



7° Conferenza Nazionale Poliuretano Espanso Rigido (ANPE)

Depolimerizzazione del poliuretano mediante idro-alcolisi a bassa temperatura

Gabriele Rossignolo

Ricercatore Postdoc, Dipartimento di Ingegneria Industriale (DII)

Roma, 07/05/2026

2024

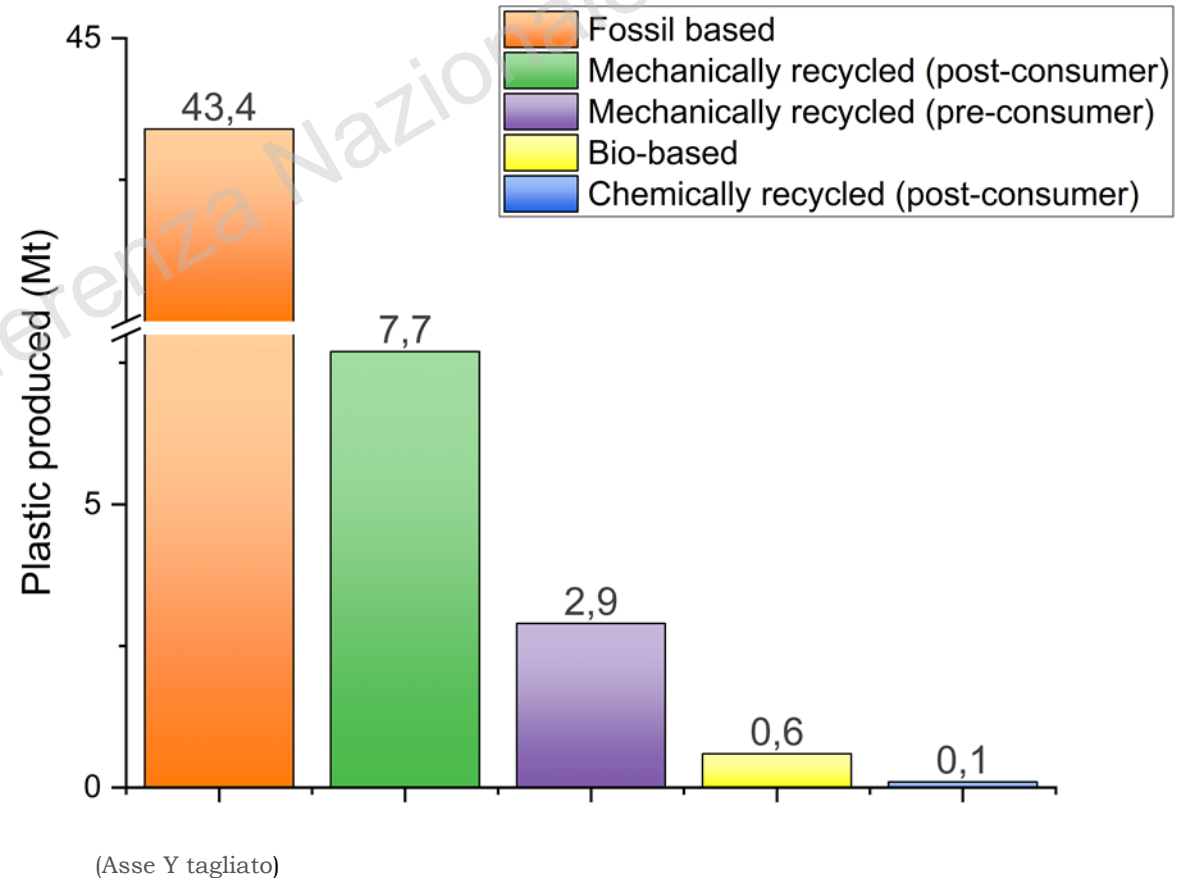
23 milioni di tonnellate di PU prodotto globalmente



Valore economico in Europa: €

13 miliardi di euro generati dai produttori di materie prime (polioli, isocianati e additivi)

