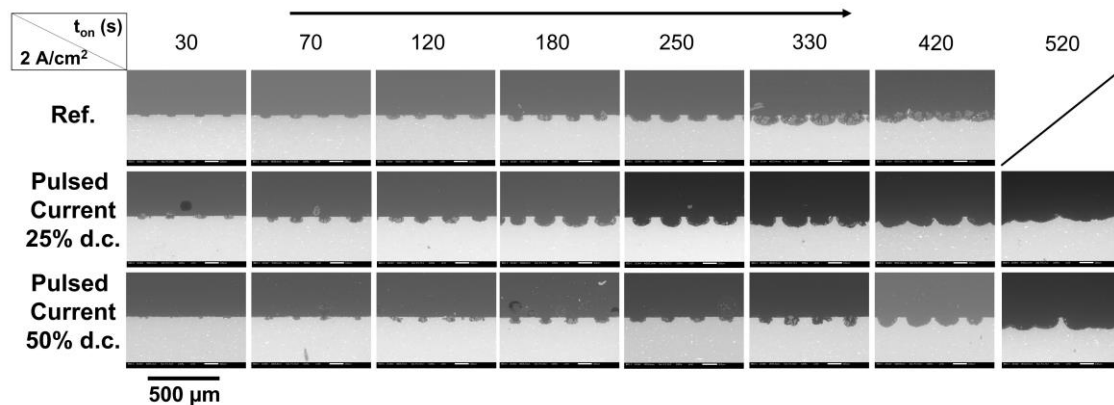


COMPOSIZIONE BAGNO

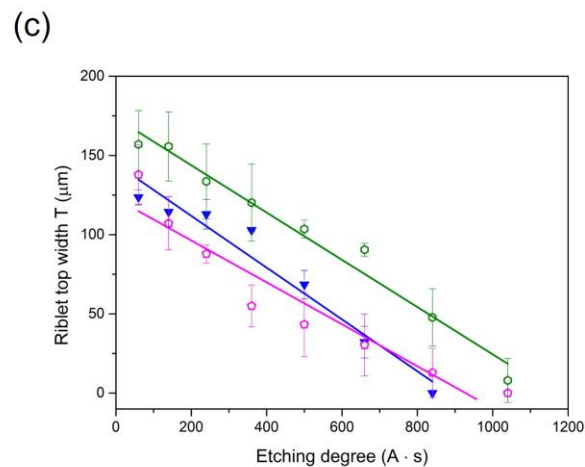
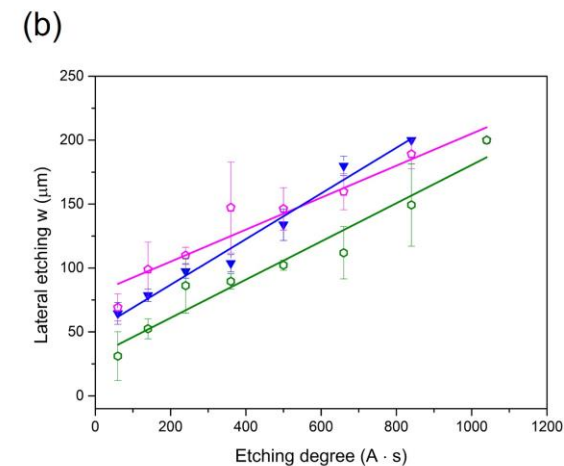
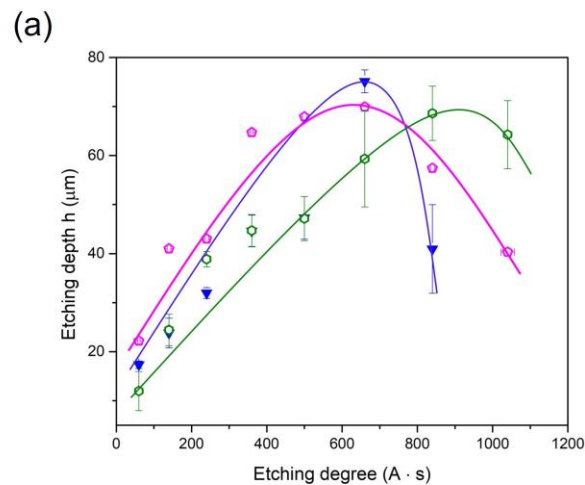


- ▼ 2 A/cm² 20 layers
- ◇ 2 A/cm² + EDTA 0.1 M 20 layers pH 4.5
- △ 2 A/cm² + Glycine 0.5 M 20 layers pH 6
- ▽ 2 A/cm² + Ammonia 0.1 M 20 layers pH 11

