



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie,  
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile



*Ministero dello Sviluppo Economico*

## RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Approvvigionamento dei componenti necessari per la  
realizzazione del circuito

*M. Cumo, L. Gramiccia, F. Giannetti, D. Vitale Di Maio*



## APPROVVIGIONAMENTO DEI COMPONENTI NECESSARI PER LA REALIZZAZIONE DEL CIRCUITO

M. Cumo, L. Gramiccia, F. Giannetti, D. Vitale Di Maio (Università di Roma La Sapienza)

Novembre 2011

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Governo, gestione e sviluppo del sistema elettrico nazionale

Progetto: Fissione nucleare: metodi di analisi e verifica di progetti nucleari di generazione evolutiva ad acqua pressurizzata

Responsabile Progetto: Massimo Sepielli, ENEA

**Titolo**

**Approvvigionamento dei componenti necessari per la realizzazione del circuito**

**Ente emittente** CIRTEN (Università di Roma La Sapienza)

# PAGINA DI GUARDIA

**Descrittori**

**Tipologia del documento:** Rapporto tecnico

**Collocazione contrattuale:** ACCORDO DI PROGRAMMA Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA sulla Ricerca di Sistema Elettrico PIANO ANNUALE DI REALIZZAZIONE 2010 Progetto 1.3.2.a: Fissione nucleare: Metodi di analisi e verifica di progetti nucleari di generazione evolutiva ad acqua pressurizzata.

**Argomenti trattati:** Calcolo delle strutture meccaniche, Energia nucleare, Reattori nucleari ad acqua, Sicurezza nucleare

**Sommario**

Il report descrive le caratteristiche dei principali componenti costituenti l'impianto sperimentale a cui applicare sezioni di prova per ricerche e sperimentazioni su simulacri di componenti presenti su sistemi di piccolo diametro con fini di sicurezza dei circuiti principali di PWR. L'impianto sarà in grado di produrre acqua alle condizioni di pressione e temperatura tipiche del circuito primario dei reattori nucleari ad acqua in pressione della generazione III/III+: le condizioni di progetto dei componenti sono quindi  $T = 357^{\circ}\text{C}$  e  $p = 180$  barg.

**Note**

**ALLEGATO n. 4**

Copia n.

In carico a:

2			NOME			
			FIRMA			
1			NOME			
			FIRMA			
0	EMISSIONE	22/11/2011	NOME	P.C. Incalcaterra	M. Sepielli	M. Sepielli
			FIRMA			
REV.	DESCRIZIONE	DATA		CONVALIDA	VISTO	APPROVAZIONE



CIRTEN

Consorzio Interuniversitario per la Ricerca TEcnologica Nucleare

**“SAPIENZA” UNIVERSITA’ DI ROMA**

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ASTRONAUTICA, ELETTRICA ED ENERGETICA**

# APPROVVIGIONAMENTO DEI COMPONENTI NECESSARI PER LA REALIZZAZIONE DEL CIRCUITO

Prof. Maurizio Cumo

Prof. Luciano Gramiccia

Ing. Fabio Giannetti

Ing. Damiano Vitale Di Maio

**CERSE-UNIRM RL 1179/2011**

**Roma, Novembre 2011**

Lavoro svolto in esecuzione dell’Obiettivo 6.1.B Attività A1  
AdP MSE-ENEA sulla Ricerca di Sistema Elettrico- Piano Annuale di Realizzazione 2010  
Progetto 1.3.2.a “Fissione nucleare: Metodi di analisi e verifica di progetti nucleari di  
generazione evolutiva alimentati ad acqua pressurizzata”

## INDICE

INDICE.....	2
Elenco figure.....	2
1 Sommario .....	3
2 Descrizione del lavoro .....	4
3 Recipiente in pressione e linea circolazione acqua .....	4
3.1 Recipiente in pressione.....	4
3.1.1 Riscaldatori .....	6
3.2 Valvole di sicurezza .....	7
3.2.1 Relief valve.....	10
3.3 Linea di circolazione acqua .....	11
3.3.1 Tubazioni e pompa.....	13
3.3.2 Flange .....	13
3.3.3 Valvola di regolazione .....	14
4 Linea circolazione aria compressa.....	15
4.1 Compressore.....	15
4.2 Accumulatore aria compressa.....	17
5 Strumentazione .....	17
5.1 Misuratori di temperatura .....	17
5.2 Misuratori di pressione .....	19
5.3 Indicatore visuale di livello .....	19
6 Conclusioni .....	20
7 Riferimenti .....	21

