

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

Relazione per la prova finale
**«Integrazione e avviamento di nuovi componenti
nell'impianto di raffreddamento di NBTF»**

Tutor universitario: *Prof. Piergiorgio Sonato*

Laureanda: *Alessandra Alberton*

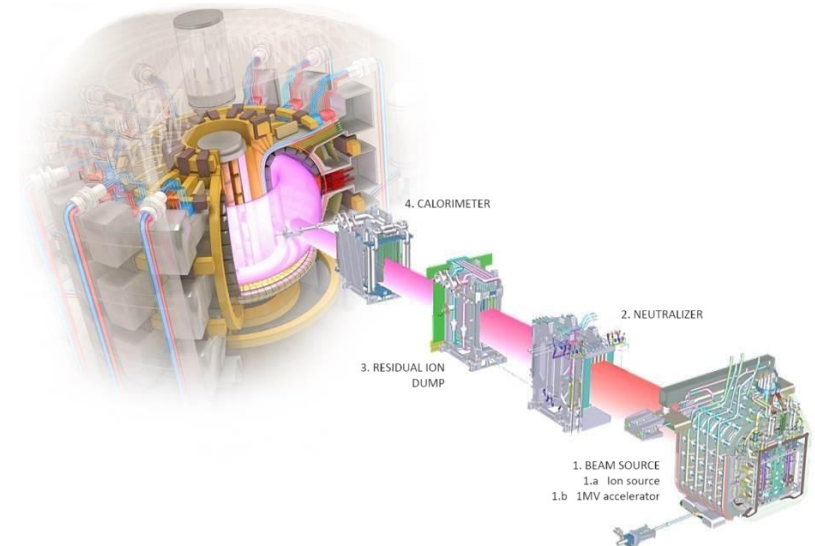
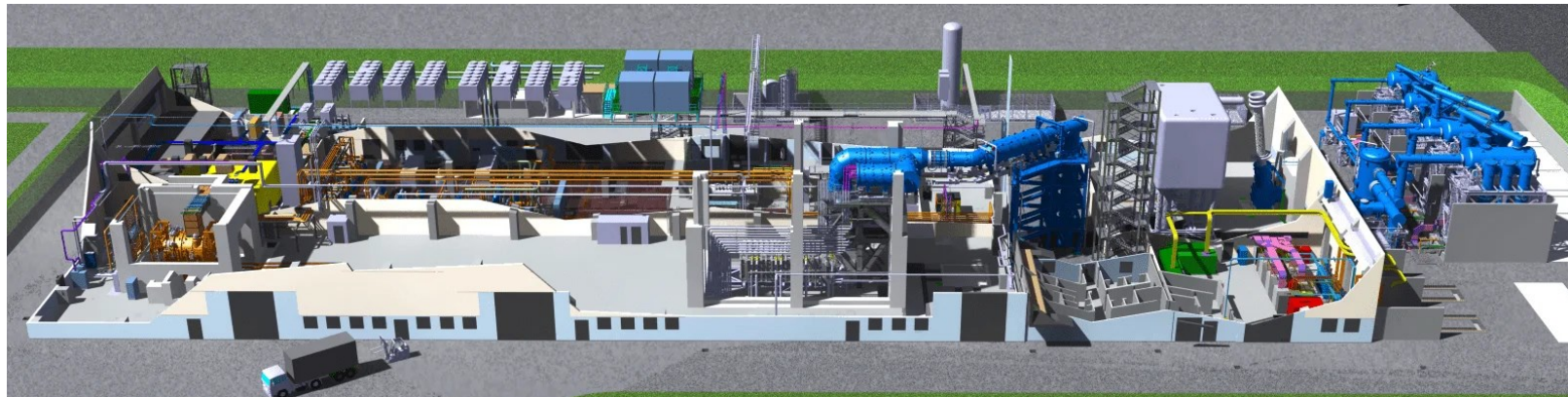
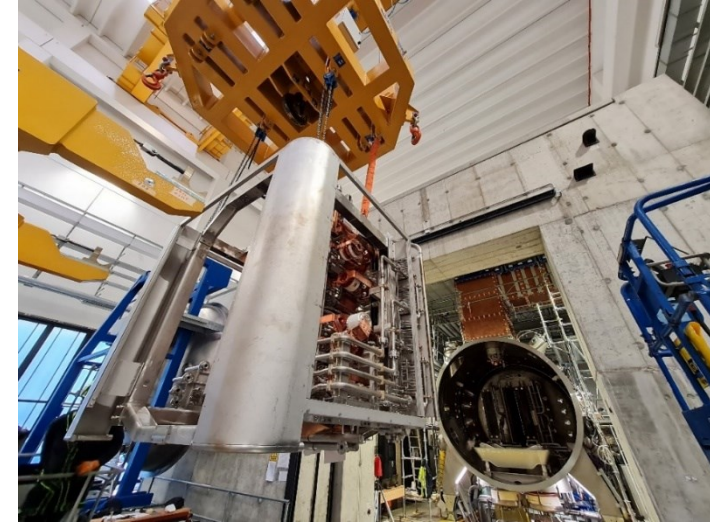
Padova, 26/09/2024

NBTF (Neutral Beam Test Facility)

NBTF ospita due esperimenti:

