

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Chimica e dei Materiali

***Relazione per la prova finale***  
***«Valutazione del circuito di raffreddamento***  
***dell'impianto di produzione solfato di potassio e***  
***implementazione delle migliorie»***

Tutor universitario: Prof. Alessandra Lorenzetti

Laureando: *Sarah Maria Amonti*

Padova, 15/09/2023

## Obiettivi del lavoro:

- Valutare lo stato attuale del circuito di raffreddamento dell'impianto di solfato di potassio dal punto di vista delle perdite di carico.
- Implementazione di migliorie.

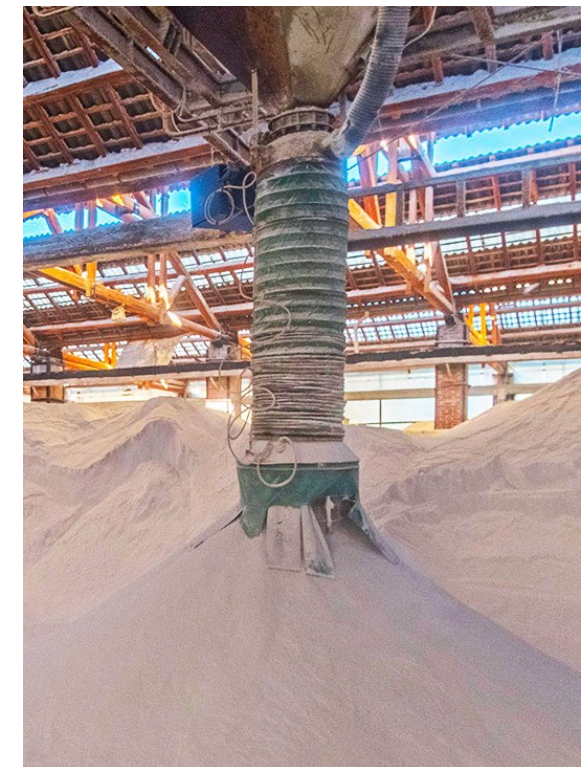
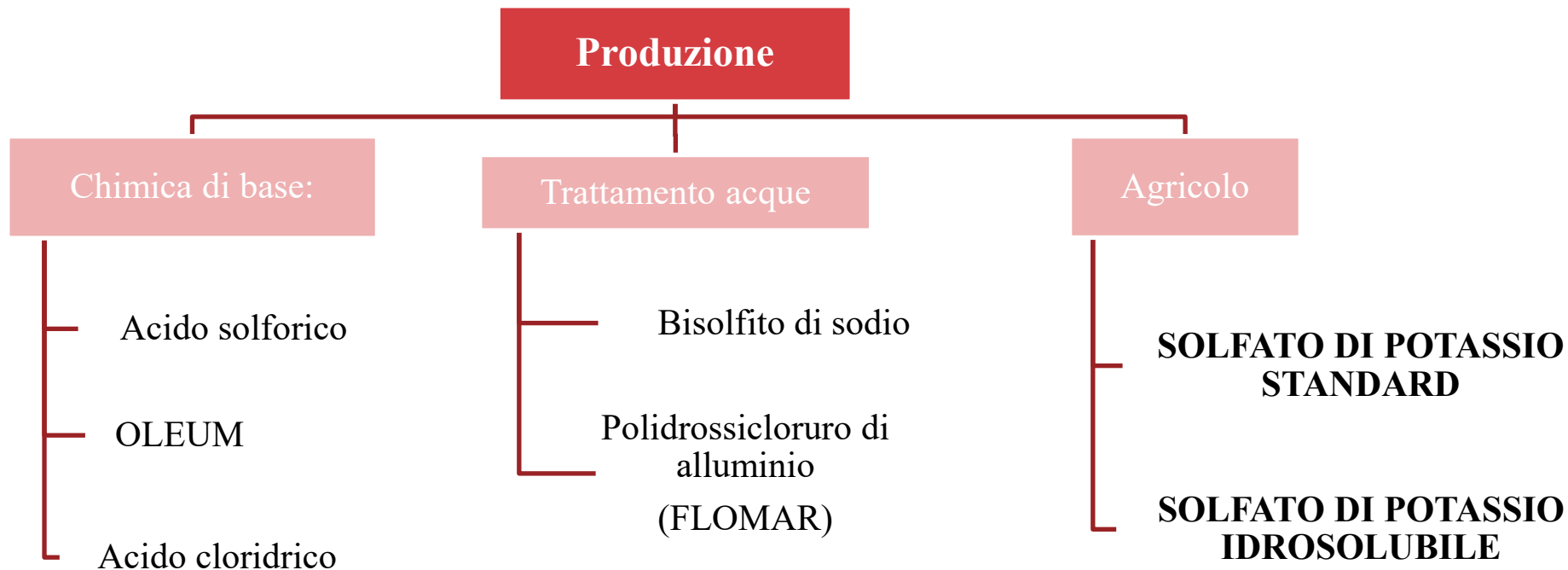
## Indice:

1. Introduzione
2. Distribuzione dell'acqua di raffreddamento
3. Valutazione dello stato attuale della linea di raffreddamento
4. Punti critici del circuito di raffreddamento e implementazione delle migliorie
5. Conclusioni

Il **Gruppo Marchi**, fondato nel 1873 a Pescia (Toscana), con sede dello stabilimento produttivo a Marano Veneziano (Venezia).



Gruppo è **leader assoluto in Italia** nella produzione di **solfato di potassio** ed ha un ruolo primario nel mercato dell'acido solforico.



