



Università degli studi di Padova

Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali

Corso di Laurea Triennale in Meccanica e Meccatronica

Tesi di Laurea Triennale

Progettazione di una camera climatica per test di trasporto su prodotti industriali

“Design of an environmental chamber to test the transport of industrial products”

RELATORE: CH.MO PROF. Mauro Gamberi

LAUREANDO: Matteo Tonello

ANNO ACCADEMICO: 2012/2013

Indice

1. Introduzione	3
2. Flusso e scambio termico	4
2.1 Conduzione termica	4
2.1.1 Strato piano composto.....	6
2.1.2 Flusso termico per conduzione attraverso 5 pareti della camera	7
2.1.3 Flusso termico per conduzione attraverso la porta.....	8
3. Riscaldamento	13
3.1 Principio di funzionamento della resistenza	13
3.1.1 Resistenza.....	14
4. Ventilatore	18
4.1 Perdite di carico	19
4.1.1 Perdite di carico distribuite	19
4.1.2 Perdite di carico localizzate	21
4.2 Ventilatore	22
5. Misura e mantenimento della temperatura	25
5.1 Principio di funzionamento della termocoppia	25
5.1.1 Procedimento di misura	29
5.2 Termoregolatore.....	30
6. Conclusioni	31
7. Bibliografia	33

1.INTRODUZIONE

I prodotti industriali vengono progettati in base al loro utilizzo e per farlo si tiene conto di molteplici parametri. Raramente sono prodotti ed installati nello stesso posto, essi dovranno quindi essere trasportati.

Al giorno d'oggi i mezzi di trasporto sono molti ed ognuno possiede caratteristiche diverse.

Nasce così l'esigenza di conoscere se, e in che misura, i prodotti industriali subiscono un deterioramento nella fase di trasporto.

Di tutte le caratteristiche dei mezzi di trasporto, a me interessa la frequenza ed intensità di vibrazioni prodotte, perchè sono queste che, a lungo andare, danneggiano il prodotto.

Per simulare queste vibrazioni uso uno shaker presente in laboratorio e lo colloco all'interno di una camera climatica capace di raggiungere e mantenere temperature fino a 100°C; in questo modo simulo tutti i trasporti fatti a diverse temperature.

Uso poi il software di progettazione "Solid Age" per vedere come sarà fatta realmente tale camera.

L'Obiettivo è quello di dimensionare tutte le parti necessarie per costruire tale camera avente le seguenti dimensioni:

- ✦ base 1,5m
- ✦ altezza 1m
- ✦ profondità 1m

Al termine del progetto dovrò essere in grado di conoscere dove posso trovare e che tipo di componenti ho bisogno per poterla realizzare.

Ci sono quattro argomenti da considerare per essere sicuri di raggiungere l'obiettivo senza tralasciare aspetti importanti.

1. Flusso e scambio termico
2. Riscaldamento
3. Ventilazione
4. Controllo e mantenimento della temperatura.

2.FLUSSO E SCAMBIO TERMICO

Come prima cosa devo scegliere il materiale e lo spessore adeguato per contenere al più possibile la perdita di calore; per far ciò bisogna aver chiaro i principi della conduzione termica.

2.1 Conduzione termica

La conduzione termica che, da un punto di vista macroscopico si manifesta come scambio di calore all'interno di corpi solidi, liquidi e gassosi senza movimento apparente di materia, è dovuta alla cessione di energia cinetica da parte di molecole in zone ad alta temperatura, verso altre molecole in zone adiacenti a più bassa temperatura.

Si consideri uno strato solido di materiale omogeneo ed isotropo, limitato da due superfici piane parallele a distanza l . Le due superfici siano:

- ⤴ molto estese in modo che possano essere immaginate praticamente infinite.
- ⤴ abbiamo temperature uniformi rispettivamente t_1 e t_2 ($t_1 > t_2$).

Se queste temperature sono mantenute fisse per un tempo sufficientemente lungo, anche tutte le temperature all'interno dello strato sono costanti. Le superfici isoterme in esso sono piani paralleli alle superfici esterne. Si consideri ora la parte di solido costituito da un cilindro con l'asse perpendicolare alle superfici e avente sezione (Fig.1)

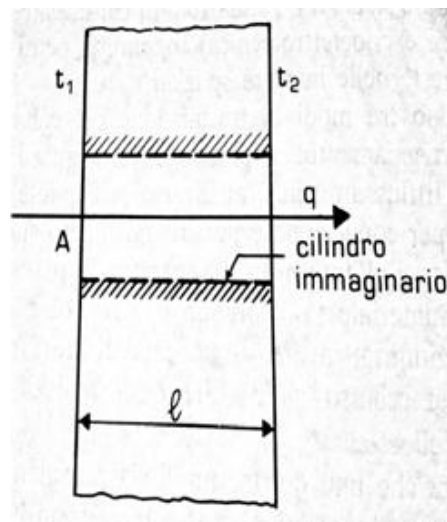


Fig.1: Flusso termico in uno strato piano

Se il cilindro è nel centro dello strato si suppone che non vi sia flusso di calore attraverso la superficie laterale.

In queste condizioni l'esperienza dice che la quantità di calore che passa attraverso lo strato di sezione A nell'intervallo di tempo Δt è espressa da:

$$q = \frac{\lambda}{l} \cdot (t_1 - t_2) \Delta t \quad (1.0)$$

Questa formula che va sotto il nome di legge di Fourier, definisce il coefficiente λ detto *conduttività termica*, caratteristico del materiale di cui è composto lo strato.

La formula sopra citata può essere espressa anche in termini di flusso:

$$q = \frac{Q}{\Delta t} = \lambda \frac{A}{l} (t_1 - t_2) \quad (2.0)$$

La conduttività termica λ rappresenta pertanto la quantità di calore che è trasmessa per unità di tempo, per una superficie trasversale, per unità di spessore dello strato e per la differenza di temperatura unitaria. Essa si misura in Watt per metro e per grado ($W/m^{\circ}K$).

Generalmente si deve considerare il fenomeno dello scambio termico fra una superficie e il fluido che lo lambisce, esso è governato dalle leggi della dinamica dei fluidi e della conduzione.

Detta t_1 la temperatura della superficie e t_2 quella del fluido che la lambisce, la relazione che esprime il flusso termico, stabilita da Newton nel 1701, è la seguente:

$$q = \alpha_c A (t_1 - t_2) \quad (3.0)$$

Se il movimento del fluido avviene per differenza di densità dovuta alla differenza di temperatura in un campo di forze di massa quale la gravità, si parla di convezione naturale; invece se il movimento avviene prevalentemente per l'azione di un agente esterno, quale pompa o ventilatore, si parla di conduzione forzata.

In molti casi pratici si presentano problemi di conduzione del calore in regime stazionario, nei quali cioè i valori della temperatura e del flusso termico non dipendono dal tempo. L'equazione generale della conduzione si riduce allora all'equazione di Poisson che in coordinate cartesiane si scrive:

$$\frac{\delta^2 t}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 t}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 t}{\delta z^2} + \frac{H}{\lambda} = 0 \quad (4.0)$$

che nel caso in cui non c'è generazione interna di calore si riduce nell'equazione di Laplace:

$$\frac{\delta^2 t}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 t}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 t}{\delta z^2} = 0 \quad (5.0)$$

Si tratta in questi casi di determinare le temperature dei vari punti del dominio in esame in relazione alle condizioni e limiti, e di determinare il flusso attraverso le superfici.

2.1.1 Strato piano composto

Nel caso dello strato piano composto di due strati di materiali diversi (Fig. 2) di spessori l_1 e l_2 conduttività termiche λ_1 e λ_2 , siano a temperature t_1 t_2 le temperature sulle facce estreme.

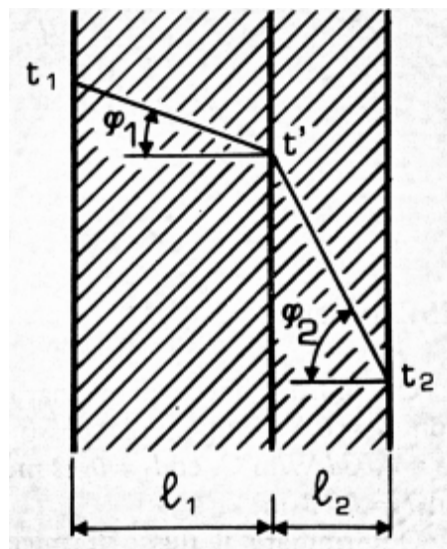


Fig.2: Flusso termico attraverso strato composto

Detta t' la temperatura della superficie di separazione si può scrivere:

$$q = \frac{\lambda_1 A}{l_1} (t_1 - t') = \frac{\lambda_2 A}{l_2} (t' - t_2) \quad (6.0)$$

da cui

$$q = \frac{1}{\frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2}} A (t_1 - t_2) \quad (7.0)$$

2.1.2 Flusso termico per conduzione attraverso 5 facce

Noti i principi sopra citati, decido che le pareti della mia camera siano fatte di “pannelli sandwich”

costituiti da due strati di lamiera di ferro separati da uno strato di lana di vetro.

Conoscendo le conduttività termiche del ferro e della lana di vetro, le temperature interna ed esterna posso calcolarmi il flusso termico che, per me, sarà una perdita di calore.

Considerando che la mia camera si trovi in un laboratorio a 20°C ($t_{esterna} = 20^\circ\text{C}$).