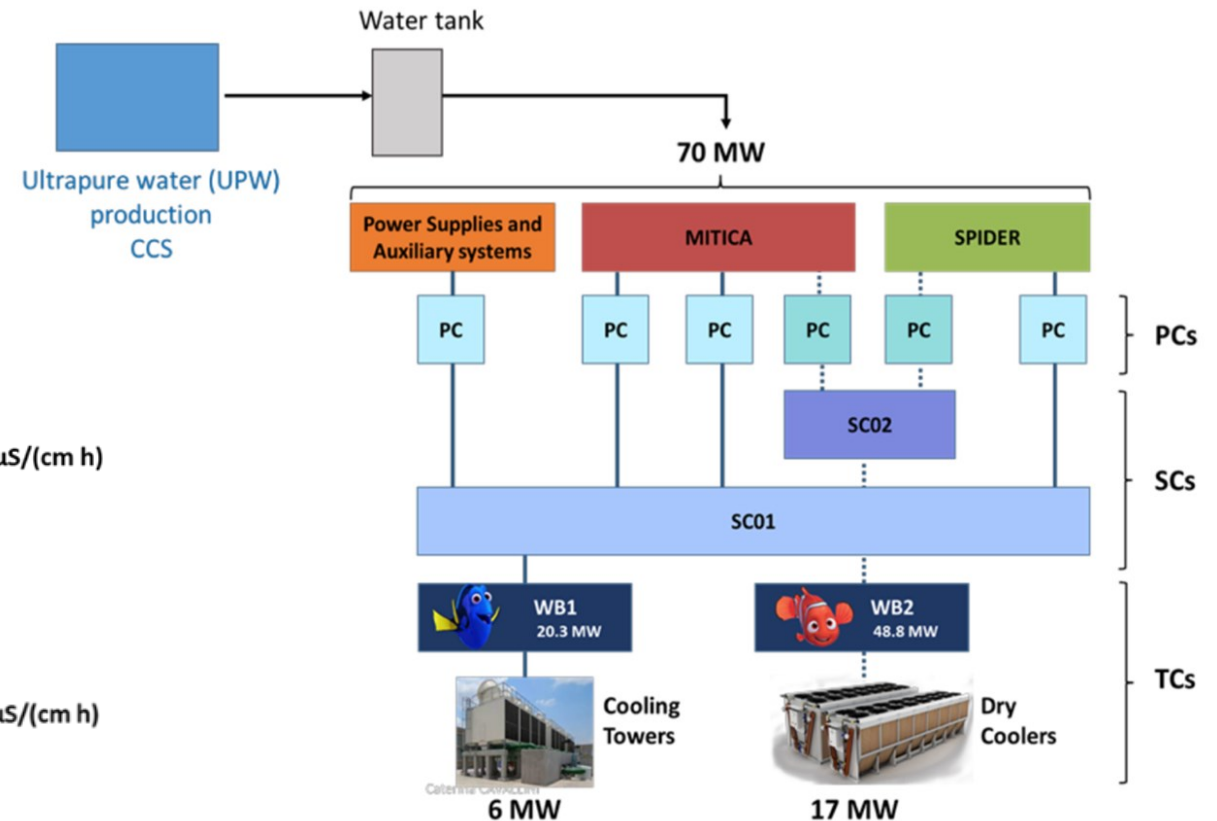
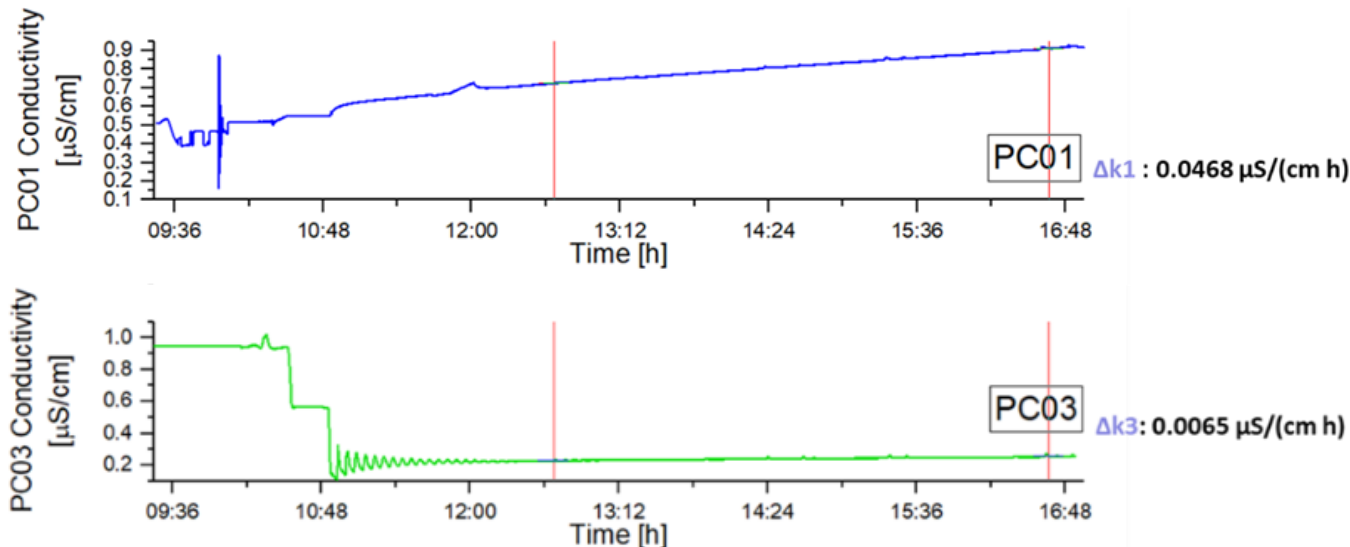
- **SPIDER**, il prototipo a scala reale della sorgente di ioni negativi di ITER a 100 keV
- **MITICA**, il prototipo a scala reale dell'iniettore di neutri di ITER a 1 MeV

È presente un **impianto di raffreddamento** costituito da circuiti primari (PCs), secondari (SCs) e terziari (TCs)



Impianto di raffreddamento di NBTF

- Viene usata **acqua ultrapura** (fluido dielettrico con elevato calore specifico):
 - prodotta al consorzio nel CCS
 - qualità monitorata attraverso la conduttività per ogni PC
- PC01** per SPIDER e **PC08** per MITICA:
 - raffreddano i sistemi di alimentazione
 - elevato tasso di degrado dell'acqua



Obiettivi del lavoro

2023: installazione resine nel PC08; **2024:** sostituzione resine con altre più performanti

- Valutare le **prestazioni** delle **nuove resine** e confrontarle con quelle precedenti
- Stimare la **curva delle perdite di carico**, necessaria per identificare il punto di installazione ottimale in altri circuiti (PC01)

