



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.

**XVI Giornate Nazionali sulla Corrosione  
e Protezione (GNCP)**

**Ancona | 25-27 Giugno 2025**

## Microlavorazione elettrochimica per la fabbricazione di superfici testurizzate su leghe di alluminio

**A. Cristoforetti<sup>1</sup>, M. Gamba<sup>2</sup>, A. Brenna<sup>2</sup>,  
M. Ormellese<sup>2</sup>, M. Fedel<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di Trento

<sup>2</sup> Dipartimento di Chimica, Materiali ed Ingegneria Chimica “Giulio Natta”, Politecnico di Milano



ASSOCIAZIONE  
ITALIANA DI  
METALLURGIA



UNIVERSITÀ  
POLITECNICA  
DELLE MARCHE

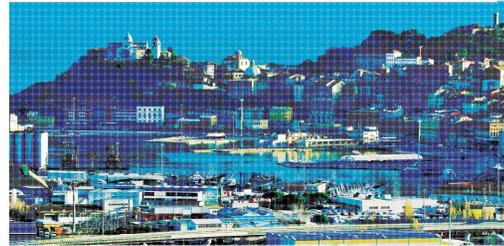


ASSOCIAZIONE PER LA PROTEZIONE DALLE CORROSIONI ELETTROLITICHE



AMPP  
CHAPTER ITALY

GIORNATE NAZIONALI SULLA  
**CORROSIONE  
E PROTEZIONE**



ANCONA · UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE · 25-27 GIUGNO 2025



POLITECNICO  
MILANO 1863



UNIVERSITÀ  
DI TRENTO

# MICROLAVORAZIONE ELETTROCHIMICA PER LA FABBRICAZIONE DI SUPERFICI TESTURIZZATE SU LEGHE DI ALLUMINIO

A. Cristoforetti<sup>2</sup>, M. Gamba<sup>1</sup>, A. Brenna<sup>1</sup>, M. Ormellese<sup>1</sup>, M. Fedel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica «Giulio Natta», Politecnico di Milano

<sup>2</sup>Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di Trento

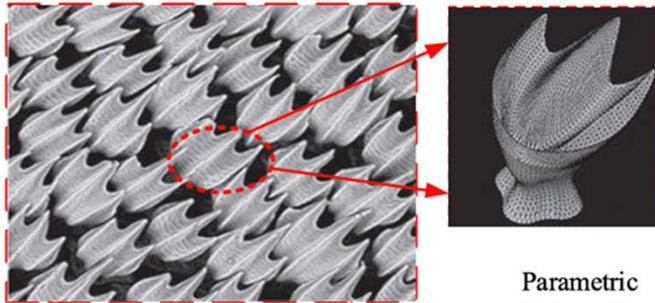




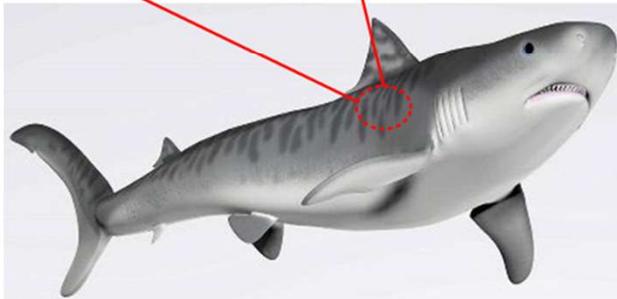
# GIORNATE NAZIONALI SULLA CORROSIONE E PROTEZIONE

ANCONA · UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE · 25-27 GIUGNO 2025

## Biomimesi



Parametric  
3D model



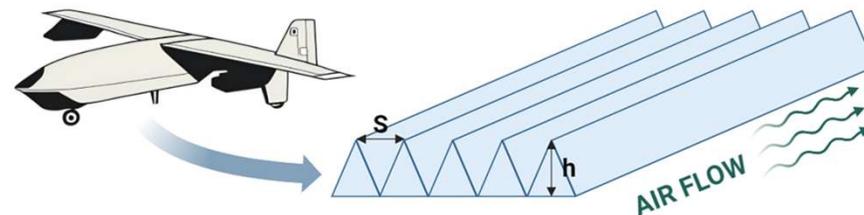
BIOMIMESI PROFILO DELLE SQUAME SQUALO MAKO



RIDUZIONE ATTRITO VELIVOLO-ARIA



RIDUZIONE EMISSIONI CO<sub>2</sub>



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



POLITECNICO  
MILANO 1863

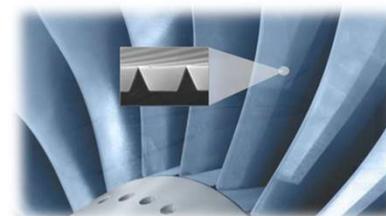
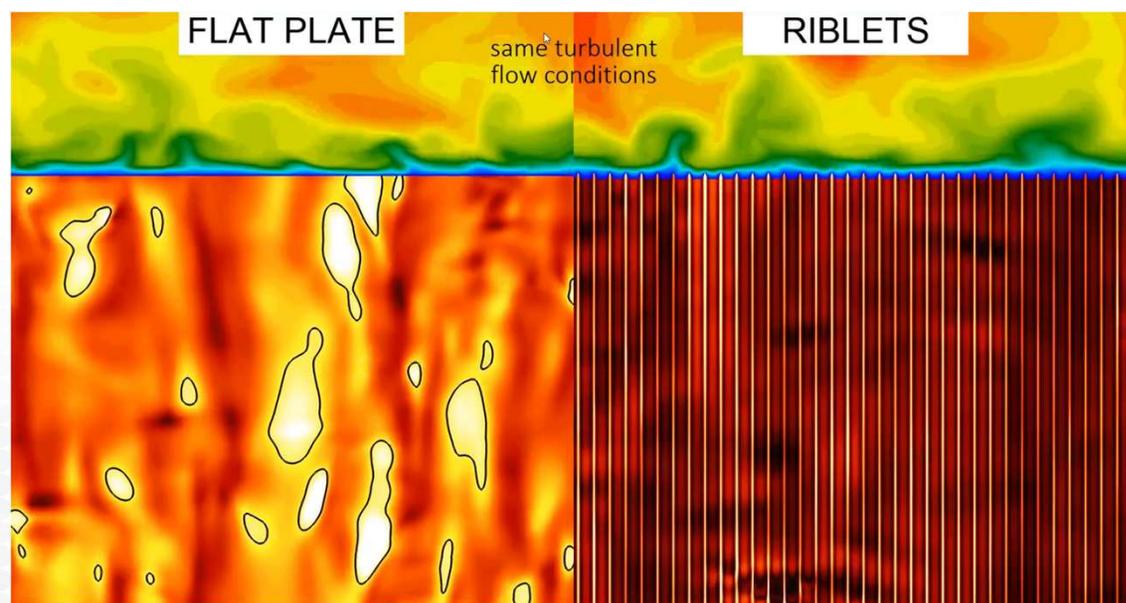


UNIVERSITÀ  
DI TRENTO



# GIORNATE NAZIONALI SULLA CORROSIONE E PROTEZIONE

ANCONA · UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE · 25-27 GIUGNO 2025



<https://www.bionicsurface.com/>



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



POLITECNICO  
MILANO 1863

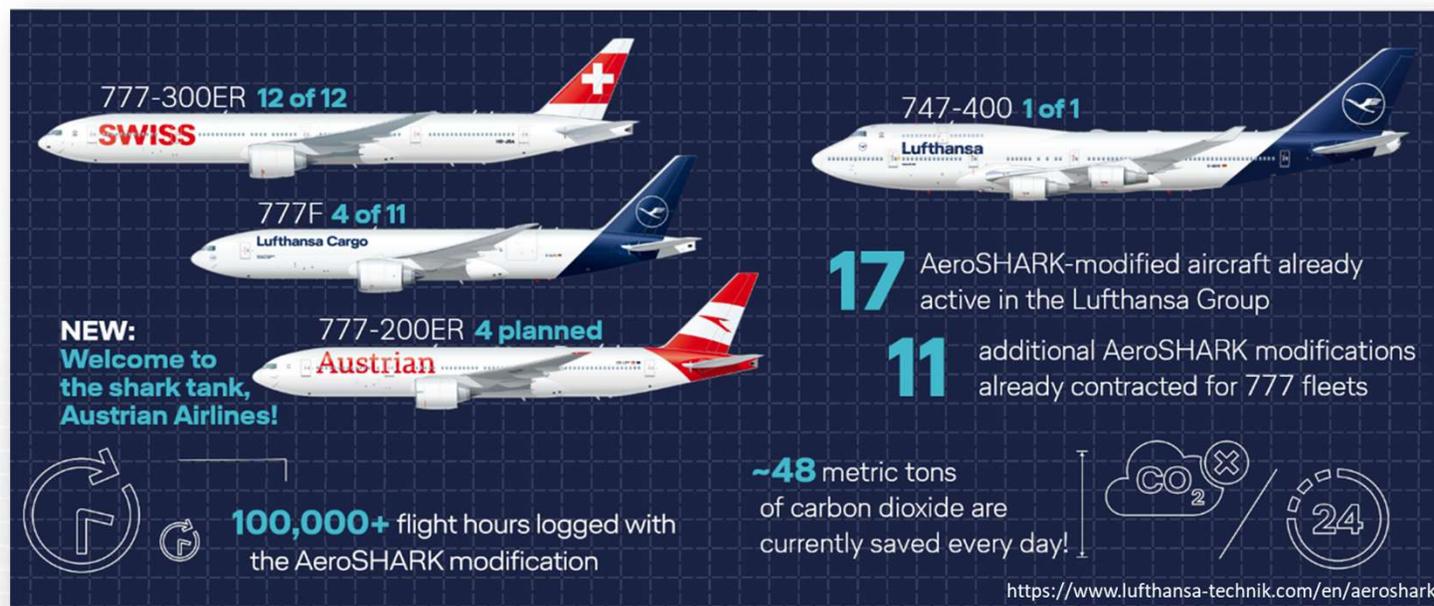


UNIVERSITÀ  
DI TRENTO



# GIORNATE NAZIONALI SULLA CORROSIONE E PROTEZIONE

ANCONA · UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE · 25-27 GIUGNO 2025



APPLICAZIONE FOGLI POLIMERICI → USURA → COSTI DI MANUTENZIONE



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



POLITECNICO  
MILANO 1863



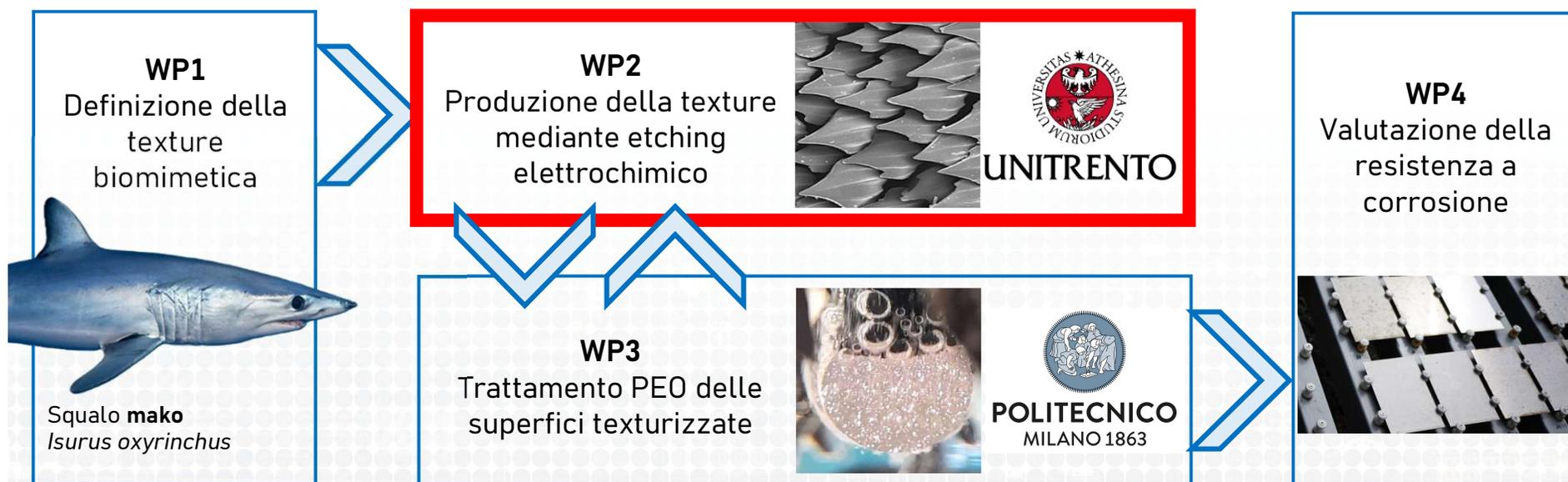
UNIVERSITÀ  
DI TRENTO



# GIORNATE NAZIONALI SULLA CORROSIONE E PROTEZIONE

ANCONA · UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE · 25-27 GIUGNO 2025