136 miliardi di euro generati dai prodotti finali in poliuretano

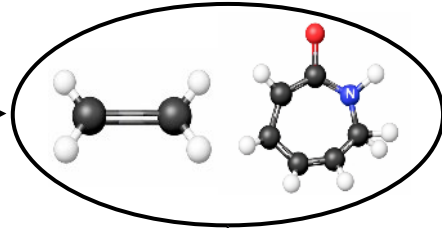


Economia lineare vs circolare

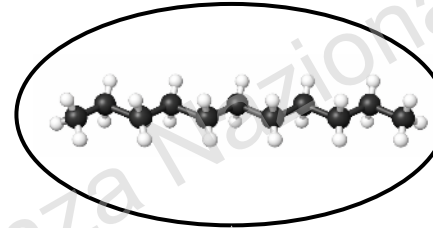
Estrazione materie prime



Monomeri ed intermedi



Polimeri



Prodotti finiti



Riciclo chimico



Riciclo meccanico



Energia



Termovalorizzazione

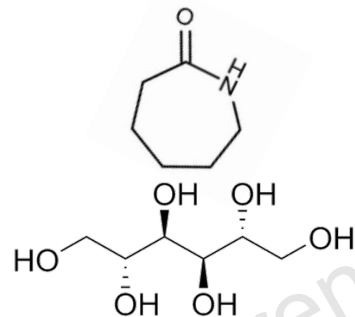
- X Perdita di materiale
- X Gas tossici

- ✓ Termoplastici (PP and PE)
- X Monomateriale
- X Downcycling
- X Contaminazioni

Riciclo chimico di PU, PA6 e PET



Nuove materie prime



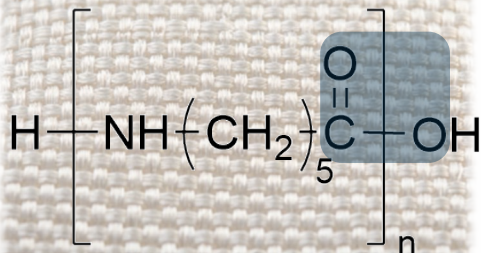
Schiume poliuretaniche riciclate



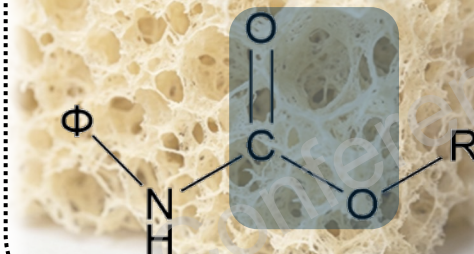
Tessuto in PA6 o PET

Schiuma flessibile in PU

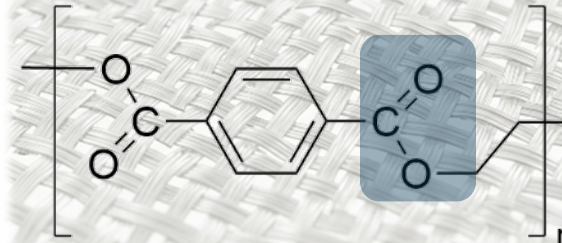
Poliammide 6 (PA6)