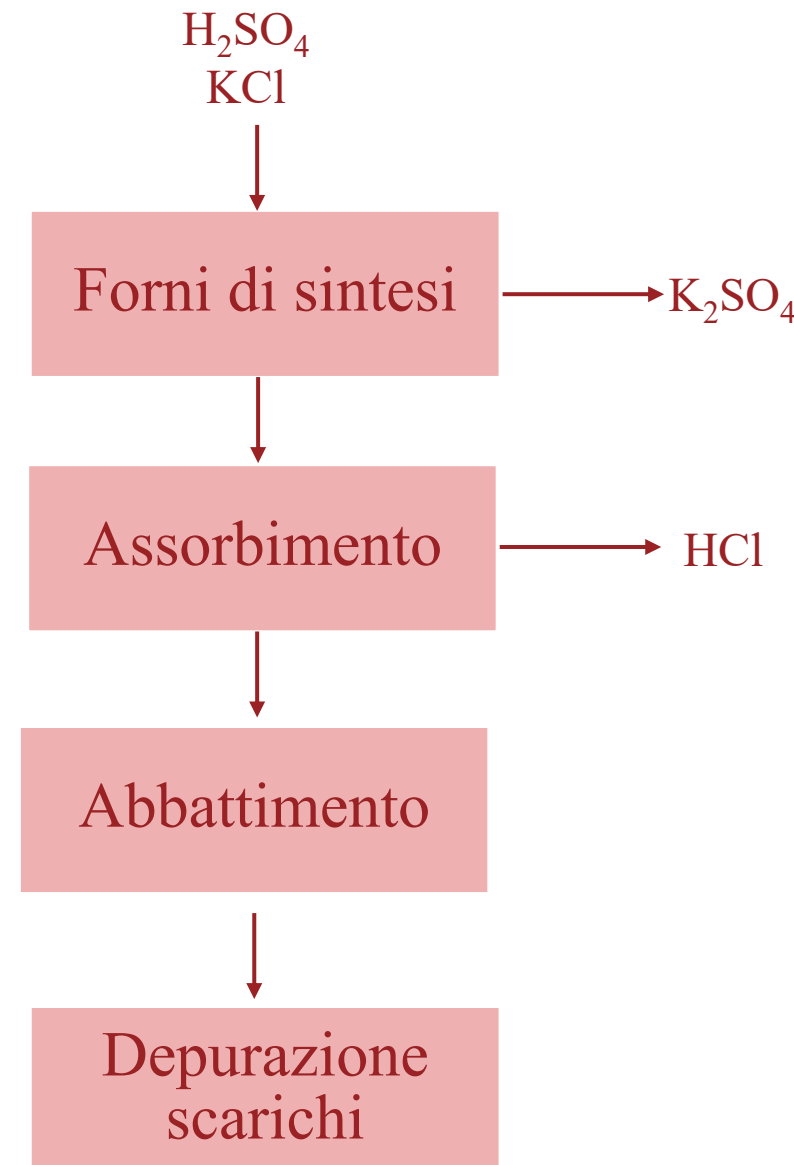
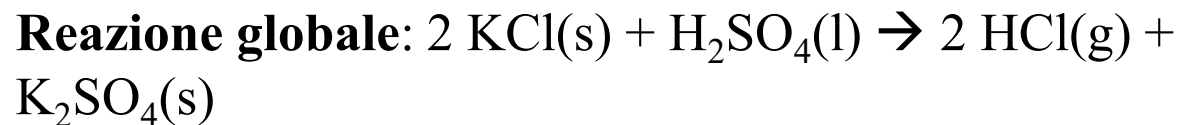
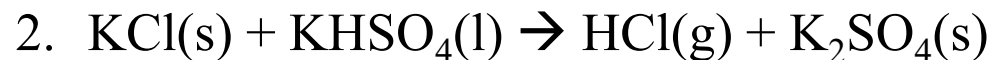
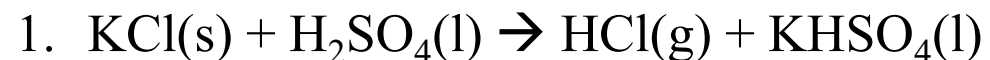
## Impianto SK

**Prodotto principale:** Solfato di potassio

**Prodotto secondario:** Acido cloridrico

**Materie prime:** Acido solforico concentrato e Cloruro di potassio

### Reazioni:



### Circuito di raffreddamento:

Le torri evaporative raffreddano l'acqua osmotizzata. Questa viene inviata in continuo, alle unità che necessitano di questo servizio.

L'acqua in uscita, che ha assorbito calore, viene rispedita all'inizio del circuito per essere nuovamente raffreddata.

### Torri evaporative

Torri Assorbenti

Tamburi di Raffreddamento

Gruppo Frigo per Torri di Lavaggio

Torri Refrigeranti



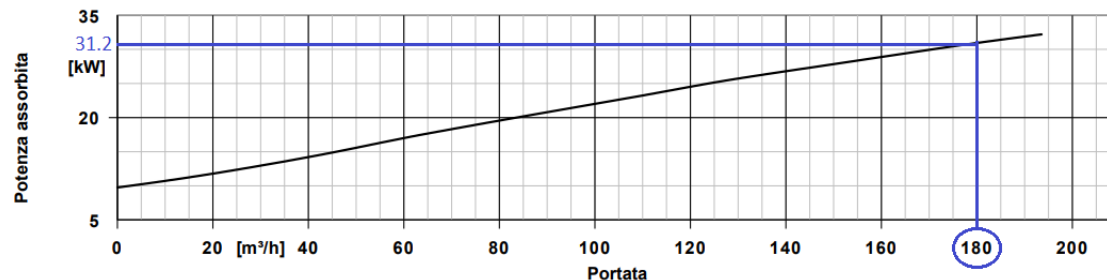
Torri evaporative del circuito di raffreddamento

Si è svolto un **bilancio di massa** per determinare i consumi di acqua presso le singole utenze dell'impianto. Questi valori sono stati sommati e messi a confronto con la portata in mandata dalla pompa.