## MAKO: Biomimetic Corrosion Resistant Aluminum for Aeronautics



Attività di ricerca co-finanziata dall'Unione Europea – Next Generation EU, PNRR - missione 4 "ricerca e istruzione" - D.D. N. 104/2022 "BANDO PRIN 2022"



Finanziato dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero dell'Università e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA



POLITECNICO MILANO 1863



UNIVERSITÀ DI TRENTO



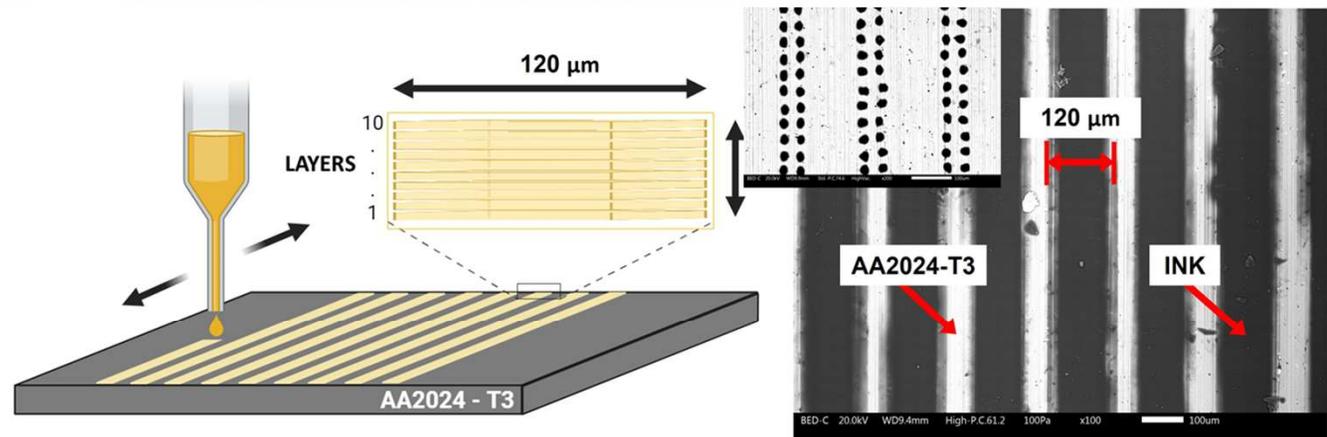
# GIORNATE NAZIONALI SULLA CORROSIONE E PROTEZIONE

ANCONA · UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE · 25-27 GIUGNO 2025

## TESTURIZZAZIONE TRAMITE TMEEM

*Through Mask Electrochemical Micromachining*

STEP 1: inkjet printing – deposizione maschera polimerica



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



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



POLITECNICO  
MILANO 1863

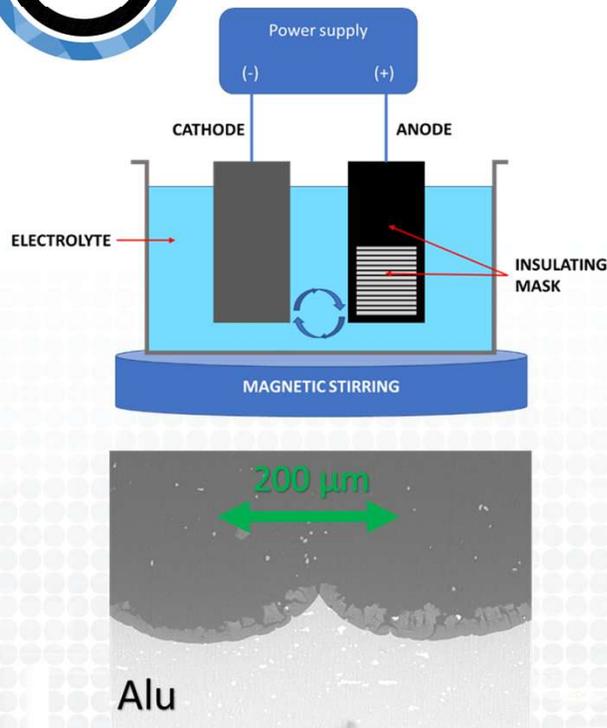


UNIVERSITÀ  
DI TRENTO



# GIORNATE NAZIONALI SULLA CORROSIONE E PROTEZIONE

ANCONA · UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE · 25-27 GIUGNO 2025

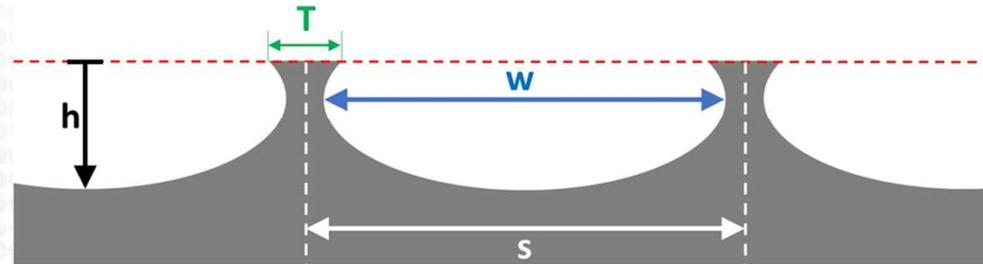


## TESTURIZZAZIONE TRAMITE TMEMM

### *Through Mask Electrochemical Micromachining*

#### STEP 2: polarizzazione anodica

- **Etching selettivo** e conseguente formazione di solchi a partire dalla parte metallica non coperta dalla maschera
- Geometria ottimale variabile nelle varie parti del velivolo



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



POLITECNICO  
MILANO 1863



UNIVERSITÀ  
DI TRENTO



# GIORNATE NAZIONALI SULLA CORROSIONE E PROTEZIONE

ANCONA · UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE · 25-27 GIUGNO 2025

- **STATO DELL'ARTE**

**TMEMM** studiato su **metalli puri** Cu, Ti, Ni, Al  
**TMEMM** inesplorata per la produzione di **riblets**

- **ALUMINUM ALLOYS:**

**AA2024** (4% Cu; 1.5 Mg; 0.5% Mn)

**AA5005** (Mg 0.8%)

**AA1050** (commercially pure)

**TMEMM ↔ IMPs ↔ CORROSIONE**

- **SCOPO:** Indagare l'influenza della composizione delle leghe (IMPs) sul processo di testurizzazione delle leghe di alluminio e il loro comportamento alla corrosione derivato dal processo TMEMM



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



POLITECNICO  
MILANO 1863



UNIVERSITÀ  
DI TRENTO

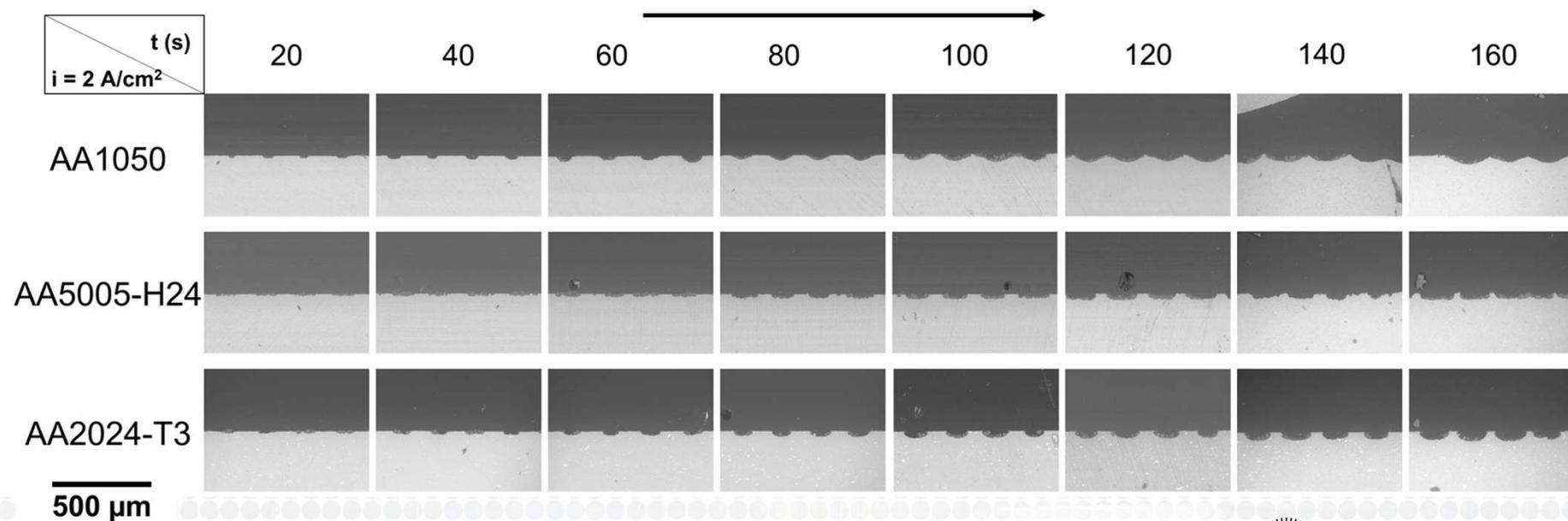


# GIORNATE NAZIONALI SULLA CORROSIONE E PROTEZIONE

ANCONA · UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE · 25-27 GIUGNO 2025

## EVOLUZIONE GEOMETRICA – vista in sezione

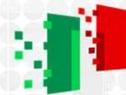
crescente  $t$  (s),  $i = 2 \text{ A/cm}^2$ , in soluzione  $100 \text{ g/L NaNO}_3$



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



POLITECNICO  
MILANO 1863



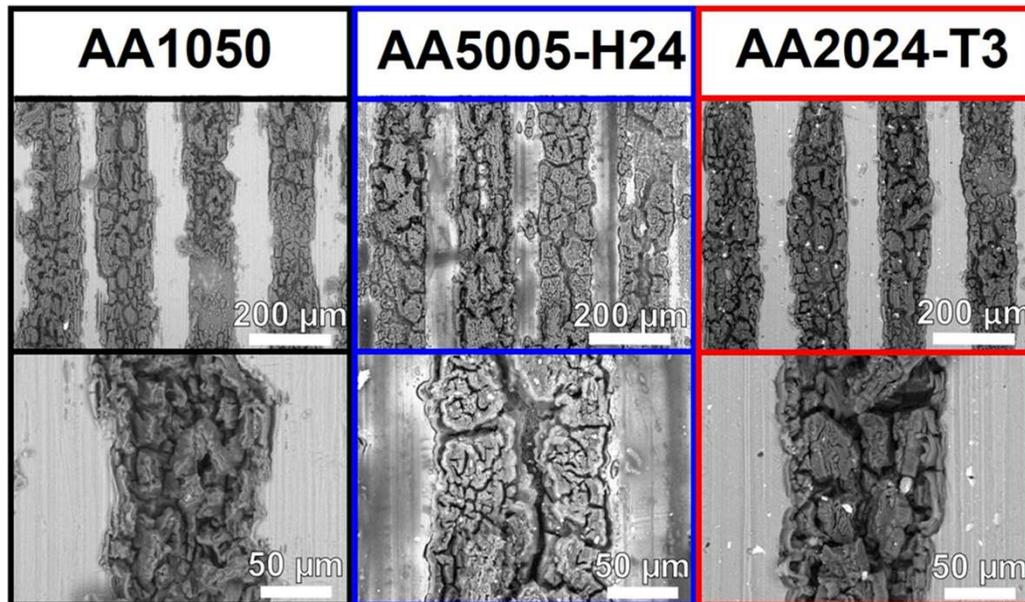
UNIVERSITÀ  
DI TRENTO



# GIORNATE NAZIONALI SULLA CORROSIONE E PROTEZIONE

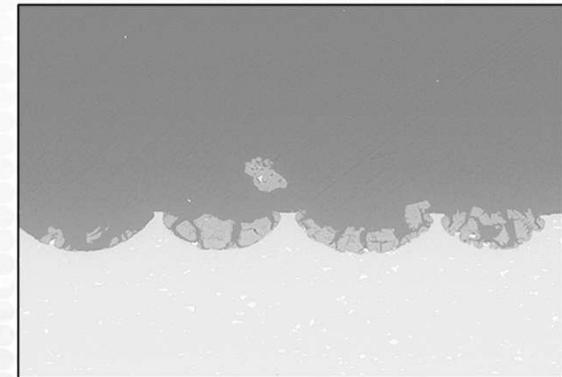
ANCONA · UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE · 25-27 GIUGNO 2025

