

Laboratori Nazionali di Frascati

LNF-56/4 (21. 2. 56)

G. Sacerdoti, R. Toschi: VISITA AL PROF. SOMEDA - PADOVA 17. 2. 56
(RAFFREDDAMENTO AD ARIA ED A ACQUA).

VISITA AL PROF. SOMEDA - PADOVA 17 Febbraio 1956

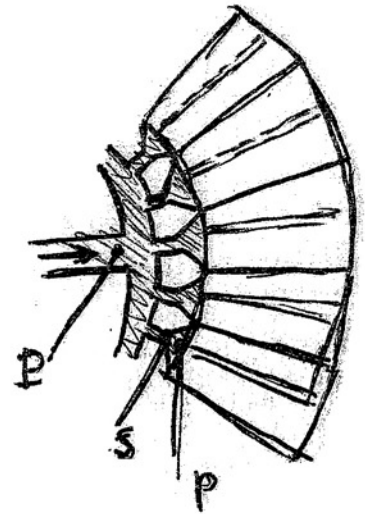
Igg. Sacerdoti e Toschi

A) Si presenta al Prof. Someda il progetto del raffreddamento con aria soffiata.

1) Facciamo presente i dubbi dell'A.S.G. sul coefficiente K di trasmissione tra aria e ferro (Someda dice che sul K influiscono molti fattori ma che comunque l'ordine di grandezza non sarà lontano dal valore scelto ($45 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) ma che comunque anche un errore del 20% in più (che è grande) riflettendosi solo sul ΔT_{fe} , aria, comporta una ^{variazione} della temperatura ^{$T_{fe \text{ max}}$} di poco più che un grado.

2) Per l'adduzione dell'aria alle scanalature consiglia di praticare, nelle piastre, delle fessure oblique anzichè dei fori - Consiglia inoltre

per una più uniforme adduzione dell'aria ai fori sulle piastre, di suddividere il condotto (previsto da noi in due parti per quadrante) in tanti condotti parziali p di distribuzione lunghi 30 cm. che stanno a cavallo delle nervature. In s si può sistemare qualcosa per strozzare l'apertura per distribuire opportunamente l'aria.



Un condotto unico P alimenterebbe tutti gli altri p in un intero quadrante.

3) All'uscita dell'aria un sistema analogo a quello dell'ingresso per-mettere di raccogliere l'aria che è bene non ritorni nell'ambiente.

B) Si presenta al Prof. Someda il progetto semplifican^{to}te di raffreddamento ad H₂O.

- 1) Consiglia di alimentare le tre parti di un pacco anzichè da un estremo, dal punto di mezzo della piastra posteriore con il vantaggio di simmetrizzare il circuito dal punto di vista del raffreddamento e ridurre le perdite di carico.

CONCLUSIONE

Il Prof. Someda è perplesso fra aria e acqua.