Dato rilevato presso il sistema di controllo DCS (07/04/2023)
Corrente $i'$ [A]
53.55

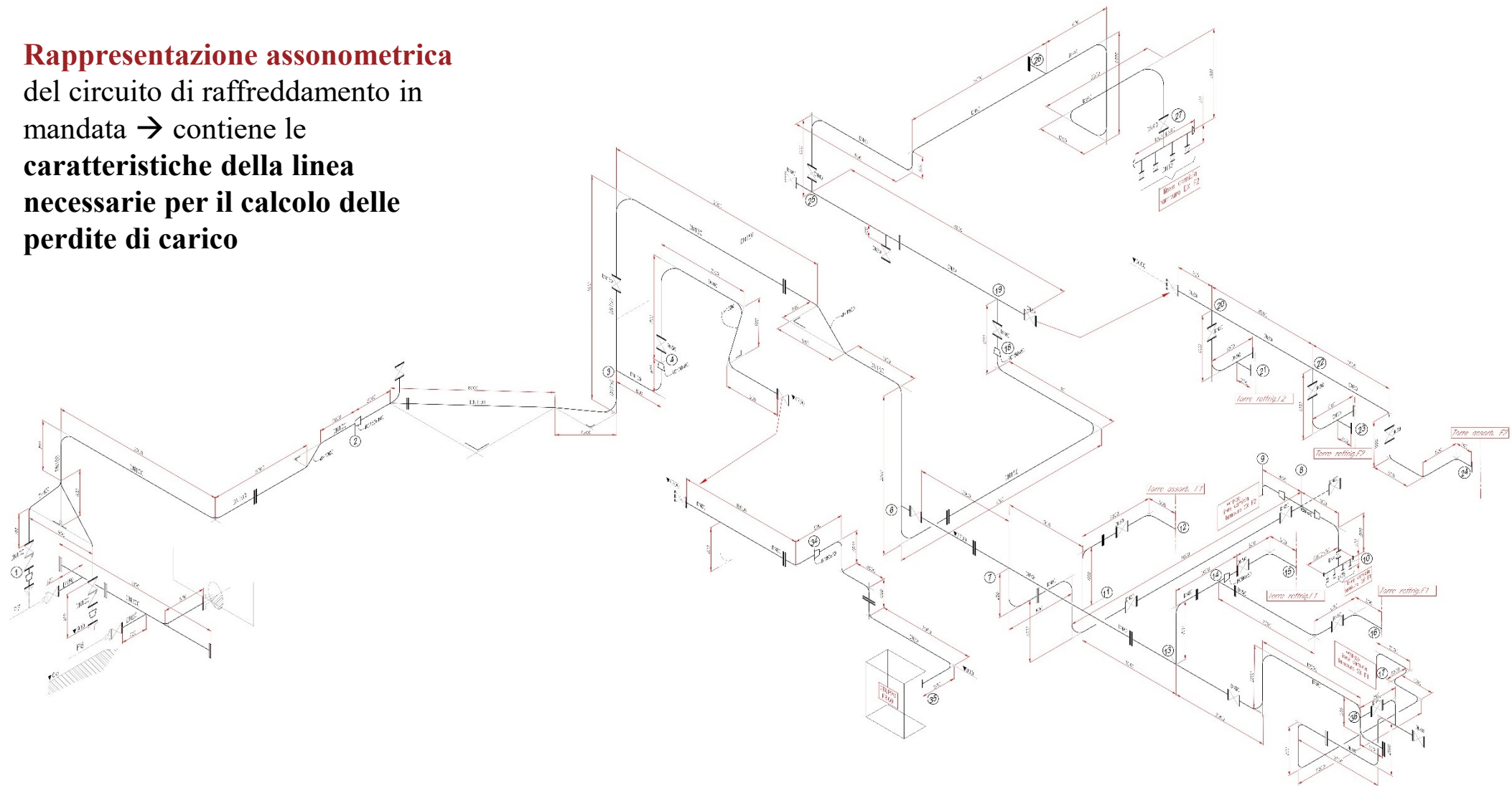
Dati dalla scheda tecnica della pompa P7				
Tensione nominale V [V]	Potenza nominale del motore $P_n$ [kW]	Corrente nominale $i_n$ [A]	Cosphi $\cos(\Phi)$ [adim]	Portata volumetrica $\dot{V}$ [m <sup>3</sup> /h]
400	30	55	0.84	146.82

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot i' \cdot \cos \Phi = \sqrt{3} \cdot 400V \cdot 53.55A \cdot 0.84 = 31164W = 31.2kW$$