## GEOMETRIA E PRODOTTI DI CORROSIONE – top view



Rimozione prodotti di corrosione  
dopo TMMEM:

→ Sonicazione per 2 min  
in 0.1M HNO<sub>3</sub>



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



POLITECNICO  
MILANO 1863

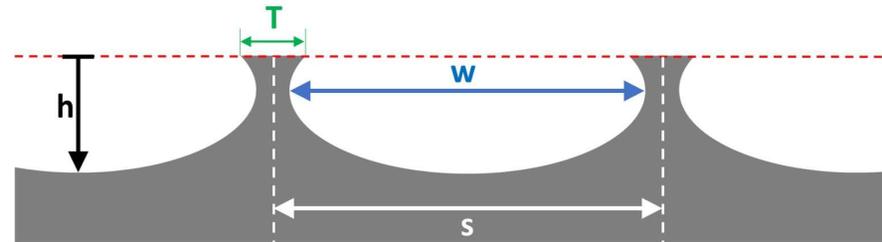
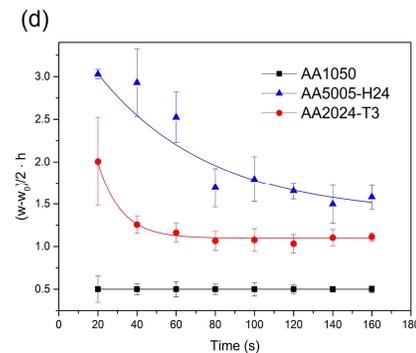
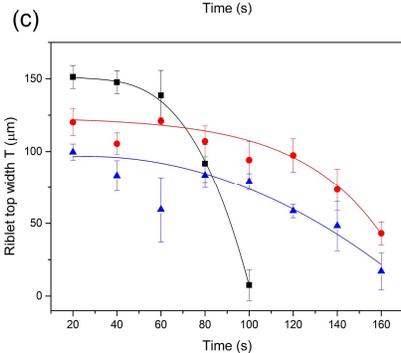
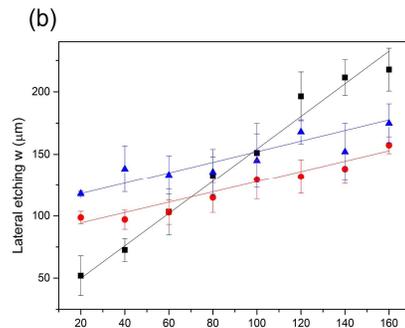
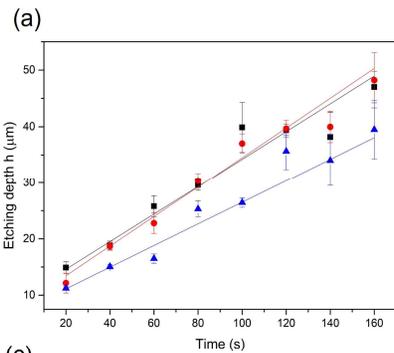


UNIVERSITÀ  
DI TRENTO



# GIORNATE NAZIONALI SULLA CORROSIONE E PROTEZIONE

ANCONA · UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE · 25-27 GIUGNO 2025



- La profondità dell'incisione ( $h$ ) aumenta linearmente nel tempo
- Etching laterale ( $w$ ) dipende dalla lega
- La larghezza delle riblet ( $T$ ) → precisione della modellazione
- La lega determina l'anisotropia dell'etching



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



POLITECNICO  
MILANO 1863



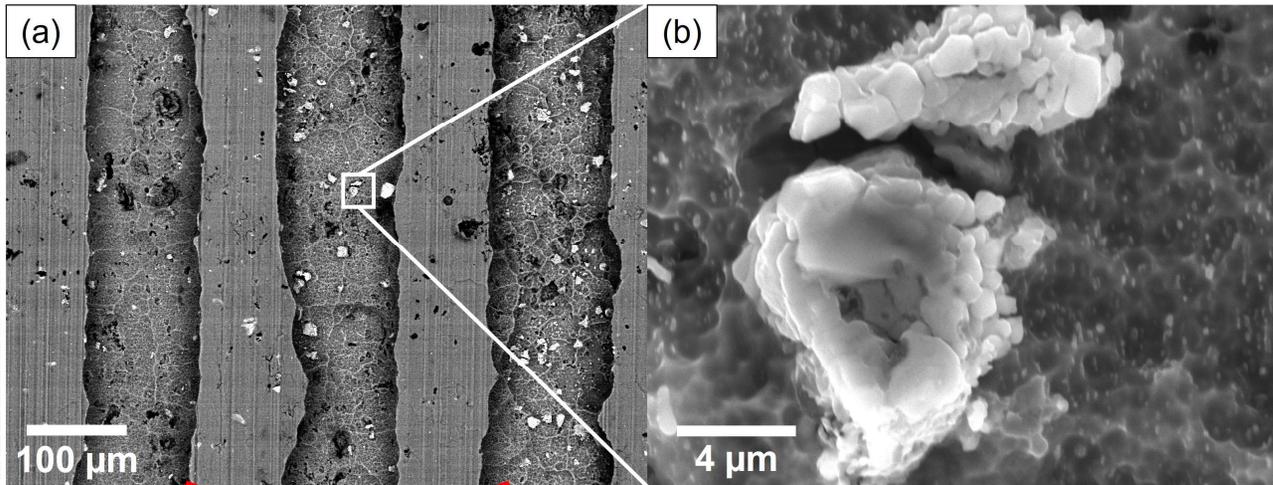
UNIVERSITÀ  
DI TRENTO



# GIORNATE NAZIONALI SULLA CORROSIONE E PROTEZIONE

ANCONA · UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE · 25-27 GIUGNO 2025

IMPs: AA2024



~~S-phase (Al<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>)  
θ-phase (Al<sub>2</sub>Fe)  
Q-phase (AlFeSi)~~

(Al,Cu)<sub>x</sub>(Fe,Mn)<sub>y</sub>Si (low Si)



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



POLITECNICO  
MILANO 1863



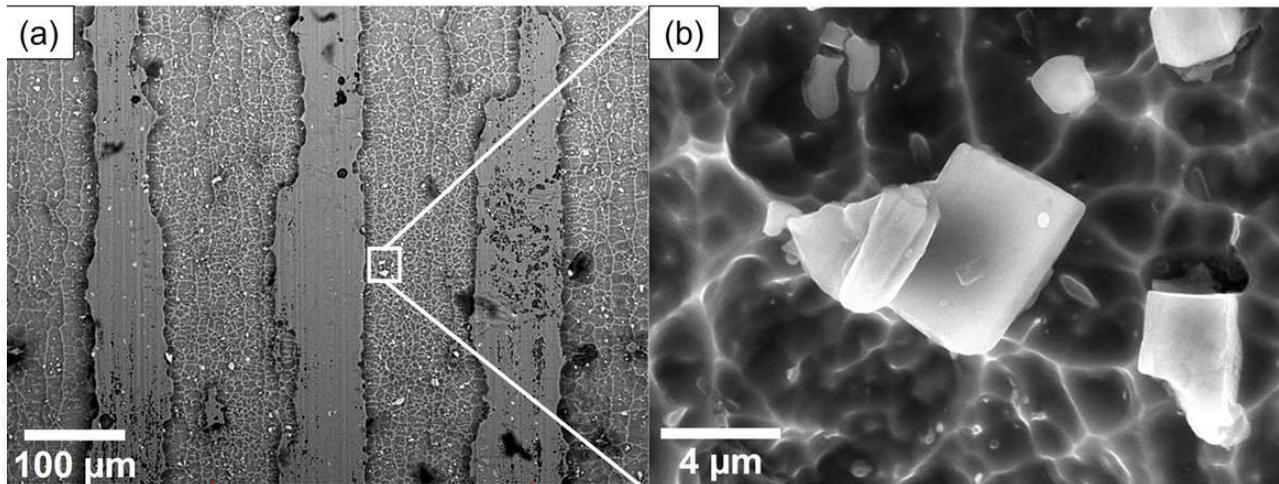
UNIVERSITÀ  
DI TRENTO



# GIORNATE NAZIONALI SULLA CORROSIONE E PROTEZIONE

ANCONA · UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE · 25-27 GIUGNO 2025

IMPs: AA5005



~~Al-Fe  
Al-Fe-Si  
β-Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub>~~

Al-Fe-Si



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



POLITECNICO  
MILANO 1863

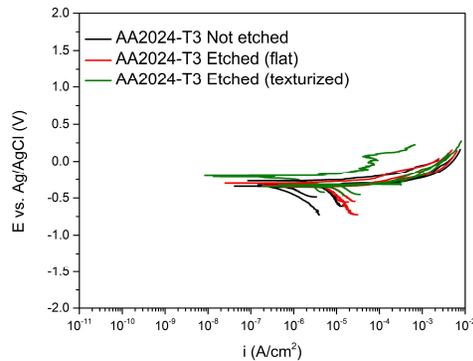


UNIVERSITÀ  
DI TRENTO



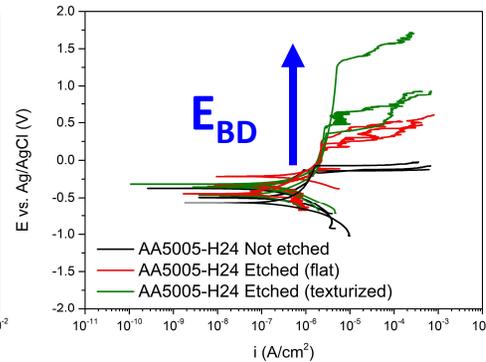
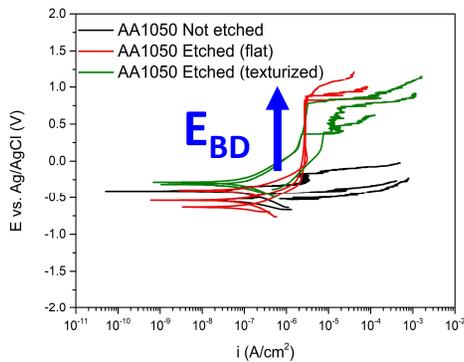
# GIORNATE NAZIONALI SULLA CORROSIONE E PROTEZIONE

ANCONA · UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE · 25-27 GIUGNO 2025



## CURVE POTENZIODINAMICHE

- **AA2024** soggetta a corrosione localizzata, assenza di passività.
- **AA1050 and AA5005-H24** traggono beneficio da TMEEM dimostrando una resistenza a corrosione migliorata .
- **La testurizzazione** non influenza negativamente le performance rispetto a campione piano.
- La ridotta presenza di IMPs può essere utile per i successivi rivestimenti di **anodizzazione**.