## Elenco figure

<b>Figura 1:</b> sezione del recipiente in pressione.....	5
<b>Figura 2:</b> Vista in pianta del serbatoio in pressione .....	6
<b>Figura 3:</b> riscaldatore elettrico su flangia .....	7
<b>Figura 4:</b> valvola di sicurezza.....	9
<b>Figura 5:</b> valvola di relief.....	11
<b>Figura 6:</b> schema linea circolazione acqua .....	12
<b>Figura 7:</b> dimensionamento flange RJT (NPS 1" – classe 2500), ASME B16.5 .....	13
<b>Figura 8:</b> Valvola di regolazione della linea di circolazione dell'acqua.....	15
<b>Figura 9:</b> MCH-30 Silent: dimensioni compressore.....	16
<b>Figura 10:</b> MCH-30 Silent: circuito in pressione.....	17
<b>Figura 11:</b> trasmettitore 248R Railmount: dimensioni in mm (inch) .....	18
<b>Figura 12:</b> Rosemount 3051S Scalable MultiVariable Pressure Transmitter .....	19
<b>Figura 13:</b> Indicatore visuale di livello .....	20

# 1 Sommario

In questo report sono descritte le caratteristiche dei principali componenti costituenti la struttura di supporto alla sezione di prova sperimentale prevista dall'attività 6.1A del PAR2010 ed è in grado di produrre acqua alle condizioni di pressione e temperatura tipiche del circuito primario dei reattori nucleari ad acqua in pressione della generazione III/III+.

Le condizioni di progetto dei componenti sono quindi  $T = 357^{\circ}\text{C}$  e  $p = 180$  barg fino alla pompa, dopo la quale la pressione di progetto diventa 190 barg.

Viene fornita una descrizione e sono illustrate le principali caratteristiche dei seguenti componenti:

- Recipiente in pressione
- Riscaldatori
- Tubazioni e pompa linea circolazione acqua
- Valvola di regolazione
- Flange linea circolazione acqua
- Compressore
- Accumulatore linea aria compressa
- Misuratori di temperatura
- Misuratori di pressione
- Valvole di sicurezza

## 2 Descrizione del lavoro

L'attività 6.1B del PAR 2010 consiste nella progettazione e fornitura dei componenti per un impianto sperimentale in grado di riprodurre le condizioni di pressione e temperatura tipiche dei reattori nucleari ad acqua in pressione della generazione III/III+.

In seguito saranno illustrate le caratteristiche tecniche dei principali componenti costituenti tale impianto sperimentale.

## 3 Recipiente in pressione e linea circolazione acqua

### 3.1 Recipiente in pressione

Le principali caratteristiche tecniche del recipiente in pressione sono:

Temperatura massima  $TS = 360 \text{ °C}$

Pressione  $PS = 180 \text{ bar}$

Volume  $V = 150,0 \text{ l}$

La progettazione del recipiente in pressione è stata effettuata facendo riferimento alla Direttiva 97/23/CE (Apparecchi a pressione) e alla raccolta di norme I.S.P.E.S.L. VSR "Verifica della Stabilità dei Recipienti a pressione".