Siano:

- ⤴ L lo spessore
- ⤴ λ la conducibilità
- ⤴ t la temperatura

Nello specifico avrò quindi:

L_{Fe} [m]	2,00E-003
L_{lana} [m]	0,05
λ_{Fe} [W/m°K]	50
λ_{lana} [W/m°K]	0,04
$t_{interna}$ [°K]	373
$t_{esterna}$ [°K]	293

Usando la 7.0 ottengo:

$$\frac{q}{A} = \frac{1}{\frac{L_{Fe}}{\lambda_{Fe}} + \frac{L_{lana}}{\lambda_{lana}} + \frac{L_{Fe}}{\lambda_{Fe}}} (t_{interna} - t_{esterna}) = 64 \frac{W}{m^2}$$

L'area totale di scambio è di 5 pareti, in quanto la sesta parete è costituita dalla porta, avente caratteristiche diverse.

$$A_{scambio} = A_{parete} * n_{pareti} = 1,5 m^2 * 5 = 7,5 m^2$$

quindi il flusso di calore dall'interno verso l'esterno sarà di:

$$q_{TOT} = q * A_{scambio} = 64 \frac{W}{m^2} * 7,5 m^2 = 480 W$$

2.1.3 Flusso termico per conduzione attraverso la porta

La mia porta la progetto usando due “coperchi” affacciati tra di loro, con al centro un vetro delle dimensioni di 250 x 200x 3 mm che mi permette di guardare all'interno della camera, qui non uso la lana di vetro tra le due pareti. Entrambi i coperchi sono stati ricavati da una lastra di ferro spessa 2mm; un coperchio è alto 30mm mentre l'altro è alto 26mm, questo per ottenere il profilo rappresentato in figura 3

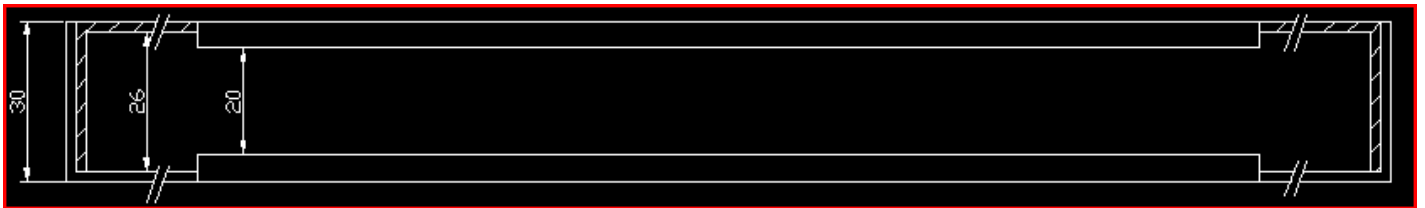


Fig.3 : sezione frontale della porta

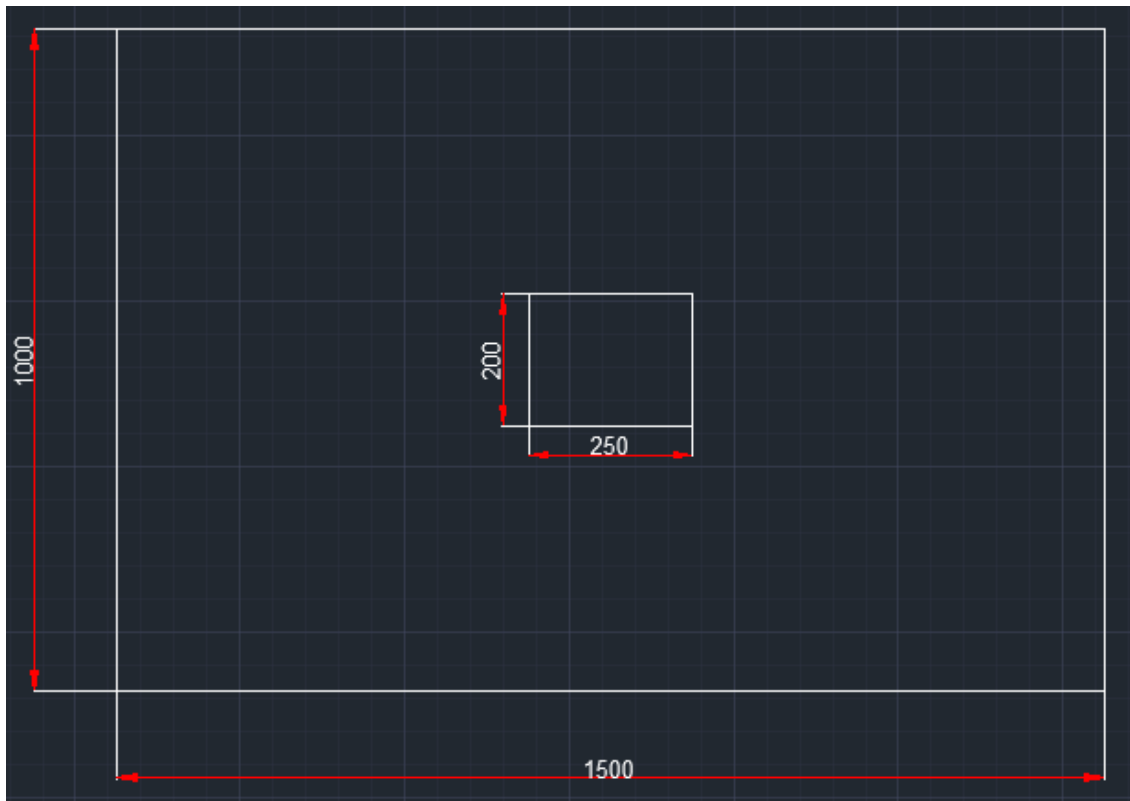


Fig.4: Vista frontale della porta

Per calcolare in flusso di calore attraverso la porta devo tener conto:

- ✦ area di scambio costituita dal vetro è di:

$$A_{\text{vetro}} = 250\text{mm} * 200\text{mm} = 0,005 \text{ m}^2$$

- ✦ area di scambio costituita dalla lamiera di Fe è di :

$$A_{\text{Fe}} = A_{\text{TotFe}} - A_{\text{vetro}} = 1,5 \text{ m}^2 - 0,005 \text{ m}^2 = 1,45 \text{ m}^2$$

- ✦ spessore del vetro l_{vetro} è di 3mm
- ✦ conducibilità termica λ_{vetro} è di 0,8 W/(m°K)
- ✦ spessore aria l_{aria} tra le due lamiere di Fe è di 26mm
- ✦ spessore aria $l_{\text{aria}'}$ tra i due vetri è di 20mm

Tenendo conto di quanto sopra citato posso calcolarmi il flusso termico attraverso la porta come somma di due flussi:

q_1 calcolato considerando lastra / l_{aria} / lastra

q_2 calcolato considerando vetro / $l_{aria'}$ / vetro

$$q_1 = \frac{1}{\frac{l_{Fe}}{\lambda_{Fe}} + \frac{l_{aria}}{\lambda_{aria}} + \frac{l_{Fe}}{\lambda_{Fe}}} (t_{interna} - t_{esterna}) A_{Fe} = 60 \text{ W}$$

$$q_2 = \frac{1}{\frac{l_{vetro}}{\lambda_{vetro}} + \frac{l_{aria'}}{\lambda_{aria'}} + \frac{l_{vetro}}{\lambda_{vetro}}} (t_{interna} - t_{esterna}) A_{vetro} = 2 \text{ W}$$