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



POLITECNICO  
MILANO 1863



UNIVERSITÀ  
DI TRENTO



# GIORNATE NAZIONALI SULLA CORROSIONE E PROTEZIONE

ANCONA · UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE · 25-27 GIUGNO 2025

## REMARKS

- **TMEMM** è una tecnologia ideale per la **testurizzazione superficiale** delle leghe di alluminio, che consente un miglioramento della **stabilità elettrochimica** grazie alla rimozione selettiva della maggior parte degli intermetallici (AA5005).
- **La composizione della lega influisce fortemente sull'evoluzione dell'etching:**
  - AA1050** consente un'incisione verticale profonda
  - AA5005** incisione più difficile a causa del suo strato di ossido resistente
  - AA2024** raggiunge caratteristiche geometriche bilanciate e regolari
- **La testurizzazione non compromette le prestazioni di resistenza alla corrosione rispetto all'etching su superficie piana**





# GIORNATE NAZIONALI SULLA CORROSIONE E PROTEZIONE

ANCONA · UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE · 25-27 GIUGNO 2025

Surface & Coatings Technology 504 (2025) 132061



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Surface & Coatings Technology

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/surfcoat](http://www.elsevier.com/locate/surfcoat)



Advancing aeronautical surface texturing: Through-mask electrochemical micromachining of aluminum AA2024-T3 for drag reduction applications

Andrea Cristoforetti<sup>b, \*</sup>, Matteo Gamba<sup>a</sup>, Andrea Brenna<sup>a</sup>, Marco Ormellesse<sup>a</sup>, Michele Fedel<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Department of Chemistry, Materials and Chemical Engineering "Giulio Natta", Politecnico di Milano, Via Mancinelli 7, 20131 Milan, Italy  
<sup>b</sup> Department of Industrial Engineering, University of Trento, 38123 Trento, TN, Italy



Surface & Coatings Technology 511 (2025) 132273



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Surface & Coatings Technology

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/surfcoat](http://www.elsevier.com/locate/surfcoat)



Influence of intermetallics on through-mask electrochemical micromachining for surface texturing of aluminum alloys

Andrea Cristoforetti<sup>a, \*</sup>, Matteo Gamba<sup>b</sup>, Andrea Brenna<sup>b</sup>, Marco Ormellesse<sup>b</sup>, Michele Fedel<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Department of Industrial Engineering, University of Trento, 38123 Trento, (TN), Italy  
<sup>b</sup> Department of Chemistry, Materials and Chemical Engineering "Giulio Natta", Politecnico di Milano, Via Mancinelli 7, 20131 Milan, Italy



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



POLITECNICO  
MILANO 1863



UNIVERSITÀ  
DI TRENTO



# GIORNATE NAZIONALI SULLA CORROSIONE E PROTEZIONE

ANCONA · UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE · 25-27 GIUGNO 2025

Follow the shark!



@makoproject



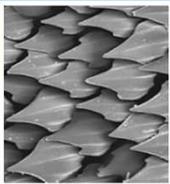
polilapp.chem.polimi.it

Finanziato dall'Unione europea  
NextGenerationEU

Ministero dell'Università e della Ricerca

Italiadomani  
PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA

POLITECNICO MILANO 1863  
UNIVERSITÀ DI TRENTO



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"



MAKO

Biomimetic Corrosion Resistant Aluminium for Aeronautics

Servizi di ricerca · 293 follower · 2-10 dipendenti



Stefano e altri 43 collegamenti seguono questa pagina

Invia messaggio

Già segui



Attività di ricerca co-finanziata dall'Unione Europea – Next Generation EU, PNRR - missione 4 "ricerca e istruzione" - D.D. N. 104/2022 "BANDO PRIN 2022".



Finanziato dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero dell'Università e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA



POLITECNICO MILANO 1863



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



(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.

**XVI Giornate Nazionali sulla Corrosione  
e Protezione (GNCP)**

**Ancona | 25-27 Giugno 2025**

**Studio del comportamento a corrosione di  
rivestimenti ottenuti per ossidazione elettrolitica  
al plasma (PEO) su lega di alluminio 2024 con  
superficie biomimetica per applicazioni  
aeronautiche**

**M. Gamba<sup>1</sup>, M. Ormellese<sup>1</sup>, A. Cristoforetti<sup>2</sup>, M.  
Fedel<sup>2</sup>, A. Brenna<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Dipartimento di Chimica, Materiali ed Ingegneria Chimica “Giulio Natta”, Politecnico di Milano

<sup>2</sup> Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di Trento



POLITECNICO  
MILANO 1863



UNIVERSITÀ  
DI TRENTO

# GIORNATE NAZIONALI SULLA CORROSIONE E PROTEZIONE



ANCONA · UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE · 25-27 GIUGNO 2025

## Studio del comportamento a corrosione di rivestimenti ottenuti per ossidazione elettrolitica al plasma (PEO) su lega di alluminio 2024 con superficie biomimetica per applicazioni aeronautiche

Gamba M.<sup>1</sup>, Ormellese M.<sup>1</sup>, Cristoforetti A.<sup>2</sup>, Fedel M.<sup>2</sup>, Brenna A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica «Giulio Natta», Politecnico di Milano

<sup>2</sup>Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di Trento

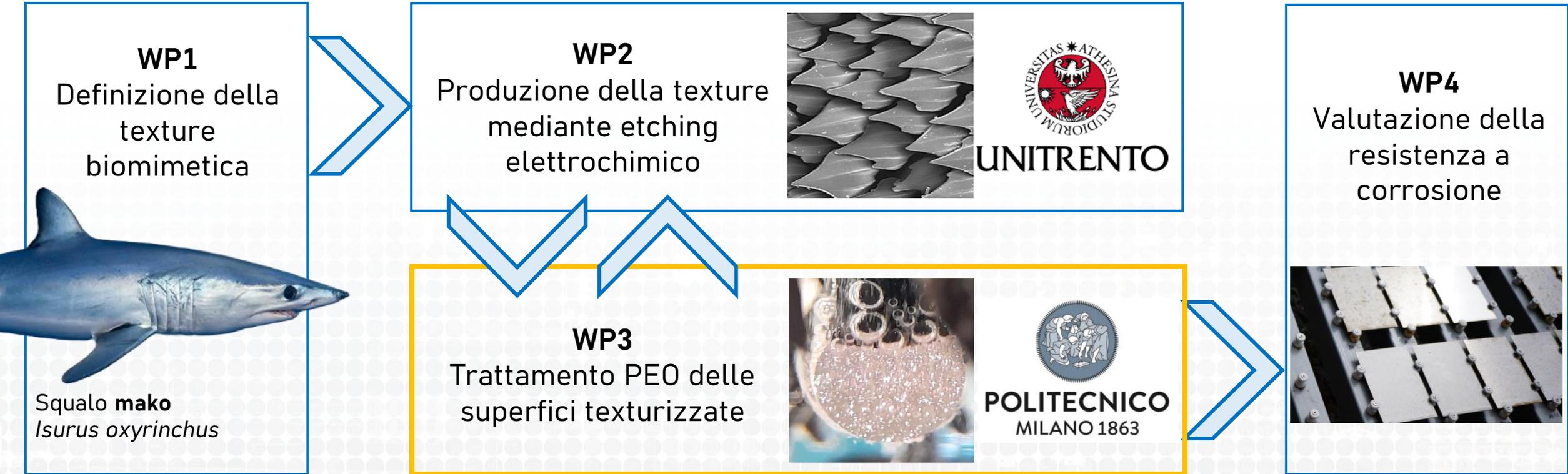




# GIORNATE NAZIONALI SULLA CORROSIONE E PROTEZIONE

ANCONA · UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE · 25-27 GIUGNO 2025

## MAKO: Biomimetic Corrosion Resistant Aluminum for Aeronautics



Attività di ricerca co-finanziata dall'Unione Europea – Next Generation EU, PNRR - missione 4 “ricerca e istruzione” - D.D. N. 104/2022 “BANDO PRIN 2022”.



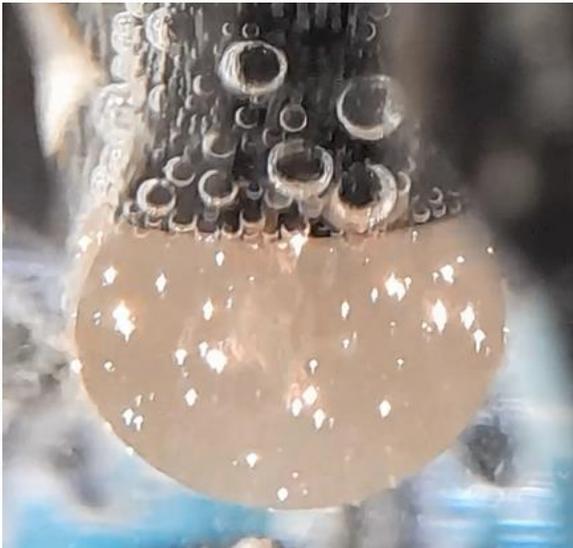
# GIORNATE NAZIONALI SULLA CORROSIONE E PROTEZIONE

ANCONA · UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE · 25-27 GIUGNO 2025

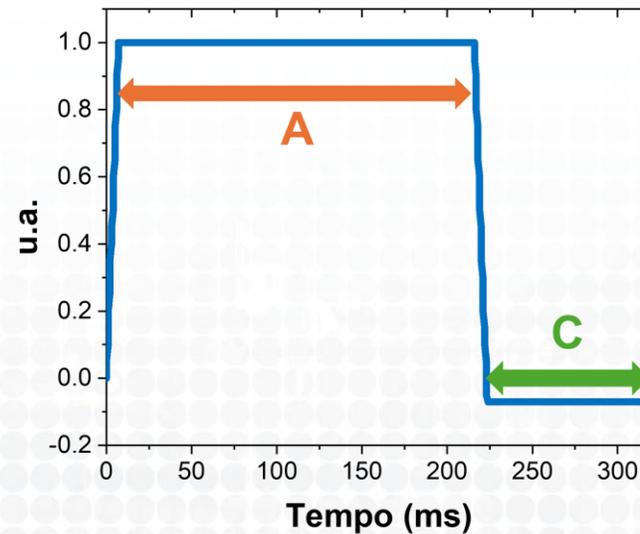
## Ottimizzazione del processo PEO

**PEO:** *Plasma electrolytic oxidation*

Anodizzazione ad **alto potenziale** in soluzione acquosa in condizioni di **scariche al plasma**.



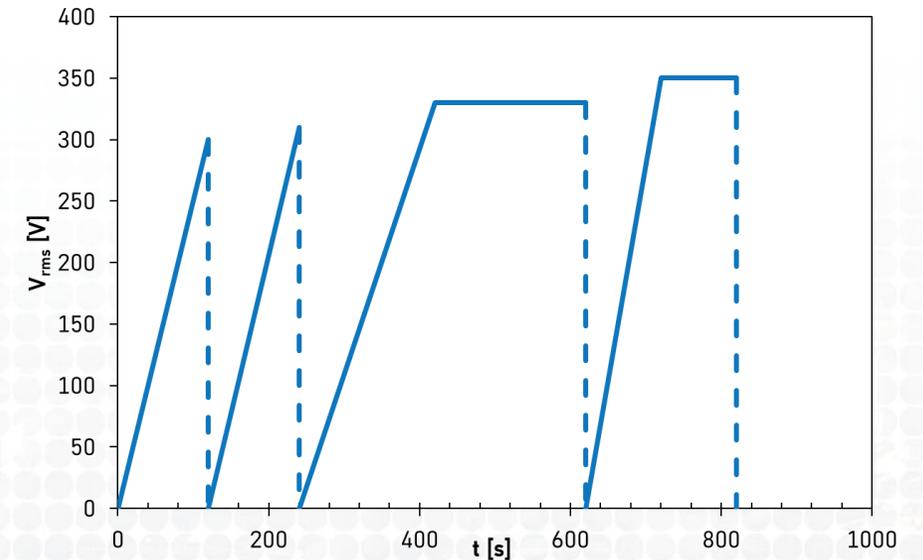
**Input elettrico** uguale per tutti i rivestimenti: messa a punto dell'elettrolita.