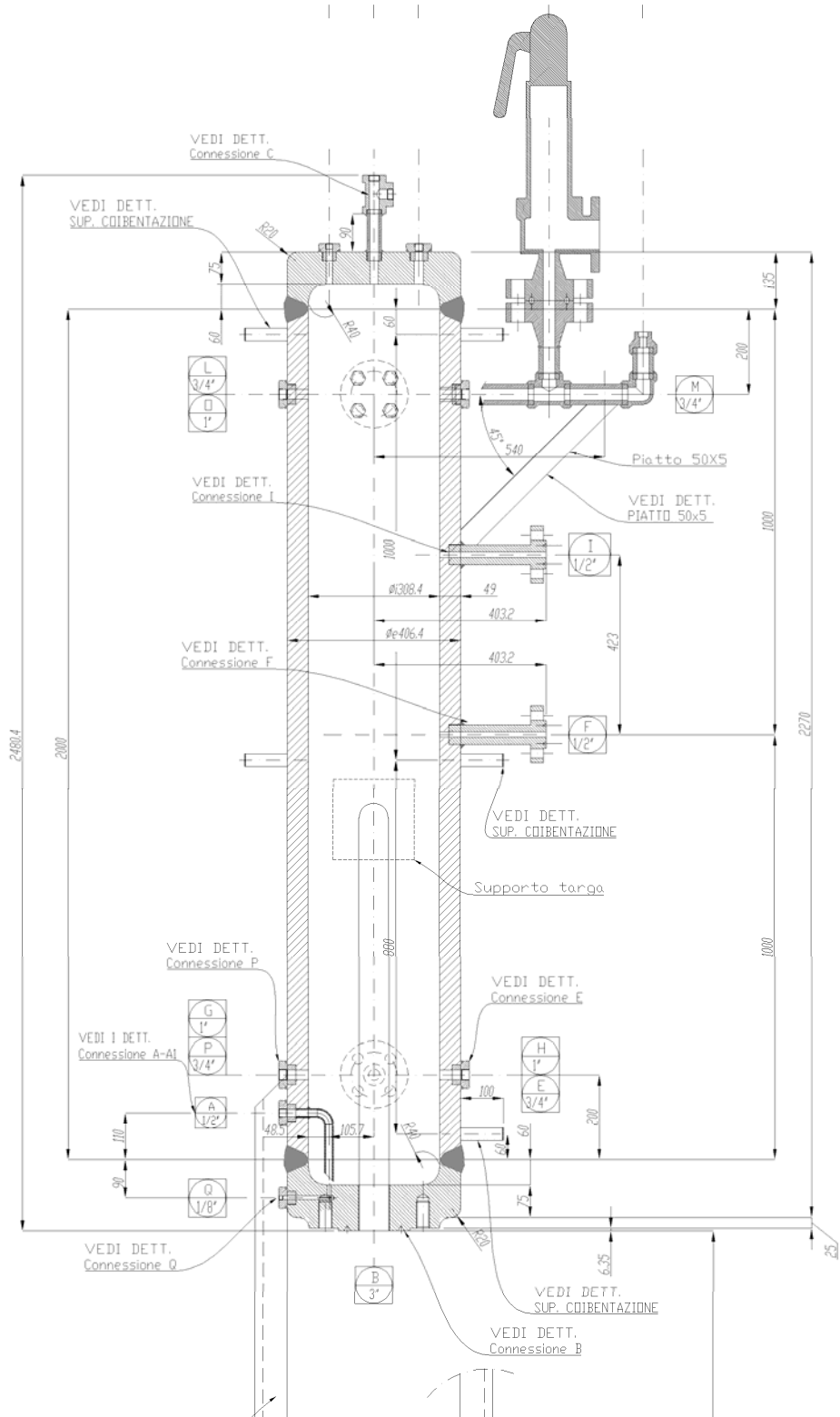
Secondo la normativa PED il recipiente in pressione è caratterizzato dai seguenti parametri (Rif 1):

- Prodotto  $PS \cdot V = 27000 \text{ bar L}$
- Tipologia di fluido (art. 9): Gruppo 2
- Categoria di rischio: IV
- Modulo validazione conformità (art. 13): G

Il recipiente è un serbatoio verticale costituito da un fasciame cilindrico e da due lastre piane costituenti i fondi inferiore e superiore.

