



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

Università degli Studi di Padova  
Dipartimento di Ingegneria Industriale - DII  
Corso di Laurea in Ingegneria dell'Energia

# CERN e ambiente: sviluppo di un prototipo per la separazione, il recupero ed il riutilizzo dei gas serra impiegati nei rivelatori di particelle

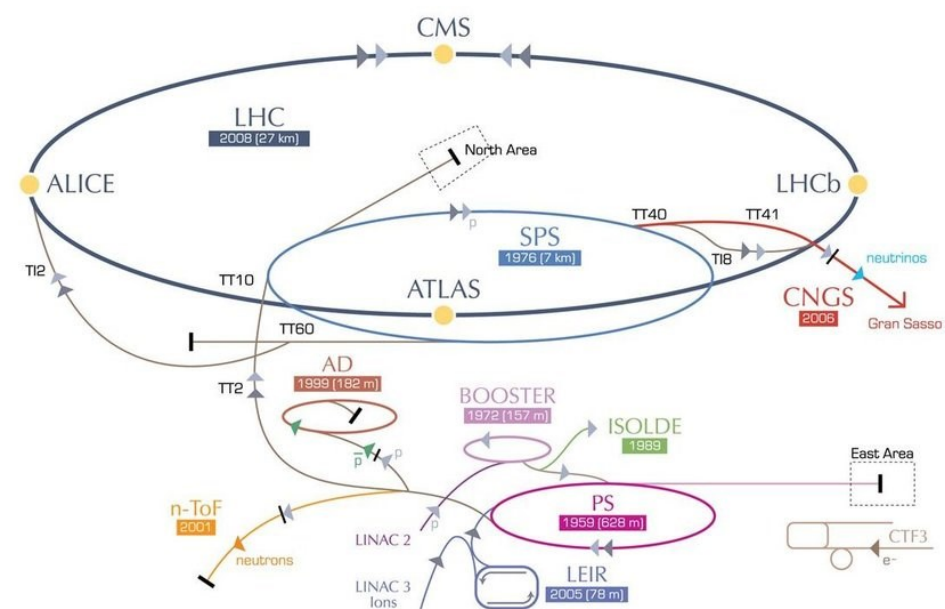
*Tutor universitario: Prof.ssa Anna Stoppato*

*Laureando: Luca Graziani*

*Padova, 15.07.2022*

Il CERN rappresenta il centro di ricerca sulla fisica delle particelle più grande al mondo. Occupa un vasto territorio tra il confine della Francia e della Svizzera. E' stato fondato nel 1954. Ad oggi conta 23 stati membri e al suo interno si trova LHC che con i suoi 27 km di lunghezza rappresenta il più grande acceleratore di particelle mai costruito.