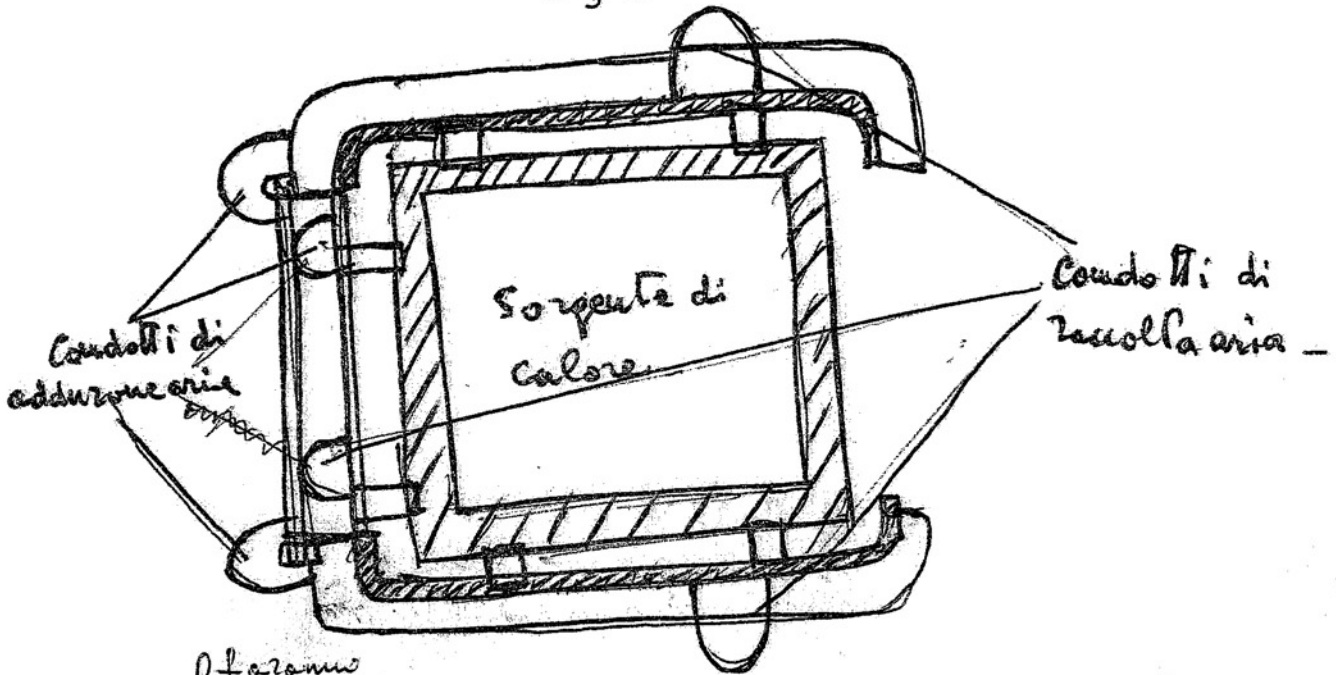
L'aria ha il difetto della rumorosità, degli ingombri notevoli e non si è sicurissimi di stare nelle norme. L'aria ha il vantaggio che una volta messa a punto andrà sempre bene.

L'acqua ha il difetto della non sicurezza di esercizio dovuto allo scollamento delle piastre e la perdita delle giunzioni con l'aggiunta della grandissima complicazione nelle eventuali riparazioni dei guasti suddetti.

L'acqua ha il vantaggio che è silenziosa, e dà la sicurezza (se tutto va bene) di stare entro le norme.

Perciò il Prof. Someda consiglia:

- a) per non perdere tempo proseguire il raffreddamento del metro con acqua semplifican^{to}te
- b) Di provare su un modello il raffreddamento ad aria. La cosa si può fare molto semplicemente ordinando all'A.S.G. due piastroni (che eventualmente possono servire dopo sul magnete) e simulare il C con delle lamiere grosse e la potenza con una sorgente di calore entro il C.



Si ~~presenta~~^{foramni} anche le scanalature - In tal modo si può studiare la rumorosità e l'efficacia del raffreddamento come al vero. Questa prova andrebbe fatta contemporaneamente alle altre sul metro: in tal modo alla fine delle prove sul metro e senza perdere tempo sapremmo quale raffreddamento adottare.

Someda consiglia di rivolgersi a degli esperti in aerodinamica per la sagomatura dei condotti.

CALCOLO DEL SISTEMA DI RAFFREDDAMENTO DEL FERRO DEL MAGNETE
DEL SINCROTRONE CON ARIA SOFFIATA -

Si esegue il calcolo per un solo quadrante.

Per ridurre entro limiti accettabili la sovratemperatura del ferro rispetto all'ambiente esterno è necessario aumentare la superficie esterna disperdente del magnete. Ciò si può ottenere assiemando lamierini di due dimensioni nel modo indicato nel disegno MA 250 D - Il percorso dell'aria nelle scanalature così ottenuta è indicato dalle lettere A, B, C, D ed è suddiviso in tre tratti, AB, CD.

Nei successivi disegni è schematizzato uno dei modi in cui si può convogliare l'aria alle scanalature.