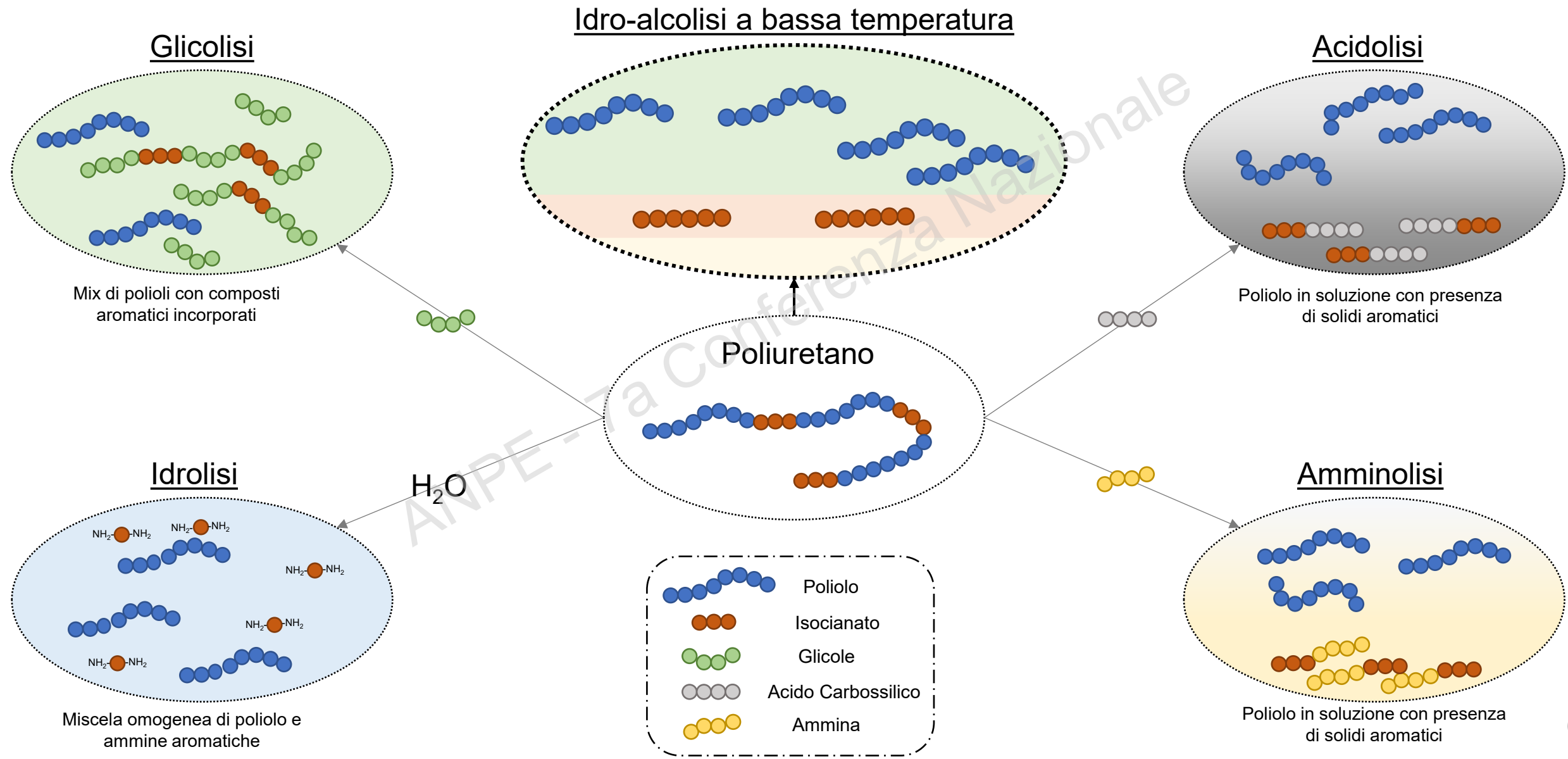


Poliuretano (PU)



Polietilentereftalato (PET)