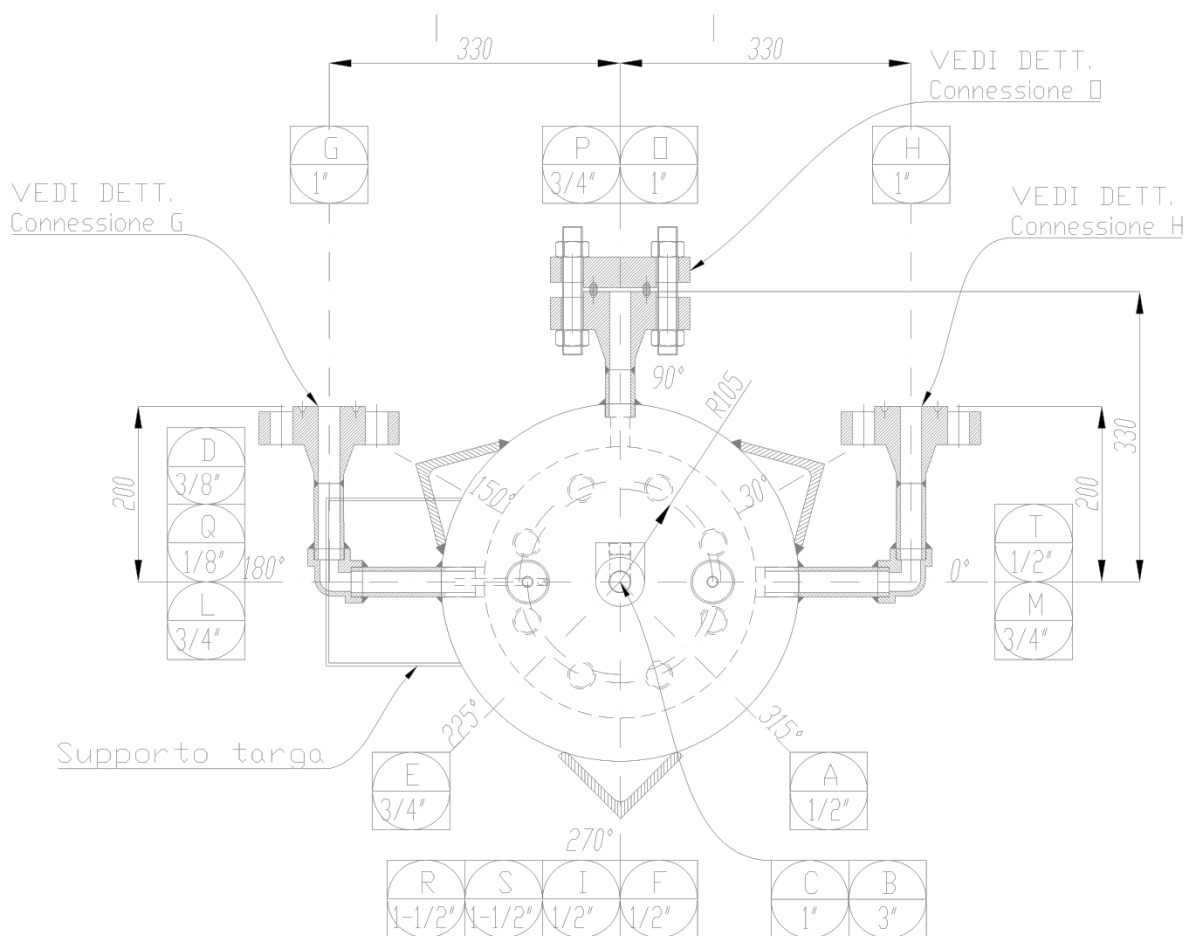
Il materiale utilizzato per il fasciame cilindrico è acciaio ASTM SA 312 Tp.304; il materiale utilizzato per i fondi è ASTM A 182 Gr. F304 H.

Le dimensioni risultanti dalla progettazione (Rif 2) del serbatoio secondo le normative (Rif 3) sono riportate nel disegno tecnico riportato in fig. 1 e fig. 2.



*Figura 1: sezione del recipiente in pressione*





**Figura 2:** Vista in pianta del serbatoio in pressione

### 3.1.1 Riscaldatori

Il riscaldatore è del tipo elettrico su flangia per fluido di lavoro acqua, corredato da quadro elettrico di gestione e controllo del riscaldatore.