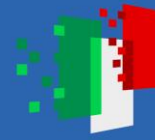
CORRENTE PULSATA



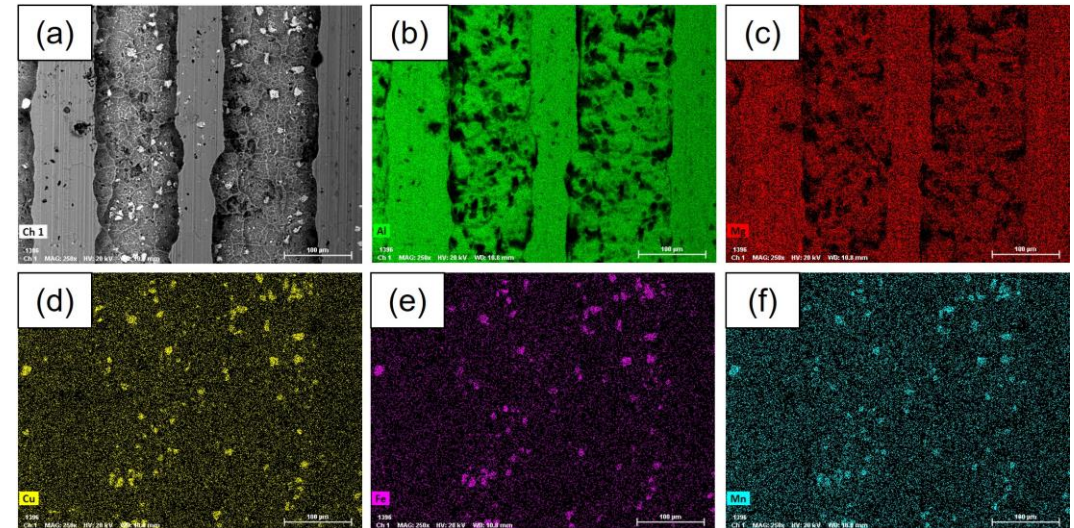
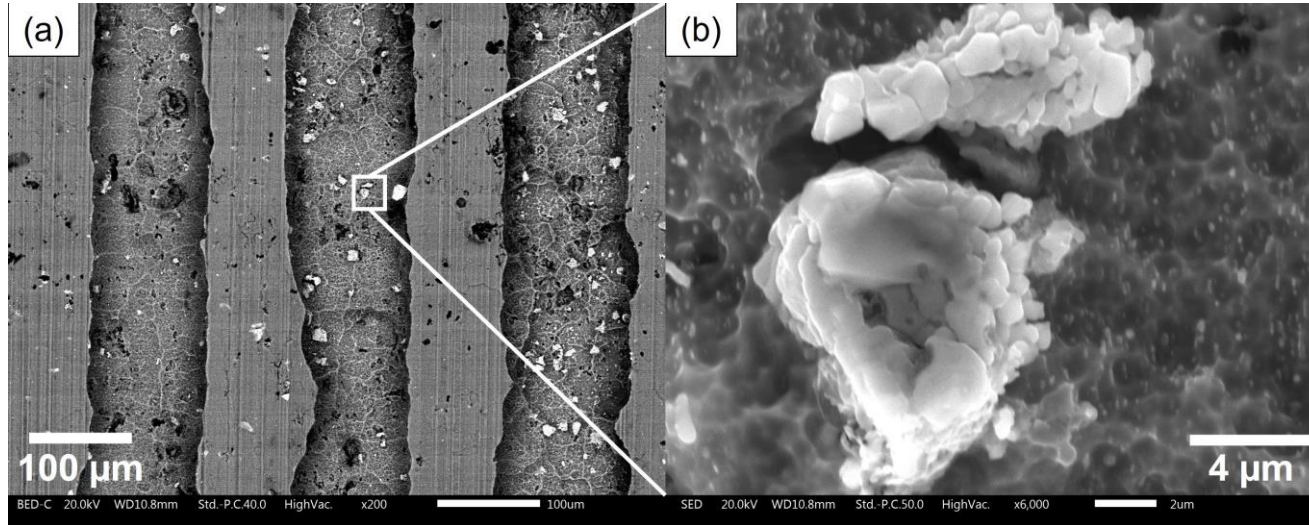
Duty cycle 25%



- ▼ 2 A/cm² 20 layers
- ◊ 2 A/cm² Pulsed 25% 20 layers
- ◊ 2 A/cm² Pulsed 50% 20 layers