**Onde quadre**

60% anodico, 40% catodico

$$V_{\text{catodico}} = 7\% V_{\text{anodico}}$$



**PEO in controllo di potenziale**

$$V_{\text{max}} = 350 V_{\text{rms}}$$

Durata totale circa 15 min



Finanziato  
dall'Unione europea

NextGenerationEU



Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



POLITECNICO  
MILANO 1863



UNIVERSITÀ  
DI TRENTO



# GIORNATE NAZIONALI SULLA CORROSIONE E PROTEZIONE

ANCONA · UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE · 25-27 GIUGNO 2025

## Ottimizzazione del processo PEO

### Materiale

AA2024 – T3

- 3,80% – 4,90% **Cu**
- 1,20% – 1,80% **Mg**
- 0,30% – 0,90% **Mn**

### Precipitati intermetallici

Elevate proprietà meccaniche  
Scarsa resistenza a corrosione

### Elettrolita: tre diverse composizioni a confronto

Elettrolita	Alcali		Additivi	
	KOH, mol/L	NaOH, mol/L	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> , g/L	Glicerina, g/L
<b>0.20 KS</b>	0.20	-	10	10
<b>0.20 KNS</b>	0.04	<b>0.16</b>	10	10
<b>0.09 KNS</b>	<b>0.014</b>	<b>0.076</b>	10	10



### Requisiti:

- Protezione dalla corrosione negli ambienti tipici del progetto (acqua dolce, acqua di mare).
- Riproduzione accurata della texture biomimetica: **passo, profondità, raggio di curvatura.**



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



POLITECNICO  
MILANO 1863



UNIVERSITÀ  
DI TRENTO

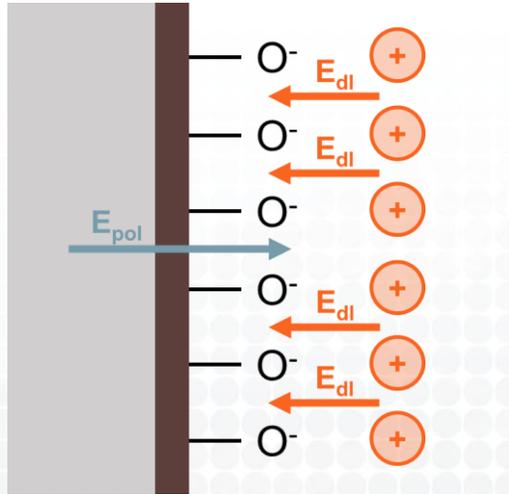


# GIORNATE NAZIONALI SULLA CORROSIONE E PROTEZIONE

ANCONA · UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE · 25-27 GIUGNO 2025

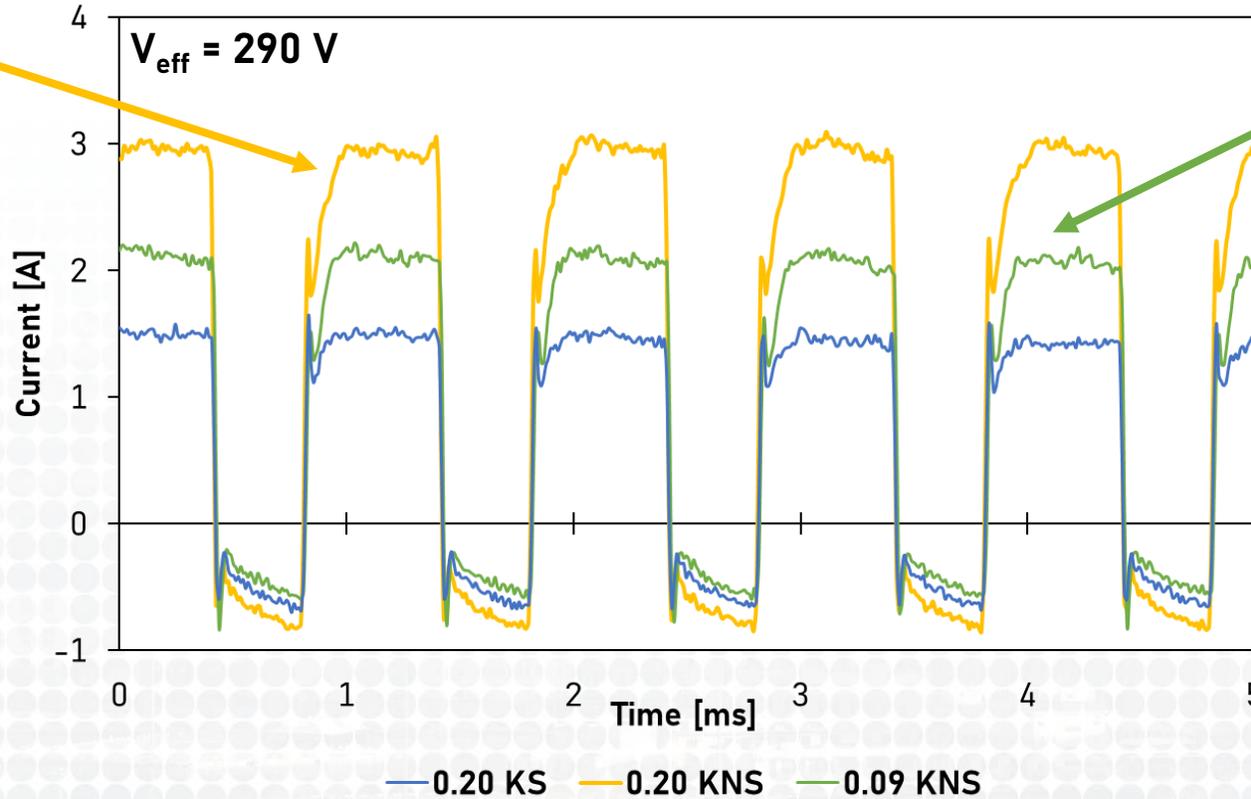
## Caratteristiche di processo

Doppio strato elettronico



Minore mobilità degli ioni Na<sup>+</sup>

Scariche più distribuite  
Corrente più elevata



Conducibilità

Ridotta quantità di ioni in soluzione

Corrente minore  
Scariche meno intense



Finanziato dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero dell'Università e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA



POLITECNICO MILANO 1863



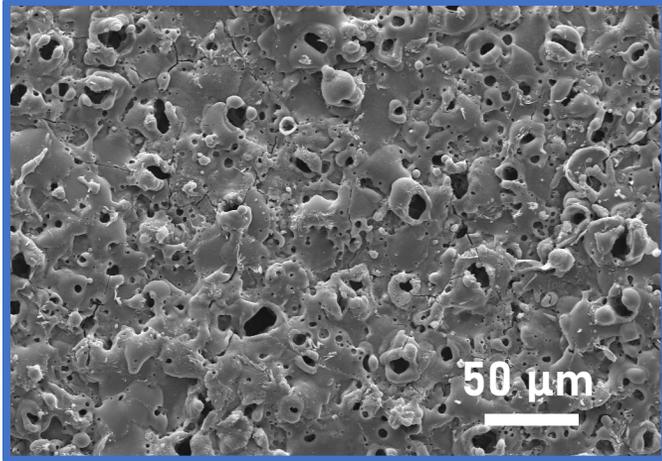
UNIVERSITÀ DI TRENTO



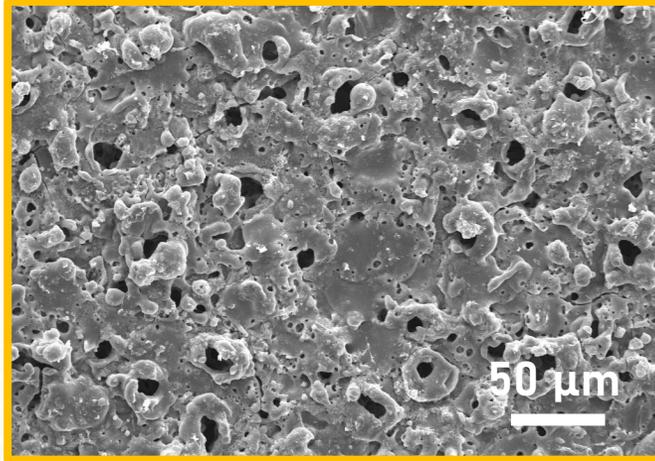
# GIORNATE NAZIONALI SULLA CORROSIONE E PROTEZIONE

ANCONA · UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE · 25-27 GIUGNO 2025

