

ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE
Laboratori Nazionali di Frascati

LNF - 83/13(NT)
4 Marzo 1983

S. Faini: IMPIANTO DI RAFFREDDAMENTO PER
DUE LASER DA 32 E 40 KW

S. Faini: IMPIANTO DI RAFFREDDAMENTO PER DUE LASER DA 32 e 40 KW

1. - INTRODUZIONE

Il Gruppo sperimentale LADON ha chiesto la realizzazione di un impianto di raffreddamento, per un laser CR 10-18, con le seguenti specifiche tecniche:

- potenza dissipata : 40 KW
- fluido raffreddante : acqua distillata
- portata : 30 litri/min
- caduta di pressione nel laser : 2 atm (20 m c. a.)
- taratura valvola di soprapressione posta all'uscita del circuito idraulico del laser : 0,68 atm (6,8 m c. a.)
- temperatura max dell'acqua all'ingresso : 28°C
- temperatura min dell'acqua all'ingresso : 6°C

A questa richiesta si è associato il Gruppo sperimentale LELA chiedendo un impianto di raffreddamento per un laser simile ma di potenza inferiore (32 KW).

Valutando piccola la differenza fra le due potenze ($\Delta P = 20\%$) e in considerazione dei seguenti vantaggi:

- opportunità di avere due impianti uguali che all'occorrenza, con un allacciamento provvisorio, possano costituire l'uno la riserva dell'altro;
- manutenzione minore;
- margine di potenzialità refrigerante per eventuale estensione in potenza del laser del Gruppo LELA;

si è deciso di predisporre due impianti uguali per una potenza di 40 KW, fornendoli di opportuni accorgimenti per compensare la potenzialità frigorifera esuberante.

Si è trattato, quindi, di studiare un impianto e di installarne due aventi le seguenti caratteristiche nominali:

- portata acqua raffreddamento : 30 litri/min (1800 litri/h)
- pressione all'ingresso del laser : $P_{\min} = 2 \text{ atm}$; $P_{\max} < 2.68 \text{ atm}$
- temperatura ingresso : $t_{\min} \geq 6^{\circ}\text{C}$; $t_{\max} \leq 28^{\circ}\text{C}$
- potenzialità frigorifera : $40 \text{ (KW)} \times 860 = 34.400 \text{ Frig/h.}$

2. - DESCRIZIONE IMPIANTO

L'impianto è costituito da due circuiti, detti rispettivamente primario e secondario, aventi in comune la parete di scambio termico di uno scambiatore di calore (vedi Fig. 1).

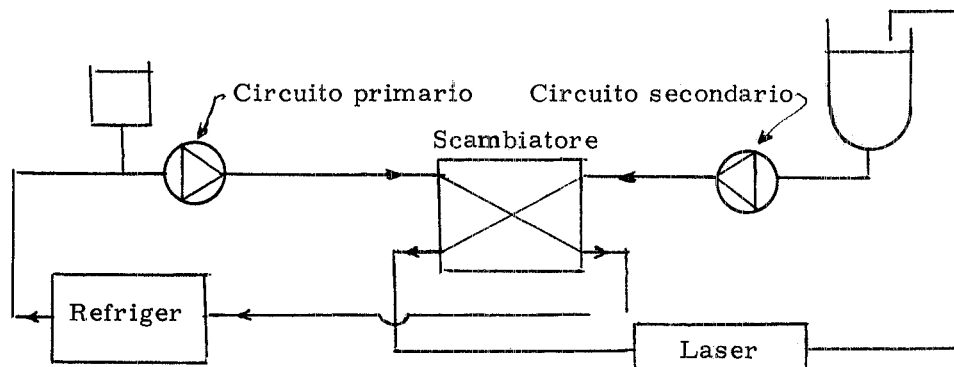


FIG. 1 - Schema di principio dell'impianto.

Il laser è collegato idraulicamente al circuito secondario composto dalle seguenti apparecchiature (vedi disegno N. 0011 allegato):

- N. 2 pompe centrifughe (una riserva dell'altra);
- scambiatore di calore;
- strumenti di indicazione della temperatura TI-10, 11, 14;
- strumento di regolazione della temperatura TR-9;
- strumenti di indicazione della pressione PI-8, 12, 16;
- strumento di regolazione della pressione PR-13;
- strumento di indicazione e controllo della portata QIC-15;
- strumento di indicazione del livello dell'acqua nel serbatoio L-1;
- strumenti di controllo del livello dell'acqua nel serbatoio LC-2, 3;

- valvole apertura-chiusura, valvole di non ritorno RT, valvole motorizzate VM 1-2, valvola di regolazione della pressione VR.