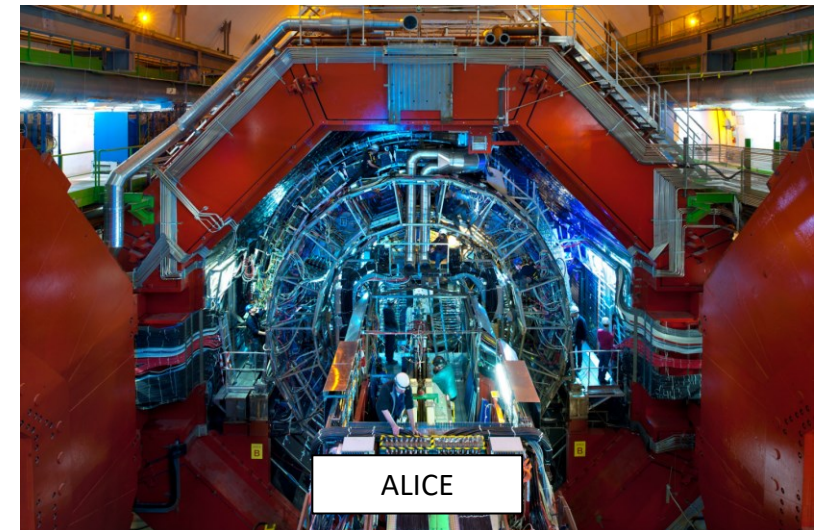
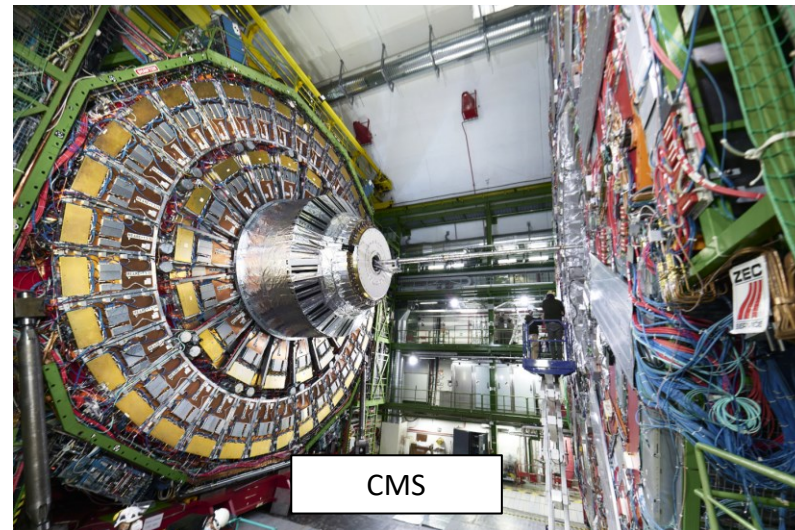
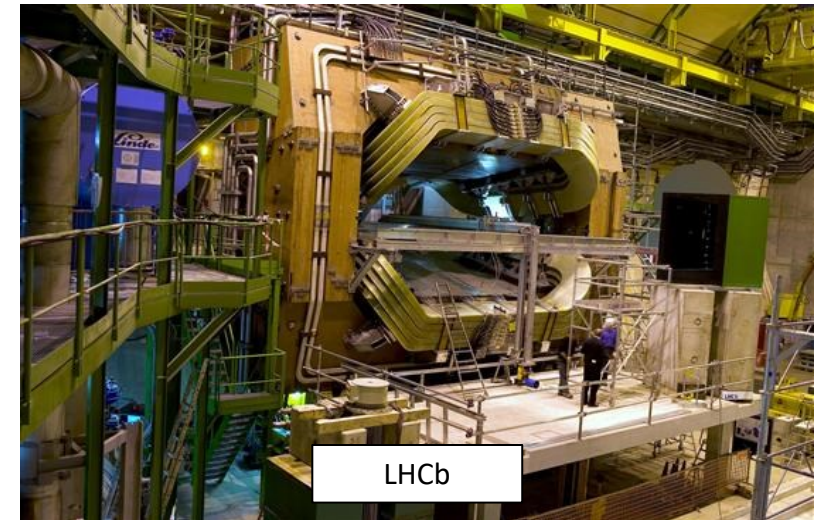
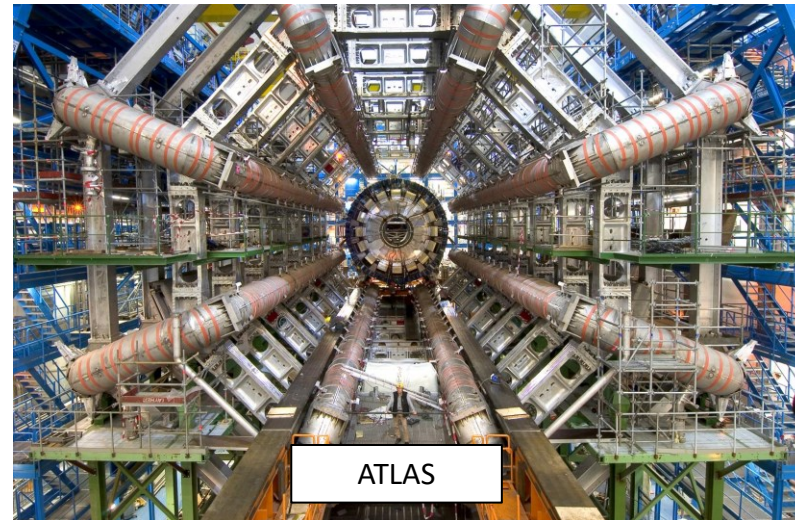
Prima che le particelle arrivino al LHC vengono fatte passare attraverso una serie di acceleratori intermedi fino al raggiungimento di un'energia pari a 6,5 TeV.



LHC (Large Hadron Collider) è un anello costituito da due tubazioni, collocate ad profondità superiore ai 100 metri, dove vengono fatti circolare due fasci di particelle. Questi fasci sono fatti scontrare in quattro punti lungo il percorso dove, grazie alla presenza dei detector, è possibile fare un'analisi delle particelle collise.

I quattro esperimenti sono:

- ATLAS
- LHCb
- CMS
- ALICE



## Energy

**1251 GWh**

Obiettivi per ridurre il consumo di energia:

- Incremento del consumo energetico fino ad un massimo del 5% entro il 2024
- Aumento dell'efficienza dei sistemi già in uso
- Sviluppo di sistemi di recupero

## Emissions

**223 800 tCO<sub>2</sub>e**

Suddivise in:

- DIRETTE: 192100 tCO<sub>2</sub>e legate direttamente al funzionamento di LHC e impianti ausiliari
- INDIRETTE: 31700 tCO<sub>2</sub>e derivanti dall'energia elettrica consumata