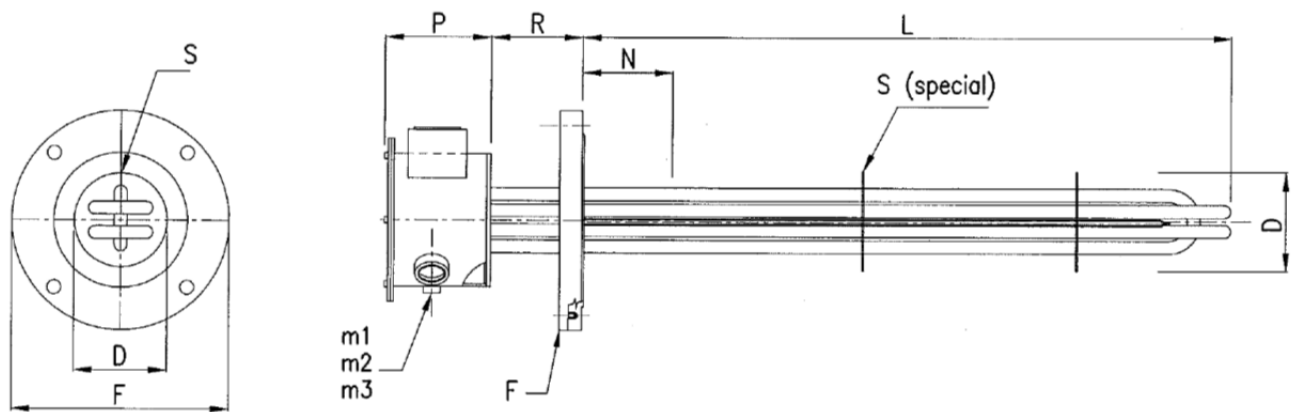
Le caratteristiche tecniche (Rif 4) sono le seguenti:

- Potenza: 15 kW
- Tensione: 400 V (trifase)
- Tipo di collegamento: triangolo

Il riscaldatore è composto da

- N° 3 elementi corazzati in acciaio inox AISI 316 L – Diametro 16 mm
- Sviluppo 2834 mm ripiegati a U con lunghezza sotto battuta pari a 1000 mm – tratto neutro 200 mm

Uno schema illustrativo è riportato in fig. 3.



<b>L</b> 1000	<b>N</b> 200	<b>R</b> 295	<b>P</b> 130	<b>D</b> 70	<b>S</b> N.2	<b>m1</b> N.1x1"Gas	<b>m2</b> N.1x1/2"Gas	<b>m3</b>
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>F</b>	<b>N1</b>	<b>N2</b>	<b>N3</b>	<b>H1</b>	<b>H2</b>
<small>3" ANSI 2500 lb RJ</small>								

**Figura 3:** riscaldatore elettrico su flangia

Il riscaldatore è elettrosaldato su flangia da 3" ASME Classe 2500 Tipo RJT descritta in seguito.

La ditta costruttrice è la Masterwatt S.r.L. Electric Heating Solutions.

Il quadro di controllo del riscaldatore permette di regolare la potenza della resistenza tramite la temperatura di set point dell'acqua del serbatoio e inoltre ha tre segnali utilizzati come segnali di sicurezza:

- temperatura di guaina degli elementi scaldanti, tramite una termoresistenza fornita insieme agli stessi;
- livello nel serbatoio, tramite misuratore multivariabile fornito da Emerson Process Management;
- pressione nel serbatoio, tramite lo stesso misuratore multivariabile.

La logica di sicurezza prevede dunque:

1. per  $T = > T_{set}$  → alimentazione riscaldatori OFF
2. per Livello < livello minimo+margine → alimentazione riscaldatori OFF
3.  $P \geq P_{sicurezza}$  : → alimentazione riscaldatori OFF

Inoltre il riarmo, in caso di interruzioni date dai segnali di sicurezza, deve essere manuale tramite opportuno comando sul quadro.

### 3.2 Valvole di sicurezza

La valvole di sicurezza (dimensionata sia per fluido operativo vapore che aria) è stata progettata secondo le norme ASME sec. VII (con sovrappressione del 10% full nozzle).

Il fornitore è Dresser Consolidated.

In particolare le portate di dimensionamento sono:

1. Il vapore prodotto dalla evaporazione dell'acqua contenuta nel serbatoio grazie alla potenza massima fornita dal riscaldatore
2. La portata massima di aria compressa proveniente dal compressore

Con questi dati si è proceduto al calcolo della sezione di efflusso necessaria allo smaltimento di entrambe le portate tramite la relazione di calcolo fornita dal costruttore.