Detto circuito ha la funzione di raffreddare le utenze (laser + alimentatore laser) mediante riscaldamento di una massa di acqua distillata in esso circolante, per circolazione forzata a mezzo pompe centrifughe. La potenza dissipata dalle utenze ed assorbita dalla massa dell'acqua distillata viene ceduta alla massa di acqua greggia refrigerata, proveniente dal circuito primario e circolante, in controcorrente, nello scambiatore di calore.

Il circuito primario è composto dalle seguenti apparecchiature (vedi disegno N. 0011 allegato):

- gruppo refrigeratore costituito dai seguenti elementi:
 - N. 2 compressori per refrigerante 22;
 - condensatore ad aria;
 - evaporatore ad espansione secca;
 - termostato di regolazione a due gradini;
 - termostato antigelo;
 - pressostati di min e max e di protezione "low ambient";
 - pompa di circolazione.
- vaso di espansione;
- strumenti di indicazione della temperatura TI-5, 7;
- strumenti di indicazione della pressione PI-4, 6.

Questo circuito ha la funzione, come si è detto, di sottrarre calore alla massa dell'acqua distillata fino ad un max di 34.400 Frig/h secondo un programma di funzionamento a due gradini del gruppo refrigeratore (50% e 100%).

3. - DIMENSIONAMENTO

La casa costruttrice del laser CR 10-18 consiglia le seguenti temperature della acqua all'ingresso del laser:

$$T_{i_{\min}} = 6^{\circ}\text{C} \text{ (inverno)}, \quad T_{i_{\max}} = 28^{\circ}\text{C} \text{ (estate)}.$$

1. - Calcolo delle temperature di uscita:

$$Q(\text{Kcal/h}) = V \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) \times \gamma \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) \times C \left(\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} \right) \times \Delta T (^{\circ}\text{C});$$

$$40(\text{KW}) \times 860 = 1.8 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) \times 1000 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) \times 1 \left(\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} \right) \times \Delta T (^{\circ}\text{C});$$

$$T = \frac{40 \times 860}{1,8 \times 1,000 \times 1} = 19,11^{\circ}\text{C} ;$$

$$T_{u_{\min}} = 6 + 19,11 \approx 25,5^{\circ}\text{C} \text{ (inverno)} ;$$

$$T_{u_{\max}} = 28 + 19,11 \approx 47,5^{\circ}\text{C} \text{ (estate)} .$$

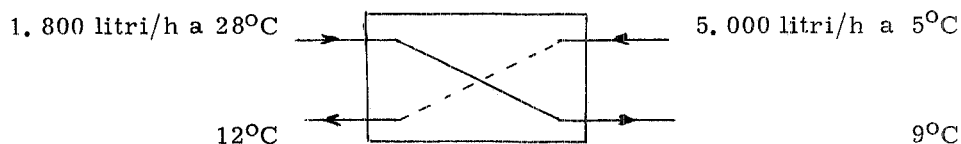
2. - Tenendo conto delle condizioni estreme di temperatura

$$T_{i_{\min}} = 6^{\circ}\text{C} \quad \text{e} \quad T_{u_{\max}} = 47,5^{\circ}\text{C}$$

abbiamo scelto il refrigeratore PS180 Delchi con le seguenti caratteristiche nominali (vedi specifiche tecniche allegate):

- potenza resa : 35.000 Frig/h ;
- evaporatore : $\left\{ \begin{array}{l} \text{temperatura ingresso acqua} : 12^{\circ}\text{C} , \\ \text{temperatura uscita acqua} : 5^{\circ}\text{C} , \\ \text{portata acqua greggia} : 5.000 \text{ litri/h} , \\ \text{perdita di carico} : 1,7 \text{ m H}_2\text{O} ; \end{array} \right.$
- condensatore ad aria : $\left\{ \begin{array}{l} \text{temperatura ingresso aria} : 32^{\circ}\text{C} , \\ \text{portata aria} : 18.000 \text{ m}^3/\text{h} ; \end{array} \right.$

e abbiamo fissato, di conseguenza, le condizioni di scambio per il dimensionamento dello scambiatore scegliendo un set di temperature, di ingresso ed uscita dell'acqua distillata, intermedio tra $47,5^{\circ}\text{C}$ e 6°C (vedi specifiche tecniche allegate):