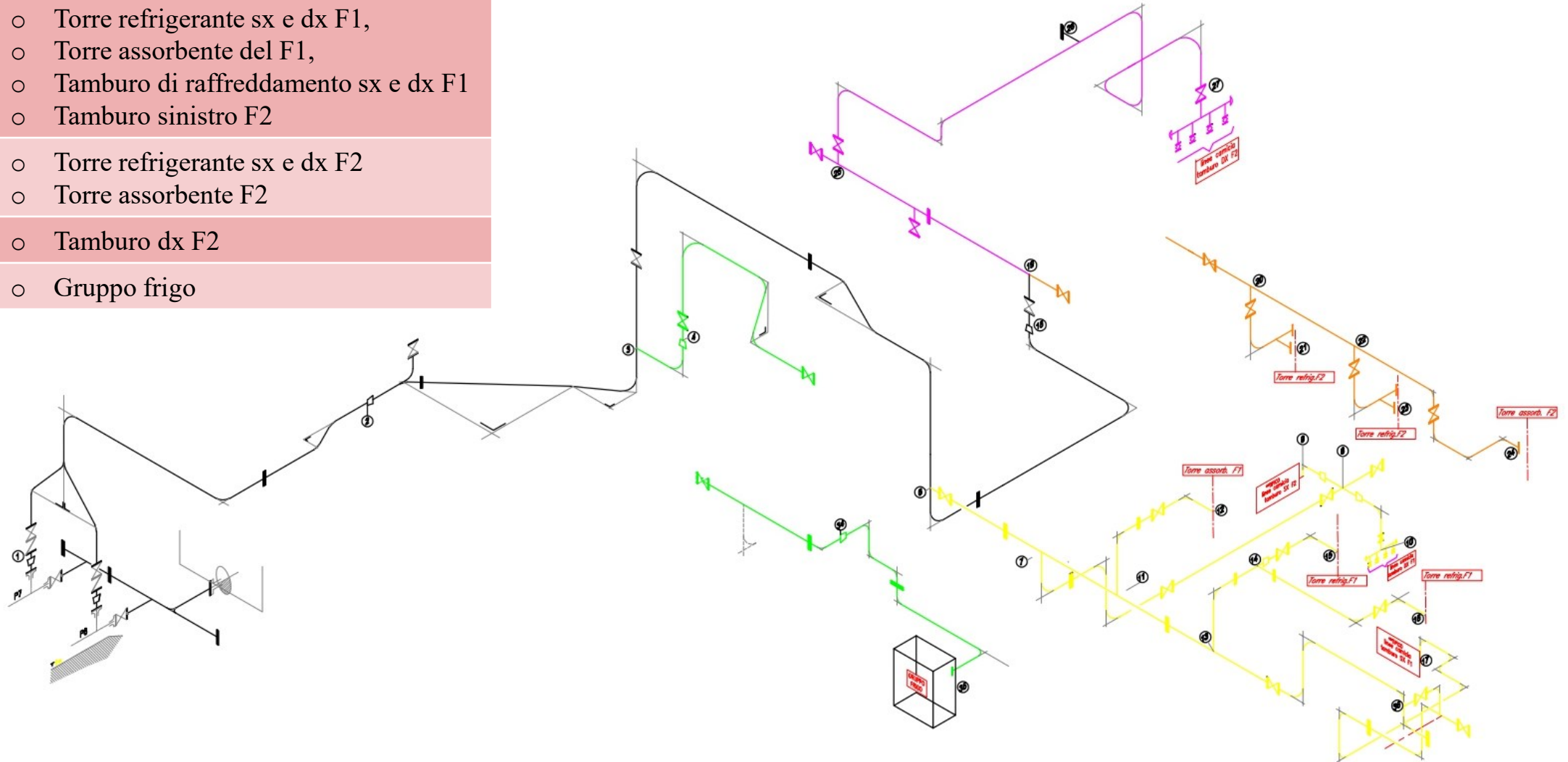
	07/04/2023
	<b>Portata [m<sup>3</sup>/h]</b>
Tamburo dx F1	8,05
Tamburo sx F1	6,72
Tamburo dx F2	8,29
Tamburo sx F2	7,97
Torre ass. F1	35,00
Torre refr. dx F1	10,00
Torre refr. sx F1	12,00
Torre ass. F2	38,00
Torre refr. Dx F2	15,00
Torre refr. Sx F2	13,00
Gruppo frigo	14,00
<b>Somma delle portate in uscita</b>	<b>168,04</b>
<b>Portata totale in ingresso</b>	<b>180</b>

**Rappresentazione assonometrica**  
del circuito di raffreddamento in  
mandata → contiene le  
**caratteristiche della linea**  
**necessarie per il calcolo delle**  
**perdite di carico**



Colore del ramo	Unità che rifornisce
Ramo giallo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Torre refrigerante sx e dx F1,</li> <li>Torre assorbente del F1,</li> <li>Tamburo di raffreddamento sx e dx F1</li> <li>Tamburo sinistro F2</li> </ul>
Ramo arancione	<ul style="list-style-type: none"> <li>Torre refrigerante sx e dx F2</li> <li>Torre assorbente F2</li> </ul>
Ramo viola	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tamburo dx F2</li> </ul>
Ramo verde	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gruppo frigo</li> </ul>

**Rappresentazione assonometrica semplificata** del circuito di raffreddamento in mandata





Il **calcolo delle perdite di carico** è stato eseguito mediante un foglio Excel che riassume tutte le informazioni inerenti i tratti della linea di raffreddamento e un programma software.

2) La linea di raffreddamento è stata suddivisa in più **tratti** contraddistinti da una **numerazione**. Per ognuno di questi sono state riportate le **caratteristiche geometriche** del condotto.

Caratteristiche fluido di raffreddamento												
Tipo	Temperatura [°C]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	Viscosità [Pa*s]	Viscosità [cP]								
Acqua osmotizzata	23,8	997,0995	9,14E-04	0,914								
Tratto 1-2												
Portata [m <sup>3</sup> /h]	Diametro interno [mm]	Rugosità [mm]	Lunghezza totale [m]	Quota [m]	Curva 90°	Curva 45°	Valvola a saracinesca (gate)	Valvola di non ritorno (check valves)	Valvola a maschio	Re	Velocità [m/s]	Perdita di carico [bar]
168,04	106,3	0,2	12,6	0	2	4	1	1	0	609868,2	5,26	1,2131
Tratto 2-3												
Portata [m <sup>3</sup> /h]	Diametro interno [mm]	Rugosità [mm]	Lunghezza totale [m]	Quota [m]	Curva 90°	Curva 45°	Valvola a saracinesca	Valvola di non ritorno	Valvola a maschio	Re	Velocità [m/s]	Perdita di carico [bar]
168,04	160,3	0,2	12,5	0	1	1	0	0	0	404422,9	2,31	0,0625

Parte della tabella Excel

1) La prima tabella contiene le **informazioni sul fluido di servizio** nelle condizioni di processo

3) I dati raccolti sono stati inseriti all'interno di un **programma**.

