

**ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITA' DI BOLOGNA**

**SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA
- Sede di Forlì -**

**CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA
Classe: L-9**

**ELABORATO FINALE DI LAUREA
In Disegno Assistito al Calcolatore**

**STUDIO E OTTIMIZZAZIONE DI UN SISTEMA DI
RIFORNIMENTO AUTONOMO PER AUTOVETTURE A METANO
GASSOSO**

**CANDIDATO
La Mattina Alessandro**

**RELATORE
Piancastelli Luca**

**Anno Accademico 2014-2015
Sessione: I**

INDICE

-CAPITOLO 1: IDEA

-CAPITOLO 2: IL RIFORNIMENTO DI GAS METANO OGGI

-CAPITOLO 3: IL COMPRESSORE A VITE

-CAPITOLO 4: LA COMPRESSIONE IN 4 STADI

-CAPITOLO 5: LA SCELTA DEI COMPONENTI

-CAPITOLO 6.L'ASSEMBLAGGIO

-CAPITOLO 7: COSTI

-APPENDICE: BIBLIOGRAFIA

CAPITOLO I: L'IDEA

Questa tesi nasce dall'idea di far fruttare la quantità di ore passate a studiare macchine idrauliche, essendo queste il tema centrale di molti esami, in particolare nell'ultimo anno. Ho pensato di occuparmi dell'ambito di rifornimento di metano per auto in quanto settore in espansione.

Il pensiero guida è stato il seguente: l'utente finale non considera tanti aspetti tecnici quanto piuttosto i riscontri pratici della vita da automobilista. Sa che tra gli svantaggi dell'acquisto di un'autovettura a metano ci sono una perdita di potenza relativa e un rifornimento più scomodo. Più scomodo perchè le stazioni di rifornimento del gas metano sono più rare rispetto a quelle a benzina o gpl e anche perchè la durata del pieno in sè è molto più lunga, anche 10 minuti.

Ho pensato che almeno questo ultimo aspetto era affrontabile. L'idea iniziale è stata quella di progettare un compressore nuovo in grado di occuparsi del rifornimento in tempi minori poichè avrebbe effettuato la compressione direttamente in bombola ma, dopo un iniziale fallimento, ho pensato a un nuovo sistema che non solo rende il rifornimento più veloce ma facilita anche l'installazione di una stazione di rifornimento.

CAPITOLO 2: IL RIFORNIMENTO DI GAS METANO OGGI

Vi sono diverse tipologie di stazione a seconda delle esigenze dei clienti. La più "standard" come funzionamento, che è quella che poi quasi sicuramente hanno le stazioni in Italia, è la seguente.

- La compressione -

Il gas proveniente dal metanodotto viene, prima di essere compresso dal compressore, filtrato e misurato dalla cabina di misura. Il compressore comprime il gas in uno stoccaggio (solitamente da 1120 litri) il quale è diviso in 2 settori (media e alta pressione). La priorità dell'unità di compressione è quella di mantenere le bombole adibite ad alta sempre ad una pressione di 220-250 bar. Una volta che lo stoccaggio è pieno (media e alta entrambe a 220 bar) il compressore si ferma. Ognuno dei 2 settori ha una propria linea che arriva all'erogatore.

- Il rifornimento -

Quando un veicolo è collegato all'erogatore, il gestore apre la valvola a 3 vie posta sulla pistola e mette in comunicazione lo stoccaggio della stazione con la bombola dell'auto.

Il rifornimento inizia per travaso dal settore di media pressione. Quando le pressioni si equilibrano, commuta e inizia il travaso dall'alta pressione. Se la pressione del settore di alta è sufficiente, il rifornimento viene completato, altrimenti, si avvia il compressore che "spinge" gli ultimi m³ di gas.

- dettagli sul rifornimento e la sua fine -

Il rifornimento viene completato quando la pressione nella bombola del veicolo raggiunge i 220 bar. Questa pressione viene controllata da un trasduttore di pressione posto all'interno dell'erogatore.