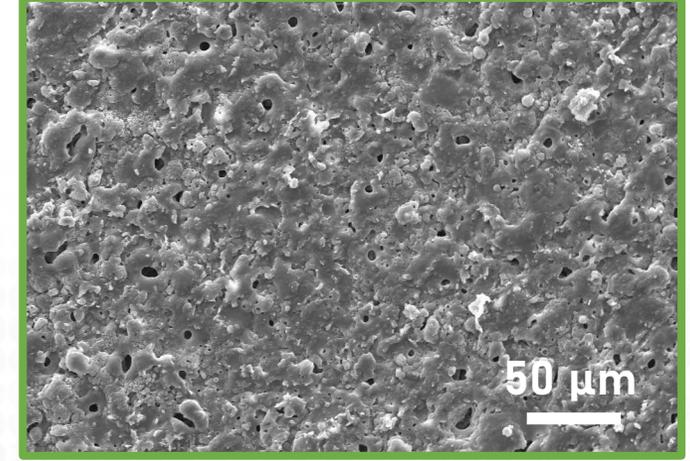
## Morfologia dei rivestimenti



Poro medio > 10 μm

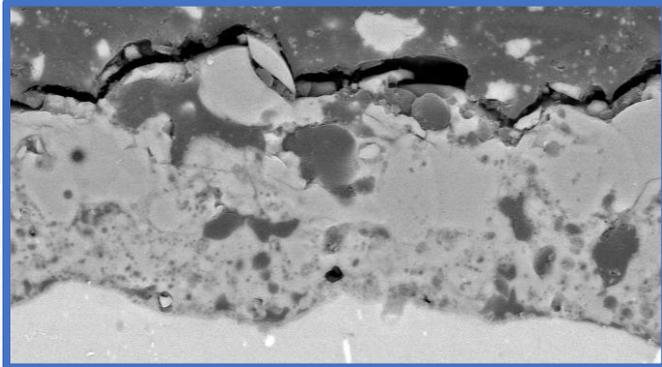


Poro medio ≈ 10 μm



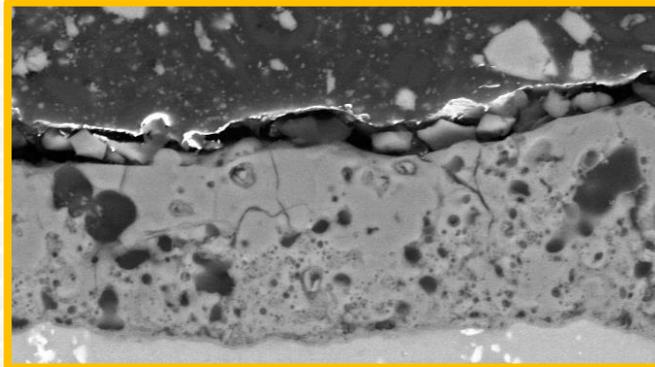
Poro medio ≈ 6 μm

0.20 KS



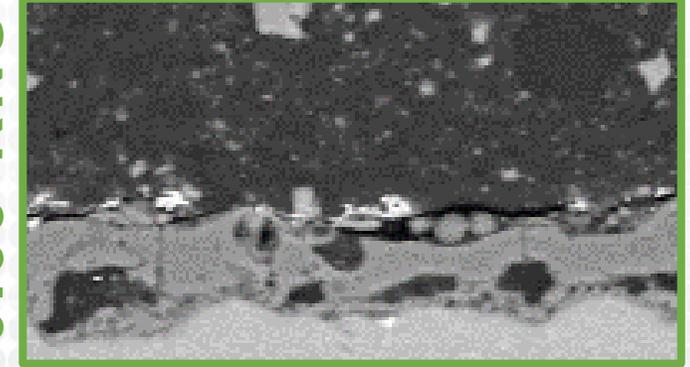
Spessore 43,2 μm

0.20 KNS



Spessore 34,3 μm

0.09 KNS



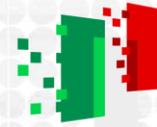
Spessore 18,9 μm



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



POLITECNICO  
MILANO 1863



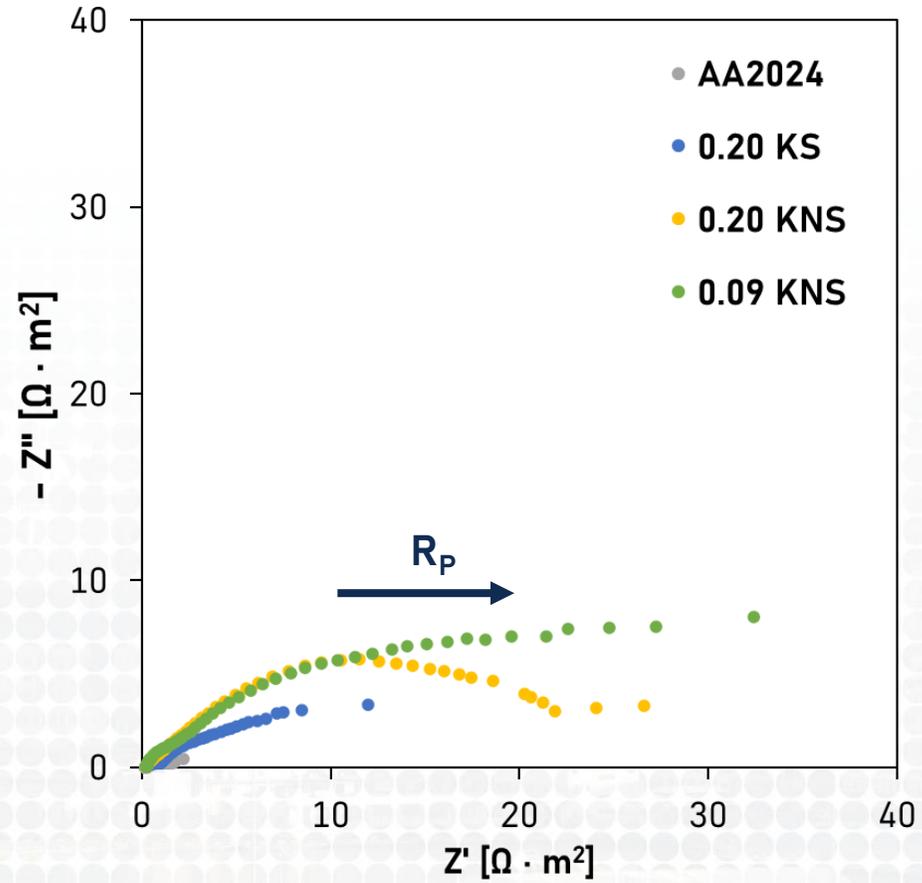
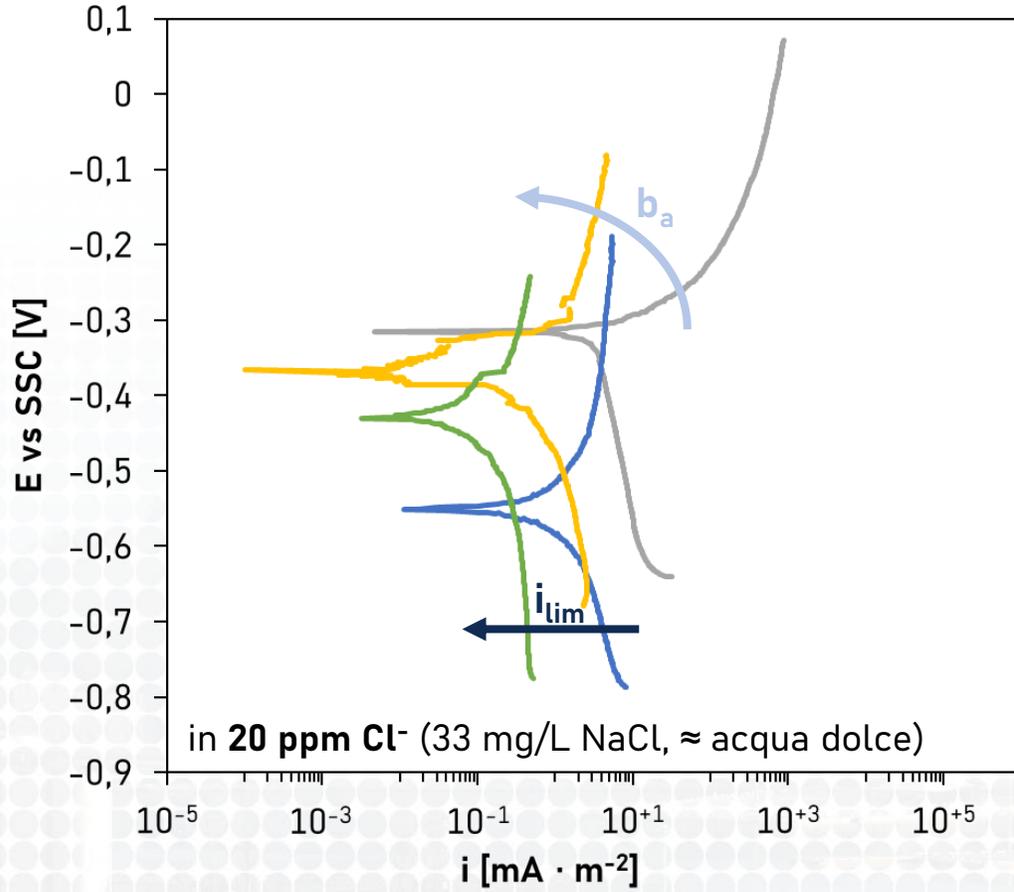
UNIVERSITÀ  
DI TRENTO



# GIORNATE NAZIONALI SULLA CORROSIONE E PROTEZIONE

ANCONA · UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE · 25-27 GIUGNO 2025

## Resistenza alla corrosione



Scariche intense  
Difetti più grandi

Elevata  $i_{corr}$

0.20 KS

0.20 KNS

0.09 KNS

Scariche deboli  
Difetti più piccoli

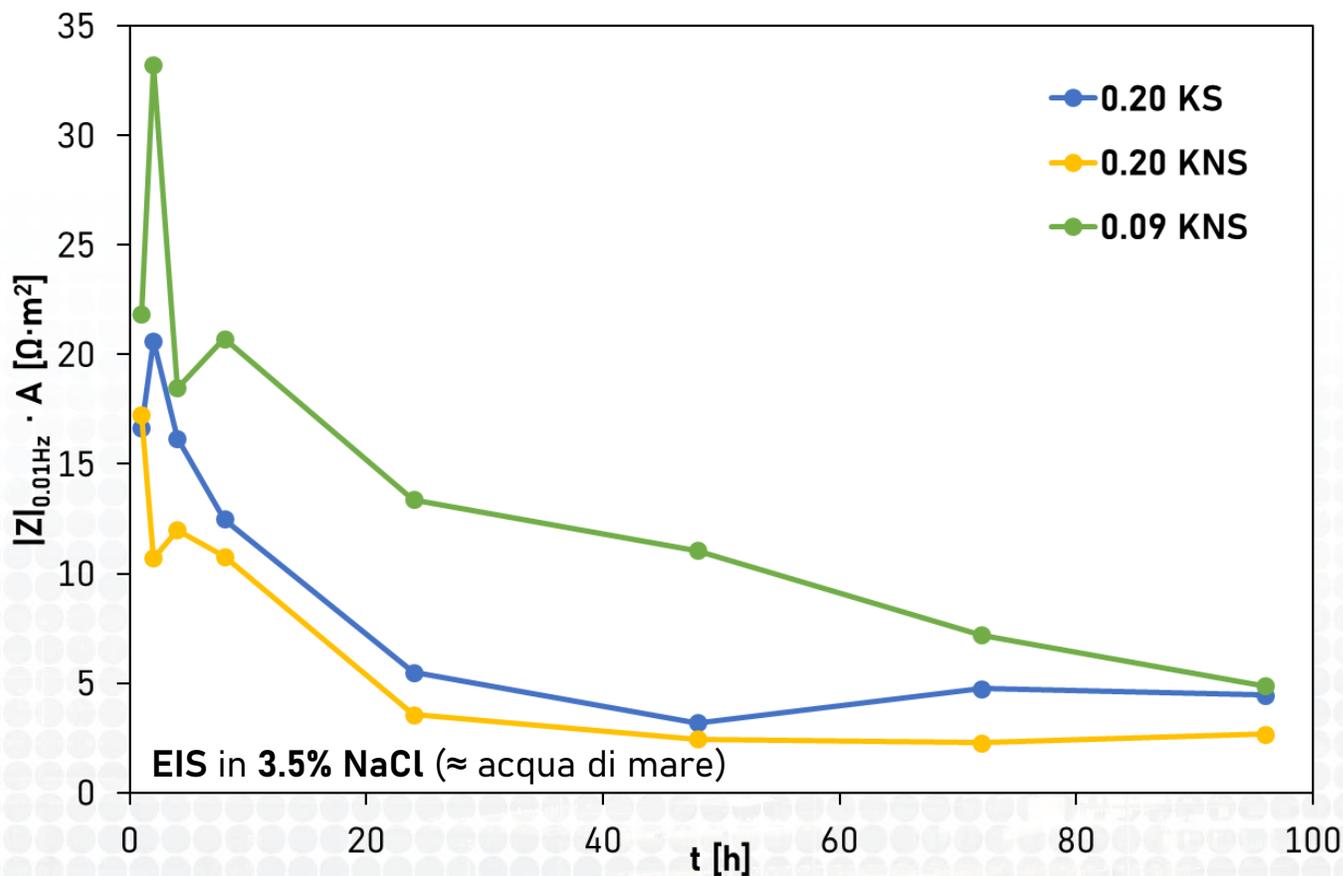
Ridotta  $i_{corr}$



# GIORNATE NAZIONALI SULLA CORROSIONE E PROTEZIONE

ANCONA · UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE · 25-27 GIUGNO 2025

## Resistenza alla corrosione – acqua di mare



Minor difettività = maggior durabilità

Veloce degrado del rivestimento

Necessità di ridurre la penetrazione dell'elettrolita



Trattamento di **sigillatura dei pori**



Finanziato dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero dell'Università e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA



POLITECNICO MILANO 1863



UNIVERSITÀ DI TRENTO



# GIORNATE NAZIONALI SULLA CORROSIONE E PROTEZIONE

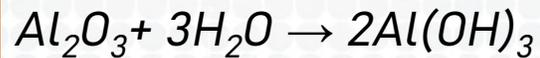
ANCONA · UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE · 25-27 GIUGNO 2025

## Sigillatura dei pori

Reazione **idrotermica**



Deposizione di **LDH ZnAl**  
(Layered Double Hydroxides)



Quattro diverse sigillature:

Rivestimento	Sigillatura	
	Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O, mol/L	Durata
H <sub>2</sub> O - 15 min	0	15 min
LDH - 15 min	0,05	15 min
LDH - 30 min	0,05	30 min
LDH - 45 min	0,05	30 min