3. - Calcolo della sezione delle tubazioni del circuito secondario fissando la velocità dell'acqua uguale a 1 m/sec:

$$S(\text{m}^2) = \frac{Q(\text{m}^3/\text{sec})}{V(\text{m}/\text{sec})} = \frac{1,8(\text{m}^3/\text{h})}{3600 \times 1} = 5 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 5 \text{ cm}^2 ;$$

$$S = \frac{D^2 \pi}{4} \quad D(\text{mm}) = \sqrt{\frac{4}{\pi} S(\text{mm}^2)} = \sqrt{\frac{4}{3,14} \times 500} \approx 25,3 \text{ mm} ;$$

scegliamo un DN 25.

4. - Calcolo delle perdite di carico nella tubazione DN 25 supponendo la lunghezza del circuito L = 100 m :

$$Y(m) = B \times L(m) \times Q^2(m^3/sec) \times \frac{1}{D^5(m)} \text{ (DARCY)}$$

dove $B = 0,00164 + \frac{0,000043}{D}$

$$B = 164 \times 10^{-5} + \frac{4300 \times 10^{-8}}{25 \text{ (mm)} \times 10^{-3}} = (164 + 172) \times 10^{-5} = 336 \times 10^{-5}$$

$$Y(m) = 336 \times 10^{-5} \times \frac{1,8^2(m^3/h)}{3,6^2 \times 10^6} \times \frac{100(m)}{25^5(mm) \times 10^{-15}} \approx 8,6 \text{ m.}$$

5. - Calcolo delle perdite di carico localizzate nelle curve a 90°, nei raccordi a T, nelle valvole di ritegno e di regolazione trascurando quelle delle valvole di apertura-chiusura perchè a passaggio totale diritto :

$$Y^1(\text{mm H}_2\text{O}) = Z \times \gamma(\text{Kg/m}^3) \times V^2(\text{m/sec}) \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{g(\text{m/sec}^2)}$$

fissando il coefficiente di resistenza Z :

- per curve a 90° DN 25 = 0,5;
- per raccordi a T DN 25 = 3;
- per la valvola di regolazione DN 25 a sede diritta = 8;
- per la valvola di non ritorno DN 25 = 2;

avremo:

$$Y^1 = 0,5 \times 1000 \times l^2 \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{9,8} = 25,5 \text{ mm H}_2\text{O} \times 40 \text{ curve} = 1020 \text{ mm H}_2\text{O}$$

(curve)

$$Y^1 = 3 \times 1000 \times l^2 \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{9,8} = 153 \text{ mm H}_2\text{O} \times 5 \text{ raccordi} = 765 \text{ mm H}_2\text{O}$$

(raccordi a T)

$$Y^1 = 8 \times 1000 \times l^2 \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{9,8} = 408 \text{ mm H}_2\text{O}$$

(valvola di regolazione)

$$Y^1 = 2 \times 1000 \times l^2 \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{9,8} = 102 \text{ mm H}_2\text{O}$$

(valvola di non ritorno)

per un totale di : 2295 mm H₂O.

6. - Calcolo della prevalenza H della pompa:

- caduta di pressione nel laser	20 m H ₂ O
- caduta di pressione nello scambiatore circuito H ₂ O distillata	1.3 m H ₂ O
- caduta di pressione nella tubazione DN 25	8.6 m H ₂ O
- caduta di pressione per perdite localizzate	2.3 m H ₂ O
	<hr/>
totale:	32.2 m H ₂ O
+ 20% (margine di regolazione)	6.5 m H ₂ O
	<hr/>
TOTALE:	38.7 m H ₂ O

7. - Abbiamo scelto una pompa con le seguenti caratteristiche:

- H = 40 m H₂O ;
- Q = 32.50 litri/min (vedi curva di lavoro allegata).