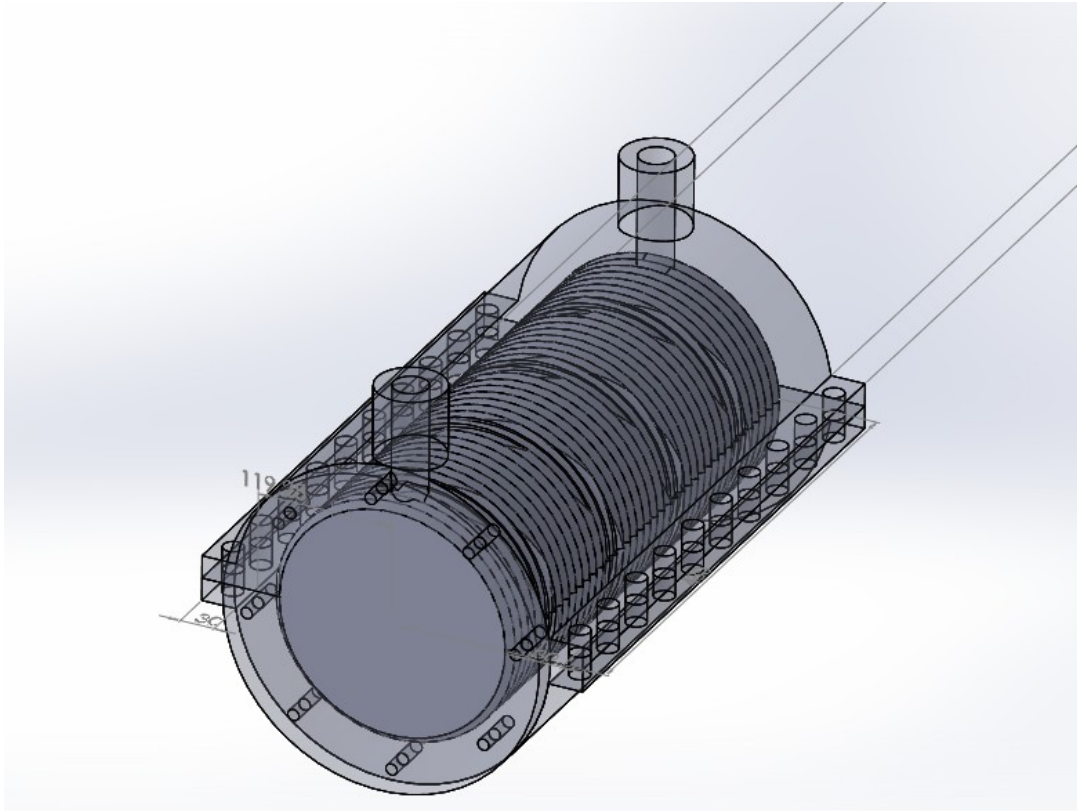
Il misuratore massico, che è il cuore dell'erogatore, provvede a misurare il gas in kg compensando temperatura e pressione e fornendo poi i dati alla testata dove viene poi visualizzato il prezzo e l'erogato.

Quindi l'erogatore rifornisce a massa (kg) mentre la fine erogazione è gestita in pressione (220 bar). Questo fa sì che più il gas arriva caldo alla bombola del veicolo meno km potrà fare con un pieno il cliente.

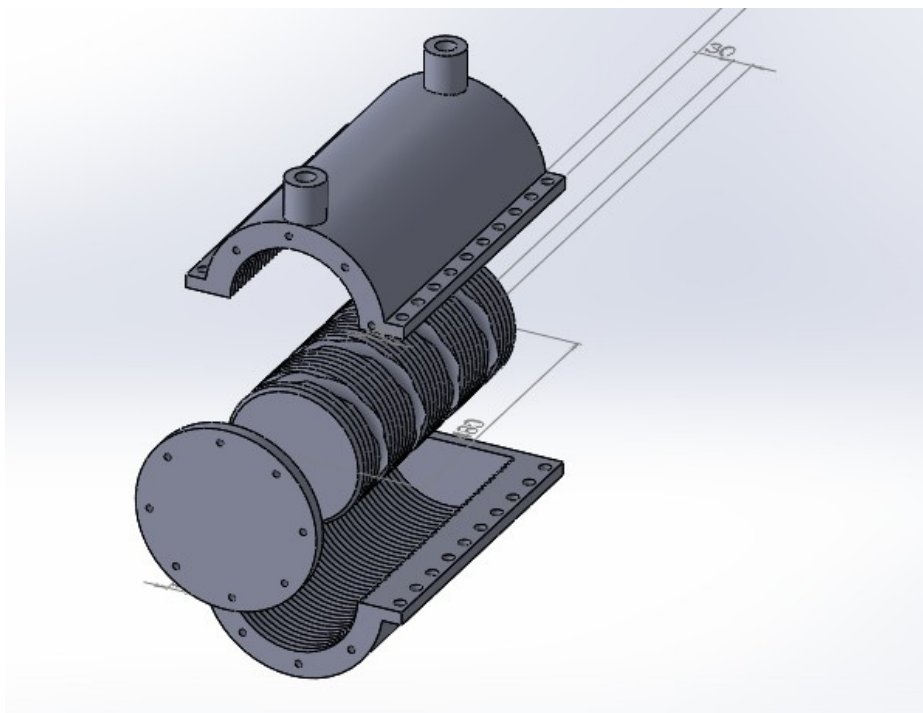
Per ovviare a questo piccolo inconveniente può essere fornito come opzionale un gruppo frigo il quale raffredda il gas prima che questo arrivi all'erogatore.