Esempio interfaccia del programma per il calcolo delle perdite di carico

Fluid data		Results	
flow rate	168040 [litr./hr]	Reynolds number	609868,2 [-]
density	997 [kg/m <sup>3</sup> ]	average velocity of liquid	5,26 [m/s]
dynamic viscosity	0,914 [cP]	friction factor	0,0233 [-]
Pipe data		relative roughness surface	0,0019 [-]
inner diameter	106,3 [mm]	friction of pipe	2,7618 [-]
surface roughness	0,2 [mm]	pipe area	8874,7558 [mm <sup>2</sup> ]
total pipe length	12,6 [m]	pipe volume	111,82 [litr]
elevation	0 [m]	friction of appendages	6,0347 [-]
pressure loss extra equipment	0 [bar]	average residence time	2,40 [sec]
Equivalent length		power loss	5662,3 [Watt]
bends and elbows	96 [l/d]	pressure drop pipe	1,2131 [bar]
valves	163 [l/d]	estimated shear	197,92
fittings and appendages	259 [l/d]	Total pressure drop	
fittings and appendages	27,5317 [m]	pipe+equipment+appendages	1,2131 [bar]
			121306 [Pa]

4) I risultati ottenuti sono stati raccolti nel file Excel a fianco dei relativi tratti

Da calcoli condotti si stima che le **perdite di carico totali** dell'intero circuito di raffreddamento siano paria **2,86 bar**.

Per **individuare i tratti critici** è stato costruito un secondo foglio Excel di confronto.

È stata costruita una tabella per ogni unità che si serve della linea di raffreddamento.

Perdite di carico  
totali [bar] 2,8571

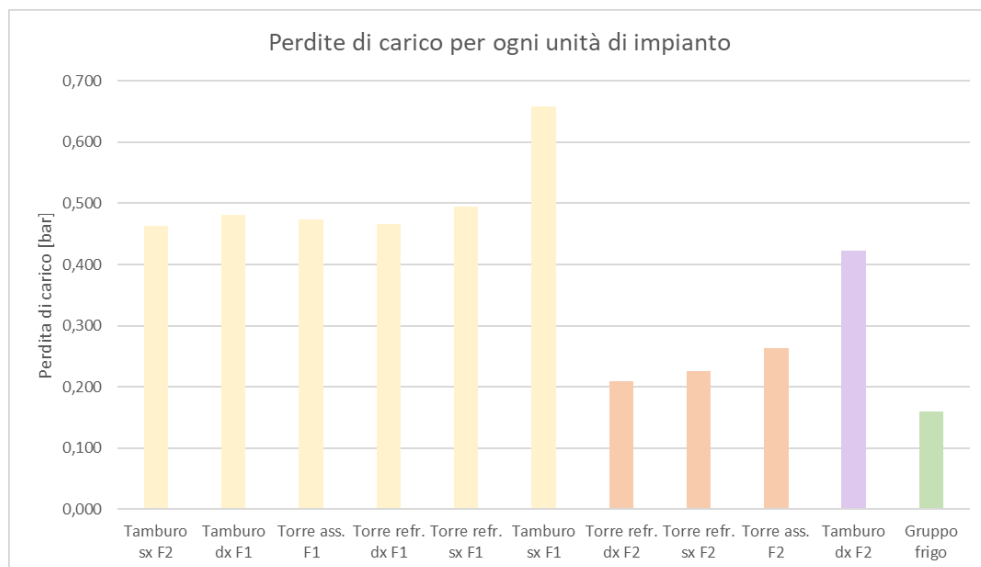
Tamburo sx F2		
Tratto	Perdita di carico [bar]	perdita di carico relativa %
3-5	0,000	0%
5-6	0,066	2%
6-7	0,353	12%
7-8	0,018	1%
8-9	0,026	1%

Tratti che conducono all'unità

Perdite di carico per quel tratto

Rapporto % perdite di carico del tratto con quelle totali della linea

Perdita di carico  
totale 0,463



Dall'analisi condotta risulta che i tratti che presentano maggiori criticità sono principalmente tre:

- Il tratto 6-7 è comune a tutte le unità del ramo giallo.
- Il tratto 36-17 relativo al ramo giallo che conduce fino al tamburo sinistro del forno 1.
- I tratti 25-26 e 26-27 del ramo viola che alimentano il servizio al tamburo destro del forno 2.

Dal **tratto 6-7** partono diverse diramazioni della linea per trasportare il servizio a 6 apparecchi su 11 totali.