$$q_{porta} = q_1 + q_2 = 62 \text{ W}$$

Quindi il mio flusso attraverso l'intera camera è di

$$Q_{camera} = Q_{ToT} + Q_{porta} = 542 \text{ W}$$

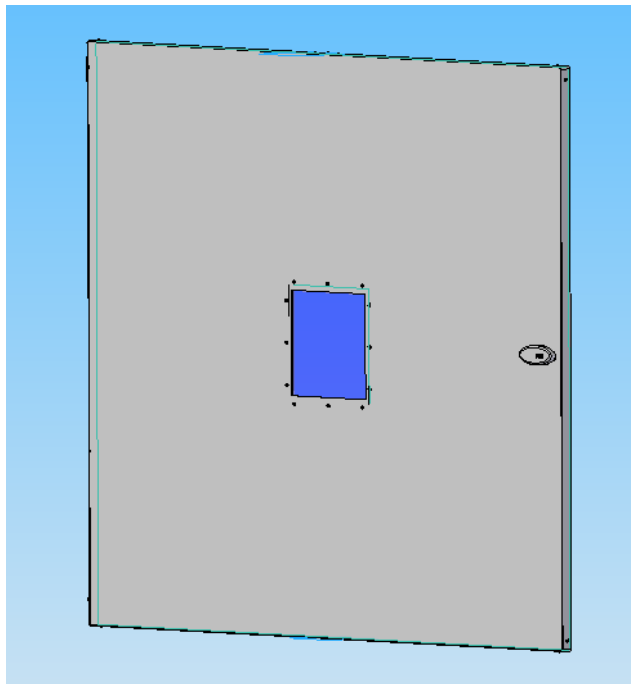


Fig.5: Porta

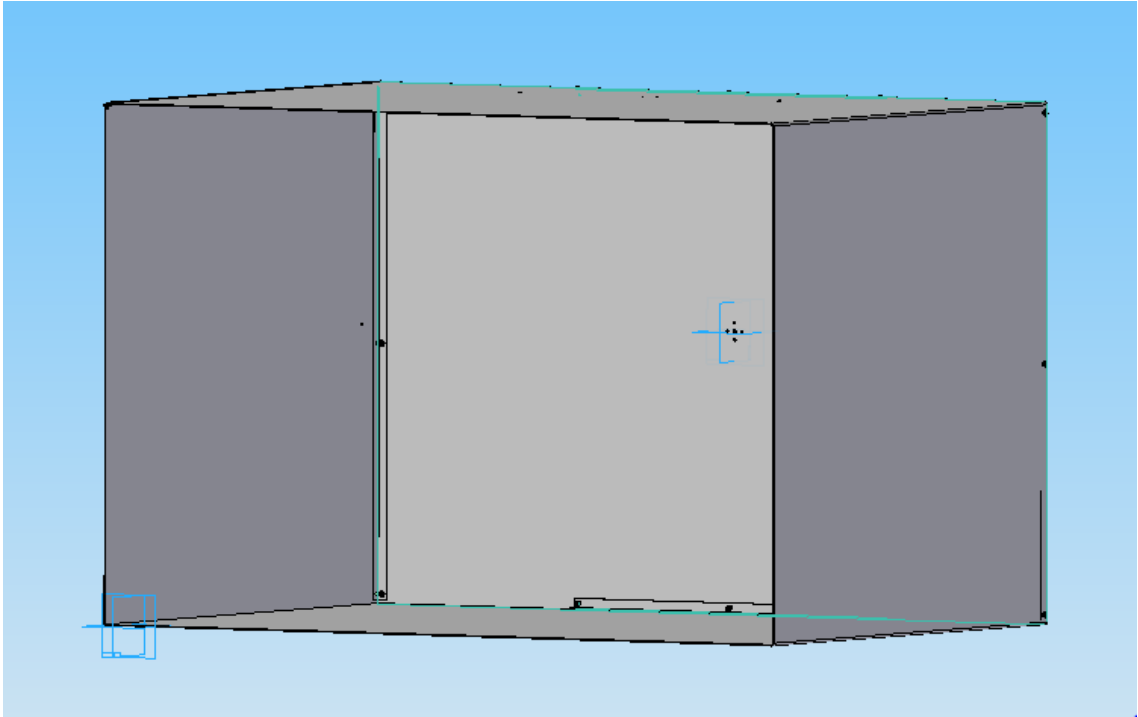


Fig.6: Pareti interne

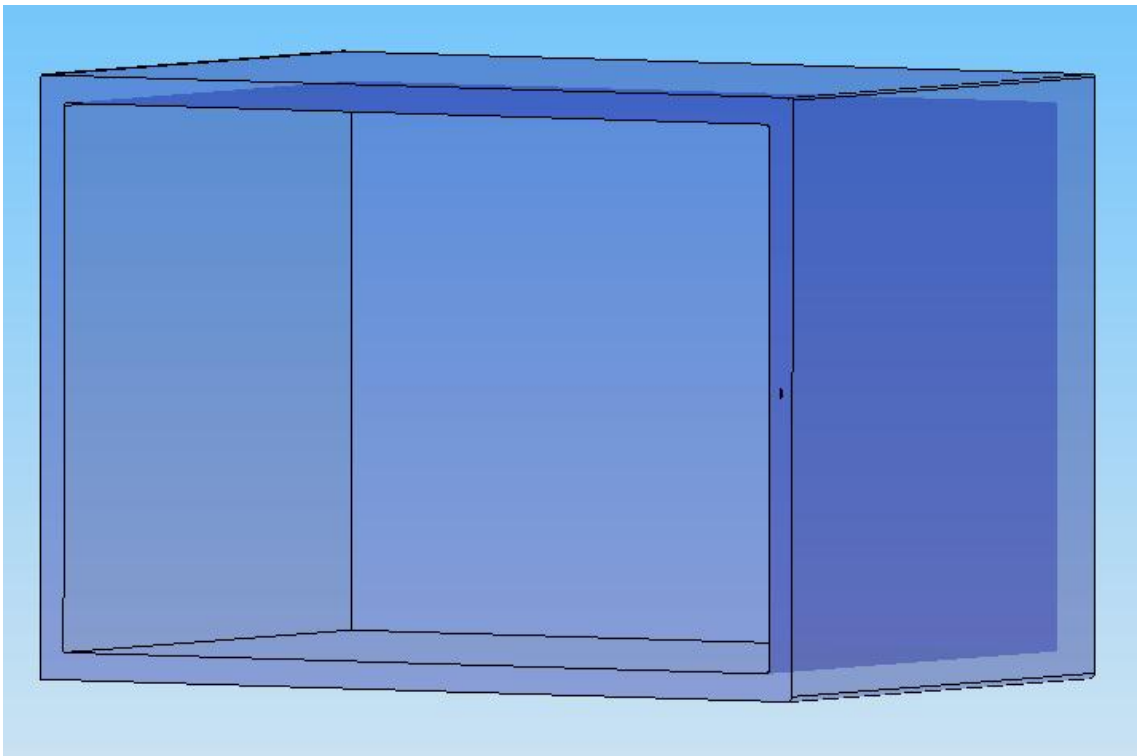


Fig.7: Lana di vetro

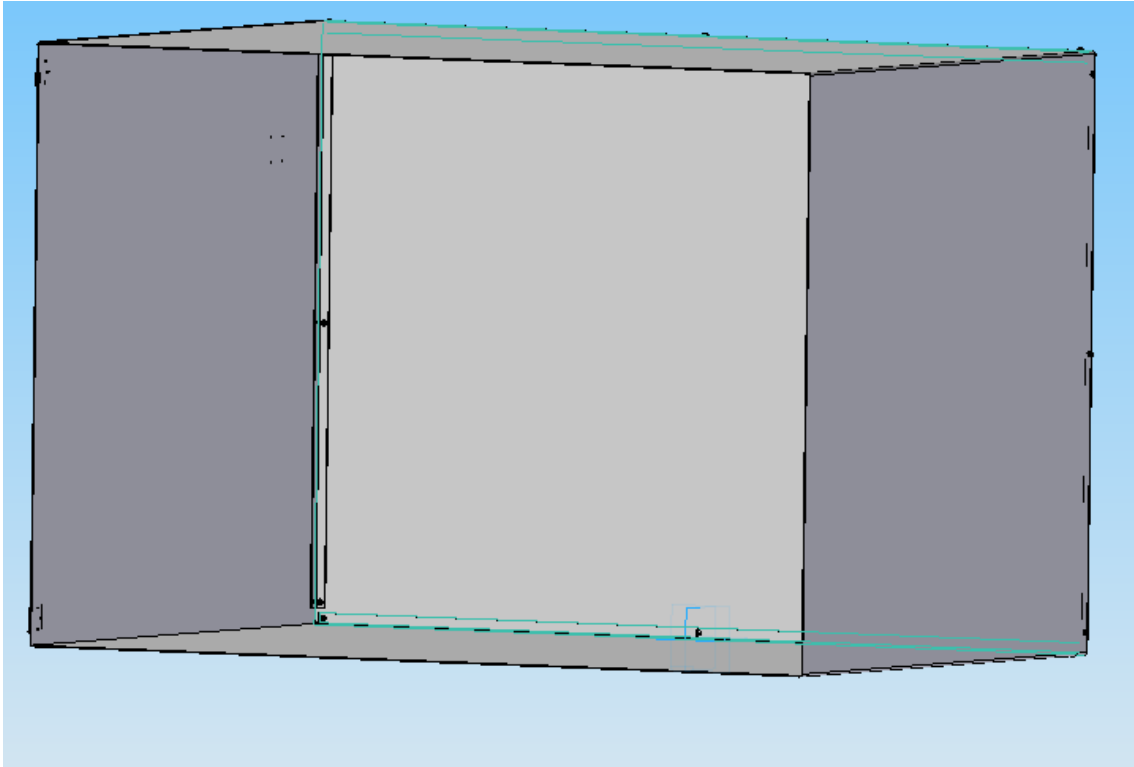


Fig.8: Pareti esterne

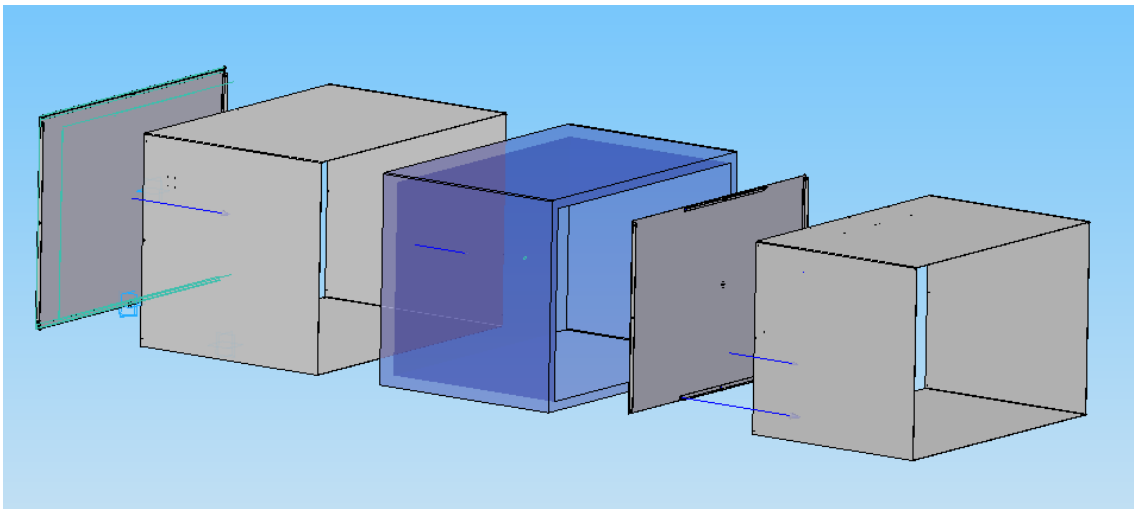


Fig.9: Vista esplosa dell'assieme

3. RISCALDAMENTO

Per portare la temperatura della mia camera climatica a 100°C utilizzo una resistenza elettrica.