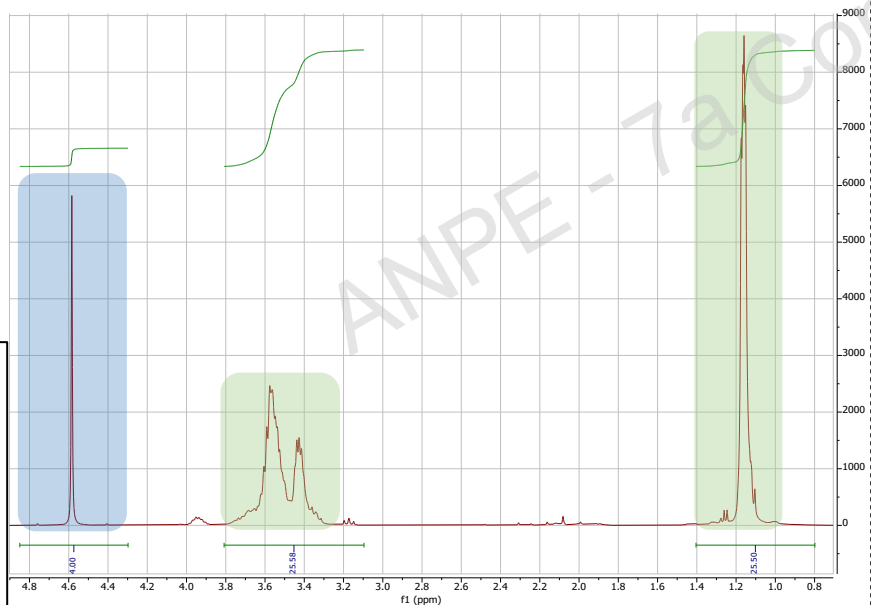


Idro-alcólisi: resa NMR

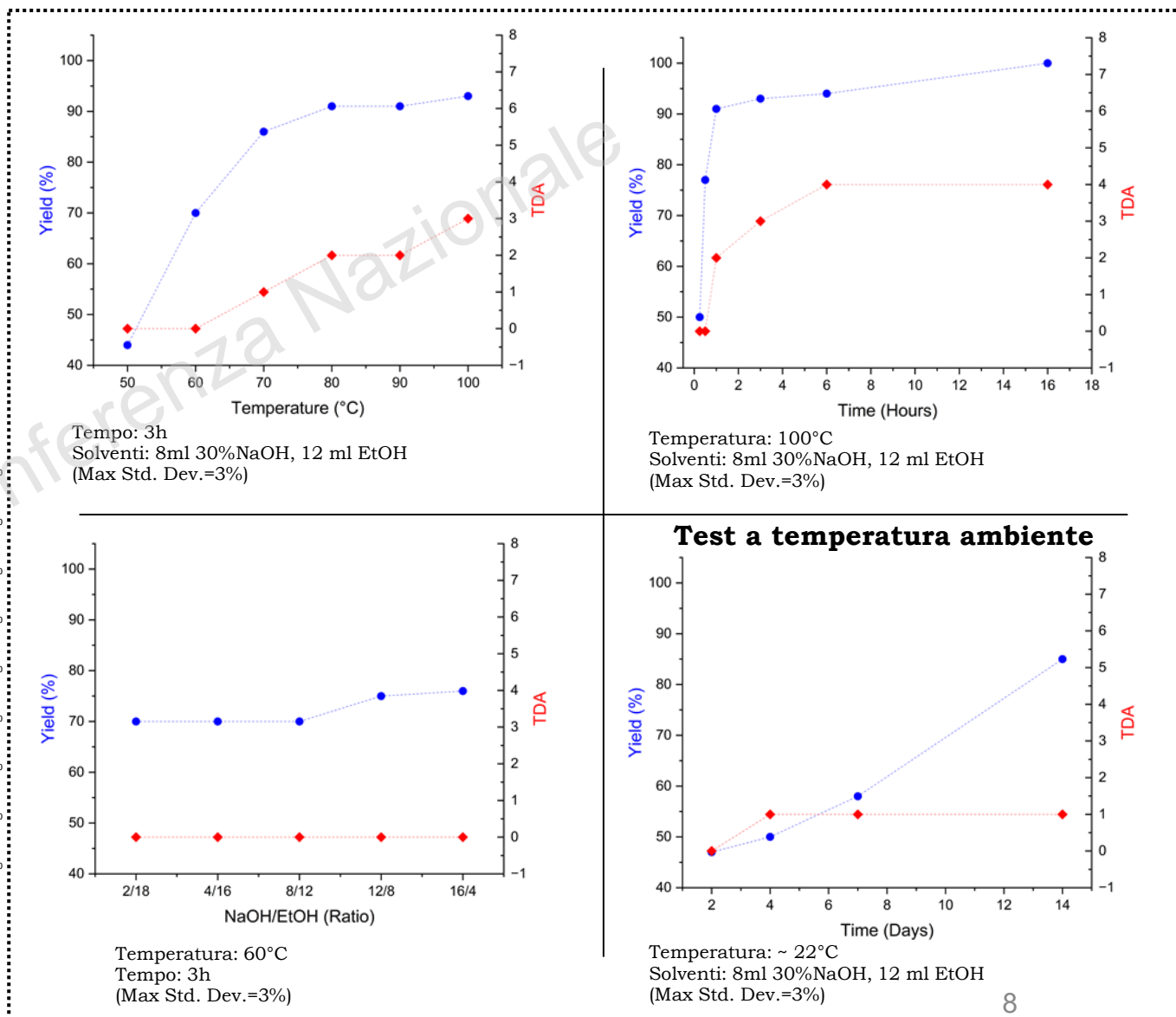
$$m_{poliolo} = 59 * n_{IS} * \frac{Area_{poliolo} / H_{poliolo}}{Area_{IS} / H_{IS}}$$