4. - REGOLAZIONE E CONTROLLO DELL'IMPIANTO

Dovendo l'impianto funzionare tutto l'anno con variazioni di temperatura dell'aria all'ingresso del condensatore, per evitare il superamento delle condizioni estreme sono state previste le seguenti possibilità d'intervento:

- funzionamento intermittente del refrigeratore comandato da un termostato (TR-9) a due gradini regolabili;
- funzionamento continuo del refrigeratore con stabilizzazione della temperatura d'ingresso dell'acqua del laser, su valori stagionali ottimali, mediante valvola miscelatrice modulante;
- riscaldamento, a mezzo di resistenza elettrica a nastro, dell'acqua del serbatoio fino alla temperatura di 6°C.

5. - DIMENSIONAMENTO VALVOLA DI REGOLAZIONE

E' consuetudine dimensionare la valvola di regolazione fissando la sua perdita di carico pari al 50% delle perdite dell'impianto (valvola esclusa) e la portata massima 1.4 volte quella nominale:

$$Y_{\text{totali impianto}} = 38.7 \text{ m H}_2\text{O}$$

$$Y_{\text{valvola regolazione}} = 19.4 \text{ m H}_2\text{O}$$

$$Q_{\text{valvola regolazione}} = 30 \text{ (litri/min)} \times 1.4 = 42 \text{ litri/min.}$$

Dal diagramma allegato rileviamo il coefficiente della valvola "CV", che esprime il valore numerico della portata di acqua nell'unità di tempo, per una determinata differenza di pressione fra monte e valle della valvola stessa:

$$CV = 30-40 \text{ corrispondente ad una valvola DN 15 (1/2")}.$$

6. - CALCOLO DELL'ENERGIA NECESSARIA PER IL RISCALDAMENTO DELL'ACQUA DEL SERBATOIO DA 1°C A 6°C

$$Q(\text{Kcal}) = V(\text{m}^3) \times \gamma(\text{Kg/m}^3) \times C(\text{Kcal/Kg}^\circ\text{C}) \times \Delta t(^\circ\text{C})$$

$$V = 0.325 \text{ m}^3$$

$$\Delta t = 5^\circ\text{C}$$

$$\frac{1625}{860} = 1.9 \text{ KW h.}$$

7. - SICUREZZE E PUNTI DI INTERVENTO

Gli utenti degli impianti hanno chiesto le seguenti specifiche:

- a) Accensione alimentatore laser o teleruttore preposto, subordinata alla circolazione dell'acqua di raffreddamento alle seguenti condizioni:
 - pressione < 2.68 atm
 - portata = 30 litri/min.
- b) La temperatura all'ingresso del laser non deve essere:
 - inferiore a 6°C
 - superiore a 28°C.
- c) La circolazione dell'acqua nel circuito secondario deve essere mantenuta per 5 minuti dopo lo spegnimento del laser.
- d) Dopo eventuali interruzioni di energia elettrica o guasti alle pompe non si devono poter accendere le pompe prima di 45 minuti.

Per soddisfare tali richieste si è così disposto:

- A) Accensione: si potrà accendere il laser (o sarà abilitato all'accensione il teleruttore principale del laser) se si avranno i seguenti consensi:

A. 1. - Il livello dell'acqua distillata nel serbatoio dovrà essere superiore al livello minimo (≈ 50 litri).

A. 2. - La portata indicata dal flussimetro (QIC-15) dovrà essere ≥ 30 litri/min.

A. 3. - La pressione indicata dal manometro PI-12 dovrà essere ≤ 2.68 atm.

B) Segnalazioni luminose (SL), Allarmi acustici (AA) e Spegnimento laser (SPL):

B. 1. - Livello minimo acqua distillata sarà indicato da:

B. 1. 1. - una segnalazione SL

oppure da:

B. 1. 2. - segnalazione SL, AA, SPL.

B. 2. - La portata inferiore al valore stabilito sarà indicata da:

B. 2. 1. - una segnalazione SL, AA, SPL.

C) Controllo della temperatura: vedi Cap. 4

D) Ogni spegnimento normale del laser comporterà lo spegnimento delle pompe dopo 5 minuti.

Ogni interruzione di energia elettrica o per guasti alle pompe ritarderà la riaccensione di queste di 45 minuti.