L'area di efflusso della valvola scelta si è dimostrato essere ampiamente sufficiente a smaltire entrambe le portate.

Le connessioni sono entrambe flangiate:

1. In ingresso si ha un rating 2500# RJT con un DN di 1" ½
2. In uscita 2" 300# RF

Le principali caratteristiche tecniche della valvola sono (Rif 10):

- Pressione operativa: 180 bar
- Pressione di efflusso massimo: 198 bar
- Temperatura operativa: 357 °C
- Area di efflusso: 0,8252 cm<sup>2</sup>
- Peso: 68 kg

Una rappresentazione schematica della valvola è fornita in fig.9.

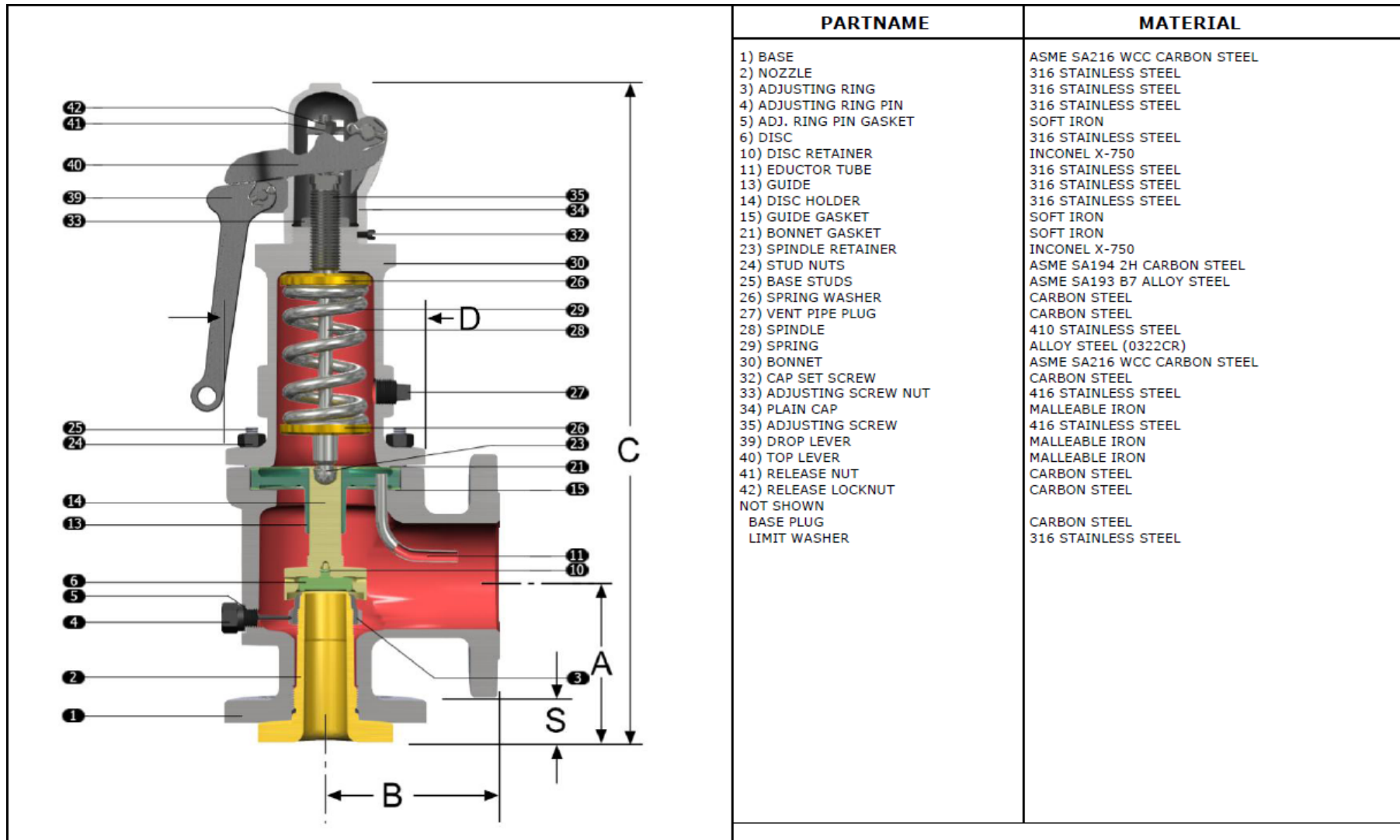


Figura 4: valvola di sicurezza

### 3.2.1 Relief valve

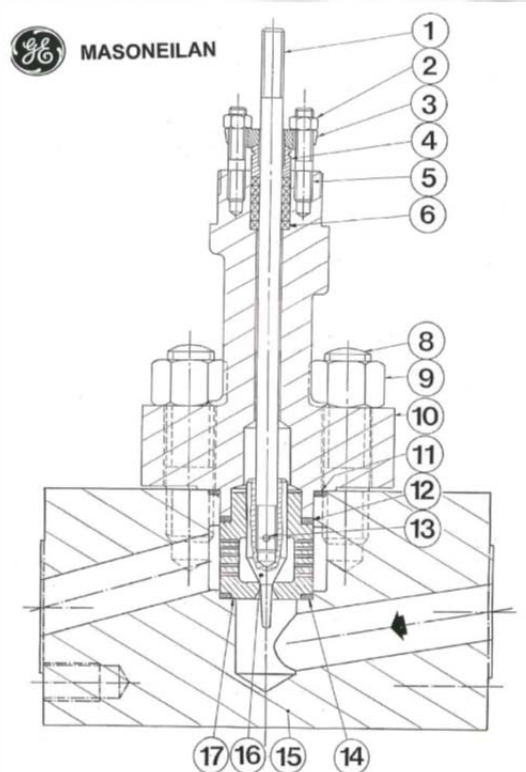
Per regolare finemente la pressione del serbatoio sarà installata una valvola di relief equipercentuale con connessione da ½" in grado di ottenere  $c_v$  molto piccoli e di resistere nel tempo a differenze di pressioni dell'ordine di 180 bar con perdite trascurabili e alla corrosione da vapore.

Date le condizioni gravose si è dovuto ricorrere ad acciai particolari (AISI 440 C) per la gabbia e l'otturatore.

Tabella 1: dati valvola relief

DATI	UNITA' DI MISURA	VALORE DI PROGETTO
Portata massima	kg/h	80
pressione ingresso	bar g	160
pressione uscita	bar g	1
Deltap	bar	159
temperatura	deg C	357
Cv calcolato		0.03646
Cv maggiorato		0.03646
% corsa	%	60.77
% CV	%	60.77

La valvola di relief viene fornita da Dresser Masoneilan.