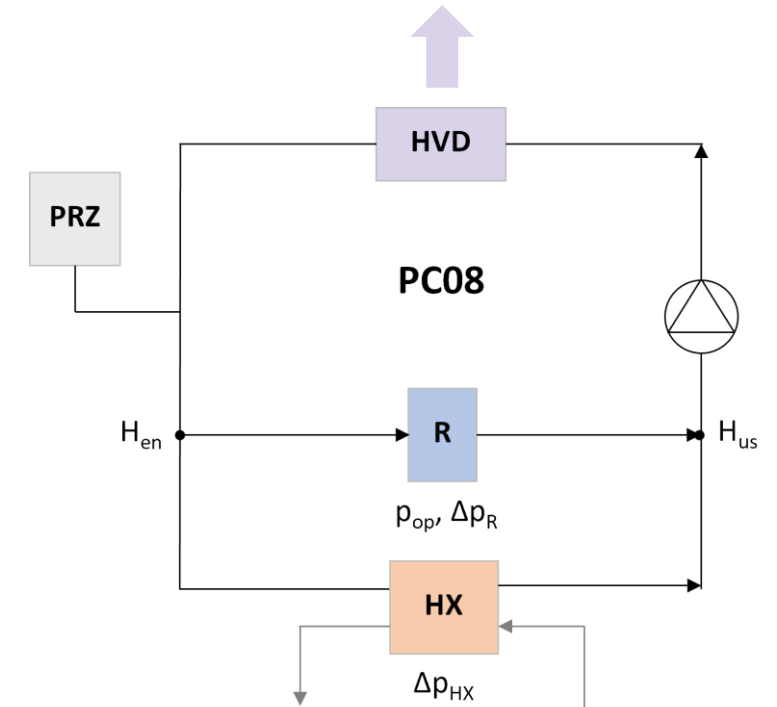


Installazione delle resine nel PC08

Requisito: la pressione in entrata deve essere minore di quella operativa $p_{en,max} < p_{op,max}$

Le resine sono state installate *in parallelo allo scambiatore di calore*

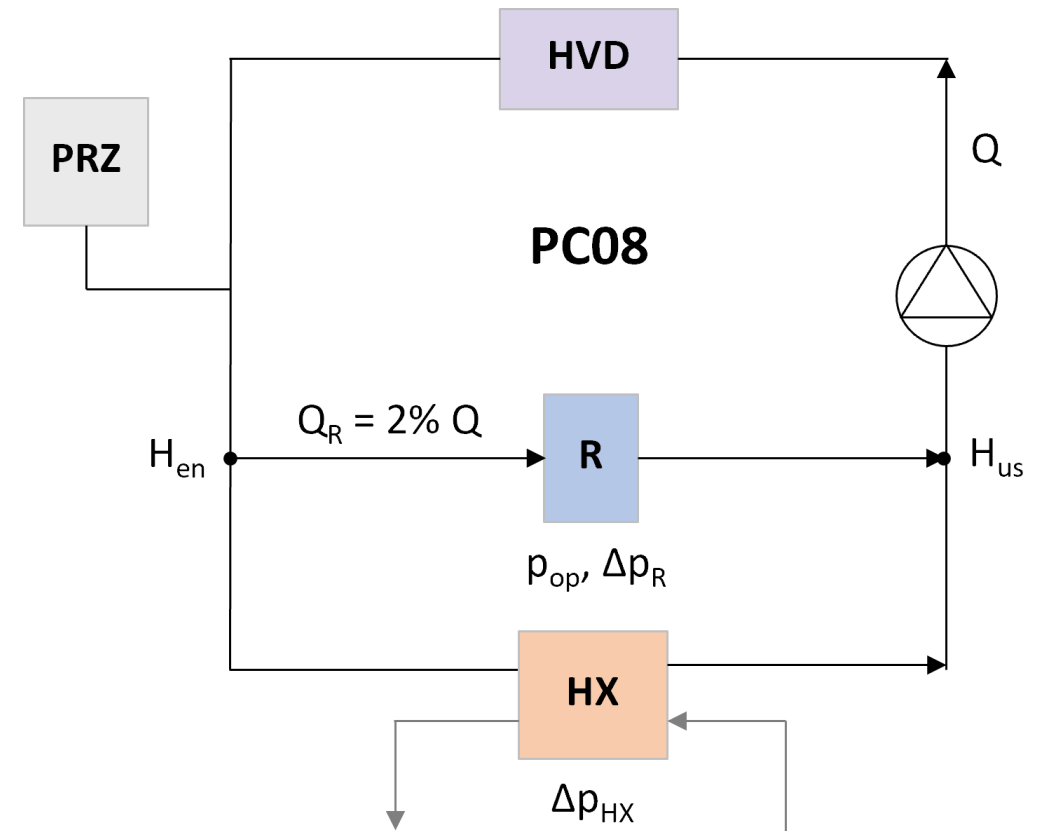
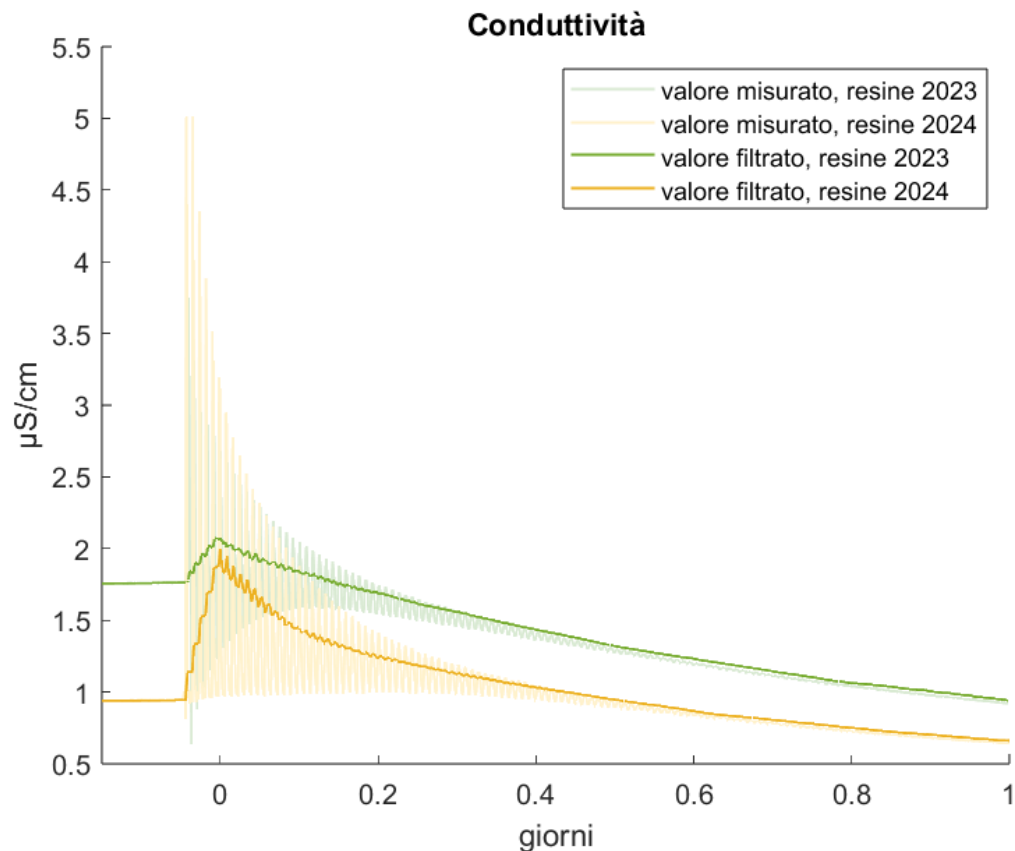
		Resine 2023	Resine 2024
Q_R	portata	0.5 m ³ /h	1.0 m ³ /h
C_{max} a 25 °C	conduttività max	0.5 μS/cm	0.22 μS/cm
$p_{op,min}$	pressione operativa min	1 bar	1 bar
$p_{op,max}$	pressione operativa max	8 bar	6 bar