7. - CONCLUSIONI

Attualmente è installato (e funzionante da sei mesi) l'impianto per il laser del Gruppo Sperimentale LELA.

Il secondo impianto, quello per il laser del Gruppo Sperimentale LADON, è in corso di installazione.

Il progetto e l'installazione di detti impianti sono stati realizzati dal Servizio Meccanica ed Impianti della D. M. dei Laboratori Nazionali di Frascati. In particolare R. Lanzi ha curato la installazione e V. Lollo ha curato l'approvvigionamento delle apparecchiature e la composizione di queste nel disegno esecutivo.

Il progetto esecutivo e l'installazione del quadro elettrico di comando e controllo dell'impianto sono stati realizzati in collaborazione dai Servizi Impianti Elettrici D. T. e Operazione D. M.

A tutti vanno i nostri ringraziamenti per l'ottima collaborazione.



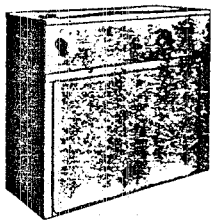
GRUPPI REFRIGERATORI

CLIENTE

OFFERTA del

foglio di

SERIE PS



Riferimento		
Quantità		1
Gruppo refrigeratore	tipo	PS 180
Potenzialità richiesta	frig/h	34.400
Potenzialità effettiva	frig/h	35.000
Compressore		
Numero e tipo		2 ermetici
Gradini di parzializzazione		100 - 50 - 0%
Evaporatore		
Temperatura acqua entrata	°C	12
Temperatura acqua uscita	°C	5
Portata acqua	l/h	5.000
Perdita di carico	m H ₂ O	1,70
Condensatore ad aria		
Ventilatori tipo : CENTRIFUGO	n°	2
Temperatura aria entrata	°C	32
Portata aria	m ³ /h	18.000
Caratteristiche elettriche		
Potenza assorbita compressore	kW	15,50
Motore ventilatori n°	kW	2 x 2,2
Tensione trifase 50 Hz	V	380
Quadro di controllo		si
Caratteristiche fisiche come da catalogo		-
Completamenti		-
Carica olio e freon		si
Avviatori tipo		-
Linee precaricate (solo per PS)	m	-
Pompa di circolazione acqua Kw 1,5		si
Relè ritardatore dei compressori		accessorio
Serranda di controllo della pressione di condensazione per temperatura esterna < +5°C		accessorio