3.1 Principio di funzionamento della resistenza

La resistenza è un dispositivo che sfruttando l'effetto Joule trasforma un flusso di corrente elettrica in calore.

Considerando una carica dq che si muove attraverso la differenza di potenziale $V = V_a - V_b$, per questo spostamento viene compiuto dal campo elettrico agente il lavoro

$$dW = Vdq = Vidt \quad (8.0)$$

e spesa la potenza

$$P = \frac{dW}{dt} = Vi \quad (9.0)$$

(i =intensità corrente elettrica)

Se vale la legge di Ohm $V= Ri$ la potenza diventa

$$P = Ri^2 = \frac{V^2}{R} \quad (10.0)$$

Il passaggio di corrente elettrica attraverso un conduttore metallico per un tempo t comporta il lavoro

$$W = \int P dt = \int Ri^2 dt$$

se la corrente è costante nel tempo tale termine si riduce a

$$W = Ri^2 t \quad (11.0)$$

Questo lavoro è necessario per vincere la resistenza opposta dal reticolo cristallino al moto ordinario degli elettroni e, da un punto di vista termodinamico esso viene assorbito dal conduttore le cui energie interne aumenta portando l'aumento della temperatura del conduttore stesso.

L'effetto del riscaldamento di un conduttore percorso da corrente si chiama effetto Joule.

Conduttore: caratterizzato nell'avere bande elettroniche di valenza riempite a metà o, bande vuote sovrapposte da altre piene. Applicando una differenza di potenziale ai capi del metallo viene fornita un incremento di energia agli elettroni periferici (meno vincolati dai legami atomici) i quali iniziano a migrare dalle bande di valenza a quelle di conduzione, creando un movimento ordinato di elettroni: quindi una corrente elettrica.

L'incremento di temperatura del mio conduttore è legato alla resistenza che il reticolo cristallino oppone al movimento ordinato degli elettroni (resistività).

ρ e R sono legati dalla seguente formula:

$$R = \rho \frac{l}{s} \quad (12.0)$$

Più elevata è ρ maggiore sarà R e quindi più calore verrà prodotto.

L'esempio di tali materiali sono leghe Ni-Cr che hanno $\rho = 1 * 10^{-6} \Omega m$.

3.1.1 Resistenza

Volendo usare la tensione nominale di 220 V scelgo la resistenza da catalogo con

- W 2600 e
- V 220 avente
- $\phi = 192 \text{mm}$
- interasse = 24mm

Calcolo il tempo necessario per portare la mia camera a temperatura di utilizzo usando la resistenza scelta.

Calore necessario per portare $1,5 \text{ m}^3$ d'aria a 100°C è:

$$q_{aria} = V \rho C_p \Delta T$$

considerando:

$$\rho_{aria} = 0,934 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$c_p \text{aria} = 1006 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{K}}$$

$$\Delta T = 80^\circ\text{K}$$

ottengo:

$$q_{aria} = 1,5 \text{ m}^3 * 0,934 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 1006 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{K}} * 80^\circ\text{K} = 113 \text{ KJ}$$

Calore necessario per scaldare le pareti della camera fino a 100°C:

$$q_{Fe} = V \rho C_p \Delta T$$

considerando:

$$\rho_{Fe} = 7880 \frac{Kg}{m^3}$$

$$c_{pFe} = 444 \frac{J}{Kg \cdot ^\circ K}$$

$$\Delta T = 80^\circ K$$

$$V_{TOTpareti} = 13 * 10^{-3} m^3$$

ottengo:

$$q_{Fe} = 13 * 10^{-3} m^3 * 7880 \frac{Kg}{m^3} * 444 \frac{J}{Kg * ^\circ K} * 80^\circ K = 4480 KJ$$

Calore necessario per scaldare le pareti di vetro fino a 100°C:

$$q_{vetro} = V \rho C_p \Delta T$$

considerando:

$$\rho_{vetro} = 2400 \frac{Kg}{m^3}$$

$$c_{pVetro} = 800 \frac{J}{Kg \cdot ^\circ K}$$

$$\Delta T = 80^\circ K$$

$$V = 1,5 * 10^{-4} m^3$$

ottengo:

$$q_{vetro} = 1,5 * 10^{-4} m^3 * 2400 \frac{Kg}{m^3} * 800 \frac{J}{Kg * ^\circ K} * 80^\circ K = 23 KJ$$

Il calore di cui necessito sar  dato allora da

$$Q_{TOT} = q_{aria} + q_{Fe} + q_{vetro} = 4620 KJ$$

avendo una resistenza di 2,6KW e sapendo che il mio sistema disperde 0,56 KW di calore, avrò:

$$t = \frac{Q_{TOT}}{P} = \frac{4620 \text{ KJ}}{2 \text{ KW}} = 2310 \text{ s} \text{ cioè } 38 \text{ min}$$

Usando una sola resistenza impiego troppo tempo per portare l'ambiente in temperatura, allora decido di usare un'altra resistenza delle stesse dimensioni, in questo modo avendo a disposizione 5,2KW e tenendo conto che 0,5 KW sono dispersi, impiego:

$$t = \frac{Q_{TOT}}{P} = \frac{4620 \text{ KJ}}{4,6 \text{ W}} = 1000 \text{ s} \text{ cioè } 16 \text{ min}$$

Ovviamente questo è il tempo per scaldare solamente l'ambiente, senza nessun oggetto, il tempo poi varierà a seconda dell'oggetto che vado ad inserire nella mia camera.

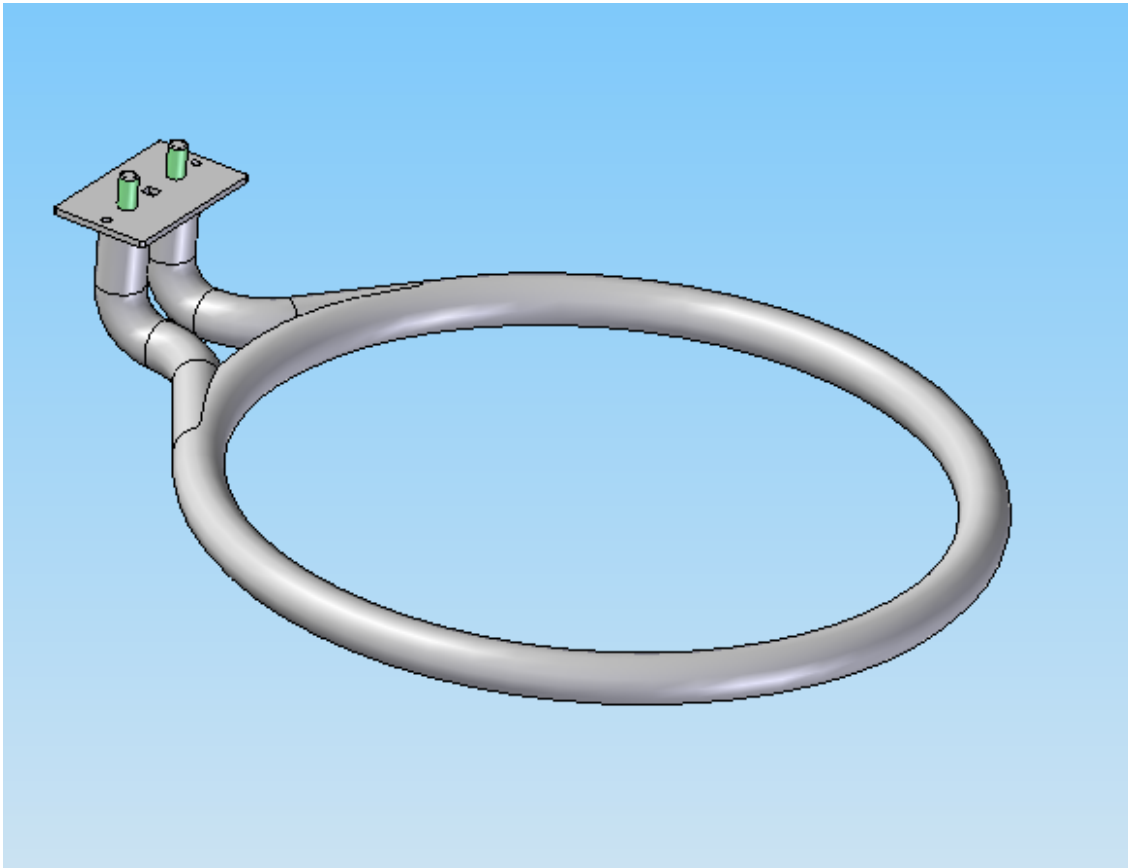


Fig.10: Resistenza

Le resistenze sono fissate alla parete superiore della camera tramite due viti M3x5
(Fig. 11)