PRZ = pressurizzatore, R = resine,
HX = scambiatore di calore

Installazione delle resine nel PC08

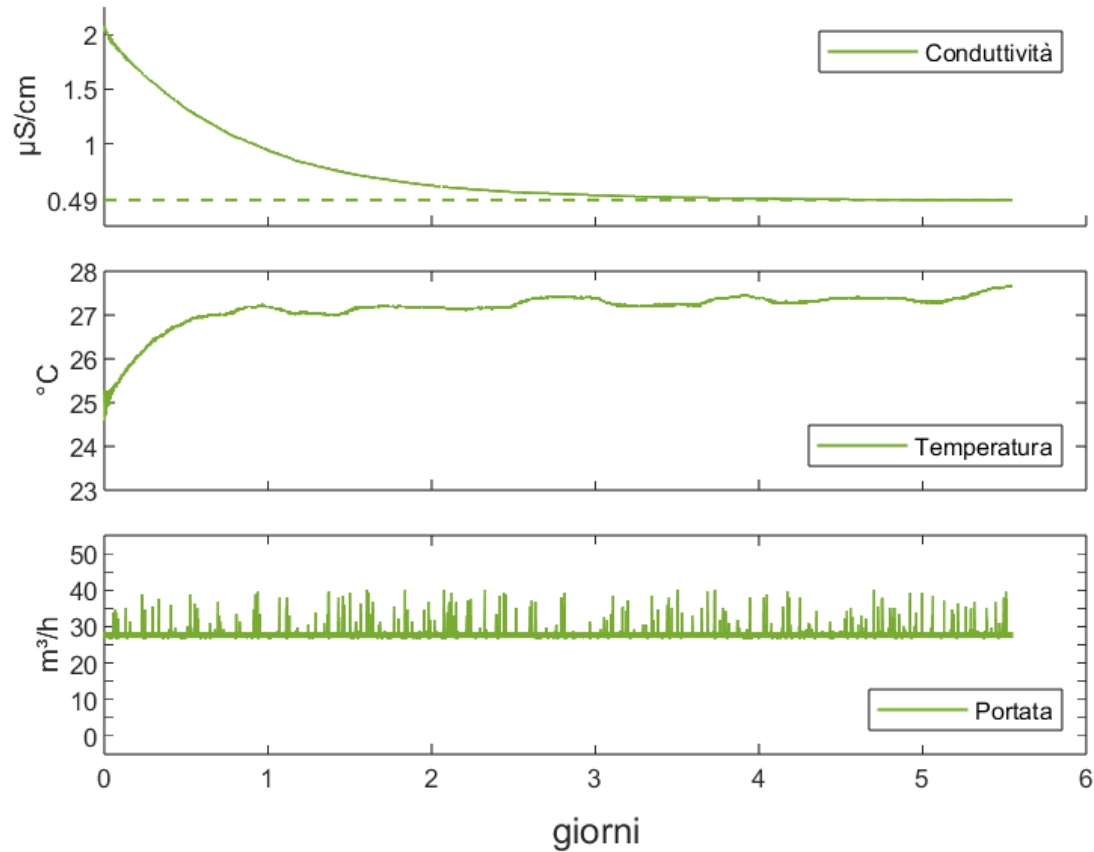
All'accensione della pompa, i sensori di conduttività mostrano un **andamento oscillatorio smorzato nel tempo**: il periodo corrisponde al tempo necessario a una particella d'acqua per attraversare l'intero circuito