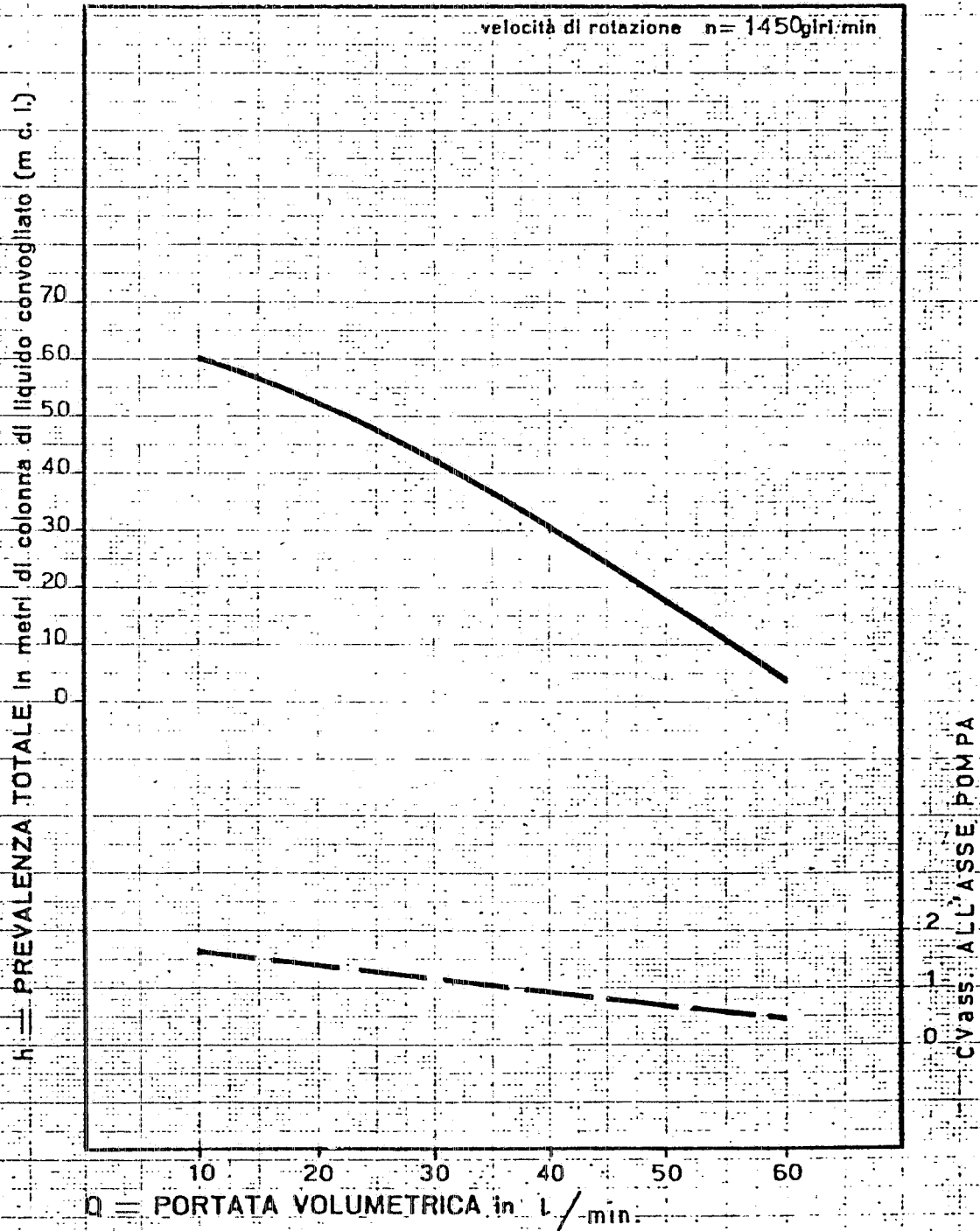
TECHNICAL SPECIFICATION / SPECIFICA TECNICA
Plate Heat Exchanger / Scambiatore di calore a piastre

Customer / Cliente		Name / Nome		Ref. / Riferimento		date / data	
Plant location / Luogo di installazione		ISTITUTO NAZIONALE SICA NUCLEARE		Manuf. No. / Numero di matricole			
Agent / Agente		Name / Nome		Quotation No. / Offerta N.		date / data	
Supplier / Fornitore		Name / Nome		Order No. / Ordine N.		date / data	
Unit type / Modello		Quantity / Quantità		Heat transfer surface m ² /unit / Superf. di scambio termico m ² /unità		Net job price/unit / Prezzo netto job/unità	
Duty / Servizio		Type of process or plant / Tipo di processo o impianto		Application code / Codice applicazioni			
Media / Fluidi		Density / Densità	Spec. heat / Calore specifi.	Therm cond. / Conduttib. term.	Viscosity / Viscosità		
ACQUA		kg/dm ³	kcal/kg °C	kcal/m ² Ch	cSt	°C	cSt
ACQUA		0.999	1.002	0.512	1.136	15.33	1.257
ACQUA		1.001	1.005	0.501	1.415	4.33	1.335
Section / Sezione	Media / Fluidi	Flowrate / Portata	Temperature programme / Programma termico		Grouping / Disposizione canali		Pressure drop m.w.g. / Perdita di carico m.c.a.
I	ACQUA	kg/h	1800	28 → 9	2 x 11		1.3
	ACQUA	kg/h	4841	12 ← 5	2 x 11		8.5
II				→			
III				→			
IV				→			
Plates / Piastre	No. / Numero	Mat. / Materiale	Thickness / Spessore	Finish / Finitura	Gasket / Guarnizioni		Code / Codice
	45	AISI 316	0.6 mm		BUTILE RESINATO		
Connections / Connessioni			Union type / Tipo bocchettone		Flange type / Tipo flangia		
					Counter flange / Controflangia		
Conn. No.	Size / Diametro	Mat. / Materiale	Remarks / Note				
4	∅ 36 mm	AISI 316					
Tube holder / Solette tubolare	∅ / Diametro	Mat. / Materiale	Volume / Volume	Holding time / Tempo di sosta	Stand. / Cavalletto		
			litre / litri	sec.	<input type="checkbox"/> Yes / SI <input type="checkbox"/> No / NO		
Type of connection plate / Modello interpiastre				Frame for taking / Fusto previsto per			
				extra plates / piastre suppiam			
Working/Test pressure / Pressione di esercizio/prova		Plate pack length / Lunghezza del pacco delle piastre		Net weight / Peso netto	Gross weight / Peso lordo	Volume / Volume	
10/15 Atc		mm		kg	kg	m ³	
						B1	
						B2	
						B3	
						B4	
Handled by / Completato da		Date / Data		Checked by / Controllato da		Date / Data	
		42					