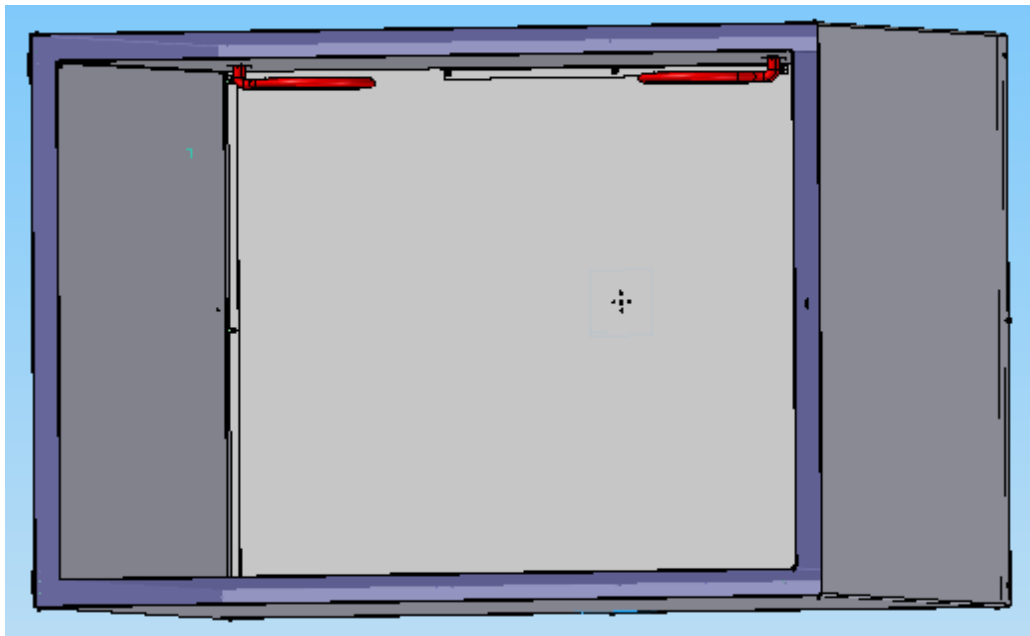


Fig.11

Questo tipo di resistenza è possibile trovarla presso la ditta:

ITALRES S.r.l

Via monteverdi,57

50019 Sesto Fiorentino (Fi)

4. VENTILAZIONE

Per avere un calore omogeneo all'interno della mia camera utilizzo un ventilatore assiale.

Dalla guida tecnica CIMME posso vedere che in un forno elettrico ci devono essere almeno $r = 30$ ricambi/ora d'aria.

Frequenza ricambi					
<p>Il volume di aria di ricambio di una determinata area può essere facilmente determinato con il metodo di ricambio dell'aria. Questo calcolo è raccomandato solo per applicazioni dove non è necessario il controllo di ambienti pericolosi, ad alta temperatura od odorosi. La procedura di calcolo consiste nel rilevare il numero dei ricambi in base al tipo di ambiente, successivamente calcolare la portata d'aria con l'equazione:</p> <p>VA = volume ambiente, r = numero ricambi per ora. $V = \frac{VA \cdot r}{h \cdot 60}$</p>					
Ambiente	ric./ora	Ambiente	ric./ora	Ambiente	ric./ora
Allevamenti ovicoli	8-15	Fabbriche in genere	6-10	Officine	6-10
Allevamenti bovini e suini	15-25	Falegnamerie	6-15	Ospedali	6
Atri d'albergo - Sale - Corridoi	4	Filature - Tessiture	5	Palestre	10-20
Autorimesse (parcheggio)	8	Fonderie	20-30	Piscine	20-30
Autorimesse (riparazioni)	10-20	Forni da pane (locali con)	20-30	Pompe (locali con)	6-12
Bagni - Docce	6	Forni elettrici (locali con)	30	Ristoranti (cucine)	20-40
Bagni galvanici	25-30	Forni industriali (locali con)	20	Ristoranti (locali)	12
Banche	4	Fucine	20-30	Sale d'aspetto	10
Caffè - Bar	10	Fungai	10-20	Sale da ballo	8-16
Carpenterie - Saldature	10-12	Grandi magazzini	6-20	Sale da gioco	10-20
Cartiere	15-20	Latte (lavorazione)	15	Sale di riunione	6-8
Centrali termiche	50-60	Lavanderie - Tintorie	20-30	Sale per convegni	10-20
Chiese	10-15	Macchine e caldaie (locali con)	20-30	Scuole	6
Cinema - Teatri	10-15	Magazzini per merci deperibili	15	Stabilimenti (polverosi)	10-20
Colorifici	15-20	Magazzini per merci non deperib.	5	Stabilimenti metallurgici	5-10
Concerie (essiccazione pelli)	35	Manifatture tabacchi	12	Supermercati	5-10
Concerie (lavorazione)	18	Mense	4-6	Tipografie	15-25
Cromatura (locali)	6-10	Motori (locali con)	5-10	Toilette	30
Fabbrica gomme	10-20	Mulini	15-30	Trasformatori (locali con)	12-30
Fabbrica paste alimentari	6-10	Negozi vari	5	Uffici tecnici	15
Fabbrica prodotti chimici	15-20				

6 Guida tecnica - **cimme** *Ta*

La portata d'aria di cui necessito è di $V = V_{amb} * r$ (13.0)

nel mio caso

$$V = 1,5 m^3 * 30 \frac{ric}{h} = 45 \frac{m^3}{h}$$

Questo dato mi sarà utile per scegliere il ventilatore, ma prima valuto se devo far fronte a fenomeni di perdite di carico.

4.1 Perdite di carico

Ci possono essere due tipi diversi di perdite di carico: continue e localizzate.

4.1.1 Perdite di carico distribuite

In un tubo in cui scorre un fluido le perdite di carico corrispondono alle perdite di pressione: per calcolarle si può utilizzare l'equazione che esprime la velocità in funzione della variazione di pressione:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 8wL \frac{\mu}{R^2} \quad (14.0)$$

in cui w e μ sono rispettivamente la velocità media e la viscosità del fluido, L ed R la lunghezza del condotto e il raggio della sua sezione.

Ad ogni metro di tubo corrisponde quindi una certa perdita di carico; inoltre, più il fluido scorre veloce, più energia viene dissipata.

Poiché le perdite di carico risultano proporzionali alla lunghezza del condotto, si considerano distribuite lungo il condotto stesso e per questo vengono definite perdite distribuite.

La perdita di carico può anche essere espressa in funzione del numero di Reynolds, la cui espressione è:

$$\Re = \rho \frac{wD}{\mu} \quad (15.0)$$

in cui ρ è la densità del fluido e D il diametro della sezione del tubo. I valori del fattore di attrito inteso come funzione del numero di Reynolds e della rugosità relativa sono tabulati. Questa funzione viene anche rappresentata graficamente tramite un diagramma. Tale diagramma venne realizzato pressoché contemporaneamente da studiosi di fluidodinamica, di idraulica e di aerodinamica ed è conosciuto come diagramma di Moody (Fig 12)

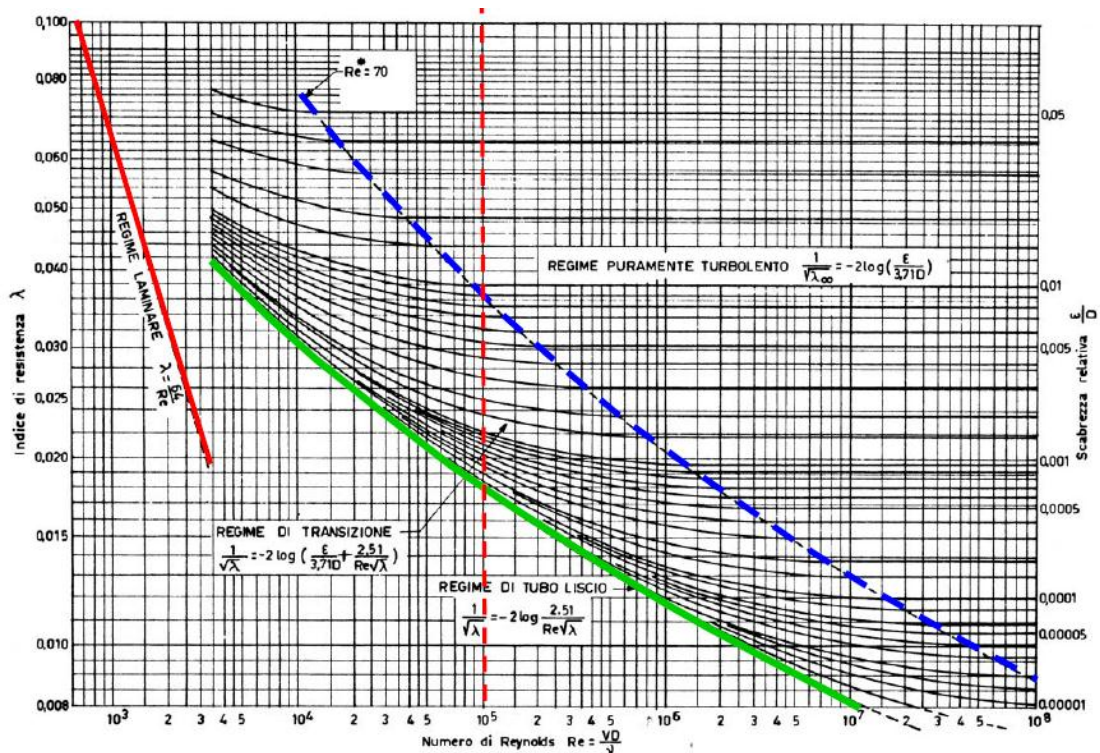


Fig.12: Diagramma di Moody

Il diagramma, che è realizzato in scala doppio logaritmica, riporta in ascissa il numero di Reynolds e in ordinata il fattore di attrito.