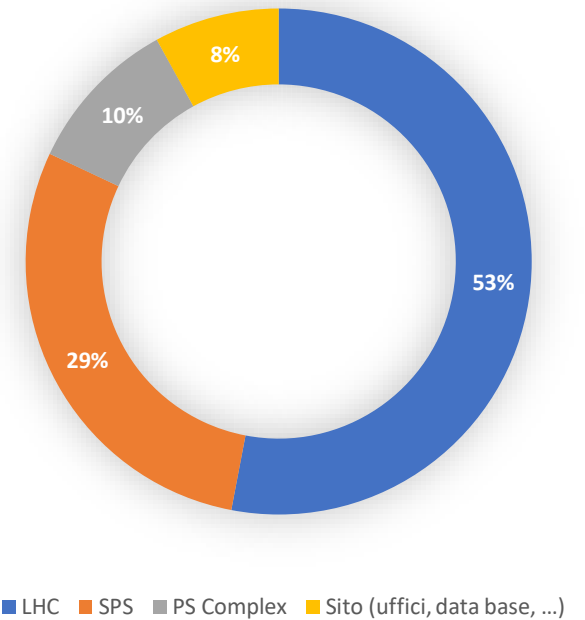
## Water and Effluents

**3477 megalitres**

## Waste

**56% recycled**

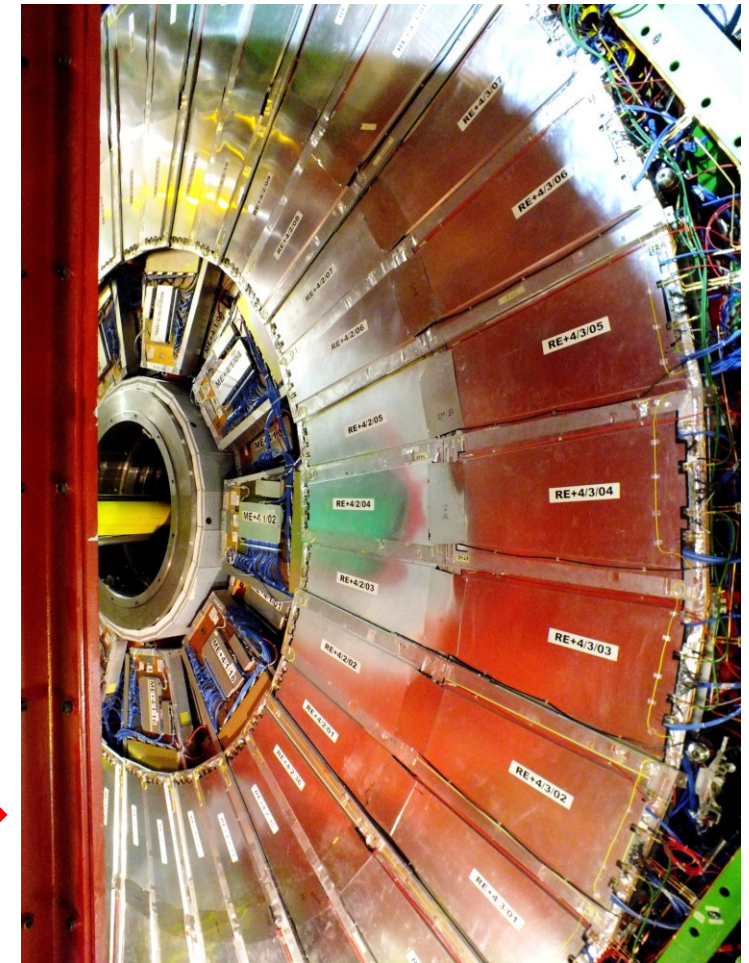
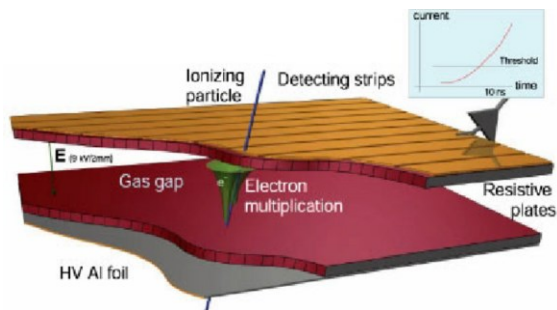
## Electrical Consumption



Il progetto ha coinvolto i rivelatori RPC (Resistive Plate Chamber) collocati su ATLAS. Questi sono formati da due piastre parallele di bakelite (2mm di spessore) all'interno delle quali viene iniettata una miscela di gas sensibili. Grazie all'applicazione di una tensione elevata, una particella che viene fatta passare attraverso l'intercapedine ionizza la miscela di gas presente creando ioni positivi ed elettroni. Gli elettroni si moltiplicano in cascata creando un segnale elettrico analizzato da appositi sistemi di elaborazione dati.