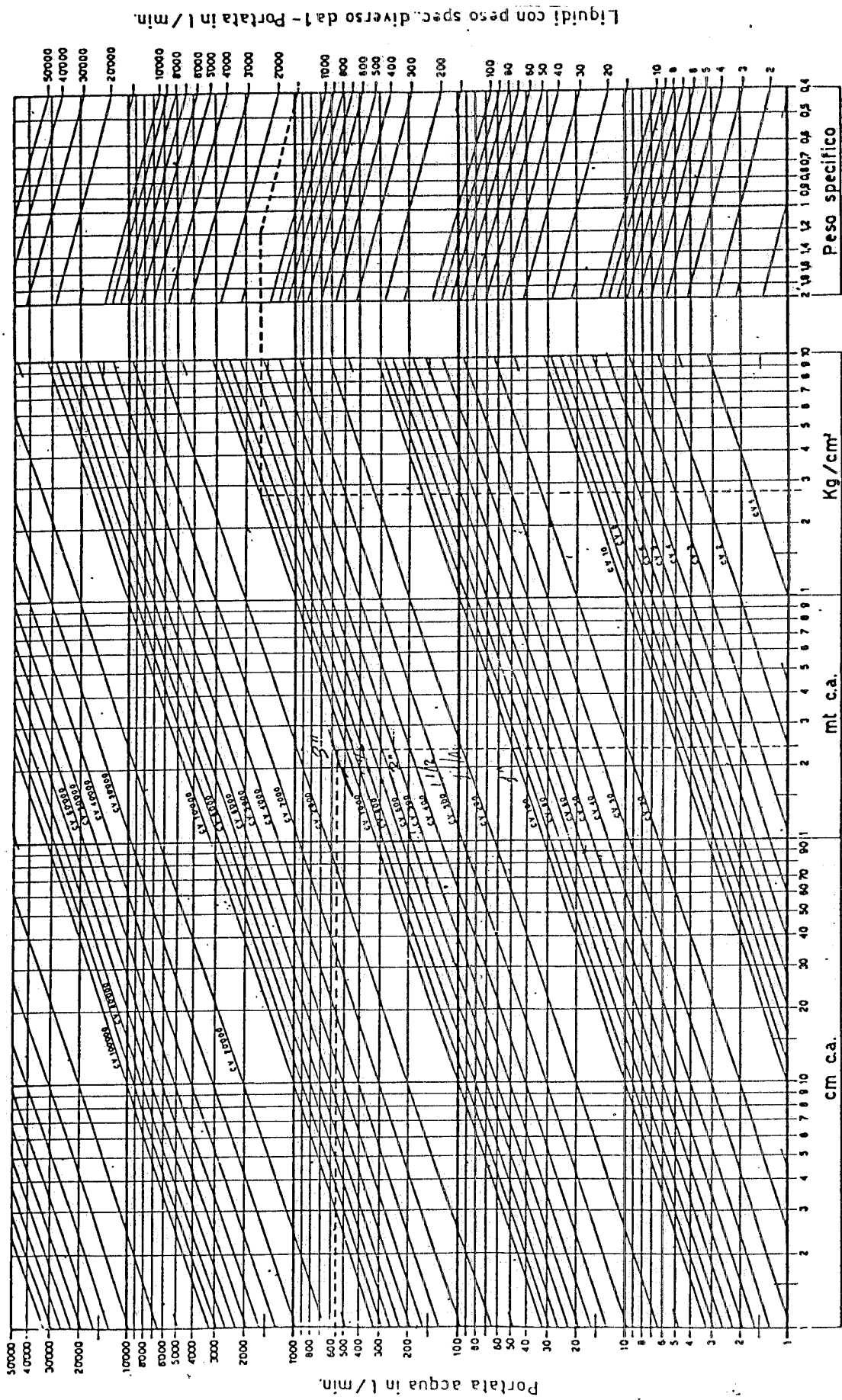
POMPE ING. CALELLA S.p.A.