CAPITOLO 3: IL COMPRESSORE A VITE

Come già detto in precedenza, l'idea iniziale è stata quella di progettare una tipologia di macchina innovativa e applicarla a questo settore. Il primo passaggio è stato il tentativo di progettare un compressore volumetrico a spirale. A seguire le immagini:

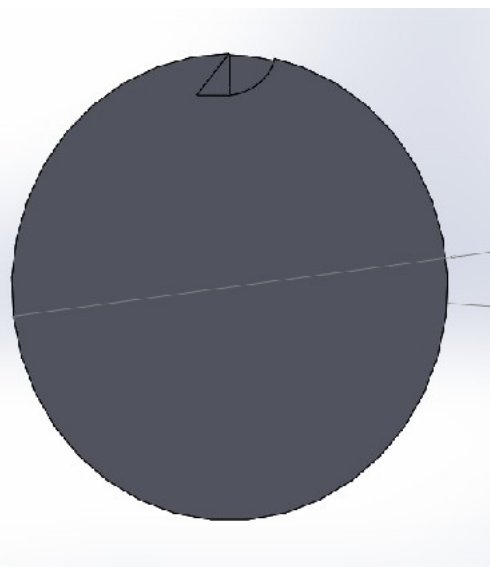
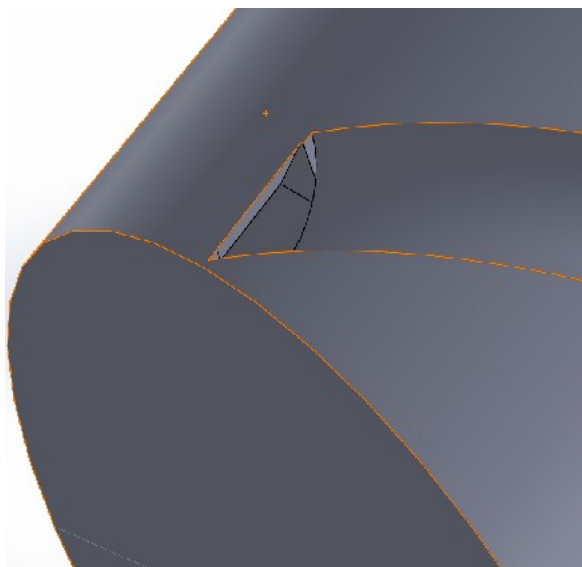
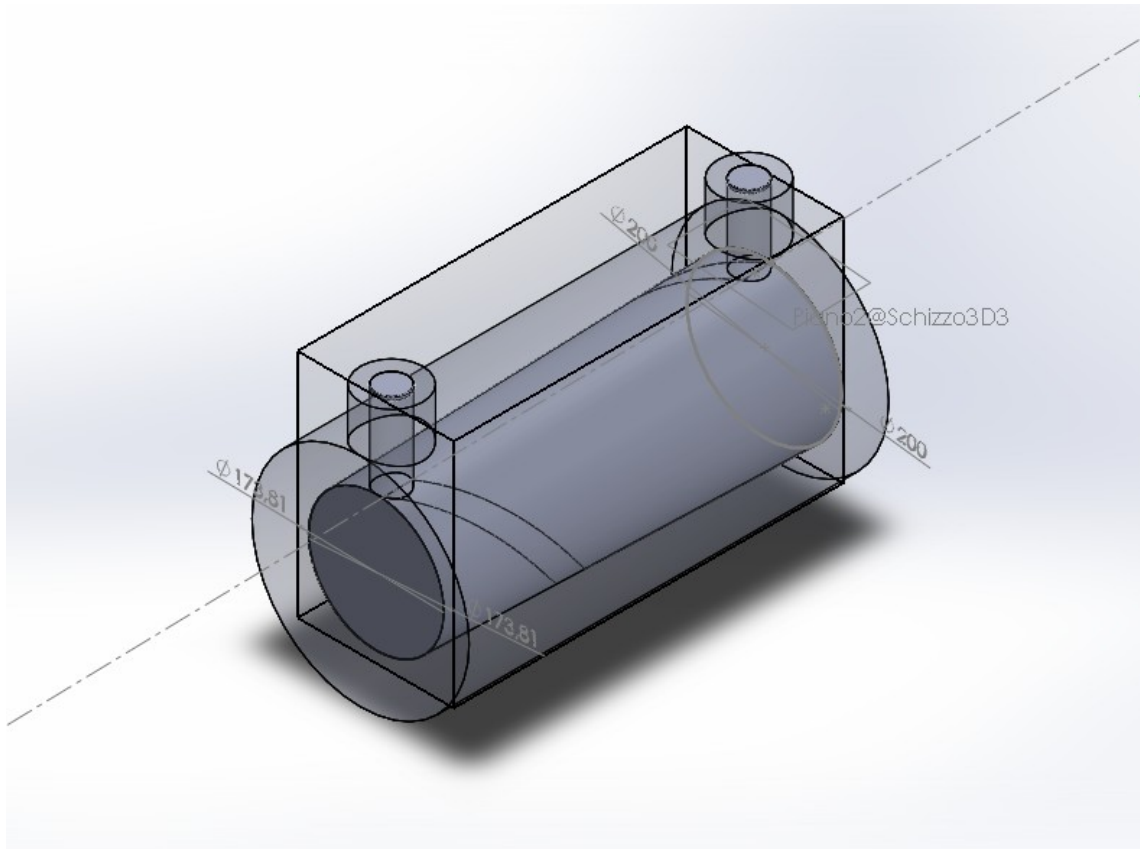


Questa è la vista esplosa che permette di capire un po' meglio i componenti.