La miscela di gas è composta da:

- $C_2H_2F_4$  (R134a) al 95,4% → (GWP pari a **1430**)
- $iC_4H_{10}$  (Isobutano) al 4,3%
- $SF_6$  con una percentuale dello 0,3%



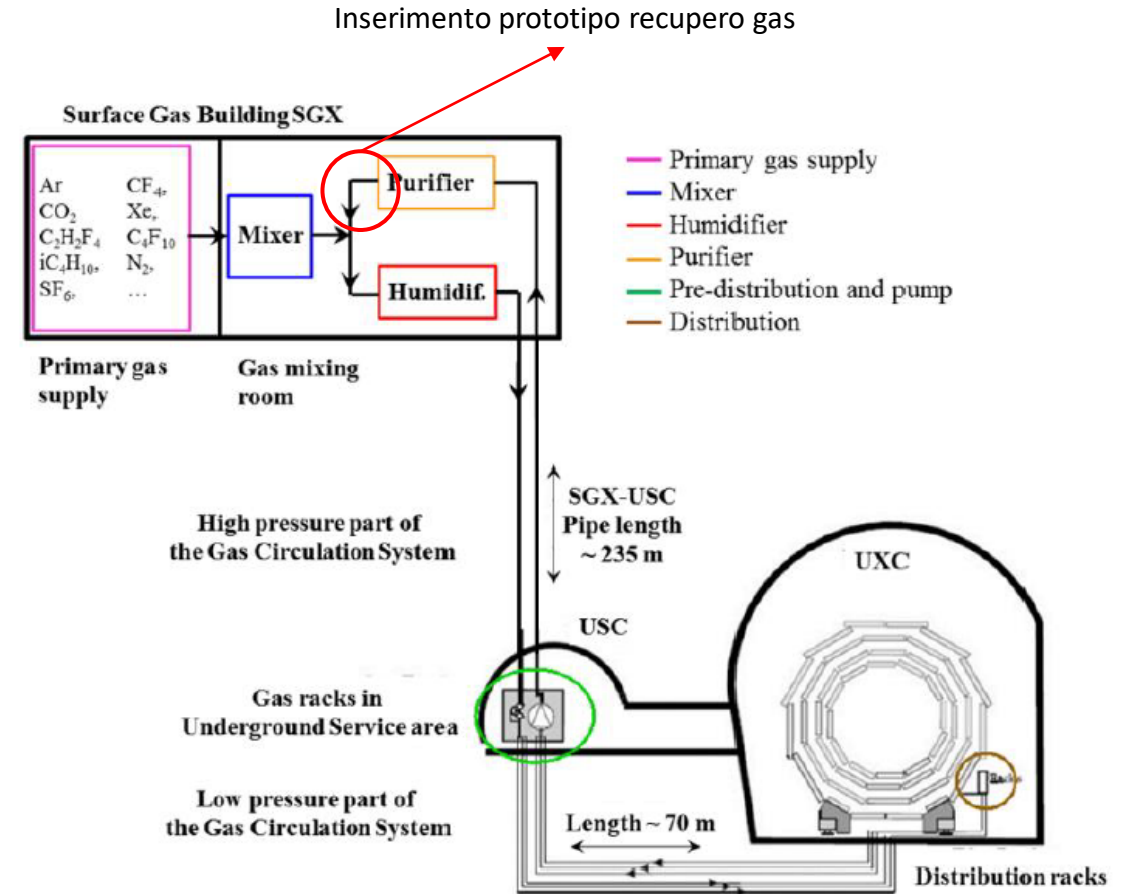
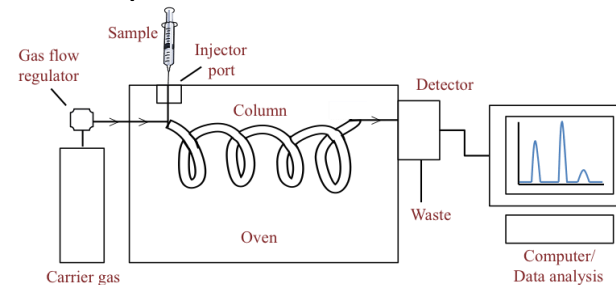
La miscela di gas viene ricircolata per l'86%, ovvero il 14% viene rilasciato in atmosfera. Considerando che gli RPC di ATLAS lavorano mediamente con  $800 \div 1000$  l/h di fluido questo comporta una perdita superiore ai 100 l/h di GHG.