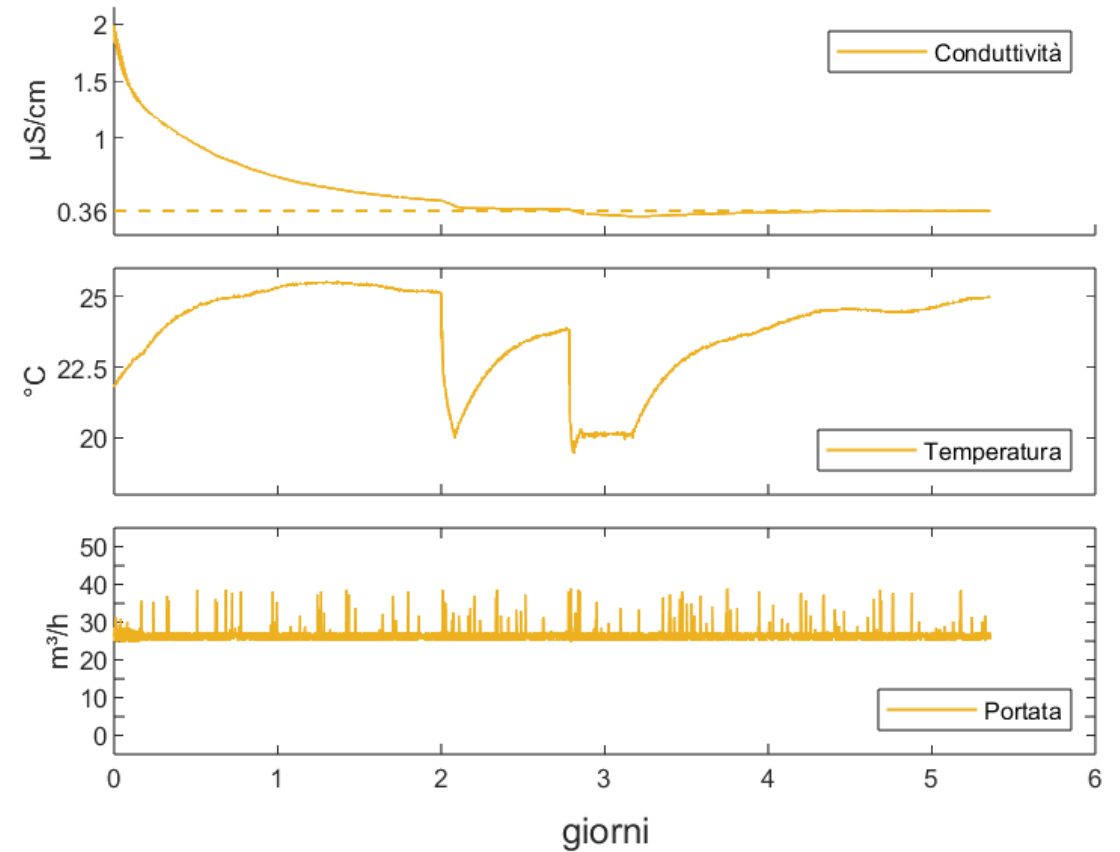
Installazione delle resine nel PC08

Le resine attuali sono più efficienti nel *migliorare la qualità dell'acqua ultrapura* partendo dallo stesso valore di conduttività

Resine 2023



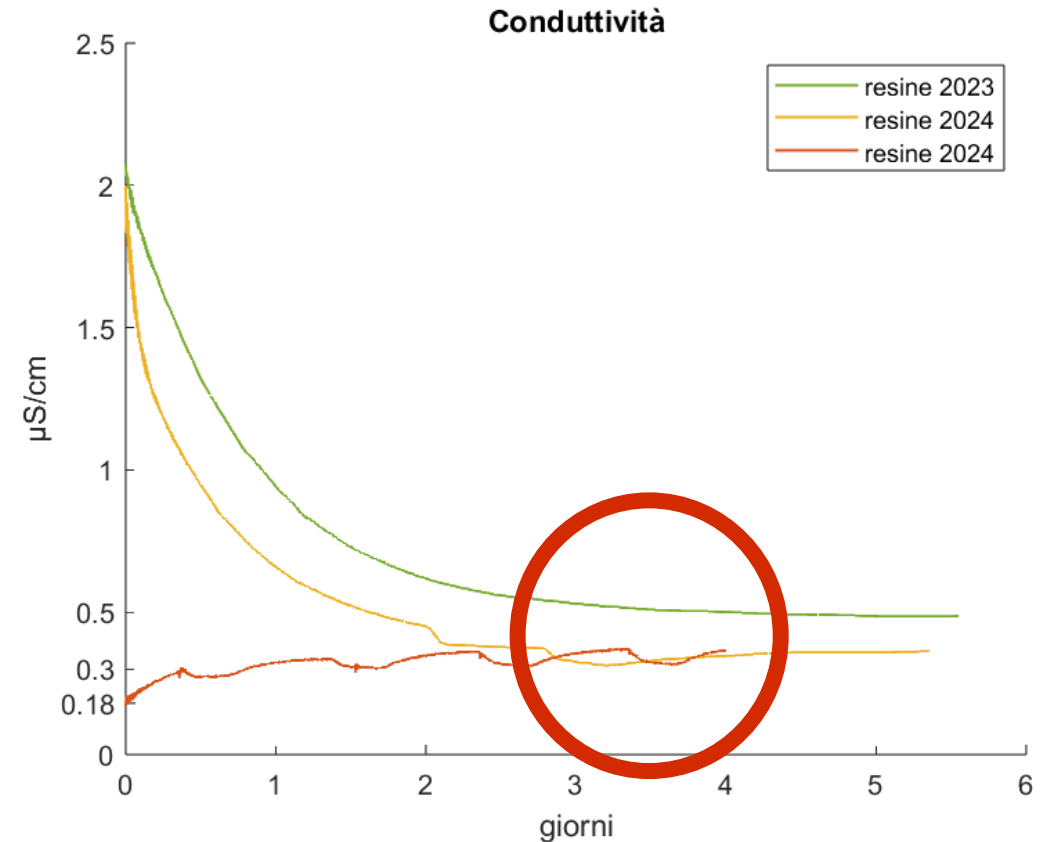
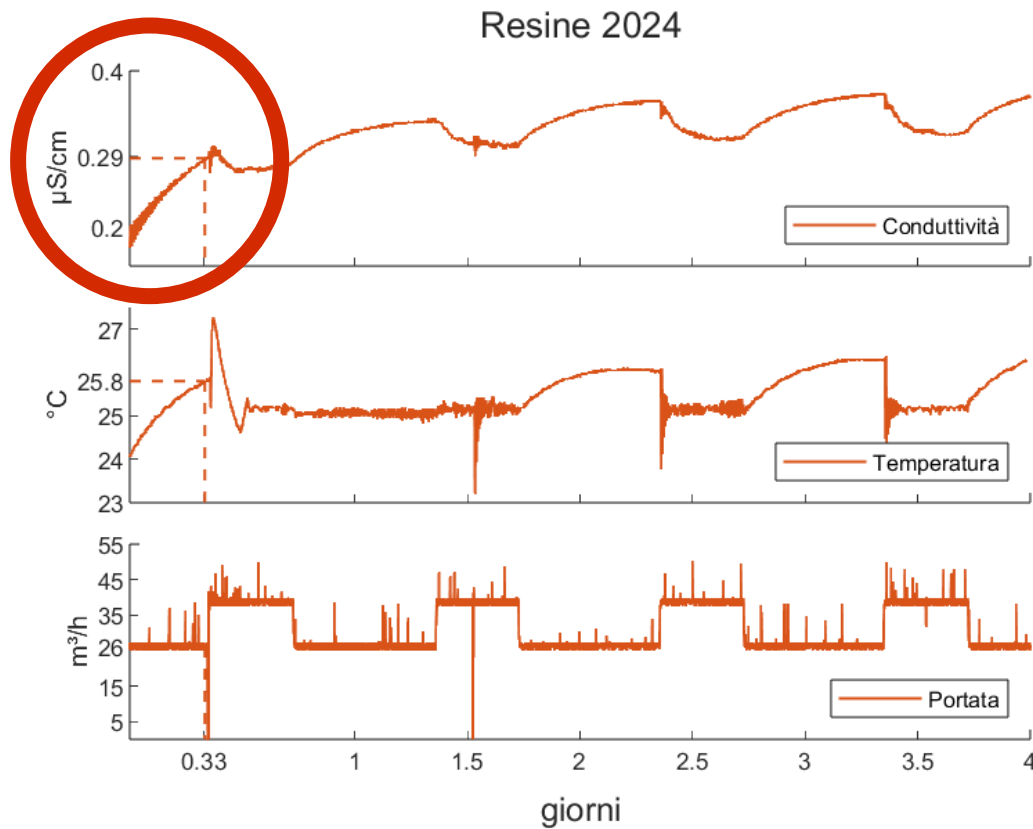
Resine 2024