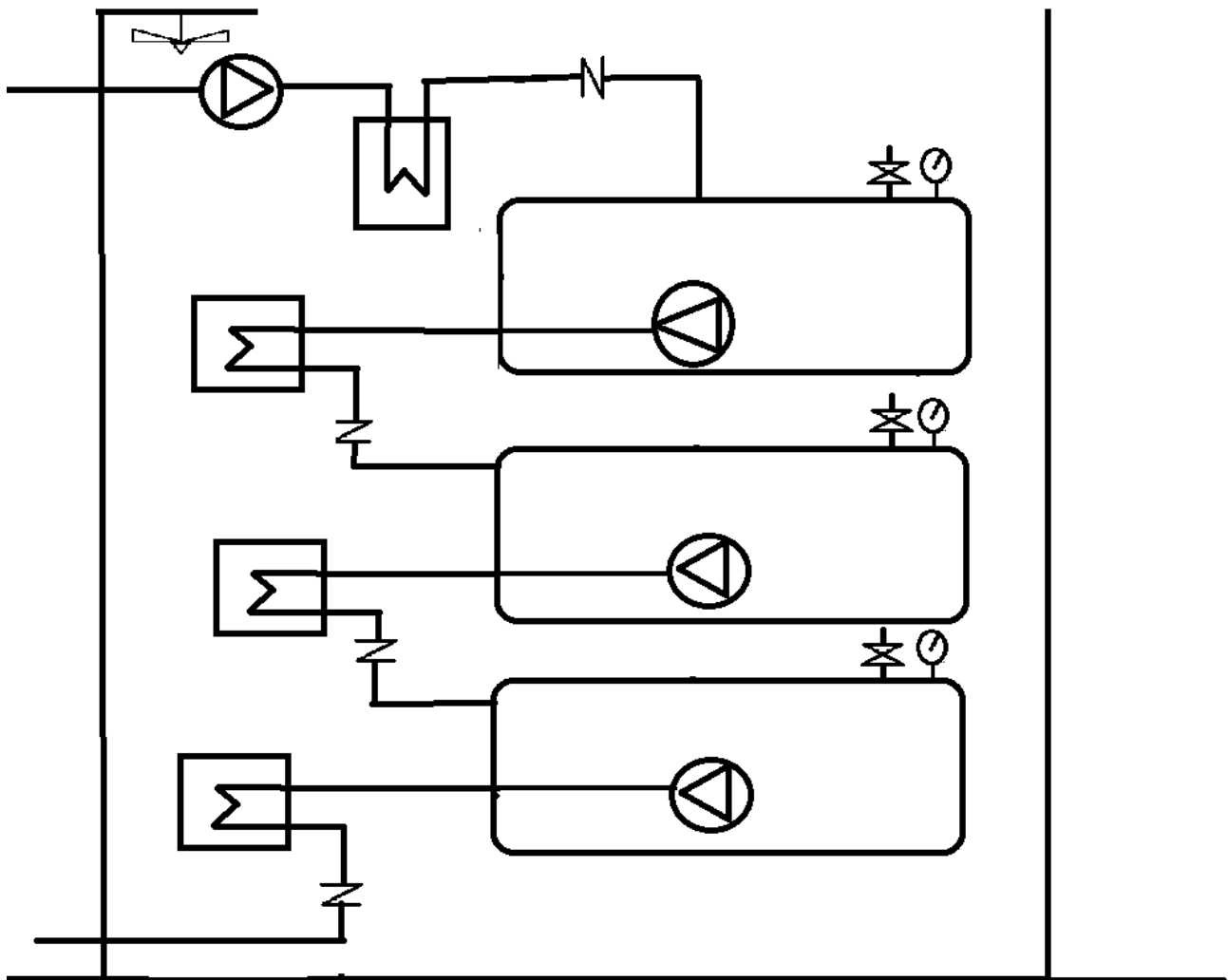
Questo è stato il primo approccio. E' servito soprattutto come riscaldamento poichè era molto tempo che non usavo più il software Solidworks per il disegno tecnico. Il funzionamento dell'oggetto è piuttosto semplice: il gas entra da un'apertura dove incontra questo albero rotante dotato di un canale a spirale che porta il gas fino all'uscita. La zigrinatura è un sistema di tenuta interna per evitare che a causa della pressione il gas torni indietro lungo gli interstizi albero-guscio. Le due aperture sono munite di valvole di non ritorno, non presenti nel disegno.

Il passo successivo è stato quello di disegnare un modello semplificato per calcolare la portata. Per rendere effettiva la compressione ho aggiunto una lieve conicità all'albero e ho aggiunto un effetto di concavità al profilo iniziale della scanalatura.



La prova con Solidworks Flow Simulation ha dimostrato che un tale dispositivo non fornisce la portata necessaria a raggiungere l'obiettivo. Vero è che probabilmente con qualche opportuna modifica sarebbe possibile farlo funzionare adeguatamente ma ho ritenuto che non ne valesse la pena.

CAPITOLO 4: LA COMPRESSIONE IN 4 STADI



La soluzione di ripiego, che si è dimostrata ben più valida, è stata la progettazione di un impianto di compressione in 4 stadi interrefrigerati. Questo unisce il vantaggio dell'idea precedente della compressione direttamente in bombolo, piuttosto che in stoccaggi intermedi, alla possibilità di montare un impianto composto da componenti commerciali. I costi saranno quindi contenuti e l'installazione molto semplice.