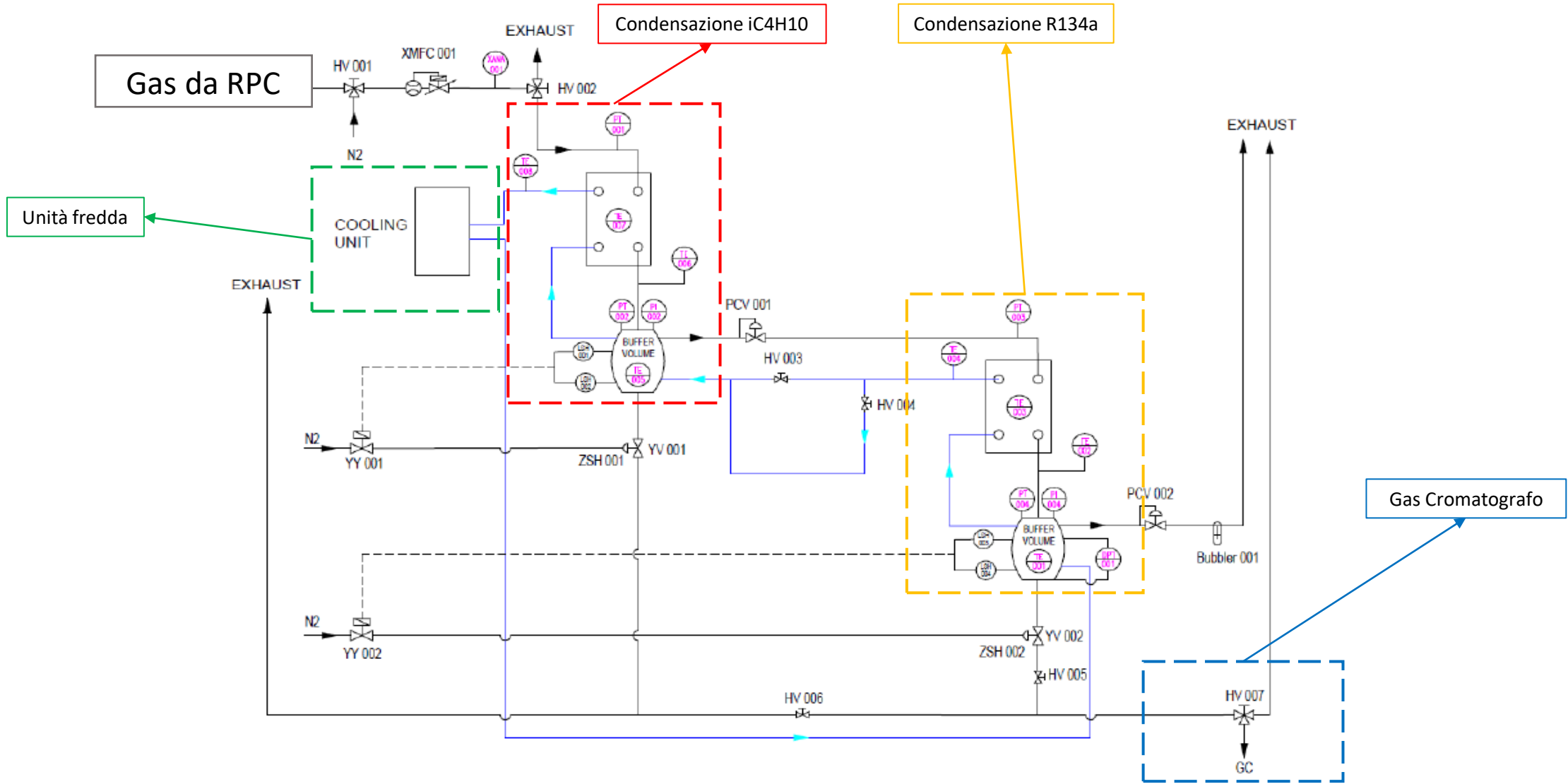
Obiettivo: costruzione di un prototipo per recuperare questo gas normalmente immesso in atmosfera sfruttando le diverse temperature di condensazione della miscela.

IC4H10	-11.7°C
<b>R134a</b>	<b>-26.3°C</b>
SF6	-63.9°C

Fisicamente il sistema è stato installato in superficie dopo i purifier utilizzati per rimuovere le impurità della miscela.