Installazione delle resine nel PC08

Range operativo PC08: $0.2 \div 0.3 \mu\text{S}/\text{cm}$

In seguito al cambio acqua, le resine mantengono la **conduttività sotto a $0.3 \mu\text{S}/\text{cm}$ per 8 ore**



Confronto tra recipiente installato e progettato

Fine 2023: realizzazione progetto del design ottimale

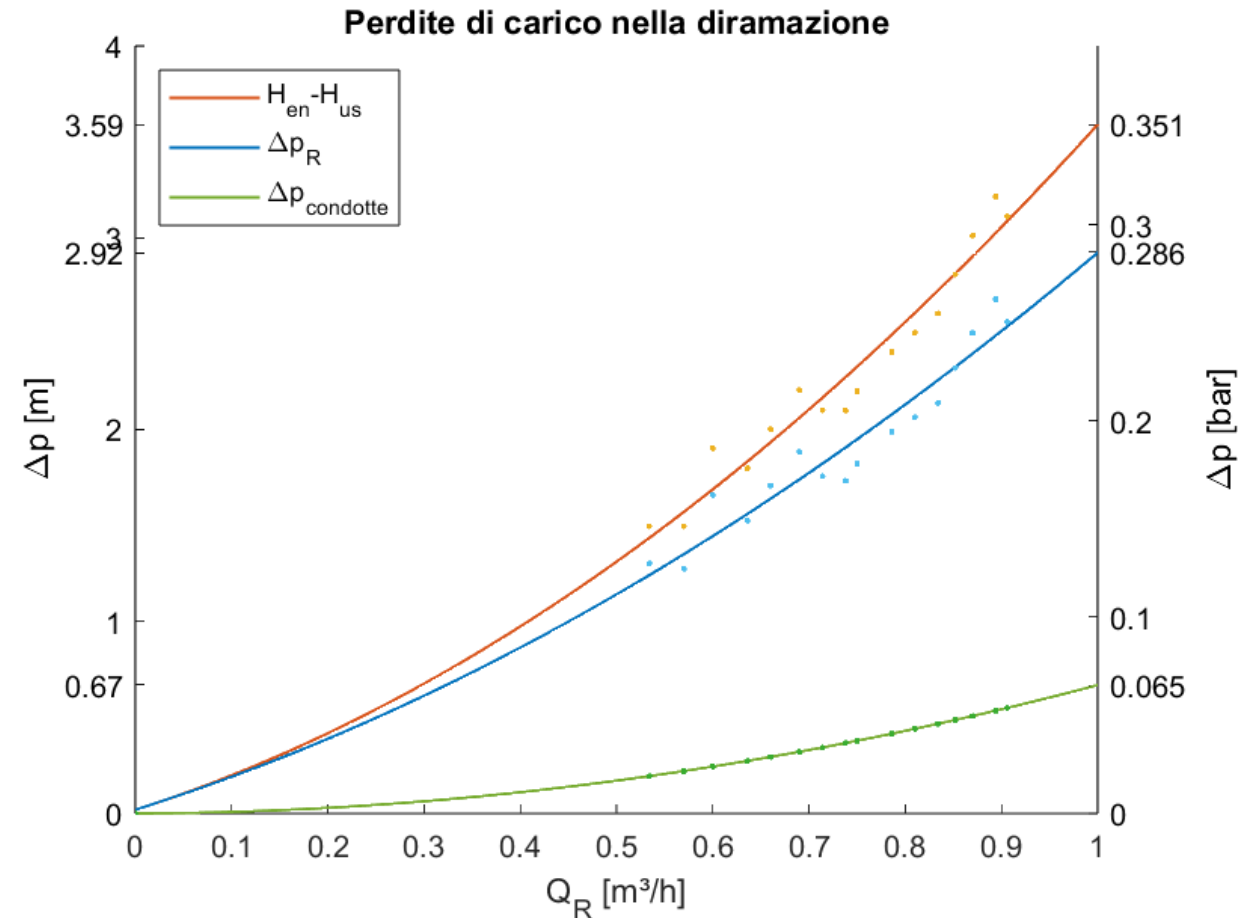
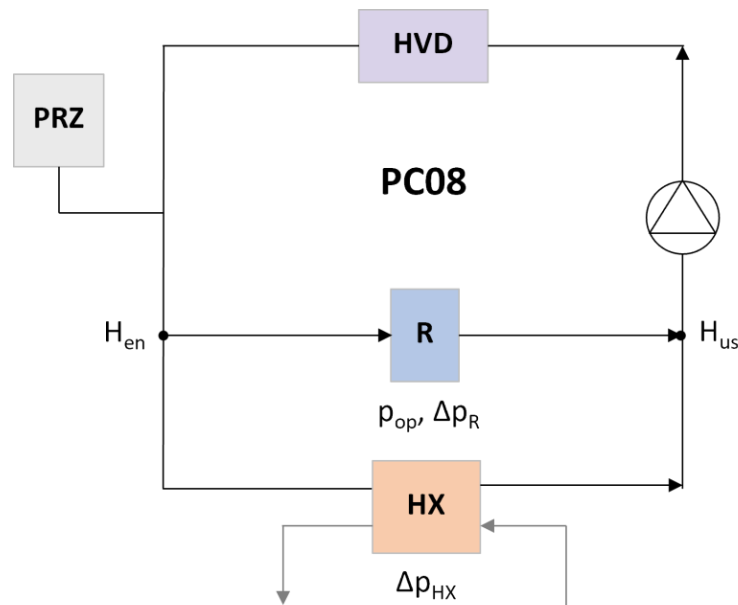
È possibile **aggiungere almeno 0.020 m^3** di resine nel recipiente installato e **aumentare la portata**