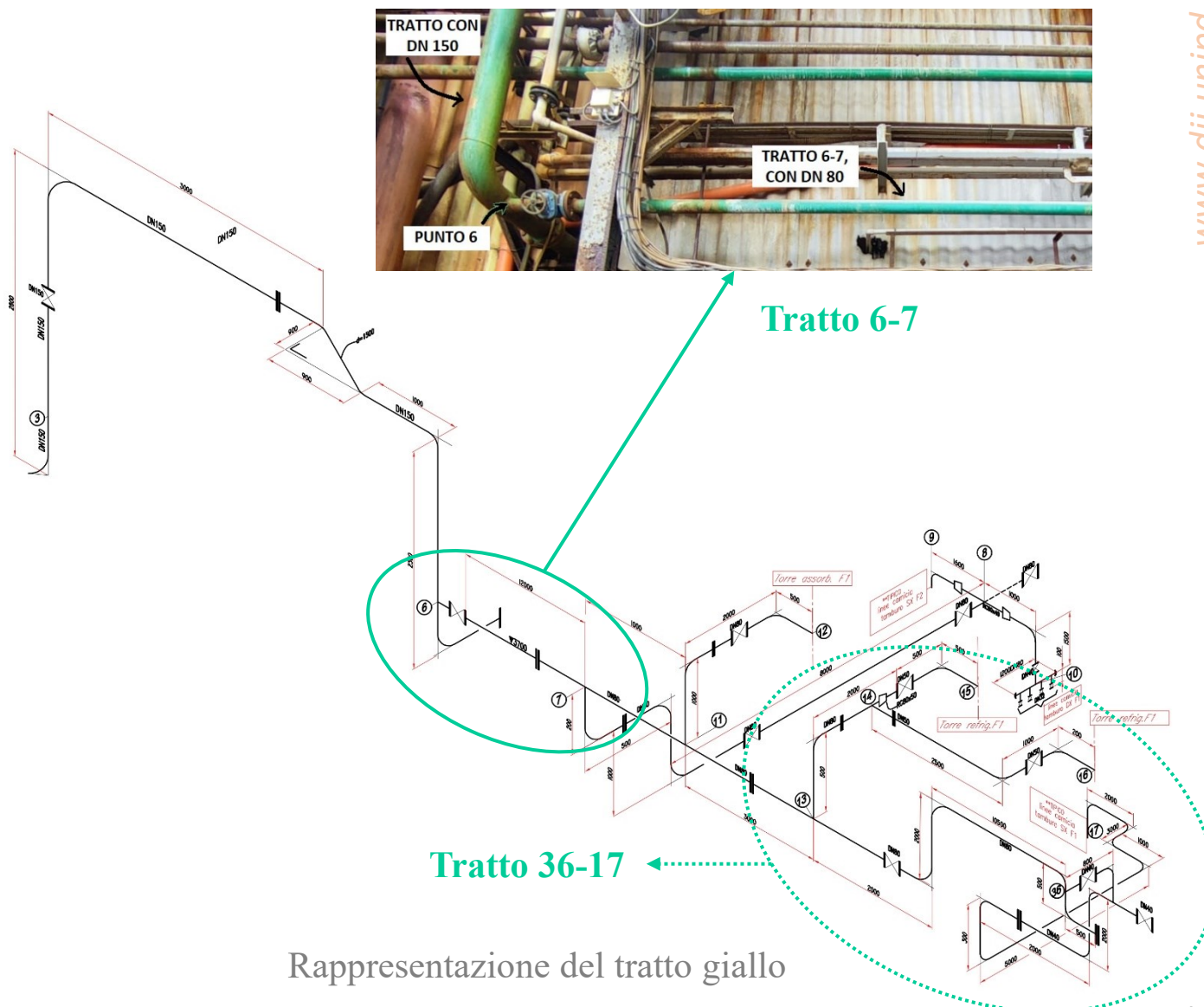
**Perdita di carico** : 0.353 bar su 2.857 bar totali (12%).

**Problema**: diametro nominale troppo piccolo per la portata da sostenere; DN=80 (di=81,9mm)

$$\text{Equazione di Fanning: } -\Delta P_f = 4f \frac{L}{d_i} \rho \frac{u_i^2}{2}$$

**Soluzione**: passare a un diametro nominale maggiore; ipotesi valutata: DN=100 (di=106,38 mm)

**Risultati**: si quantifica che le perdite di carico possano passare da 0.353 bar a 0.0919 bar (riduzione circa pari del 74%)



Il **tratto 36-17** si occupa di rifornire la camicia del tamburo sinistro del fono 1.

**Perdita di carico** : 0.207 bar su 2.857 bar totali (7%).

**Problema**: la linea ha un andamento molto contorto; 10 curve a gomito e lunghezza totale pari a 16m

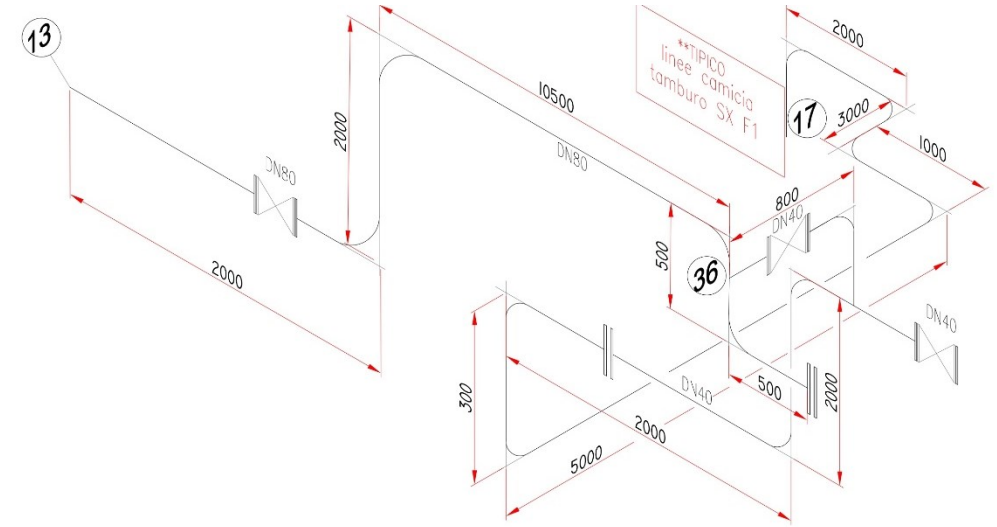
$$\text{Equazione di Fanning: } -\Delta P_f = 4f \frac{L}{d_i} \rho \frac{u_i^2}{2}$$