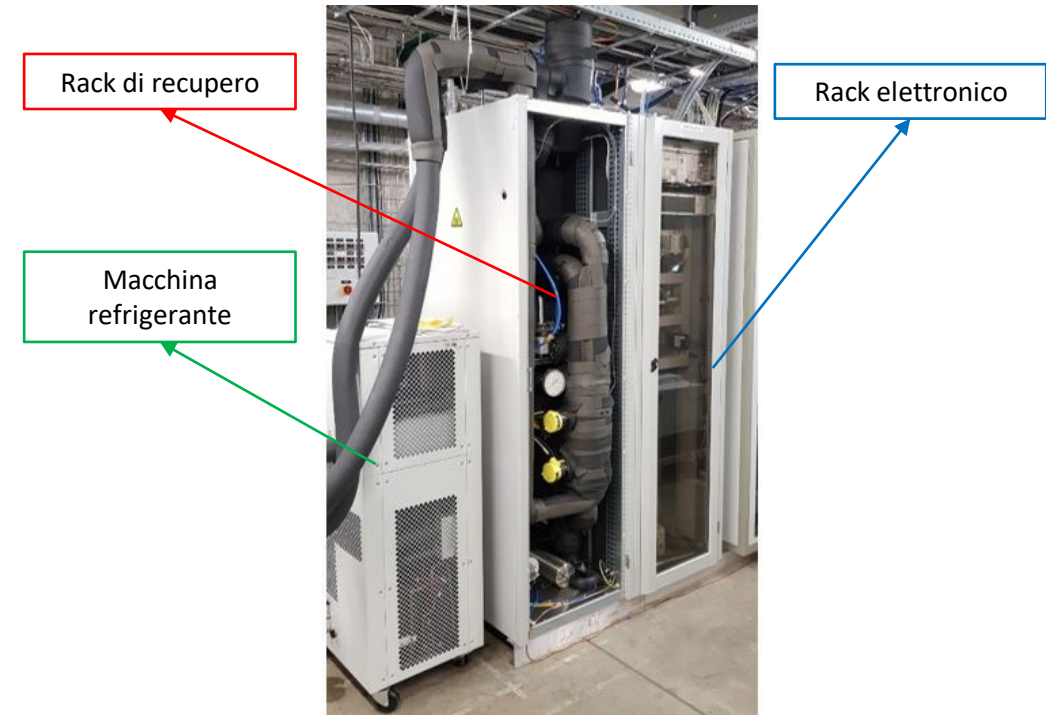
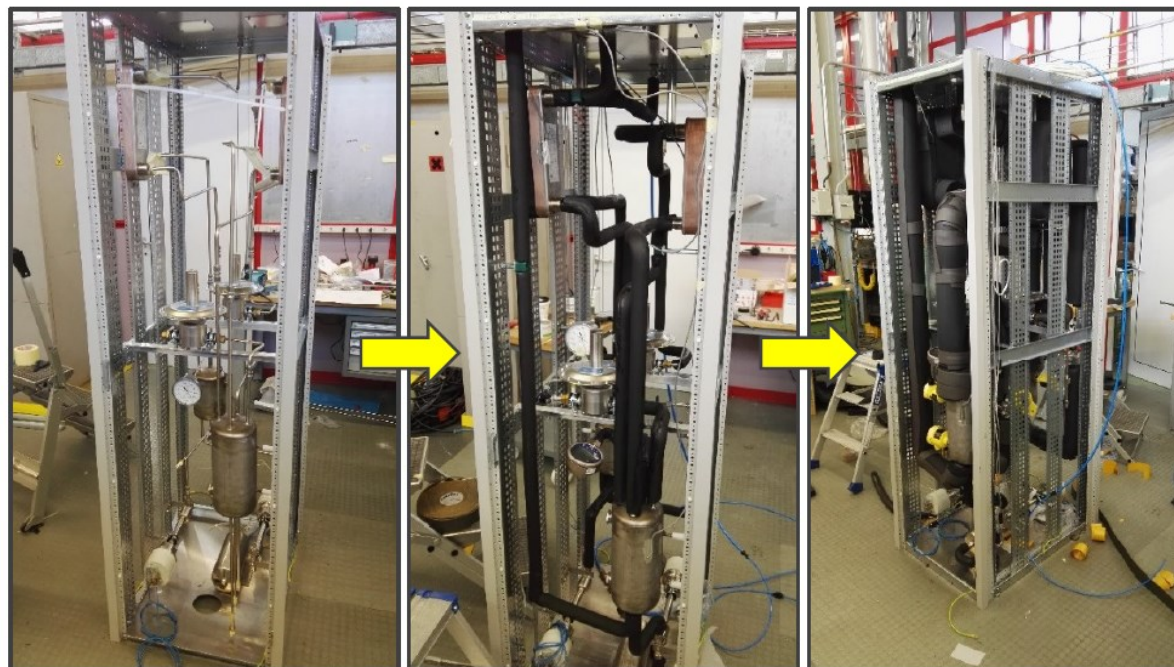
Un GC (gas cromatografo) è stato utilizzato per le analisi della composizione del gas recuperato.





Le fasi che hanno portato alla costruzione del prototipo si sono divise in due luoghi. La prima, di montaggio e test di tenuta, è stata eseguita in officina mentre la fase di analisi della bontà del progetto direttamente sul sito.

Si è deciso inoltre di suddividere la costruzione del prototipo in due differenti rack: il primo contenente le apparecchiature elettroniche (sensori di pressione, temperatura ecc...) per avere un controllo completo del sistema da remoto mentre nel secondo è stato inserito il sistema di recupero vero e proprio. Uno spazio dedicato è stato riservato alla macchina refrigerante.





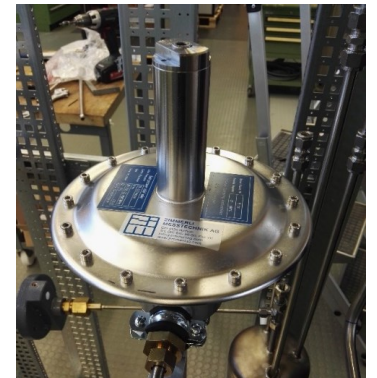
Il primo test preliminare è servito a verificare le reali percentuali dei gas contenuti nella miscela. Come punto di analisi è stata utilizzata una linea già esistente collocata dopo i purifier ma prima dell'inizio del sistema di recupero.