Nelle ipotesi di regime laminare completamente sviluppato con tubo di sezione circolare e superficie liscia la curva è un'iperbole equilatera.

Nel caso generale si suddivide il diagramma in tre zone distinte.

- La prima zona è caratterizzata dal regime laminare e si estende fino a $Re = 2300$. In tale regione la curva è una retta con pendenza negativa.
- La seconda zona è zona di transizione: qui il diagramma non viene disegnato perchè non se ne conosce l'andamento.
- La terza zona, che ha inizio per $Re = 4000 - 4100$, è caratterizzata dal regime turbolento.

Per avere valori così elevati del numero di Reynolds si devono normalmente utilizzare tubi con diametri molto grandi.

Al diagramma di Moody viene generalmente allegata una tabella (tab. 2) che riporta i valori della scabrezza per i materiali con cui tipicamente si realizzano i tubi per il trasporto dell'acqua.

materiale	ε (mm)
acciaio chiodato	0.0 – 9.0
cemento	0.3 – 3.0
doghe in legno	0.19 – 0.9
fusione in ferro	0.25
ferro zincato	0.15
ferro asfaltato	0.12
acciaio commerciale	0.046

Tab.2

4.1.2 Perdite di carico localizzate

Le perdite di carico distribuite non sono le uniche cause di cadute di pressione nei condotti idraulici. Esistono infatti anche le perdite di carico dette concentrate o localizzate. Esse sono dovute agli ostacoli come, ad esempio curve, gomiti, valvole, brusche variazioni di pressione, che il fluido può incontrare mentre scorre all'interno del tubo. Le perdite di carico concentrate hanno un'espressione coerente con quella delle perdite di carico distribuite. Ma a differenza di queste ultime, le perdite di carico concentrate non dipendono dalla lunghezza del tubo (scompare il termine L/D), in quanto sono localizzate (concentrate) in un ben determinato punto. Indicando con b il fattore di attrito, l'espressione delle perdite di carico concentrate è:

$$\Delta p = \beta \frac{W^2}{2} \rho \quad (16.0)$$

in cui w e r sono rispettivamente la velocità media e la densità del fluido.

Nel mio caso non ho fluidi convogliati all'interno di condotte, quindi non ci sono perdite di carico degne di essere prese in considerazione.

Il ventilatore lo scelgo considerando la portata generata.

4.2 Ventilatore

Esistono tre diversi generi di ventilatori, diversi tra loro in base all'inclinazione delle pale rispetto alla verso di rotazione; essi sono:

- ⤴ pale curve in avanti
- ⤴ pale radiali
- ⤴ pale curve indietro

I ventilatori con pale curve in avanti sono adatti quando c'è bisogno di grande portata, mentre quelli a pale curve indietro sono impiegati quando c'è bisogno di tanta prevalenza.

Nel mio caso non dovendo far fronte ne ad elevate perdite di carico, ne ad elevate portate, opto nel trovare un ventilatore da catalogo che mi assicuri la portata minima di cui ho bisogno ($45 \text{ m}^3/h$).

Il motoventilatore serie VR, trovato tra i cataloghi di ricambi per forni da cucina, fa al caso mio.



Fig.13: Motoventilatore

I motoventilatori della serie VR sono stati sviluppati per rispondere alle crescenti esigenze nell'aver all'interno dei forni temperature il più possibili omogenee.

Sono caratterizzati da elevata resistenza ed altissimo livello qualitativo, garantito da un'accurata scelta dei materiali e da grande attenzione in fase di produzione.

CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE:

- ✦ ventola in acciaio alluminato
- ✦ isolamento motore classe F
- ✦ supporti di fissaggio ed assiematura in alluminio pressofuso
- ✦ cuscinetti motore in bronzo sinterizzato autoallineati e lubrificati a vita
- ✦ olio lubrificante per elevate temperature
- ✦ albero motore in acciaio temprato
- ✦ tensione ammissibile: da 220 Volt
- ✦ frequenza ammissibile: da 50 Hz
- ✦ connessioni elettriche : terminali Faston 6,3x0,8
- ✦ portata 50 m^3/h
- ✦ bloccaggio ventola garantito da fresatura e dado di bloccaggio
- ✦ ampia ventola di raffreddamento motore montata direttamente sull'albero

Il motoventilatore lo posiziono nella parete posteriore della camera fissato con 4 viti M4x30;

la ventola è protetta da una griglia in ferro appositamente sagomata per non ostacolare troppo il flusso d'aria ma, allo stesso tempo, impedire il contatto con la ventola degli oggetti che saranno introdotti all'interno della camera.

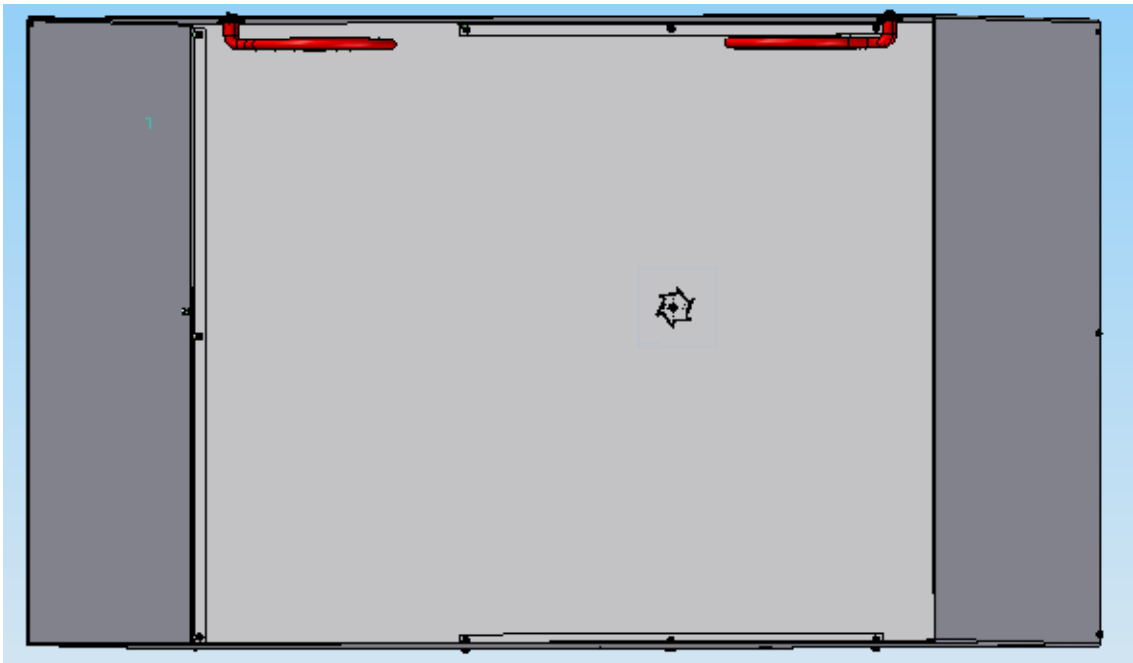


Fig.14: Interno camera con ventola

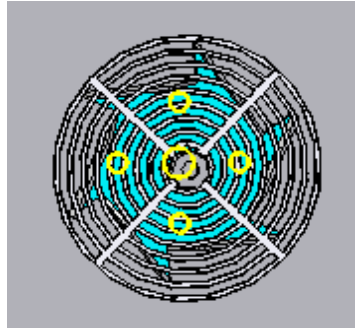


Fig 15: Griglia copri ventola

Questo motoventilatore è possibile trovarlo presso la ditta:

MILANOCOMPONENTI S.r.l

Via Carlo D'Adda,28

20143 Milano (Italia)

5.MISURA E MANTENIMENTO TEMPERATURA

Per tener controllata la temperatura utilizzo un termostato collegato ad una termocoppia.

5.1 Principio di funzionamento della termocoppia

Le leggi dei circuiti termoelettrici spiegano tale principio.

Il fenomeno termoelettrico consiste nella produzione di una forza elettromotrice fem in un circuito (costituito da materiali diversi) quando i punti di giunzione si trovano a temperature diverse.

Tale fenomeno è governato da tre leggi:

1° LEGGE : del circuito omogeneo:

prendendo due conduttori elettrici di natura chimica diversa e collegati in modo da tenere due giunzioni diverse. Se tali giunzioni vengono poste una a temperatura t_1 e l'altra a temperatura t_2 ai capi delle altre due giunzioni libere nasce una forza elettromotrice.

2° LEGGE: dei metalli intermedi:

la somma algebrica delle f.e.m. Termoelettriche in un circuito composto da un numero qualunque di metalli diversi è nulla se tutto il circuito è isoterma.

3° LEGGE: delle temperature successive:

f.e.m. termoelettrica in una coppia avente i giunti alle temperature t_1 e t_2 è la somma algebrica delle fem caratterizzanti le coppie degli stessi metalli omogenei avente ordinatamente i giunti l'una alle temperature t_1 e t_3 e l'altra alle temperature t_3 e t_2

La termocoppia utilizza il principio di Seebeck legato alla prima legge.