$$\Delta P_{TOT} = \Delta P_{distr} + \Delta P_{loc}$$

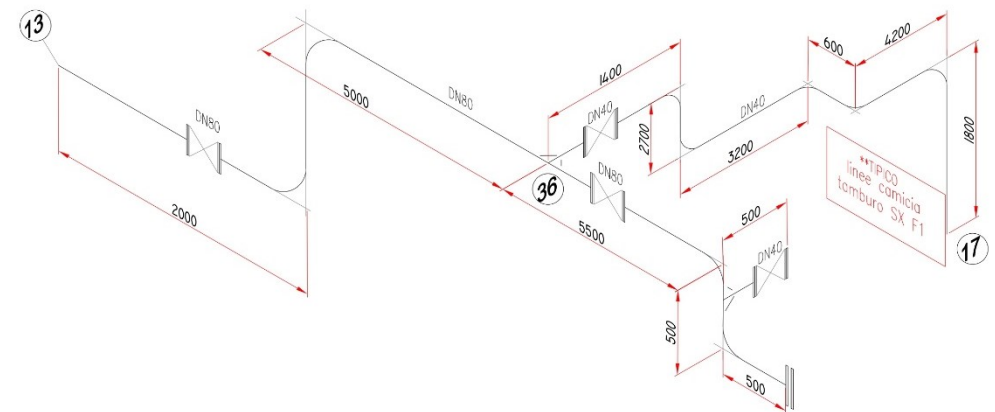
**Soluzione**: riconfigurare questo tratto cercando di semplificarlo

**Risultati**: le perdite di carico dei tratti 13-36-17 allo stato attuale sono pari a:  $0.0045 + 0.2073 = 0.2118$  bar

Nella nuova configurazione passerebbero a:  
 $0.0028 + 0.1482 = 0.151$  bar



Tratti: 13-36-17 stato dell'arte



Tratti: 13-36-17 stato di progetto

I **tratti 25-26-27** permettono di trasportare il servizio di raffreddamento verso la camicia del tamburo destro del forno 2.

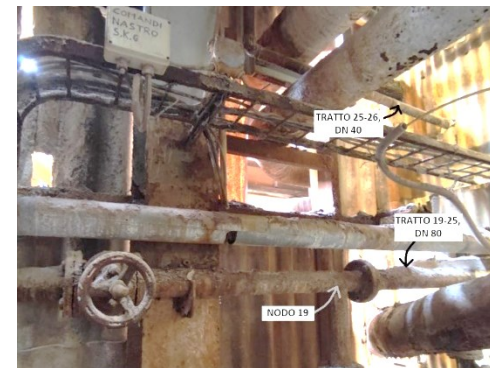
**Perdita di carico** : 0.124 bar (25-26) e 0.172 bar (26-27) su 2.857 bar totali (rispettivamente il 4% e il 6%).

**Problema:** diametro nominale troppo piccolo; DN=40 (di=40,3mm)

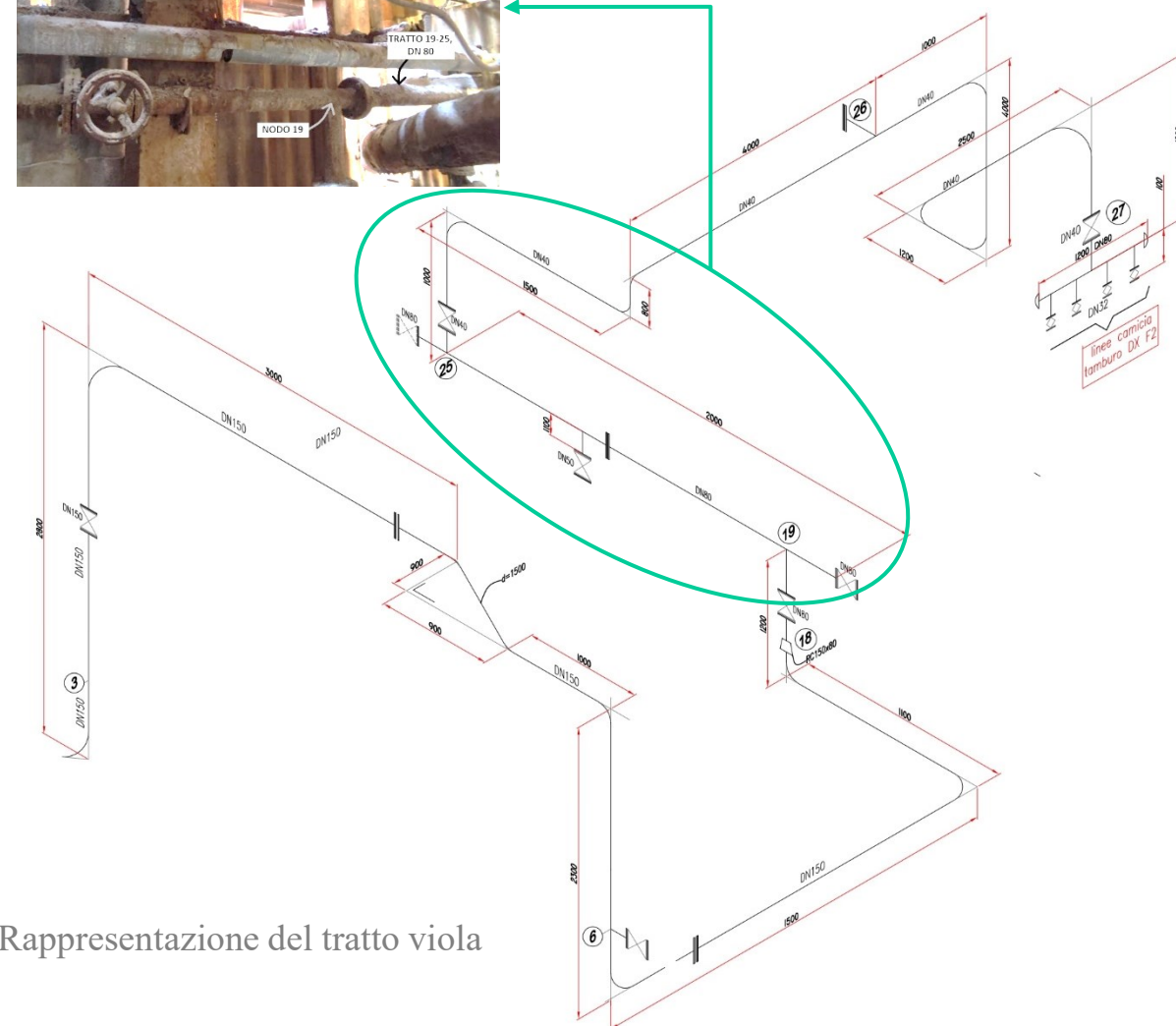
$$\text{Equazione di Fanning: } -\Delta P_f = 4f \frac{L}{d_i} \rho \frac{u_i^2}{2}$$