Alle scanalature AB si può addurre l'aria da tre condotti C (vedi dis. MA 250 D/1) ottenuti ricoprendo il vano compreso fra due nervature contigue di una piastra superiore. Ciascuno dei condotti C si suddivide in due rami R, R, che convogliano l'aria sulle due piastre adiacenti. Sulle piastre sono ricavati due serie di fori che permettono all'aria di entrare nelle scanalature. Alcuni fori F sono ricavati nelle nervature in corrispondenza dei rami R, R, per permettere il passaggio dell'aria

Per le scanalature CD si può adottare un sistema a quello ora descritto salvo, per semplicità, porre l'ingresso in C anziché in D. Volendo conservare la simmetria fra la parte superiore e inferiore si può porre, anche sopra, l'ingresso in B come è indicato nel dis. MA 250 D/2; in esso l'aria entra in due punti del quadrante per le scanalature AB e CD od in tre punti per le scanalature BC (a causa dei tiranti posteriori che non permettono una larga sezione dei rami di distribuzione).

Fra i piastroni e i lamierini si sono sistemate delle piastre di materiale isolante per ridurre la sezione libera

dato la loro funzione queste piastre potranno essere discontinue o opportunamente sagomate.

Riassumiamo ora i calcoli relativi al raffreddamento in aria soffiata.

- Quantità di calore da disperdere per quadro $W_q = 11 \text{ kW}$.
- Velocità media dell'aria nelle scanalature $V = 10 \text{ m/s}$
- Salto di temperatura fra aria e superficie esterna del ferro:
 $\Delta T_{fe, a} = 6^\circ$

Si può assumere un coefficiente di dispersione del calore dalla superficie del ferro (essendo la velocità dell'aria 10 m/sec) $\alpha = K = 45 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$ (un errore nella scelta di questo coefficiente si riflette solo su $\Delta T_{fe, a}$, e quindi, entro certi limiti, non è preoccupante).

Ne risulta che l'area della superficie disperdente deve essere :

$$A = \frac{W_q}{K \Delta T_{fe, a}} = \frac{11.000}{45 \cdot 6} = 42 \text{ m}^2$$

Le scanalature hanno le dimensioni indicate nel disegno. La superficie esterna complessiva che così si ottiene è di circa 47 m^2 - La profondità delle scanalature è stata fissata in 2 cm . valore limite accettabile, per non ridurre troppo la sezione di ferro. La larghezza delle scanalature è stata fissata in $0,5 \text{ cm}$. come valore minimo perchè si abbia una efficace circolazione dell'aria entro le scanalature. La distanza fra le scanalature contigue è stata determinata. Tenendo conto della necessità che ogni superficie delle scanalature sia egualmente attiva nella dispersione del calore. Si ottengono pertanto 450 scanalature per quadrante. La sezione complessiva di passaggio dell'aria (tenendo conto anche dei $0,5 \text{ cm}$.

fra lamierini e piastroni) è di:

$$450 (0,005 \cdot 0,2 + 0,005 \cdot 0,013) = 0,075 \text{ m}^2$$

Con velocità di ingresso dell'aria nelle scanalature \approx di circa 11 m/sec. nei tratti AB, e CD, e di circa 9,5 m/sec. nel tratto BC si ha: portata complessiva di aria di $V_a = 2,4 \text{ mc/sec.}$
Salto di temperatura dell'aria fra l'ingresso e l'uscita :

$$\Delta T_a = \frac{W_p}{c V_a} = \frac{11.000}{1.15 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 \cdot 2.4 \cdot 10^{-3}} \approx 4^\circ$$

Il punto più caldo del ferro avrà una temperatura pari a:

$$t_{\max fe} = t_a + \Delta T_{am} + \Delta T_{fe}, a + \Delta T_{fe}$$

dove t_a temperatura dell'aria all'ingresso ΔT_{am} salto medio di tempo dell'aria fra ingresso e uscita = 2°

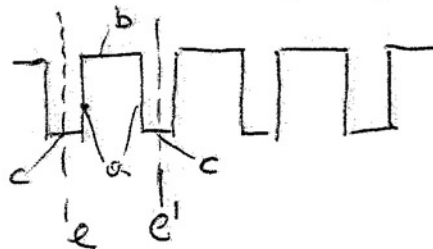
$\Delta T_{fe, a}$ salto di temperatura fra aria e superficie esterna del ferro = 6°