L'impianto comincia dall'allacciamento alla rete di fornitura del gas, supposta nelle peggiori condizioni di temperatura possibili qui in Italia, cioè 35 °C. I dati di partenza sono dunque i seguenti:

costante del metano- $R=518 \text{ J/K mol}$
 indice della politropica- $n=1.2$
 calore specifico- $c_p=2.34$
 pressione- $P=1 \text{ bar}$
 temperatura- $T=308.15 \text{ K}$
 Incremento di pressione dello stadio- $P_{ratio}=5$
 tempo di riempimento- $T=300 \text{ s}$
 massa contenuta nella bombola- $M=30 \text{ kg}$
 rendimento di compressione- $\eta_{comp}=0.19$
 rendimento elettrico- $\eta_{elet}=0.6$
 portata massica- $G_m=M/T=0.1 \text{ kg/s}$

Per ogni stadio ho ripetuto questi calcoli:

densità- $\rho=P/(R*T)$
 portata volumetrica- $G_v=G_m/\rho$
 $P_1 V_1^n = P_2 V_2^n \rightarrow V_2$ (volume specifico in uscita)
 $P_2 V_2 = R T_2 \rightarrow T_2$ (temperatura in uscita)
 calore disperso nella compressione- $Q_{comp} = G_m (T_2 - T_1) c_p$
 lavoro di compressione- $L_{comp} = Q_{comp} / \eta_{comp}$
 lavoro elettrico- $L_{elet} = L_{comp} / \eta_{elet}$
 energia totale da dissipare- $E = L_{comp} / \eta_{comp} + L_{elet} / \eta_{elet}$

	P ratio	Ti	Pi	Pu	rhoi	Gv
1° stadio		5 308.15 K	1 bar	5 bar	0.62 Kg/m ³	9.5 m ³ /min
2° stadio		5 308.15 K	5 bar	25 bar	3.13 kg/m ³	1.92 m ³ /min
3° stadio		5 308.15 K	25 bar	125 bar	15.65 Kg/m ³	0.384 m ³ /min
4° stadio	0,7	308.15 K	125 bar	200 bar	78.26 kg/m ³	0.078 m ³ /min

TOT

vu	Tu	Q comp	L comp	L elet	E tot
0.41 m ³ /kg	402.95 k	22.18 W	116.76 W	194.6 W	938.86 W
0.0835 m ³ /kg	402.76 k	22.14 W	116.52 W	194.2 W	936.93 W
0.016 m ³ /kg	385.88 k	18.19 W	95.73 W	159.54 W	255.27 W
0.00857 m ³ /kg	330.7 k	5.27 W	27.73 W	46.23 W	223 W
					2354 W

CAPITOLO 5: SCELTA DEI COMPONENTI

Viene installato lo stesso compressore in ogni stadio e ognuno di essi viene regolato secondo le specifiche caratteristiche in cui è impiegato. Il compressore selezionato, opportunamente privato di bombola e adattato, è il Michelin MCX 100 B.



La scheda tecnica è la seguente:

TIPO	Volt/Hz/ph	M ³ /min	bar	cilindri	peso	dimensione
MCX 100 B	230/50/1	10	8	2	58 kg	700X550X400

Il modello di chiller impiegato è il Eurochiller GC3-GCW. Le caratteristiche sono le seguenti:

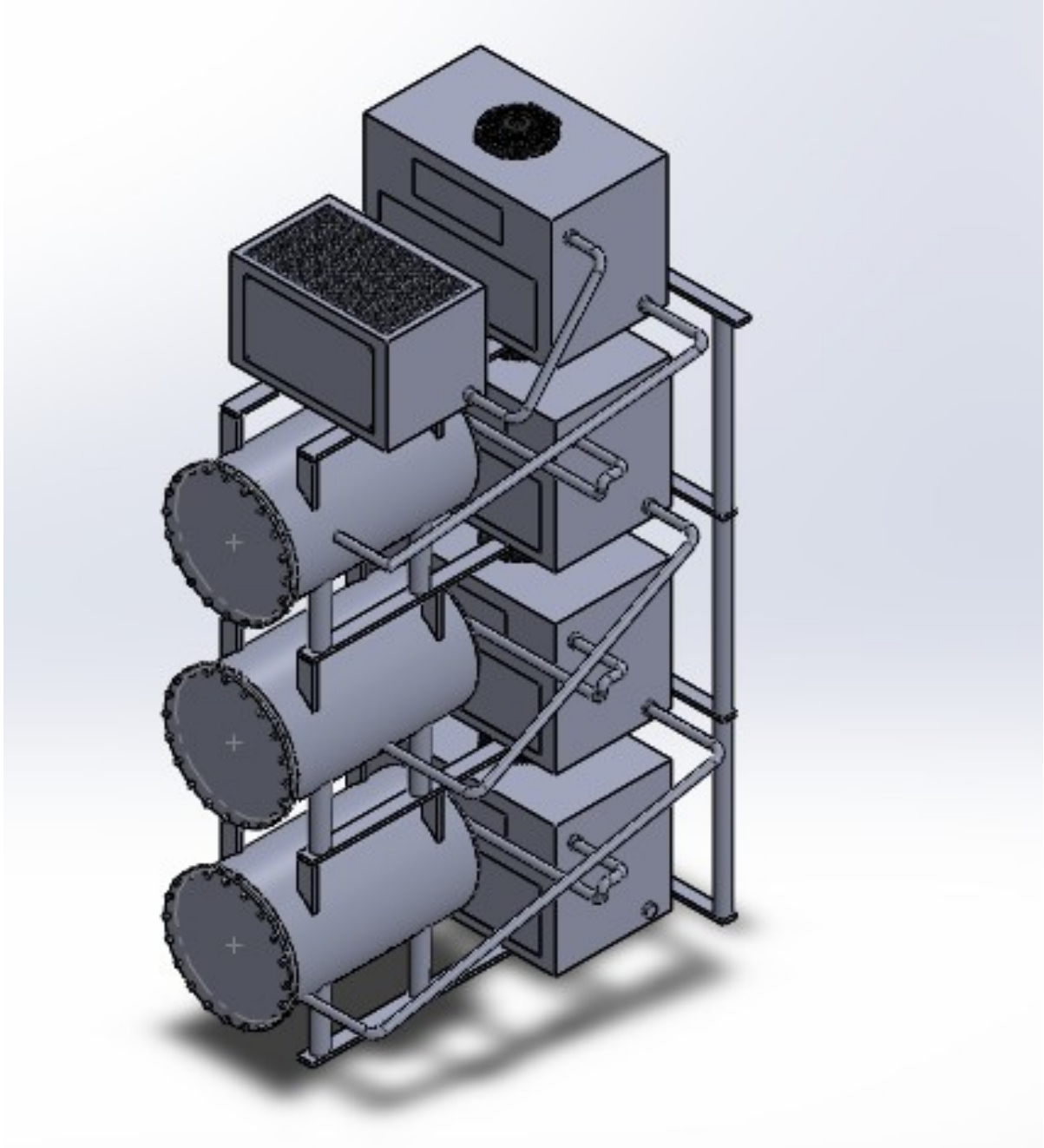
Pot. Raffreddamento (kW)	3.7
Pompa acqua (kW)	0
Accumulo Acqua (L)	15
Attacco acqua (inch)	1"
Ventilatori	1
Livello sonoro (dB)	50
Tensione (V)	400
Massima potenza impegnata (kW)	1.6
Massima potenza assorbita (kW)	1.38
Dimensioni (mm)	685X610X985
Peso (kg)	70



CAPITOLO 6: ASSEMBLAGGIO

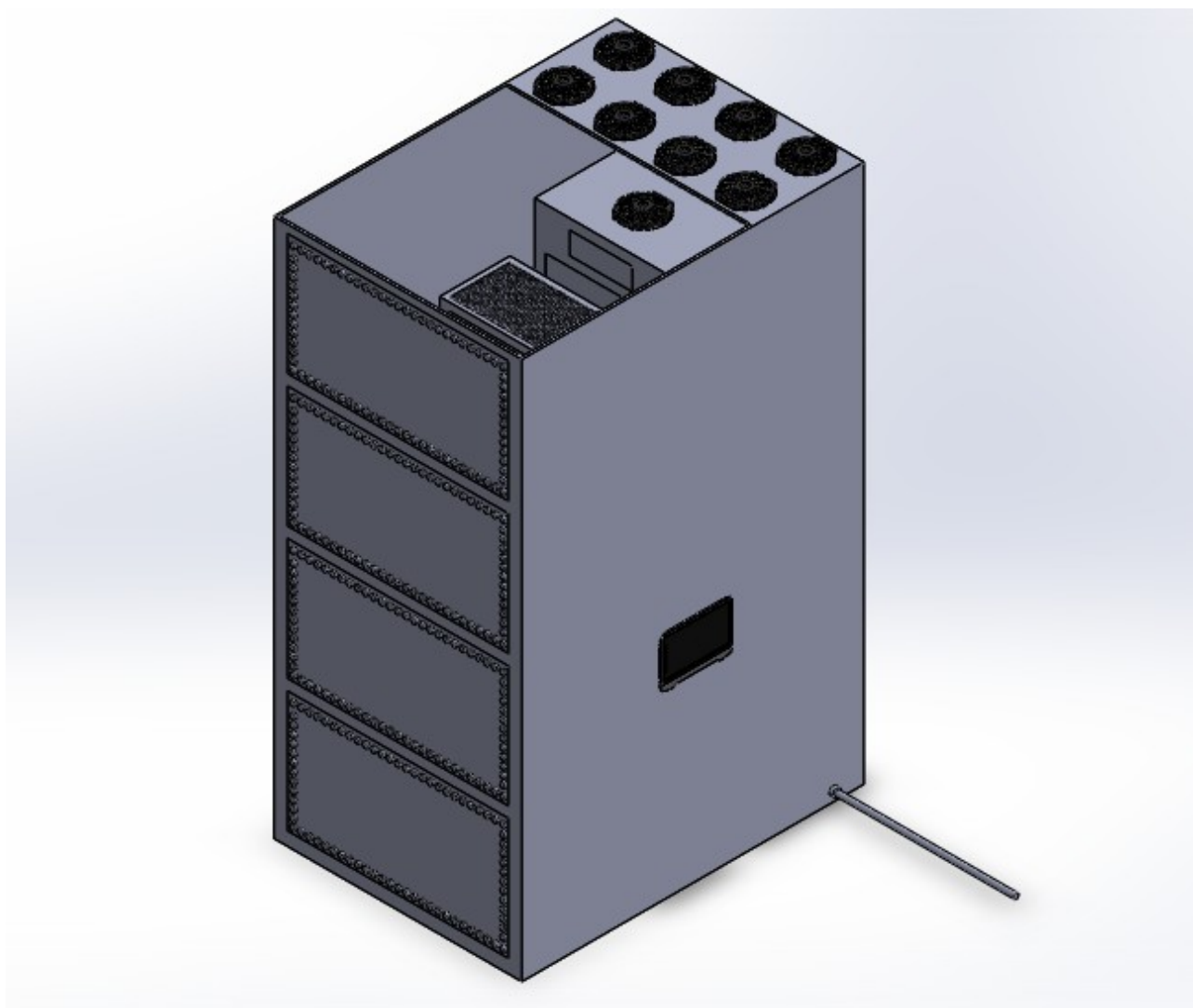
Le quattro unità di compressione sono impilate come nello schema di impianto visto precedentemente. Il primo compressore è contenuto in un box dotato di filtro anti-impurità mentre i successivi sono contenuti in cisterne apposite, atte a mantenere l'atmosfera creata da compressione e raffreddamento ottenuti nello stadio precedente.