Quando una giunzione tra due metalli viene riscaldata si produce ai terminali liberi una differenza di potenziale che, per piccole differenze di temperatura è approssimativamente lineare.

In base ai metalli usati nella giunzione, le termocoppie vengono classificate secondo lo standard ANSI.

Tipo		Limiti di temperatura (°C)
Simbolo	Materiali	
S	Pt10%Rh - Pt	-50 / 1760
R	Pt13%Rh - Pt	-50 / 1760
B	Pt30%Rh - Pt6%Rh	0 / 1820
E	Cr - Co	-270 / 1000
J	Fe - Co	-210 / 1200
K	Cr - Al	-270 / 1370
T	Cu - Co	-270 / 400
N	Nicrosil - Nisil	-270 / 400 (1) 0 / 1300 (2)

Le sigle Co, Al e Cr sono relative non all'elemento chimico ma a delle leghe particolari cioè alla costantana, all' Alumel® e al Chromel® (Alumel® e Chromel® sono marchi registrati dalla Hoskins Manufacturing Company).

Vengono scelte certe leghe o metalli puri rispetto ad altri perché in ambito industriale è richiesta oltre alla resistenza alle alte temperature , anche altre proprietà quali per esempio la resistenza ad ambienti aggressivi e all'ossidazione.

Comunque ciascuna termocoppia ha i suoi ambiti di utilizzo; la possibilità di scegliere fra diversi tipi,ciascuno con i suoi campi di impiego, ha permesso alla termocoppia di essere lo strumento più usato nella misura di temperatura in campo industriale.

Le caratteristiche delle termocoppie sono:

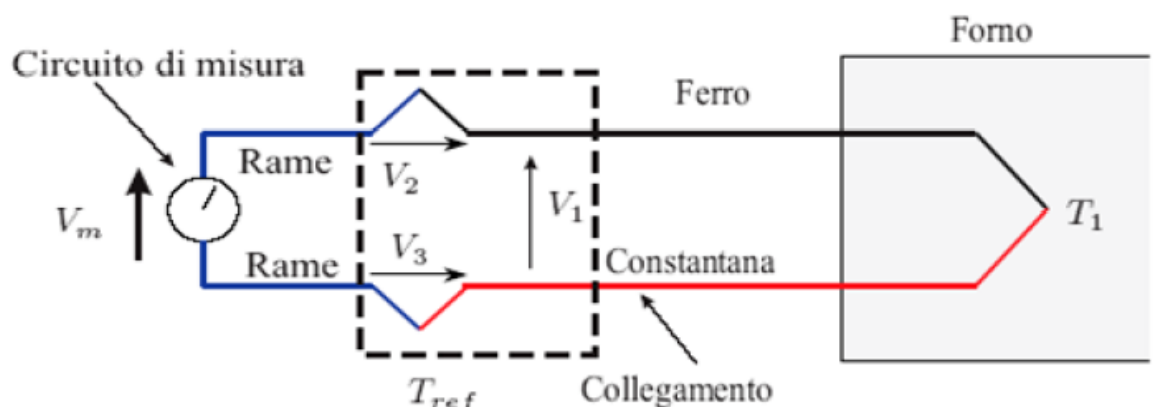
- ⤴ Tipo T (rame/costantana): questo tipo di termocoppia è resistente alla corrosione in ambiente umido e può essere usata per temperature inferiori allo zero. L'uso per temperature elevate in ambiente ossidante è limitato per l'ossidazione del rame. Può comunque essere usata per alte temperature ma in assenza di O₂.
- ⤴ Tipo J (ferro/costantana): il range di utilizzo di questa termocoppia è in realtà inferiore a quello dato dalla tabella. Infatti per temperature superiori ai 540 °C il ferro tende ad ossidarsi; naturalmente è possibile lavorare in ambiente privo di O₂ a temperature superiori ai 540 °C.

- ⤴ Tipo E (Chrome®/constantana): in ambiente ossidante o inerte ho l'intervallo di utilizzo dato dalla tabella. Se l'ambiente è riducente ho le stesse limitazioni della termocoppia di tipo K.
- ⤴ Tipo K (Chrome®/Alume®): sono molto resistenti ad ambienti ossidanti e per questo vengono usate in questo caso anche a T superiori ai 600 °C.

Il segnale di uscita deve essere elaborato per estrarre la temperatura reale della giunzione calda, in quanto la relazione temperatura-tensione è non lineare, e i conduttori che collegano la termocoppia al circuito di acquisizione creano una giunzione parassita

Nel circuito sono presenti 3 diversi tipi di giunzioni:

- Rame-Ferro,
- Ferro-Constantana
- Constantana-Rame.



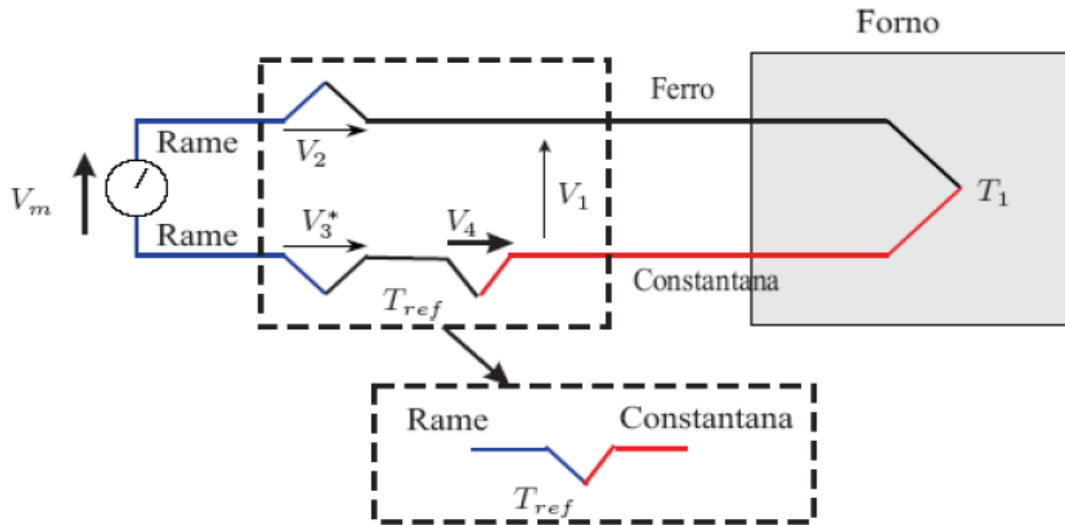
La tensione di uscita dipende dalle tensioni di tutte tre le giunzioni:

$$V_m = V_1 + V_3 - V_2$$

La compensazione delle tensioni delle giunzioni parassite viene effettuata tenendo conto che due termocoppie in serie che condividono lo stesso materiale centrale e sono alla stessa temperatura, generano la tensione che genererebbe una sola termocoppia realizzata con i due materiali esterni.

Si sostituisce pertanto nel circuito la giunzione Rame-Constantana con una doppia giunzione fittizia

Rame-Ferro
 Ferro-Costantana.



La tensione di misura vale:

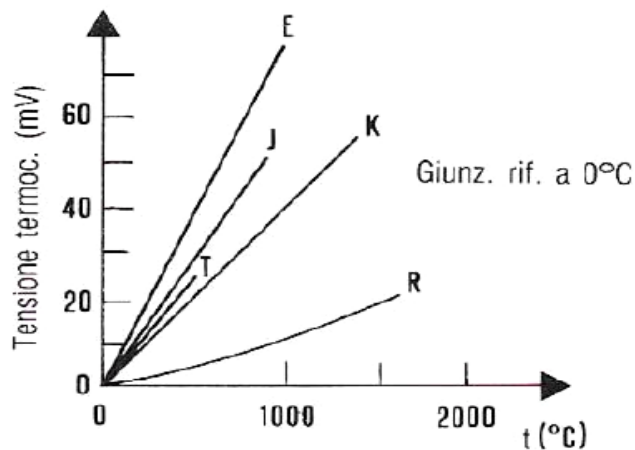
$$V_m = V_1 - V_2 + V_3^* + V_4$$

Se le due giunzioni Rame-Ferro si trovano alla stessa temperatura, allora le due tensioni V_2 e V_3 si bilanciano e quindi si possono eliminare dalla misura di V_m

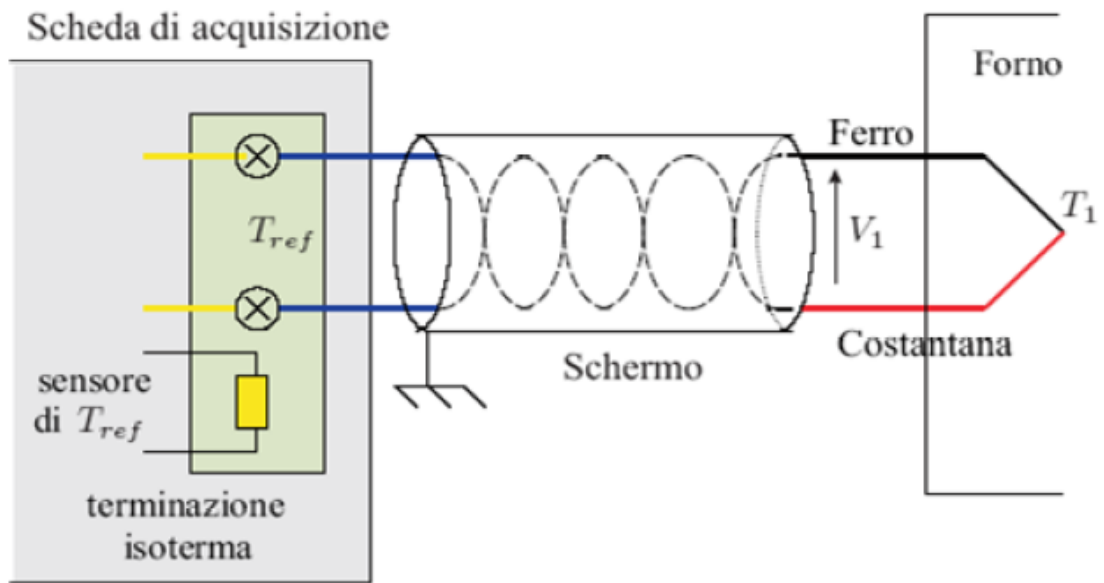
La tensione misurata è quindi uguale alla somma tra la tensione di giunzione alla temperatura della camera V_1 e la tensione della stessa giunzione alla temperatura di riferimento T_{ref} .

$$V_m = V_1(T_1) + V_4(T_{ref})$$

Misurando la temperatura di riferimento (solitamente la temperatura ambiente) la tensione della giunzione a T_{ref} può essere calcolata dalla caratteristica tensione/temperatura della termocoppia.