ΔT_{fe} salto di temperatura fra il punto più caldo del ferro e la superficie raffreddante più vicina = 8°

da cui:

$$T_{\max fe} = T_a + 2^\circ + 6^\circ + 8^\circ = T_a + 16^\circ$$

Se T_a è anche la temperatura ambiente (aria non raffreddata) il punto più caldo del ferro ha una sovratemperatura rispetto all'ambiente di 16° anzichè di 15° come prescritto nelle norme



Nota -

Si suppone che tutta la potenza dissipata nel pacco di lamierini compreso fra 1, 1' debba essere dissipata dalle superfici esterne del dente corrispondente (superfici a, a', e b b' trascurando le c)

Si fissa la larghezza b in modo che il gradiente termico nel senso di laminazione e in senso normale sia circa

le stesse. In primissima approssimazione si può allora presumere che le superfici a, a, e b siano abbastanza attive nella dispersione del calore.

Se 450 sono le scanalature di un quadrante si ha che i Watt per dente sono: $Wd = \frac{11.000}{450} = 25 \text{ Watt.}$

Il quadrante nel senso di laminazione (supponendo le superfici $\left. \begin{matrix} a \\ a \end{matrix} \right\}$ isolanti e solo b disperdente) è:

$$\Delta t_e = \frac{Wd \cdot d}{K_e \cdot s} = \frac{25 \cdot 2 \cdot 10^{-2}}{25 \cdot 0,8 \cdot 10^{-2}} \approx 1,2^\circ$$

Il quadrante nel senso normale alla laminazione (supponendo la superficie b isolante e solo a, a disperdente) è:

$$\Delta T_n = \frac{Wd}{\text{volume dente}} \cdot \frac{s^2}{2k_n} = \frac{150 \cdot 10^3 (0,4 \cdot 10^{-2})}{2 \cdot 1} \approx 1,2^\circ$$

CALCOLO DEL SISTEMA DI RAFFREDDAMENTO DEL FERRO DEL MAGNETE
DEL SINCROTRONE CON CIRCOLAZIONE FORZATA D'ACQUA -

Si assume che la quantità di calore da smaltire sia di 45 kW. per l'intero magnete - Ciò corrisponde a 11,25 kW. per quadrante ed a 600 W per ogni pacchetto da 30 cm.

Si assumono come superfici disperdenti per ciascun pacchetto le seguenti:

- | | |
|-----------------------|---------------------------|
| 1) Piastra inferiore | 0,13 mc = A ₁ |
| 2) " superiore | 0,13 mc = A ₂ |
| 3) " laterale esterna | 0,14 mq = A ₃ |
| 4) " " interna | 0,075 mq = A ₄ |

Si ammette inoltre che le piastre assorbono ciascuno le seguenti potenze

- | | | |
|-------------|----------------|-------------------------------|
| - Piastra 1 | $\frac{3}{10}$ | 600 = 180 W. = W ₁ |
| - " 2 | " | " = W ₂ |
| - " 3 | $\frac{2}{10}$ | 600 = 120 W = W ₃ |
| - " 4 | " | " = W ₄ |

Si devono considerare i seguenti salti di temperatura:

$\Delta T_{fe, a}$ sovratemperatura tra il periodo più caldo del ferro e la superficie di trasmissione ferro - rame

$\Delta T_{fe, cu}$, saldo di temperatura tra ferro e rame

ΔT_{cu} " " lungo la piastra di rame

$\Delta T_{cu, H_2O}$ " " tra rame e acqua.