I quattro chiller sono posizionati dietro le cisterne con i radiatori posizionati verso la parete posteriore.



Ci sono alcuni elementi non visibili nel disegno ma ugualmente presenti. Ogni condotta di collegamento tra il chiller dello stadio n-1 e il compressore n è dotata di una valvola di non ritorno. Ogni cisterna è dotata di un sensore di pressione e di una valvola di sfogo nel caso che la pressione superi i livelli di guardia.

L'intero impianto è contenuto in una gabbia di acciaio con apertura verso l'alto che in caso di detonazione dell'impianto, ne convoglia la potenza verso l'alto minimizzando lo spargimento di frammenti metallici pericolosi. La gabbia è dotata di 4 pannelli rimovibili che consentono un facile accesso al comperchio della cisterna dello stadio relativo, nel caso che uno dei compressori richieda manutenzione. La gabbia è poi sufficientemente larga da consentire a un operatore di entrare all'interno e lavorare su tutti gli altri componenti dell'impianto.

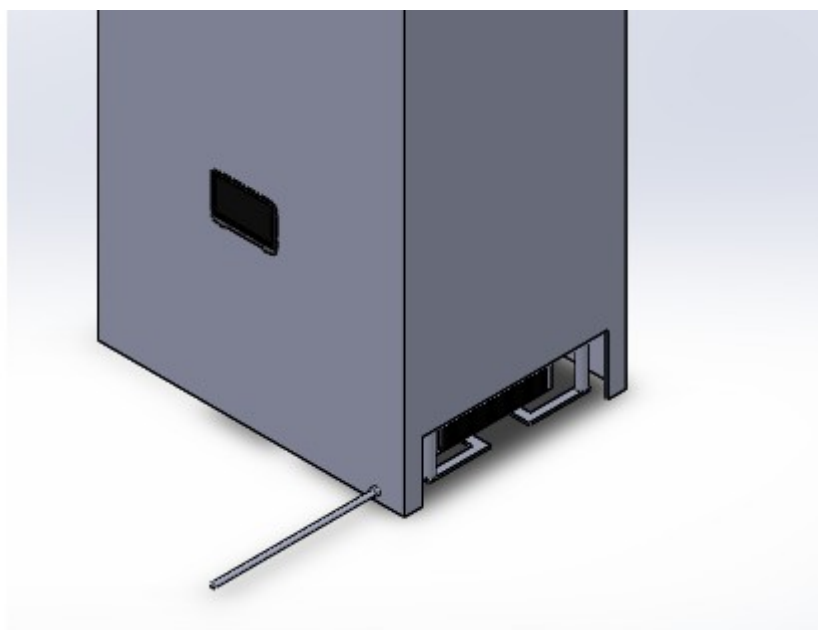


In cima alla gabbia sono posizionate otto ventole Dayton 13F050. Ecco le specifiche:

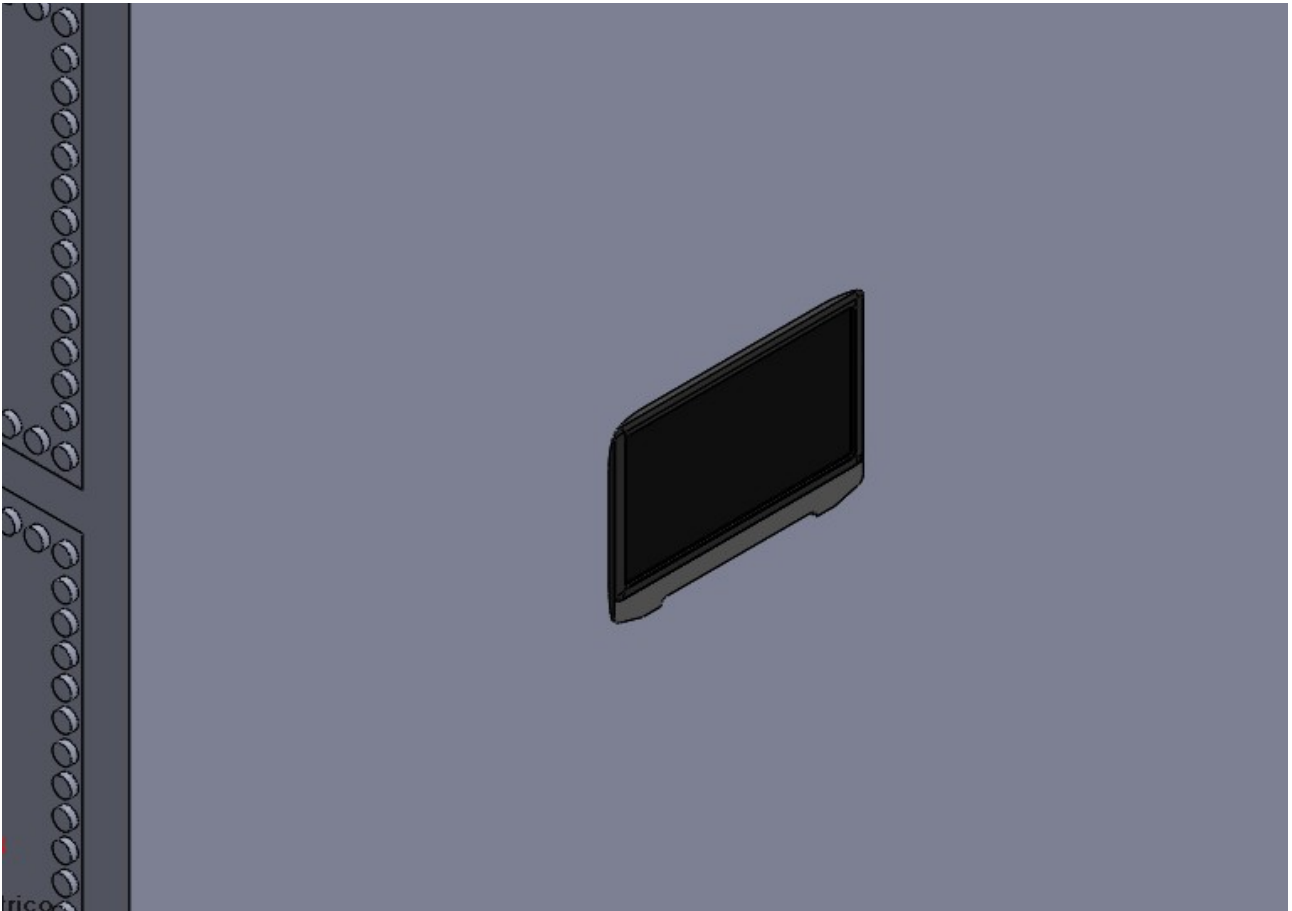
Blade Diameter	Air Flow	Voltage
16"	3100 cfm	115/230



Queste ventole sono atte a mantenere un flusso continuo di aria a temperatura ambiente in modo da facilitare il lavoro dei chiller, in particolare anche di quelli ai livelli inferiori che vedono la propria provvista d'aria inquinata dall'aria calda che fuoriesce dagli stadi precedenti. Il fondo della gabbia è provvisto di un'apertura che permette la fuoriuscita del flusso caldo all'esterno.



L'intero impianto è poi monitorato da un sistema OBD 8.2 MODIS ELITE INDUSTRIAL che in caso di grave malfunzionamento (perdita di gas, picchi di temperatura) blocca tutto. L'OBD avverte su cellulare l'addetto dell'impianto e mostra il tipo di guasto sul monitor touchscreen esterno. A quel punto l'OBD consente di svuotare in sicurezza l'impianto in modo da far intervenire la manutenzione.



CAPITOLO 7: COSTI

E' possibile stimare i costi dell'impianto a partire dai costi dei vari componenti ma il costo dell'installazione in sè è difficilmente definibile in quanto l'onere dell'assemblaggio può variare.

Compressori	350X4 euro
Chiller	2000X4 euro
Cisterne+gabbia	120X3 euro+199 euro
Ventilatori	568X8 euro
OBD	7600 euro
TOT	14903 euro

APPENDICE: BIBLIOGRAFIA

Per la stesura di questa tesi ho usato le seguenti fonti:

- catalogo online fiac michelin
- catalogo online ita/eng/deu eurochiller GC
- catalogo online Dayton
- sito sapon.com