5.1.1 Procedimento di misura



- ⤴ Misura della temperatura di riferimento (tramite un termistore)
- ⤴ Calcolo della equivalente tensione di termocoppia $V(T_{ref})$ usando la caratteristica della termocoppia di misura.
- ⤴ Alla tensione V_m acquisita dalla termocoppia si sottrae la tensione così calcolata ottenendo la tensione della giunzione di misura $V(T_1)$.

All'interno della camera non ho ambienti aggressivi che mi vincolano ad avere un tipo di termocoppia piuttosto che un'altra.

Uso una termocoppia di tipo J (Fe-Costantana).



Fig.16: Termocoppia tipo J

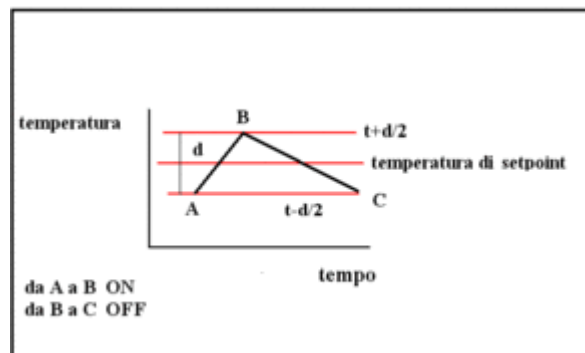
5.2 Termoregolatore

Tale dispositivo acquisisce la f.e.m. generata dalla termocoppia e attraverso un processo di isteresi controlla il funzionamento della resistenza.

Esso funge da interruttore on/off; fissata la temperatura di Set point, viene fissata una temperatura T_{max} ed una temperatura T_{min} alle quali corrispondono precisi valori di f.e.m.

Quando si raggiunge la temperatura T_{max} il termostato si comporta da interruttore aperto impedendo il passaggio di corrente verso la resistenza che si spegne, se invece viene raggiunta la temperatura T_{min} il termostato funge da interruttore chiuso permettendo il passaggio di corrente che alimenta la resistenza.

In questo modo la temperatura viene mantenuta costante a 100°C.



Consultato i vari cataloghi, ho trovato questo termoregolatore che si adopera alle mie esigenze.



Fig.17: Termoregolatore

Questo dispositivo rileva la temperatura tramite la termocoppia di tipo J (Fe-Costantana).

Questo prodotto è disponibile presso la ditta:

RESISTOR S.r.l.

Via Palmiro Togliatti,23

20030 Senago (MI) Italy

6. CONCLUSIONI

Tenendo conto di tutti i fattori che influenzano la costruzione di tale dispositivo, ho potuto progettare tutti i componenti della camera.

Poiché le temperature da raggiungere non sono elevate e all'interno della camera non c'è un ambiente che necessiti di particolare attenzione nella scelta dei materiali (ossidante, corrosivo ecc), ho potuto ricercare i vari componenti tra i cataloghi di prodotti per forni ad utilizzo domestico; questo per specificare che la costruzione non necessita di somme importanti di denaro.

Con un modesto investimento è possibile avere un prodotto che potrebbe aiutare le diverse aziende a capire quali materiali e modalità di imballaggio siano più adatti per un determinato tipo di trasporto piuttosto che per un altro.

Le caratteristiche tecniche sono:

- ✦ Tensione nominale 220V
- ✦ Frequenza 50/60HZ
- ✦ Potenza 5,5KW
- ✦ Peso 290Kg circa

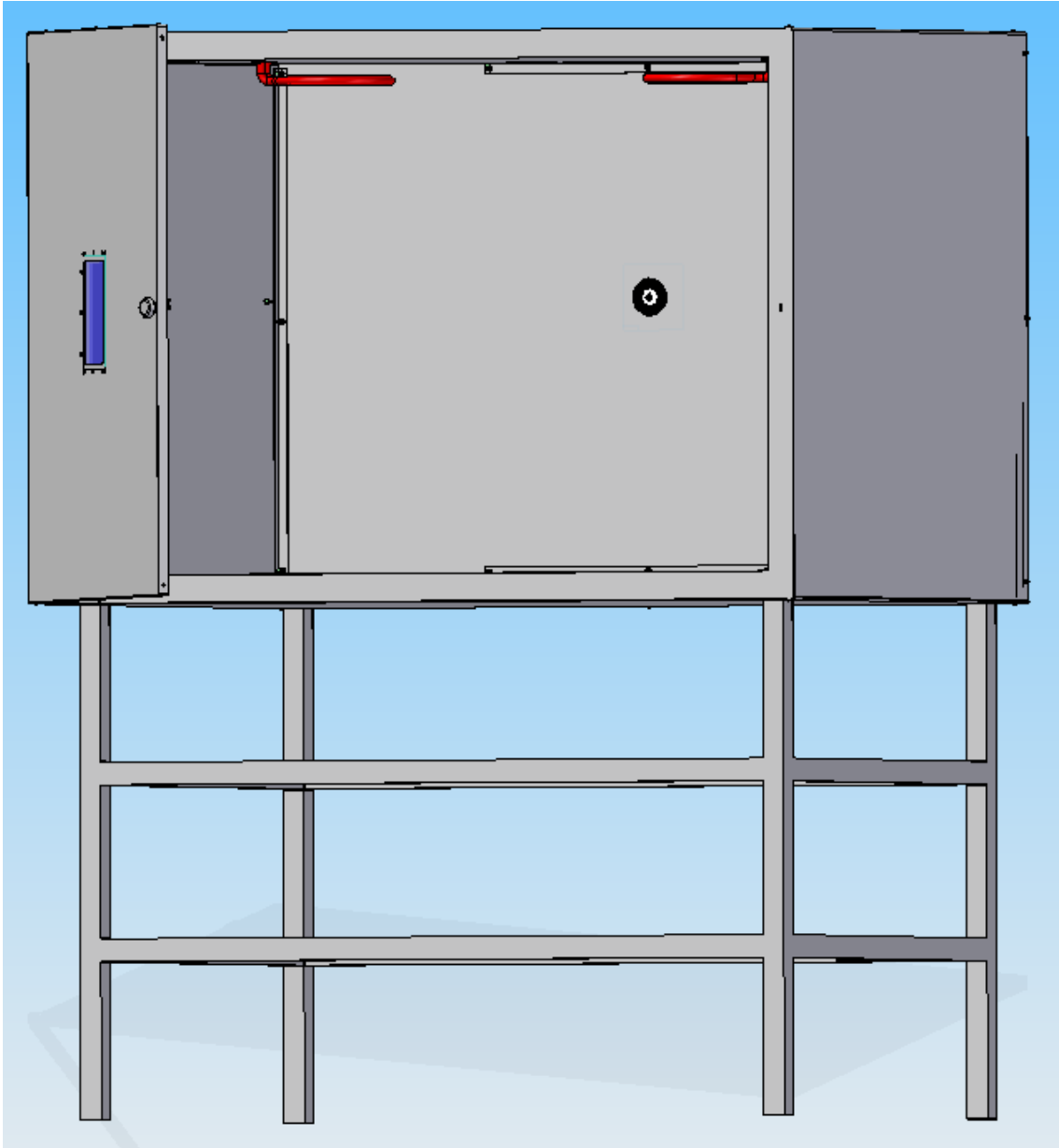


Fig.18:Camera climatica

7. Bibliografia

- ⤴ Cesare Bonacina – Alberto Cavallini – Lino Mattarolo, *Trasmissione del calore*, Padova :Cleup editore.
- ⤴ Massimo Guarnieri – Andrea Stella, *Principi ed applicazioni di elettrotecnica Vol. 1*, Padova: Edizioni Progetto Padova.
- ⤴ P. Mazzoldi – N. Nigro – C.Voci, *Elementi di Fisica*, Padova: Edises.
- ⤴ Giuseppe Ventrone, *Macchine*, Padova: Libreria internazionale Cortiana.
- ⤴ Appunti in rete del Prof. C.Zilio, *Laboratorio di Meccanica*
- ⤴ Guida Tecnica Cimme, (<http://www.cimme.it>), 10 maggio 2013.