ΔT_{H_2O} sovratemperature dell'acqua.

a) Calcolo di ΔT_{fe}
Vale $\Delta T_{fe} = \frac{W \gamma x^2}{2 k}$

ove:

$$\gamma = 7800 \text{ kg/m}^3$$

$$k = 25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}$$

$$W = 0,45 \text{ W/kg}$$

$$x = 0,35 \text{ m}$$

Si ottiene $\Delta T_{fe} = 8^\circ \text{C}$.

b) Calcolo di ΔT_{pe-cu}

Con uno strato di araldit fra rame e ferro di spessore inferiore $d = 0,4 \text{ mm}$ si ha

$$\Delta T_{pe-cu} = \frac{180 \cdot 4 \cdot 10^{-4}}{0,2 \cdot 0,13} = 2,7^\circ \text{C} = \frac{W_1 \cdot d}{K_a \cdot A_1}$$

ove k_a coeff di conducibilità dell'araldit.

c) Calcolo di ΔT_{cu}

Si assume uno schema di tubazioni in serie saldate alle piastre rame come nel dis. (particolare 4) con un interasse fra i tubetti di $5,5 \text{ cm}$ (nel caso delle piastre 1 e 2 che sono le più sovraccaricate).

Lo spessore delle piastre sia 2 mm .

vale la:

$$T = \frac{W_1 \cdot x^2}{2 k A_1}$$

ove: $\frac{W_1}{A_1} = \frac{180}{0,13} = 1400 \text{ W/m}^2$ $k_1 = 180 \text{ W/m}^\circ \text{C}$

$$K = 380 \text{ W/m}^\circ \text{C}$$

$$X = 2,75 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$r = 2,10^{-3} \text{ m}$$

Si ottiene $\Delta T_{cu} = 0,7^\circ \text{C}$.

d) Calcolo di ΔT_{H_2O}

Le piastre 1, 2, 3 sono raffreddate con condotti in serie e pertanto dovranno essere asportati, con l'acqua che attraversa ciascuna serie di tubetti, 480 Watt .

Fissata la portata di ogni condotto in $0,058 \text{ litri/sec}$. otteniamo:

$$T_{H_2O} = \frac{480}{0,058 \cdot 4180} = 2^\circ = \frac{W_1 + W_2 + W_3}{\alpha \cdot portata}$$

Portata totale condotti esterni per l'intero magnete:

$$0,058 \times 75 = 4,35 \text{ l/sec.}$$

I condotti interni devono smaltire ciascuno 120 Watt con lo stesso salto di temperatura di 2° . Si deduce per essi una portata di circa $1,45/100 \text{ l/sec.}$

In definitiva è necessaria una portata totale per l'intero magnete di $5,45 \text{ l/sec.}$

Assumendo una velocità dell'acqua di 1 m/sec la sezione del tubo non è di $0,58 \text{ cm}^2$ e il suo diametro interno di circa 9 m/m .

e) Calcolo di $\Delta T - \text{H}_2\text{O}$

$$\Delta T_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{W_1}{K_{\text{cu H}_2\text{O}} A_{\text{cu}}} \quad \text{ove}$$

$$W_1 = 180 \text{ Watt}$$

$K_{\text{cu H}_2\text{O}}$ - coeff. di trasmissione H_2O - $= 1000 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}$.

con aria interna del tubicino di rame di una piastra $= 6,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}$.

si ottiene:

$$\Delta T_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{180}{1000 \cdot 6,5 \cdot 10^{-3}} = 3^\circ$$

Riassumendo si ha:

$$\Delta T_{\text{fe}} = 8^\circ \quad \Delta T_{\text{fe, cu}} = 2,7^\circ \quad \Delta T_{\text{cu}} = 0,7 \quad \Delta T_{\text{cu H}_2\text{O}} = 3^\circ$$

$\Delta T_{\text{H}_2\text{O}} = 2^\circ$ da cui le temperature dal periodo più caldo del ferro e:

$$T_{\text{max fe}} = t_{\text{H}_2\text{O}} + 8 + 2,7 + 0,7 + 3 + 2 = T_{\text{H}_2\text{O}} + 16,5^\circ$$

Se la temperatura dell'acqua all'ingresso è di 6° inferiore a quella dell'ambiente il punto più caldo del ferro è circa 11° al disopra della temperatura ambiente.

Peso di rame complessivo 1000 - 1200 Kg.