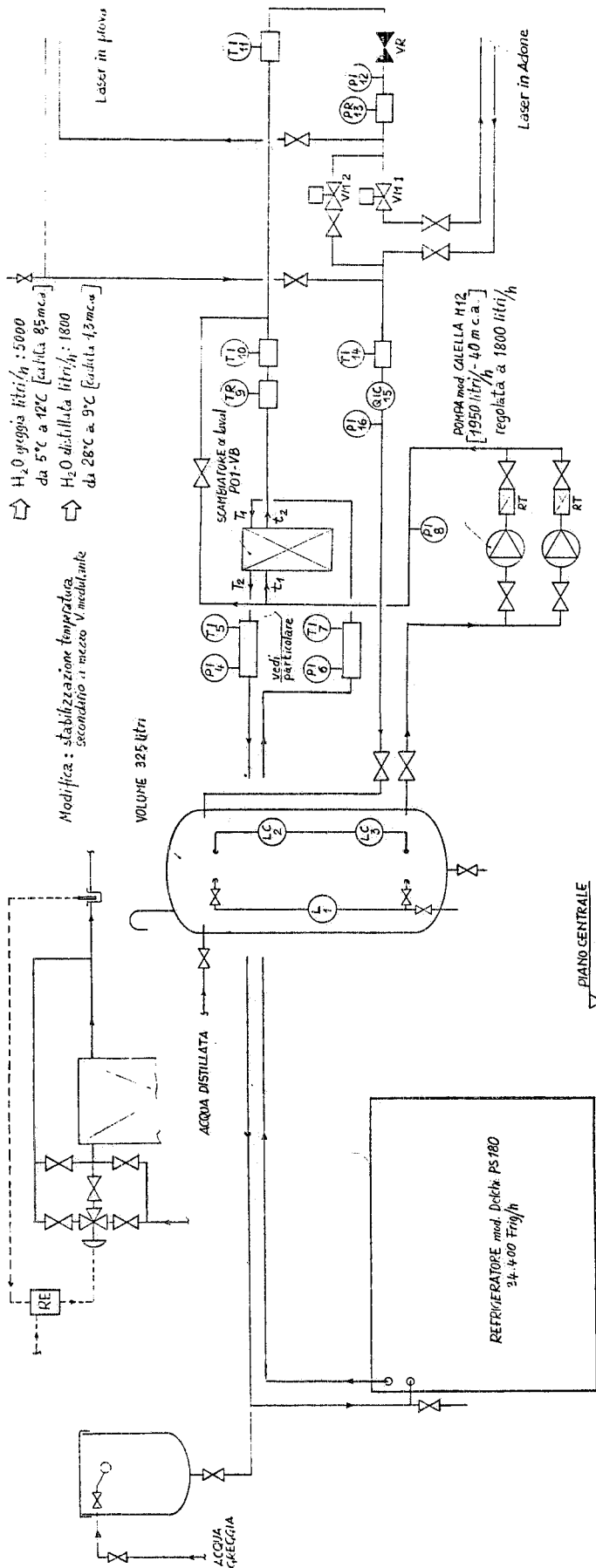
TOLLERANZE: secondo le norme EUROPUMP

POMPA TIPO
M 12



Figlio 1. DIAGRAMMA PER LIQUIDI





PIANO CENTRALE

- (L) [1] INDICATORE LIVELLO
- (LC) [2,3] CONTROLLO LIVELLO
- (PI) [4,5,8,12,15] INDICATORE PRESSIONE
- (PR) [13] CONTROLLO PRESSIONE
- (TI) [5,7,10,11,14] INDICATORE TEMPERATURA
- (TR) [9] CONTROLLO TEMPERATURA
- ([6]) [6] INDICATORE CONTROLLO PORTATA

I.N.F.N. - L.N.F.
 SERVIZIO MECCANICA ED IMPIANTI
 IMPIANTO RAFFREDDAMENTO
 LASER [32/40 KW]
 [luglio 1982]