$$Resa = \frac{m_{poliolo}}{0.7 * m_{schiuma}}$$

TDA
 0=no tracce
 1=tracce
 2<1%
 3=1-2%
 4=2-3%
 5=3-4%



H-NMR
 400MHz
 CDCl₃
 IS = Standard interno (Benzil Etere)



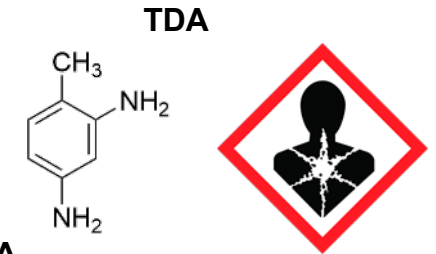
Idro-alcolisi: resa NMR

EtOH= Etanolo
 BuOH= Butanolo
 TAA= Alcol tert-amilico
 IPA= Isopropanolo

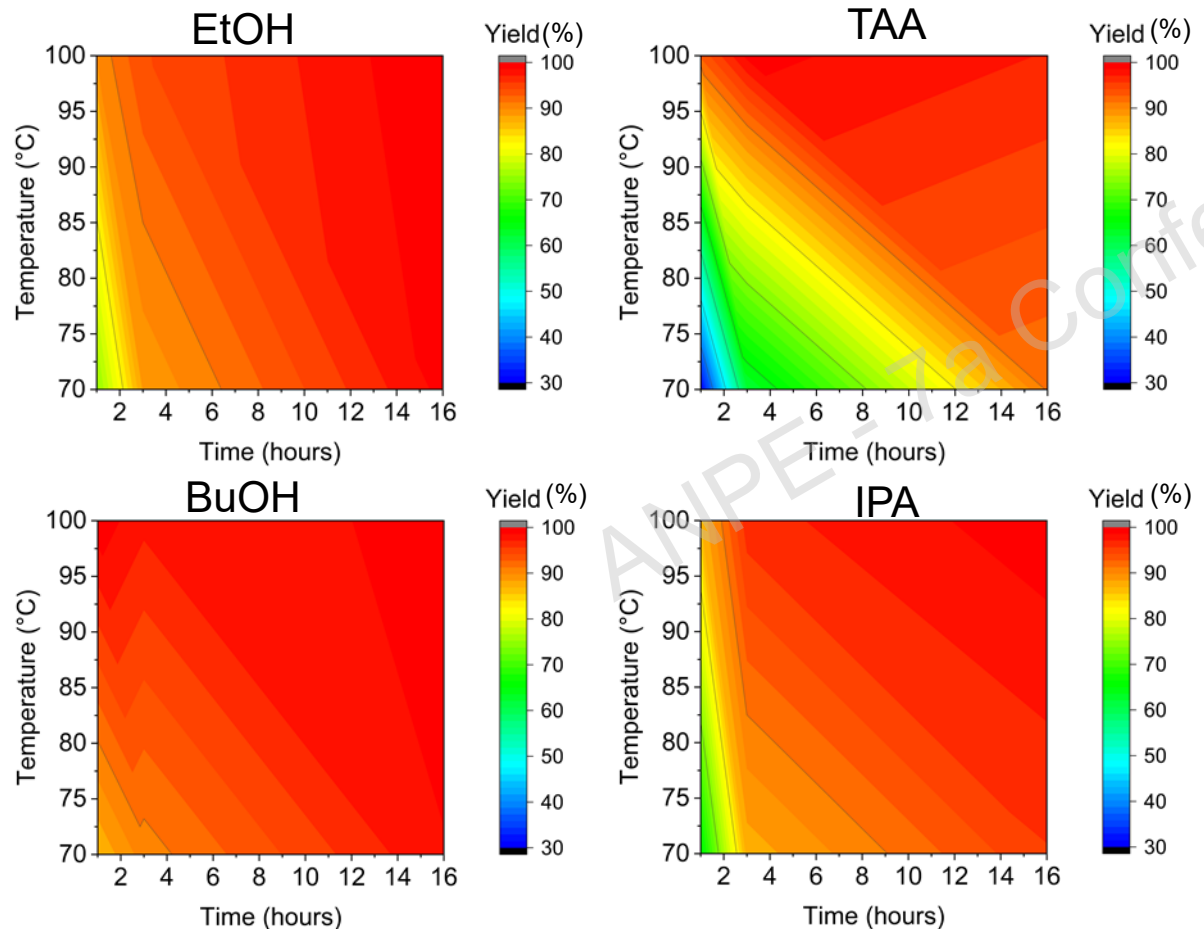
Variabili:
 Tempo
 Temperatura
 Alcol

Outputs:
Resa (massimizzare)
TDA (minimizzare)

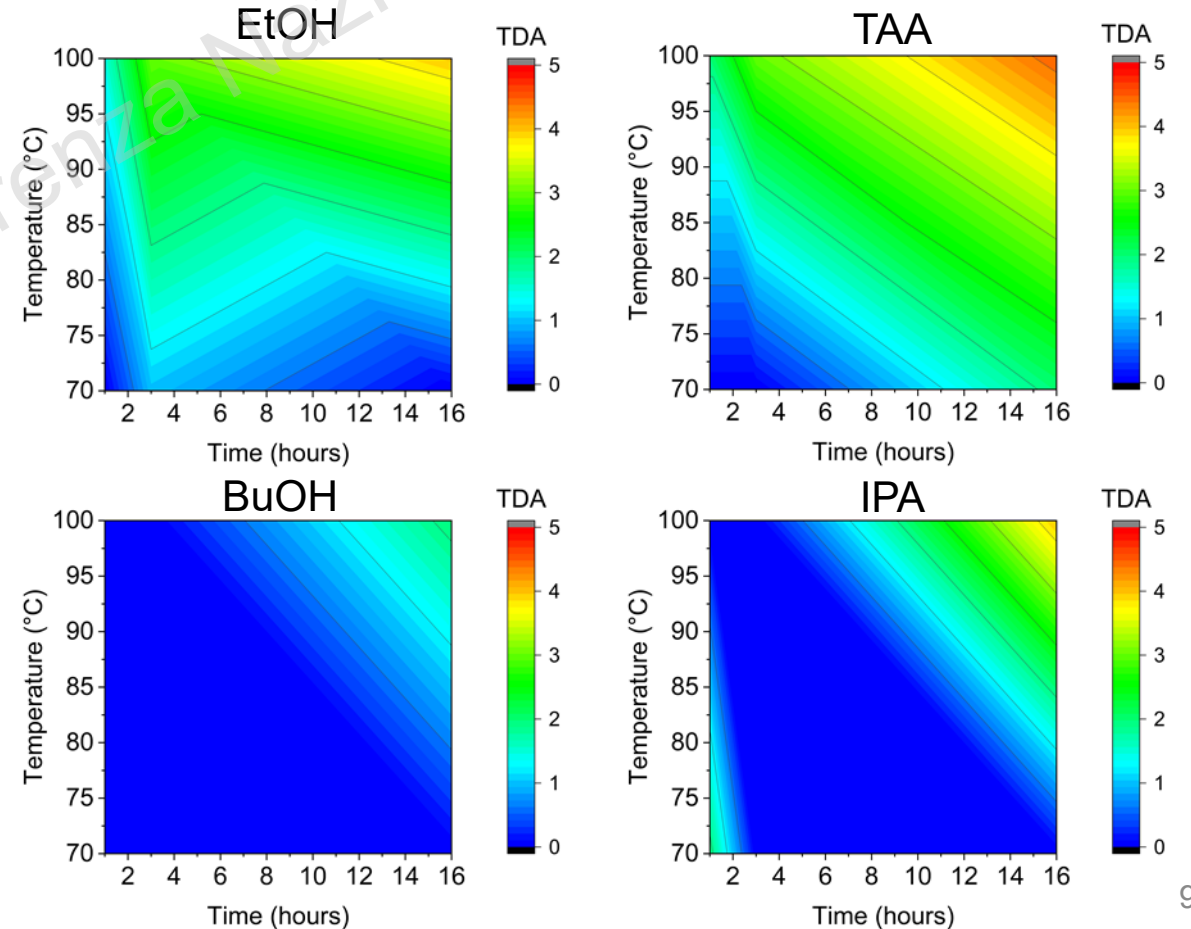
TDA
 0=no tracce
 1=tracce
 2<1%
 3=1-2%
 4=2-3%
 5=3-4%