Analysis	Air		SF6		R134a		IC4H10	
	Area	%	Area	%	Area	%	Area	%
1	2350	0,0650	11742	0,3245	3431561	94,83	173056	4,78
2	2128	0,0574	11563	0,3119	3502190	94,48	191113	5,16
3	2062	0,0552	11402	0,3053	3540547	94,79	181267	4,85
4	2667	0,0713	11179	0,2987	3532848	94,38	196353	5,25
Average	2302	0,0622	11471	0,3101	3501786	94,62	185447	5,01
Std. Dev	272	0,0073	239	0,0110	49662	0,2219	10361	0,2261



Verificata la corretta composizione della miscela è stato fatto partire il recupero prestando attenzione a due parametri:

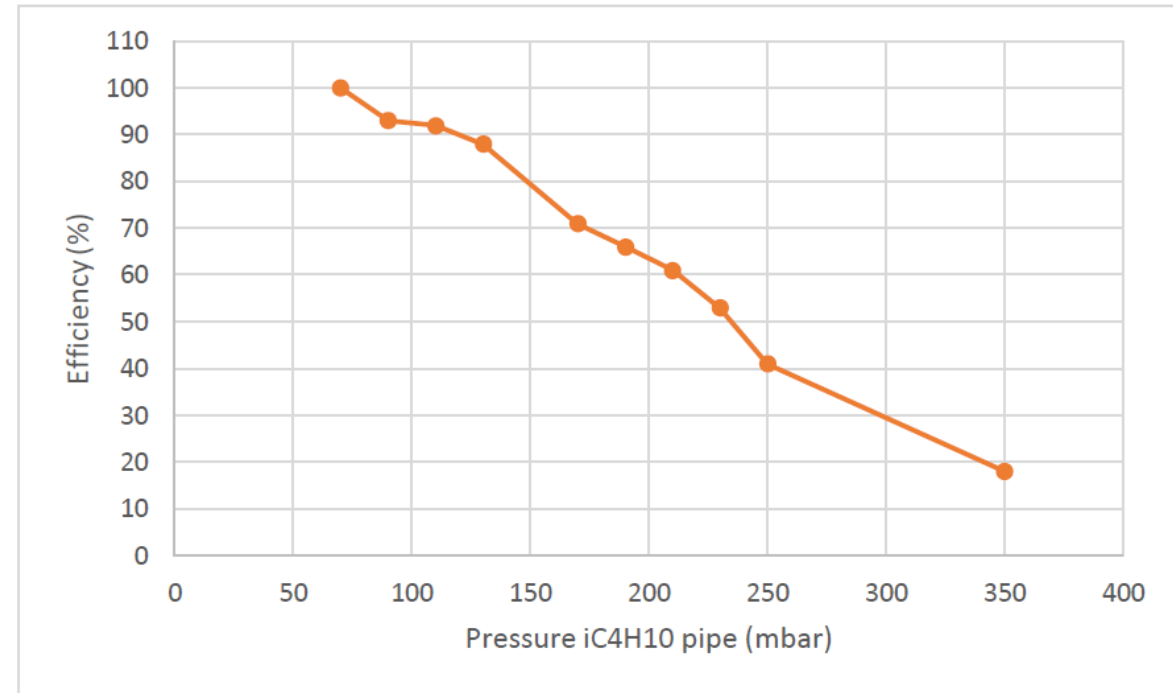
- Il  $\Delta P$  misurato dal sensore DPT001 collocato sul buffer di accumulo del freon. E' un parametro caratteristico che fornisce un'analisi della velocità di liquefazione del gas. Il valore massimo teorico raggiungibile, calcolato a partire dalla superficie del buffer e dalla composizione dell'R134a è pari a 5,1 mbar/h.
- Il valore di **pressione** della **linea dell'isobutano** (valvola PCV). Sperimentalmente si è osservato come riducendo la pressione della linea l'efficienza del recupero è migliore.



Si osserva come il valore dell'efficienza del sistema aumenti al diminuire della pressione, con un valore ottimale a 70 mbar (5,06 mbar/h recuperati).

Inoltre si è notato come diminuendo la pressione aumenti anche la temperatura misurata dai sensori presenti sul buffer dell'isobutano.