		Resine installate	Resine progettate
ϕ	diametro interno	300 mm	200 mm
H	altezza	1250 mm	1910 mm
V_{rec}	volume recipiente	0.088 m^3	0.060 m^3
V_{res}	volume di resine	0.060 m^3	0.060 m^3
Q_R	portata alle resine	$0.9 \text{ m}^3/\text{h}$	$1.0 \text{ m}^3/\text{h}$
C_{max} a $25 \text{ }^\circ\text{C}$	conduttività max	$0.32 \text{ }\mu\text{S}/\text{cm}$	$0.22 \text{ }\mu\text{S}/\text{cm}$

Stima della curva delle perdite di carico delle resine

Alla portata obiettivo $Q_R = 1 \text{ m}^3/\text{h}$, la perdita di carico introdotta dalle resine è pari a $\Delta p_R = (H_{en} - H_{us}) - \Delta p_C = 0.3 \text{ bar}$

- $\Delta p_C = \sum \Delta p_{dis} + \sum \Delta p_{con}$
- $\Delta p_{dis} = f \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g}$ perdite distribuite
- $\Delta p_{con} = K \frac{v^2}{2g}$ perdite concentrate



Installazione delle resine nel PC01

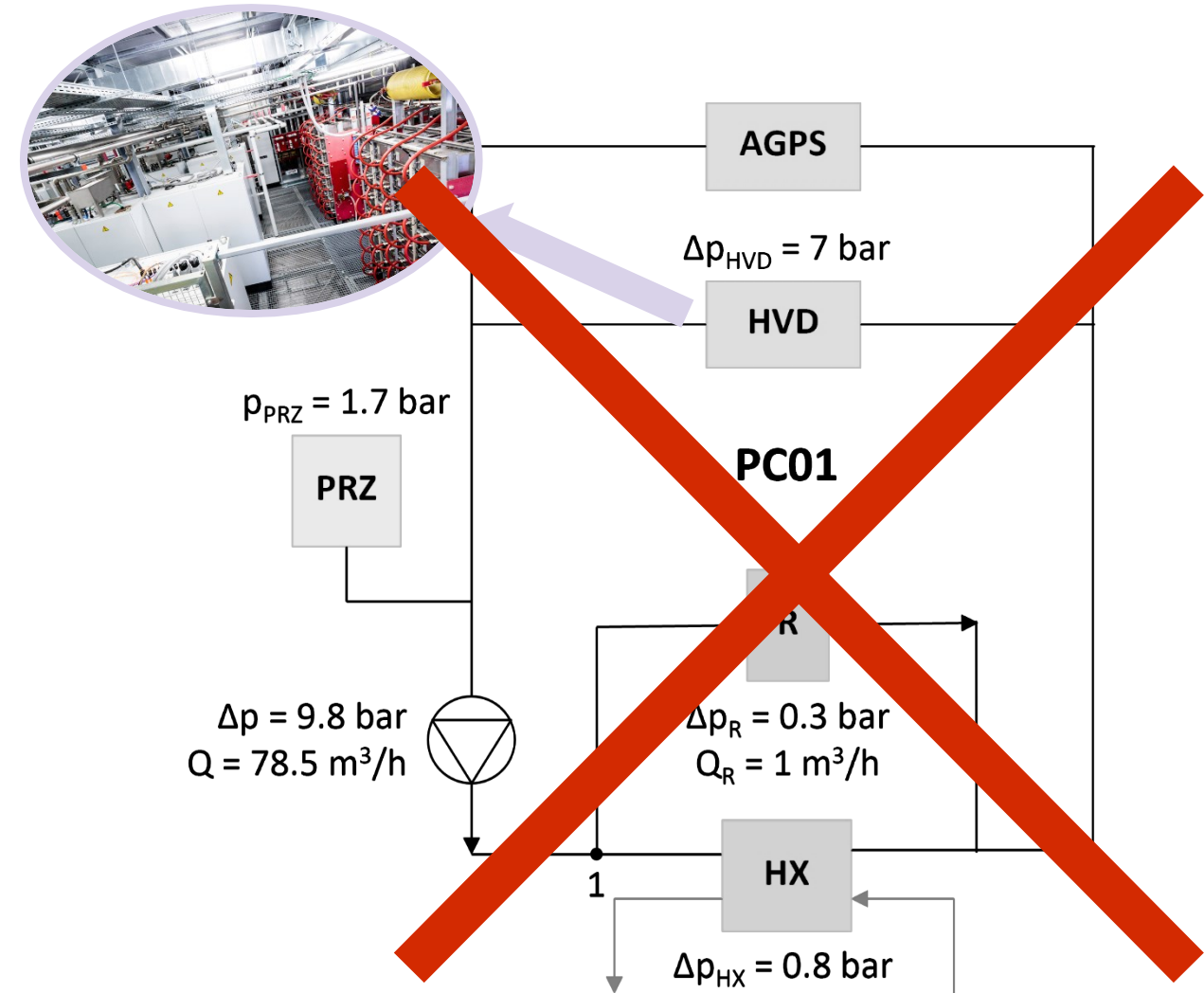
L'installazione delle resine nel PC01 permetterebbe di controllare in linea il degrado dell'acqua ultrapura e *migliorare l'efficienza di SPIDER*