Base PEO: **0,09 KNS**  
Temperatura 90°C  
pH = 6,5



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



POLITECNICO  
MILANO 1863



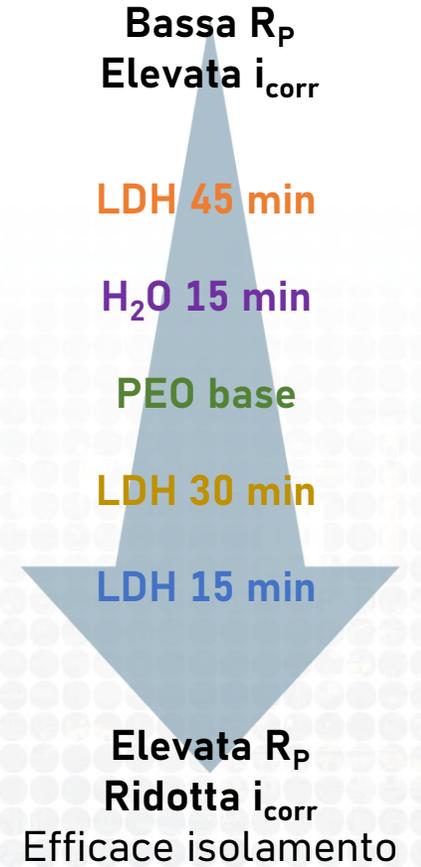
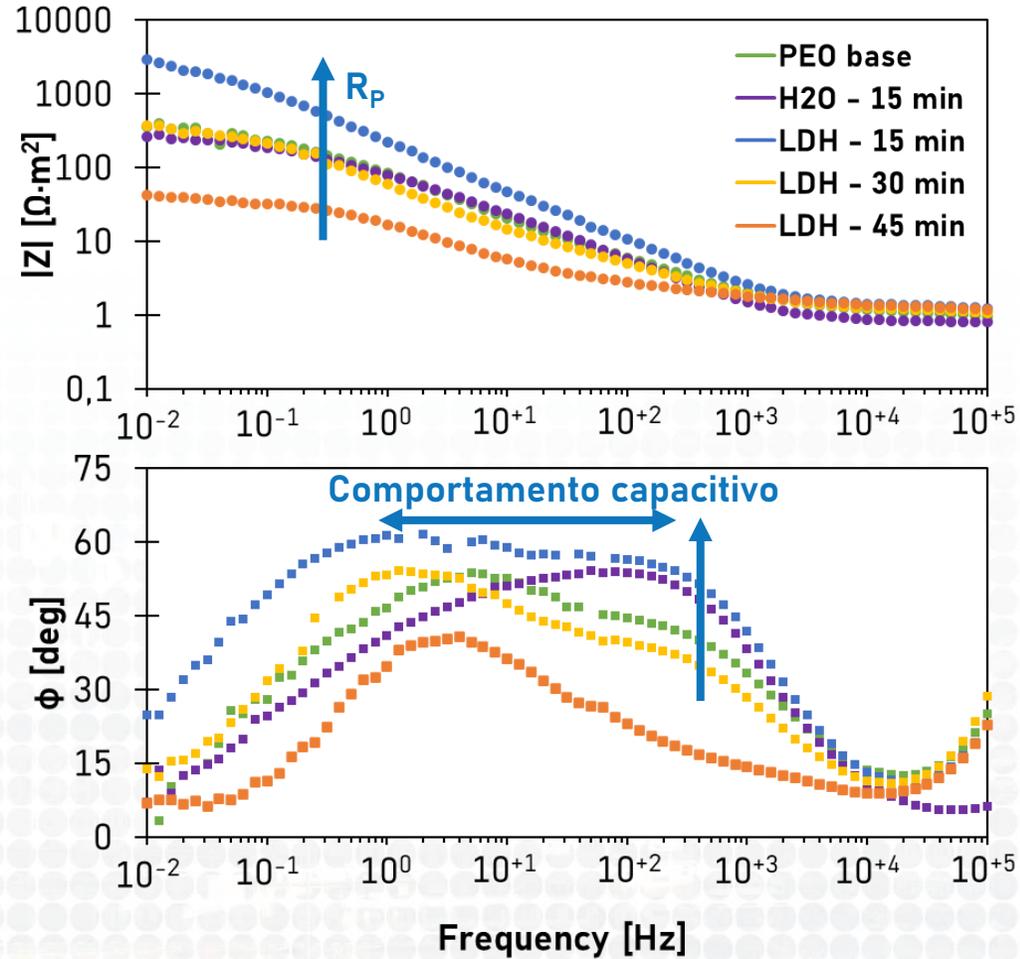
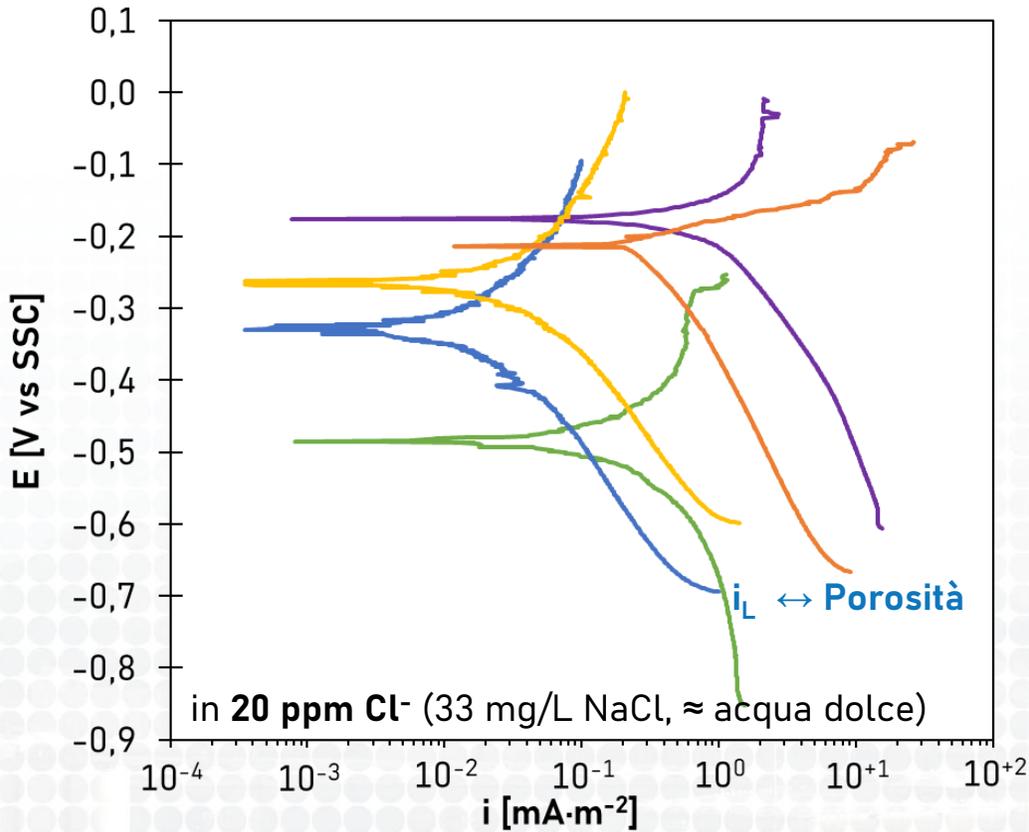
UNIVERSITÀ  
DI TRENTO



# GIORNATE NAZIONALI SULLA CORROSIONE E PROTEZIONE

ANCONA · UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE · 25-27 GIUGNO 2025

## Sigillatura dei pori



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



POLITECNICO  
MILANO 1863



UNIVERSITÀ  
DI TRENTO

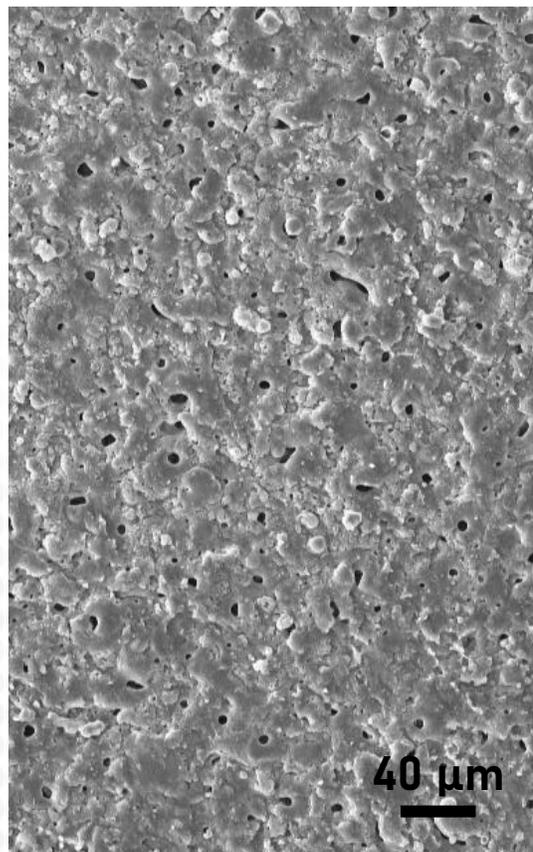


# GIORNATE NAZIONALI SULLA CORROSIONE E PROTEZIONE

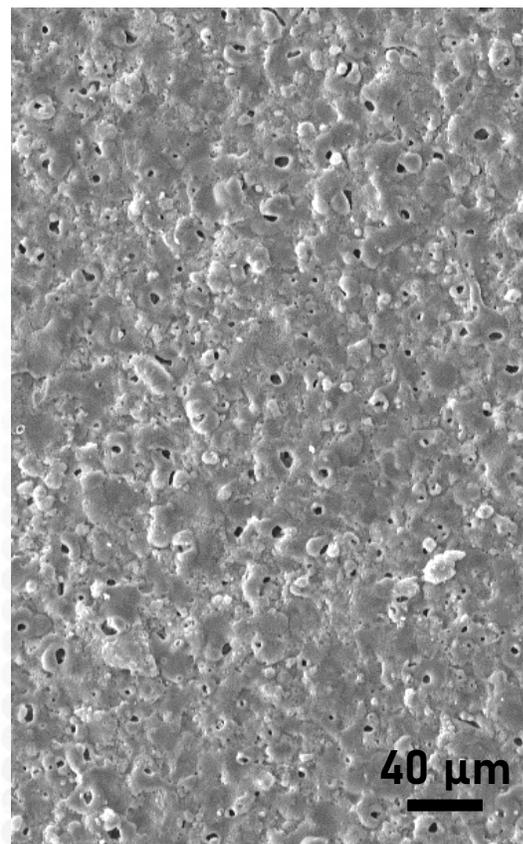
ANCONA · UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE · 25-27 GIUGNO 2025

## Morfologia delle superfici dopo la sigillatura

PEO base



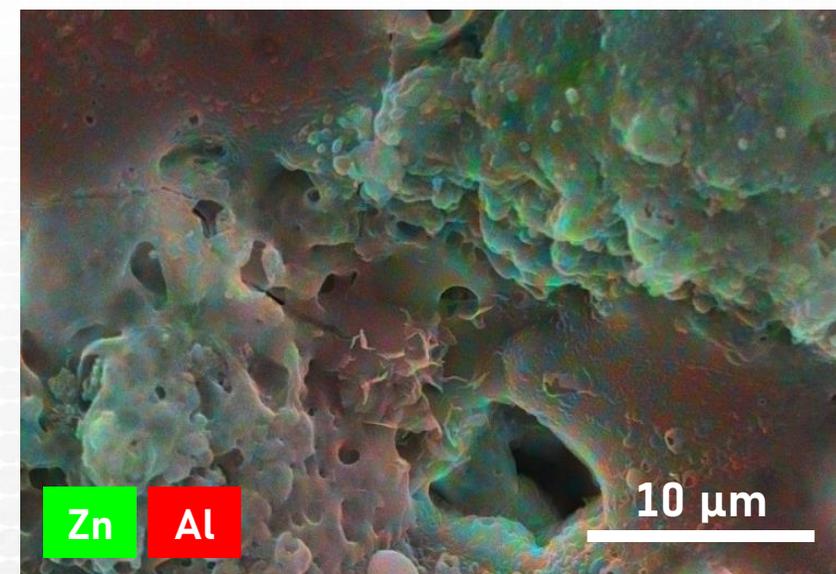
LDH - 15 min



LDH  
15 min a 90°C

Riduzione dei pori in **numero** e **diametro**

Formazione di **strutture a base Zn** nei pori



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



POLITECNICO  
MILANO 1863



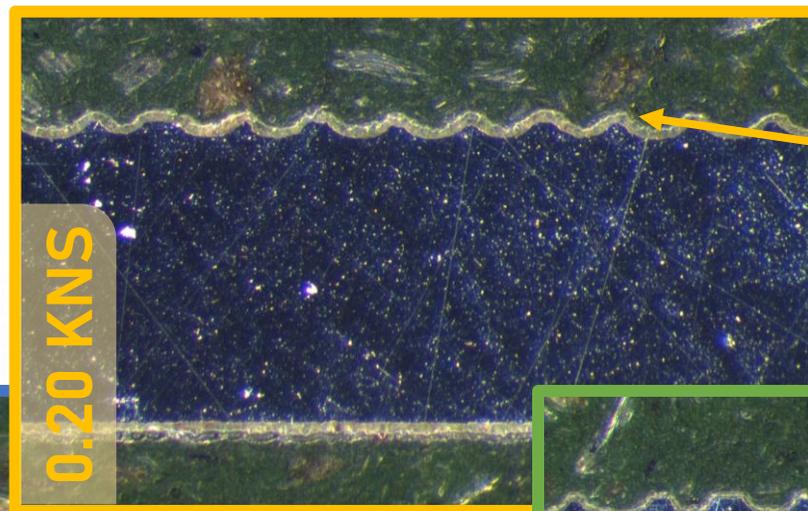
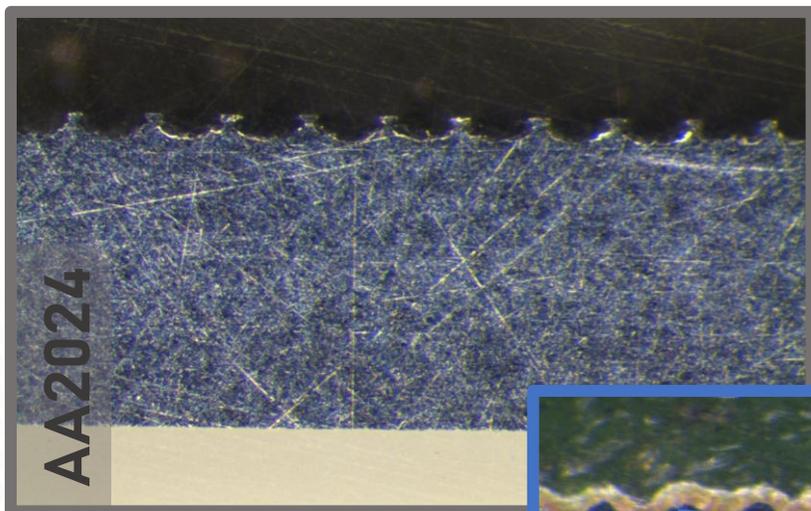
UNIVERSITÀ  
DI TRENTO