Modello della Resa



Modello della TDA



Validazione reazioni DoE			Risultati sperimentali	
T [°C]	Tempo [hours]	Alcol	Resa [%]	TDA
80	4	EtOH	94	0
85	1,5	IPA	90	0
90	2	TAA	88	2
75	2	BuOH	94	0

€ 95% Intervallo di confidenza

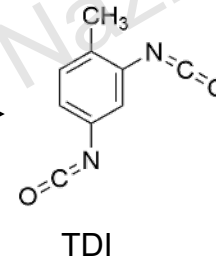
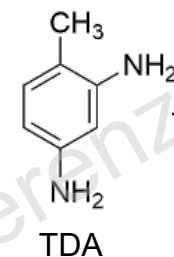
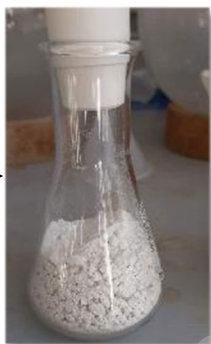
Condizioni di reazione ottimali per la reazione di Idrolisi

T [°C]	Tempo [hours]	Alcol
100	2	BuOH
70	4,5	BuOH

Depolimerizzazione e filtrazione

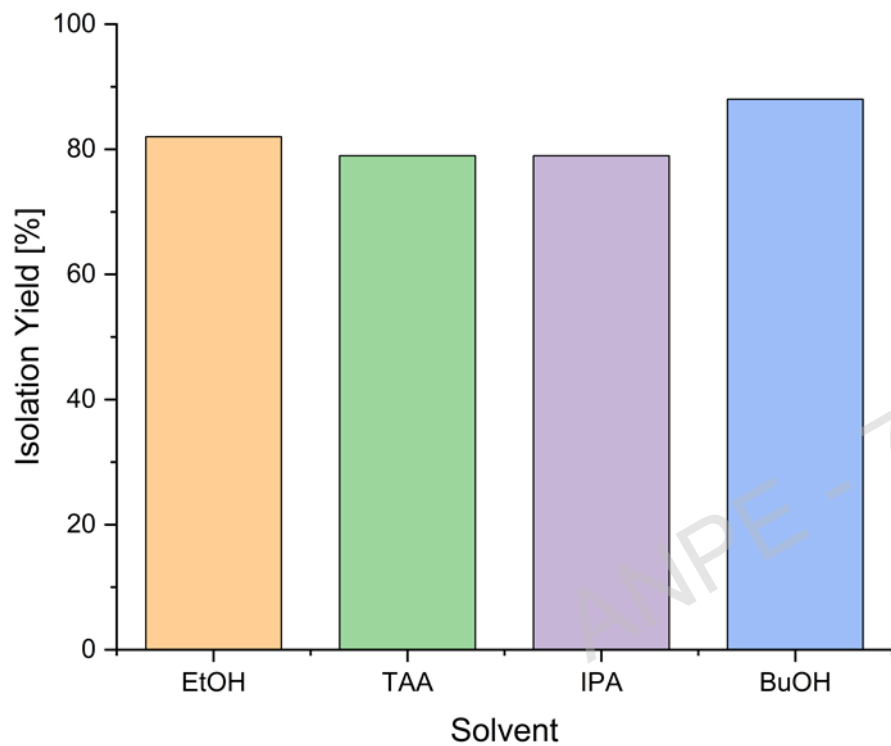


Recupero e purificazione intermedi

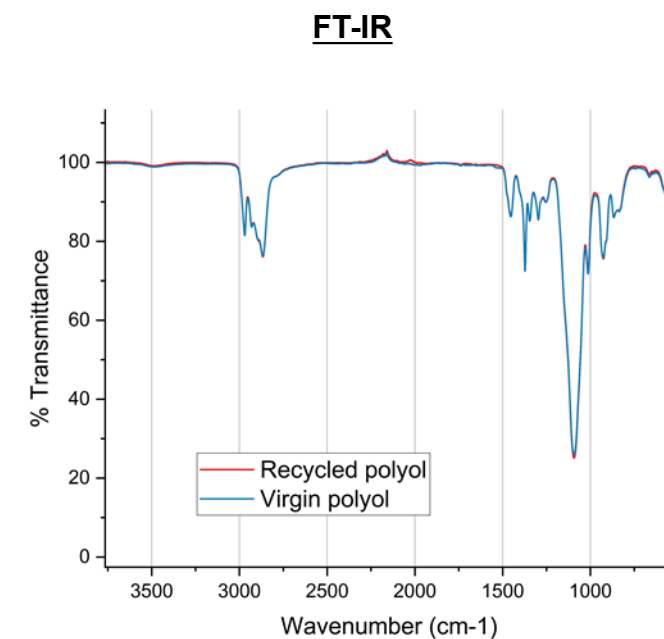
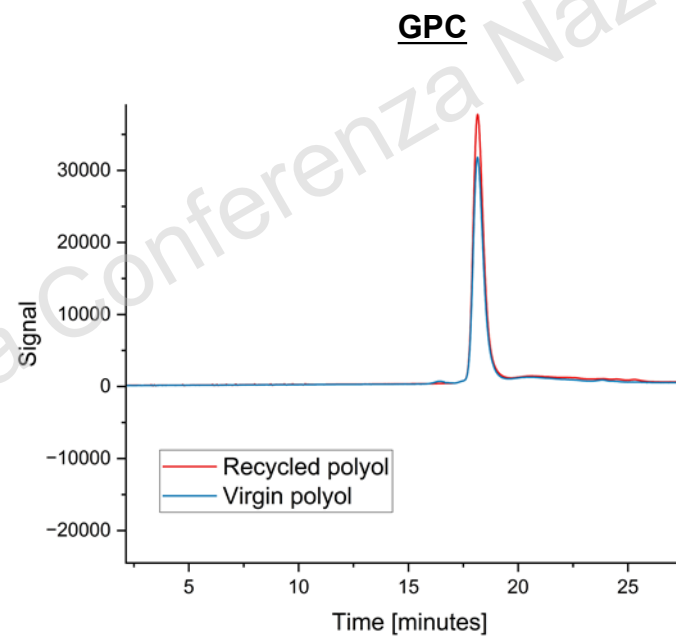


Nuovo PU





Analisi sul poliolo



Contenuto TDA : ND (non rilevato da **HPLC**)

Schiume poliuretaniche **rigide**:

Resa ~ 50%

(100°C, 3h, 60% Butanolo, 40%
soluzione di NaOH al 30%)

Ottimizzare condizioni di
reazione per schiume rigide



Polioli “corti” solubili in acqua

- Ottimizzazione **condizioni di reazione** e processo di **purificazione** per **schiume rigide**
- Studio **LCA** e **TEA** per valutare lo scale-up industriale del processo per **schiume flessibili**

Conclusioni

- ✓ L'**idro-alcólisi** del PU è stata dimostrata in **condizioni miti** (basse temperature e tempi brevi)
- ✓ **Non** sono stati utilizzati **reagenti tossici** o **costosi**.
- ✓ Resa elevata per schiume poliuretatiche **flessibili**, ma potenzialmente utilizzabile anche su **altri materiali**.

Grazie per l'attenzione

Gabriele Rossignolo

Ricercatore postdoc
Università degli studi di Padova

Gabriele.rossignolo@unipd.it