PT001	TE006	Eff.
mbar	°C	%
350	-19,6	19
250	-21,2	41
230	-21,4	53
210	-21,9	61
190	-22,1	66
170	-22,5	71
130	-7,4	88
110	-7,7	92
90	-7,5	93
70	-7,5	100

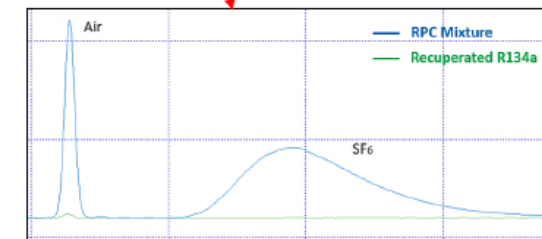
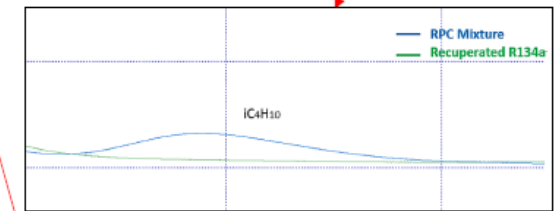
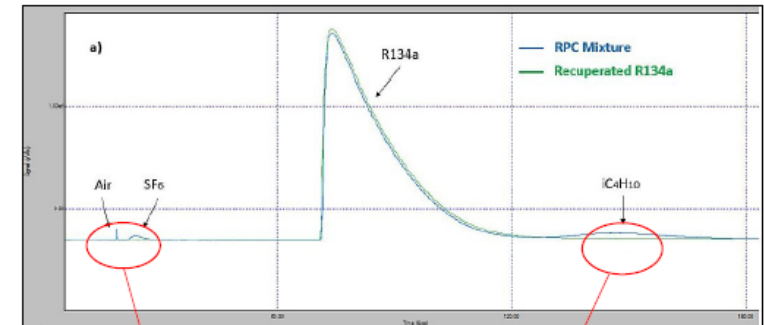


Nei primi test ( $P \geq 170$ mbar) si aveva una parziale condensazione del freon nel primo buffer. Dai test eseguiti a  $P \leq 130$ mbar, è possibile affermare come la liquefazione dell' R134a avvenga completamente nel secondo buffer. Considerazioni fatte analizzando sia l'efficienza ma anche i cromatogrammi (slide successive).

Contestualmente alla ricerca del punto di migliore efficienza venivano eseguite le analisi della qualità di gas recuperato rispetto al buffer del freon ottenendo i seguenti risultati:

TE006 [°C]	PT001 [mbar]	Analysis n°	Air		SF6		R134a		iC4H10	
			Area	%	Area	%	Area	%	Area	%
-21,2	250	Average	57	0,0015	0	0,0000	3848117	99,97	0	0,00
		Std. Dev	7,30	0,0002	0,00	0,0000	87437,91	0,0059	0,00	0,0000
-21,4	230	Average	48	0,0013	0	0,0000	3721424	99,97	0	0,00
		Std. Dev	1,90	0,0000	0,00	0,0000	22318,30	0,0036	0,00	0,0000
-21,9	210	Average	56	0,0015	0	0,0000	3658456	99,97	0	0,00
		Std. Dev	5,72	0,0002	0,00	0,0000	8225,40	0,0052	0,00	0,0000
-22,1	190	Average	66	0,0018	0	0,0000	3653242	99,97	0	0,0000
		Std. Dev	7,62	0,0002	0,00	0,0000	10775,93	0,0037	0,00	0,0000
-22,5	170	Average	47	0,0012	0	0,0000	3802621	99,96	0	0,00
		Std. Dev	0,96	0,0000	0,00	0,0000	72998,07	0,0040	0,00	0,0000
-7,4	130	Average	62	0,0017	0	0,0000	3646857	99,97	0	0,00
		Std. Dev	8,43	0,0002	0,00	0,0000	11483,16	0,0036	0,00	0,0000
-7,7	110	Average	48	0,0013	0	0,0000	3697819	99,96	0	0,00
		Std. Dev	3,81	0,0001	0,00	0,0000	18988,36	0,003	0,00	0,0000
-7,5	90	Average	54	0,0015	0	0,0000	3633904	99,96	0	0,00
		Std. Dev	9,72	0,0003	0,00	0,0000	7228,71	0,0040	0,00	0,0000
-7,5	70	Average	49	0,0013	0	0,0000	3780567	99,96	0	0,00
		Std. Dev	2,76	0,0001	0,00	0,0000	71074,92	0,0028	0,00	0,0000

Un ultimo test eseguito è stato quello di verificare l'eventuale presenza di strati nel buffer non visualizzabili da analisi singole. Il buffer contenente R134a è stato lasciato riempire completamente per poi eseguire ad intervalli di 30 minuti delle analisi fino al completo svuotamento, confermando l'uniformità del gas recuperato ed escludendo il fenomeno della stratificazione.



L'ultimo step, prima della convalida definitiva del prototipo, sarà quello di implementare un sistema di compressori e bombole per recuperare effettivamente il gas separato.

Nonostante ciò, si può affermare come questa prima fase sia correttamente riuscita avendo sviluppato un sistema che garantisce un'efficienza di recupero unitaria con una separazione ottimale della miscela e che quindi permetterebbe, in linea teorica, di continuare ad utilizzare il gas ricircolato (86%) e quello separato (14%) senza fare ricorso a nuove bombole, garantendo un risparmio sia in termini economici ma soprattutto a livello di emissioni ed inquinamento.

*GRAZIE PER L'ATTENZIONE*