# GIORNATE NAZIONALI SULLA CORROSIONE E PROTEZIONE

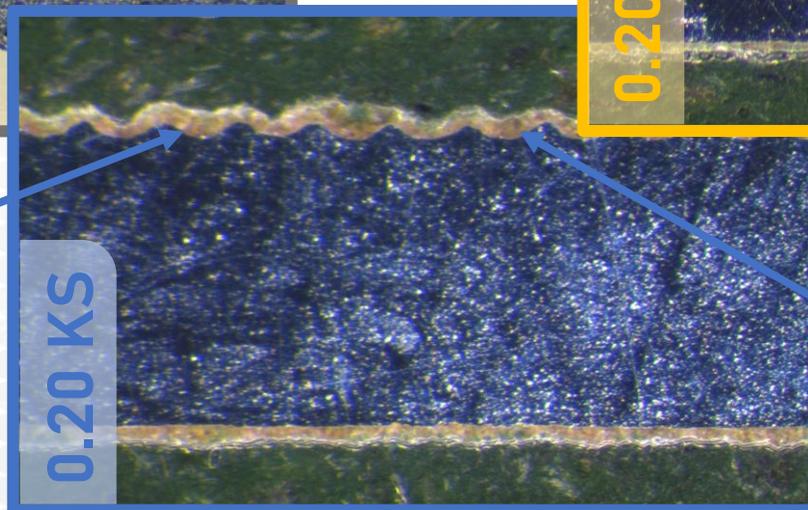
ANCONA · UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE · 25-27 GIUGNO 2025

## Rivestimento di superfici biomimetetiche

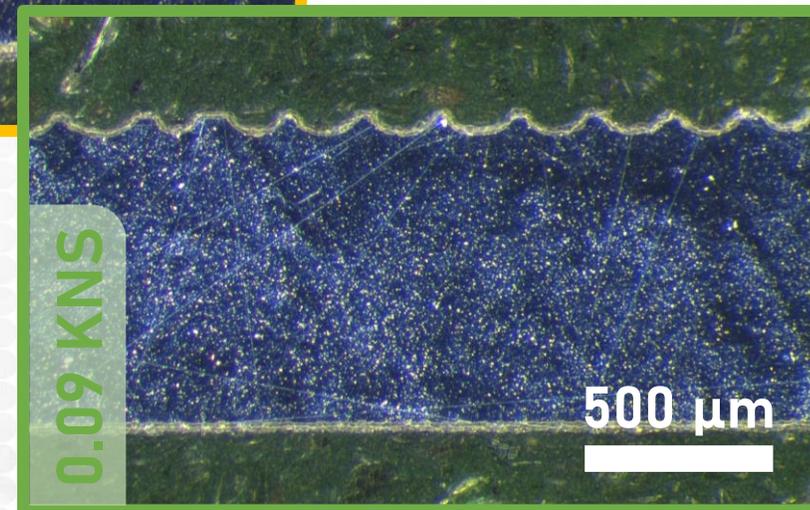


Apice arrotondato

Passo errato



Profondità ridotta



500 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

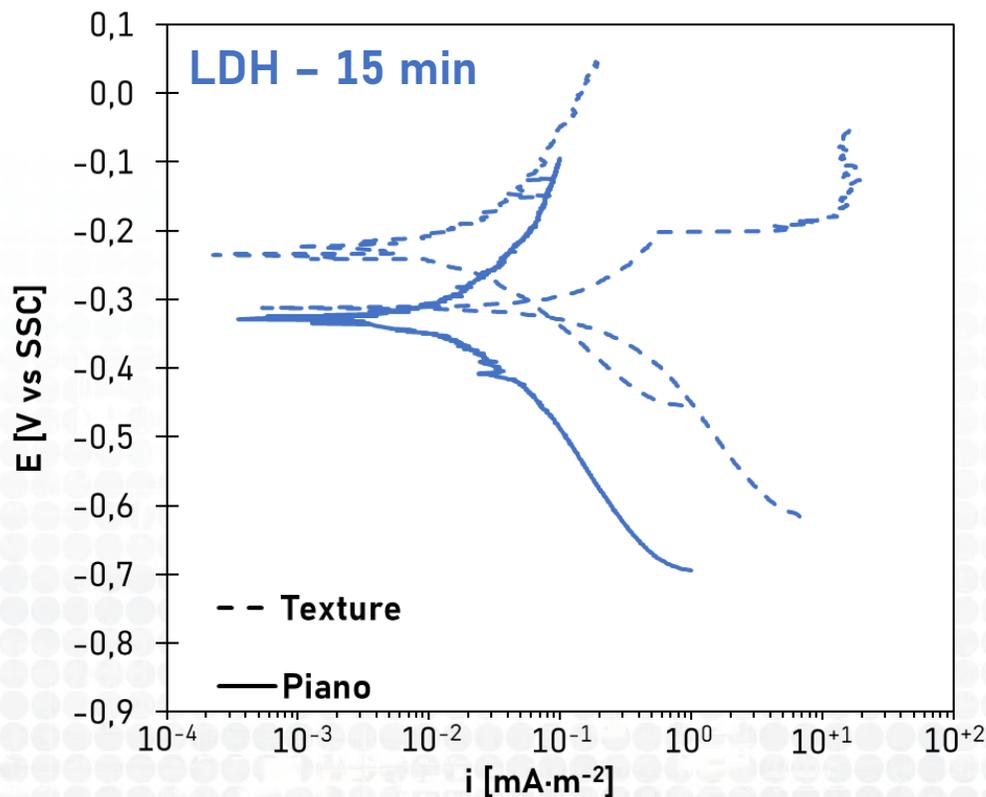
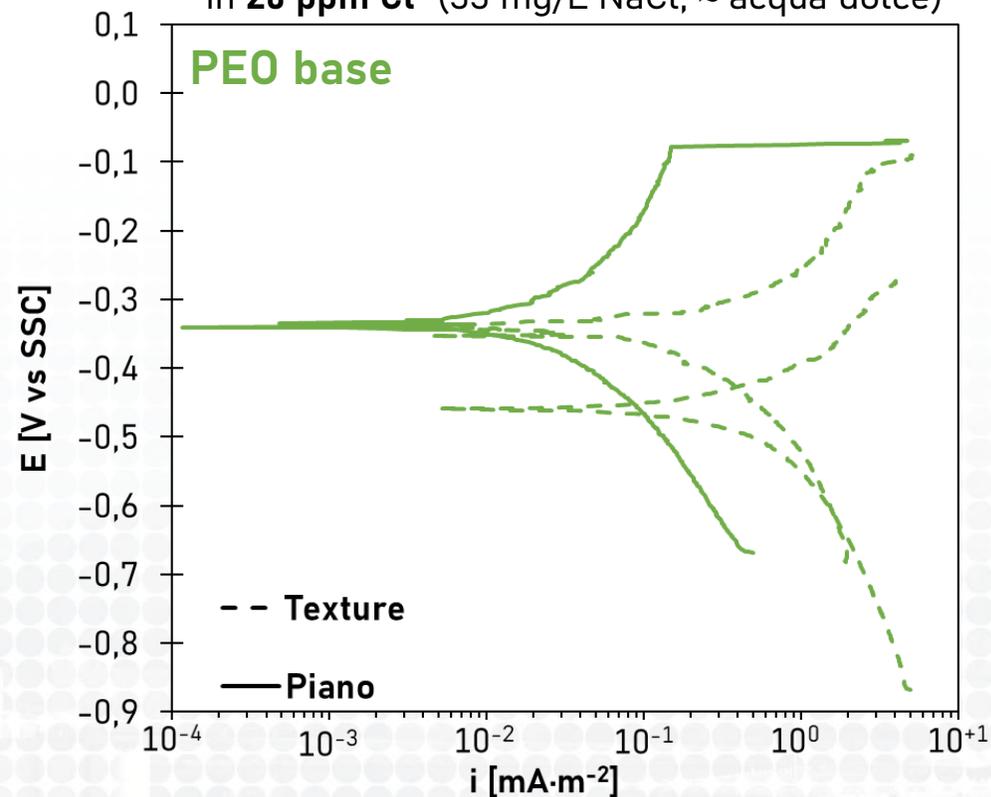


# GIORNATE NAZIONALI SULLA CORROSIONE E PROTEZIONE

ANCONA · UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE · 25-27 GIUGNO 2025

## Resistenza a corrosione delle superfici biomimetetiche

in 20 ppm Cl<sup>-</sup> (33 mg/L NaCl, ≈ acqua dolce)



La **texture** peggiora la resistenza a corrosione:

$i_{corr}$   
intervallo di **passività**  
 $i_L$

La **sigillatura** mitiga l'effetto della texture



Finanziato dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero dell'Università e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA



POLITECNICO MILANO 1863



UNIVERSITÀ DI TRENTO



# GIORNATE NAZIONALI SULLA CORROSIONE E PROTEZIONE

ANCONA · UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE · 25-27 GIUGNO 2025

## Conclusioni e sviluppi futuri

- Scariche meno energetiche formano rivestimenti PEO **più sottili e meno difettosi**, e quindi **più protettivi**.
- L'introduzione di **cationi Na<sup>+</sup>** e la riduzione dell'**alcalinità** della soluzione consentono di ottenere ciò.
- La **sigillatura dei pori** con formazione di LDH riduce la velocità di corrosione di due ordini di grandezza.
- L'accuratezza nella **riproduzione della texture biomimetica** dipende dall'elettrolita PEO.
- La presenza della texture riduce leggermente la resistenza a corrosione dei rivestimenti PEO.



- Studiare l'evoluzione a lungo termine delle superfici rivestite con prove di esposizione.
- Indagare la perdita di efficacia della sigillatura per tempi superiori ai 15 minuti.
- Ridurre l'arrotondamento delle creste diminuendo ulteriormente la violenza del plasma.



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



POLITECNICO  
MILANO 1863



UNIVERSITÀ  
DI TRENTO



# GIORNATE NAZIONALI SULLA CORROSIONE E PROTEZIONE

ANCONA · UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE · 25-27 GIUGNO 2025

## Grazie per l'attenzione!



Follow the shark!



 @makoproject

 [polilapp.chem.polimi.it](http://polilapp.chem.polimi.it)

Attività di ricerca co-finanziata dall'Unione Europea – Next Generation EU, PNRR - missione 4 “ricerca e istruzione” - D.D. N. 104/2022 “BANDO PRIN 2022”.



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



POLITECNICO  
MILANO 1863



UNIVERSITÀ  
DI TRENTO