**Soluzione:** passare a un diametro nominale maggiore; ipotesi valutata: DN= 80 (di=81,9 mm)

**Risultati:** 0,004 bar (25-26) e 0,006 bar (26-27)



Tratti 19-25-26

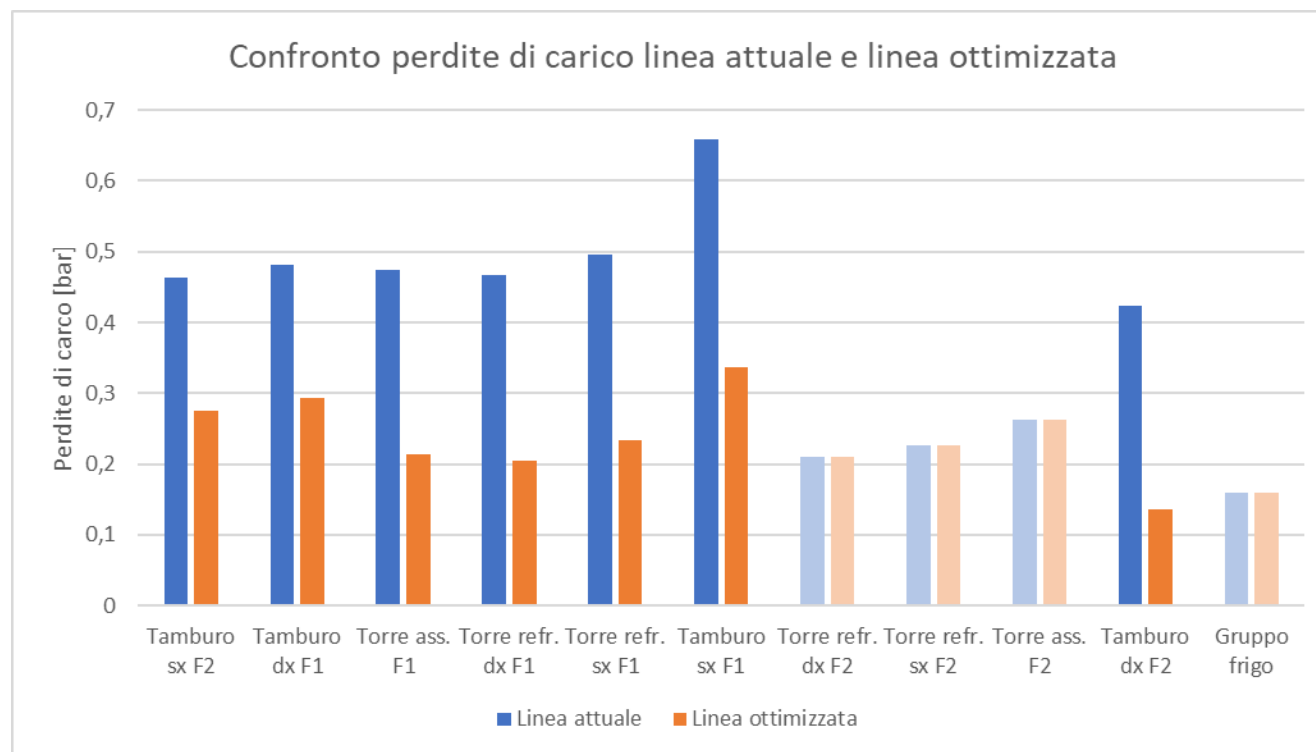


Rappresentazione del tratto viola

Il lavoro svolto ha avuto lo scopo di valutare l'attuale circuito di raffreddamento dell'impianto SK e implementare possibili migliorie nelle linee.

Perdite di carico dell'intero circuito:

- allo stato dell'arte: **2.86 bar**,
- stato di progetto: **2.25 bar (-21%)**



**Benefici delle soluzioni implementate**

Miglioramento gestione delle acque

Limitazione consumi di energia elettrica

Analisi utile per la realizzazione del raddoppio dell'impianto SK

**Grazie per l'attenzione**