Installando le resine in parallelo allo scambiatore di calore $p_{1,max} > p_{op,max}$

- $p_{1,max} = p_{PRZ} + \Delta p = 11.5 \text{ bar}$
- $p_{op,max} = 6 \text{ bar}$

Anche installando un riduttore di pressione la relazione non cambia: Δp_{HX} è di poco maggiore di $\Delta p_R + \Delta p_C = 0.35 \text{ bar}$

Bisogna installarle *in parallelo alle utenze!*



Installazione delle resine nel PC01

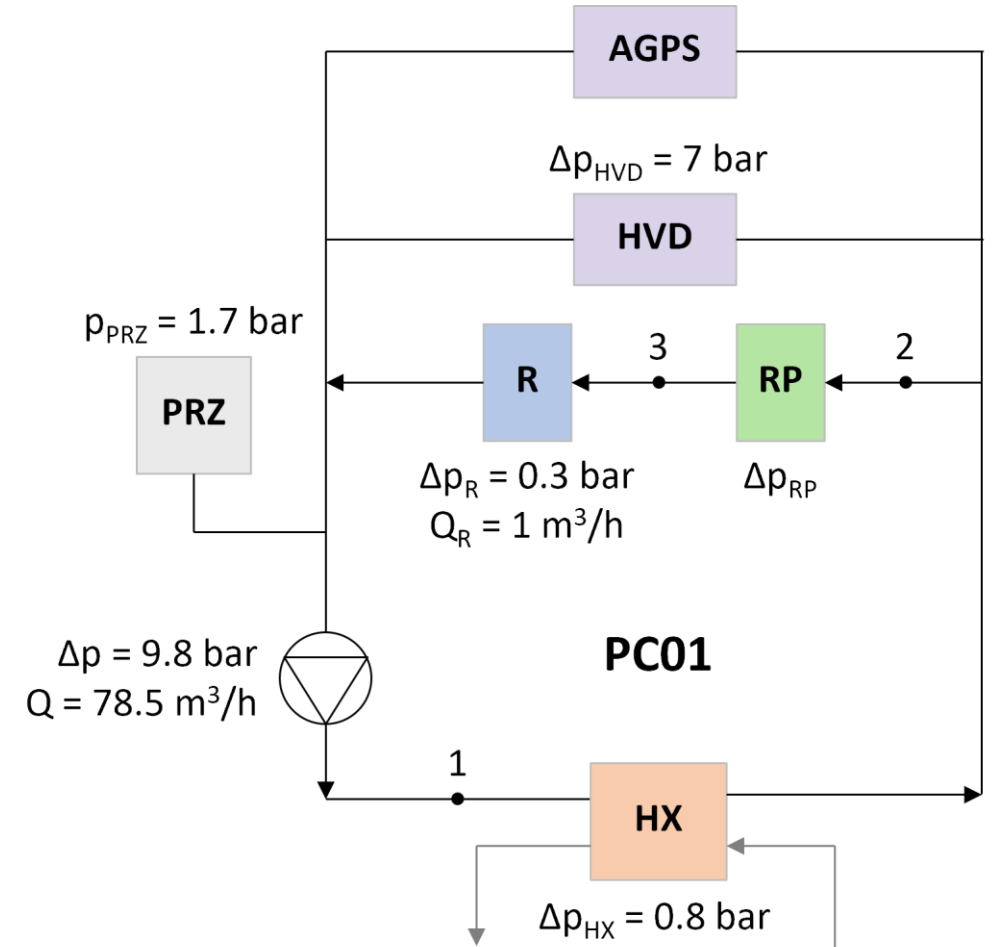
Anche in questo caso $p_{2,max} > p_{op,max}$

- $p_{2,max} = p_{PRZ} + \Delta p - \Delta p_{HX} = 10.7 \text{ bar}$
- $p_{op,max} = 6 \text{ bar}$

Ma, **inserendo un riduttore di pressione** regolato a $\Delta p_{RP} = \Delta p_{HVD} - (\Delta p_R + \Delta p_C) = 6.65 \text{ bar}$ e posizionato **a monte delle resine**, si ottiene

$p_{3,max} < p_{op,max}$

- $p_{3,max} = p_{2,max} - \Delta p_{RP} = 4.05 \text{ bar}$



Conclusioni e sviluppi futuri

I **risultati** ottenuti in seguito alla sostituzione delle resine sono positivi, c'è un miglioramento della qualità dell'acqua ultrapura:

- partendo dal cambio acqua alla mattina, le resine attualmente installate nel PC08 riescono a mantenere la conduttività **al di sotto di 0.3 μ S/cm per 8 ore**
- è stata ricavata la **curva delle perdite di carico** delle resine installate
- è stato identificato il punto di installazione ottimale nel **PC01**

In **futuro** sarà possibile:

- aumentare il volume delle resine nel **recipiente di contenimento**
- installare le resine anche nel PC01
- effettuare il design e l'installazione delle resine **per ogni PC**

Grazie per l'attenzione!