IM: $(Al,Cu)_x(Fe,Mn)_ySi$



200 μm



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



POLITECNICO
MILANO 1863



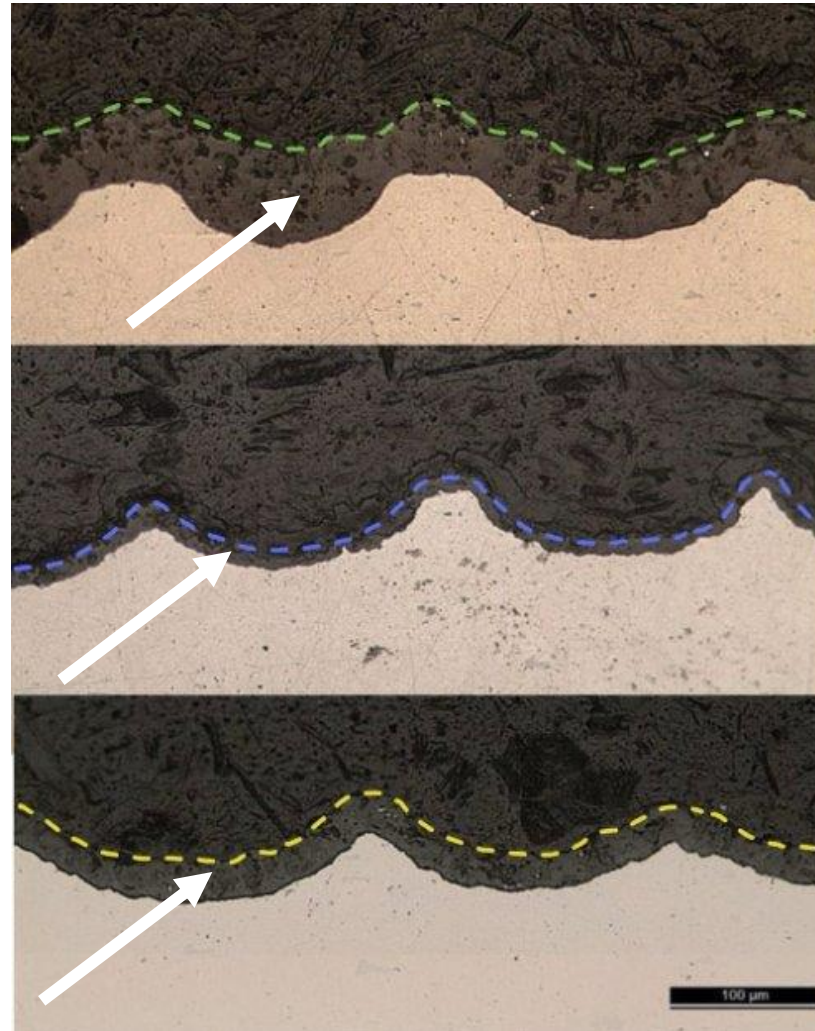
UNIVERSITÀ
DI TRENTO

FATTIBILITA' RIVESTIMENTO PEO SU SUPERFICIE TESTURIZZATA

Risultati preliminari



POLITECNICO
MILANO 1863





CONCLUSIONI E PROSPETTIVE FUTURE

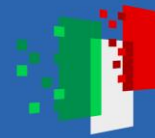
- La TMM efficace per creare strutture a riblet su AA2024
 - Limiti: aggressività etching/resistenza della maschera, risoluzione di deposizione della stampa
- Ottimizzazione parametri di processo: DC, 100 g/L NaNO_3
- PEO mantiene la geometria di testurizzazione, spessore controllabile, buona adesione
- **NEXT**: ottimizzazione PEO e obiettivo durabilità



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



POLITECNICO
MILANO 1863



UNIVERSITÀ
DI TRENTO



(PRIN 2022, COD. PROTOCOLLO: 2022H3S28T, CUP MASTER: D53D23005410006) FINANZIATO DALL'UNIONE EUROPEA – NEXT GENERATION EU, PNRR - MISSIONE 4 “ISTRUZIONE E RICERCA” - COMPONENTE C2 INVESTIMENTO 1.1 “FONDO PER IL PROGRAMMA NAZIONALE DI RICERCA E PROGETTI DI RILEVANTE INTERESSE NAZIONALE (PRIN)” D.D. N. 104/2022 “BANDO PRIN 2022”. PE11 Engineering of Metals and alloys.

40° CONVEGNO NAZIONALE AIM

ETCHING ELETTROCHIMICO SELETTIVO SU AA2024 CON SUPERFICIE ISPIRATA ALLA PELLE DI SQUALO PER LA RIDUZIONE DELLA RESISTENZA FLUIDODINAMICA

*Andrea Cristoforetti², Matteo Gamba¹, Andrea Brenna¹,
Marco Ormellese¹, Michele Fedel²*

¹ Dipartimento di Chimica, Materiali ed Ingegneria Chimica “Giulio Natta”, Politecnico di Milano

² Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di Trento