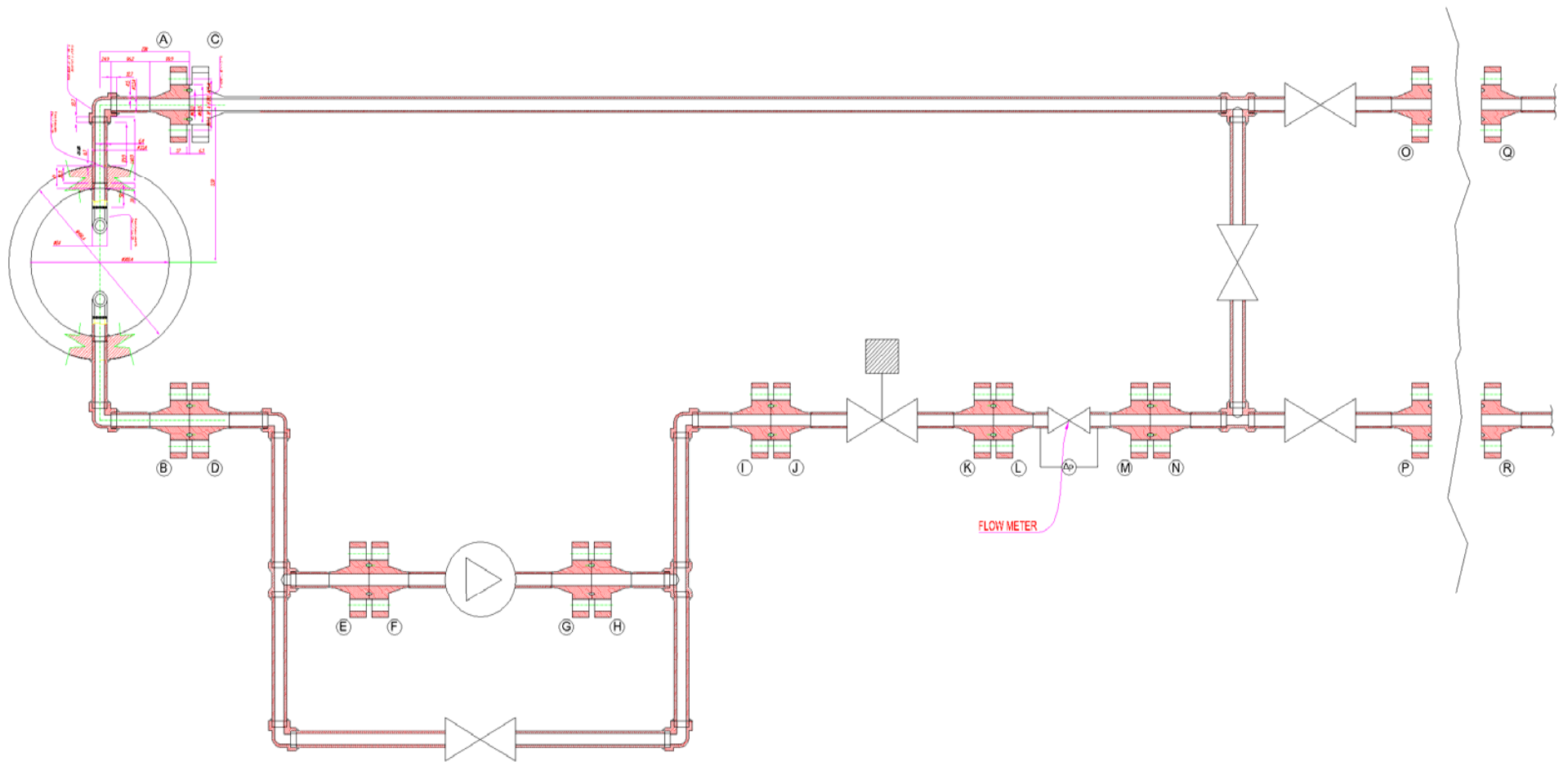
**Figura 5:** valvola di relief

### **3.3 Linea di circolazione acqua**

La linea di circolazione acqua alimenta il recipiente in pressione; in questo paragrafo sono descritte le caratteristiche della pompa, delle tubazioni e delle flange.

Uno schema possibile della linea acqua è illustrato in **Figura 6**.

Il layout definitivo della linea non è però definibile in questa sede in quanto un dei componenti principali, che è la pompa, non è stato fornito e potrebbe avere dimensioni variabili e costringere a variare le dimensioni del circuito.



**Figura 6:** schema linea circolazione acqua

### 3.3.1 Tubazioni e pompa

Le tubazioni sono state dimensionate secondo quanto prescritto dalla norma ASME B31.3. Il diametro nominale è pari a 1" sch. 80 (diametro esterno 33,4 mm e lo spessore nominale  $s$  è di 4,55 mm) (Rif 5).

La pompa sarà di tipo centrifugo. Le condizioni operative sono  $p = 180$  bar,  $T = 360$  °C e deve fornire una prevalenza  $H$  stimata per il tipo di circuito in considerazione è dell'ordine dei 10 m.

Considerando che le tubazioni hanno un'area di passaggio  $A_p$  pari a 464 mm<sup>2</sup> e ipotizzando una velocità del fluido  $v$  di 2 m/s si ottiene una portata volumetrica  $Q$  di

$$Q = A_p \cdot v = 0,000928 \text{ m}^3/\text{s} = 3,34 \text{ m}^3/\text{h}$$

Essendo la densità del fluido  $\rho$  pari a 537,634 kg/m<sup>3</sup>, si ottiene una portata massica  $\Gamma$  :

$$\Gamma = Q \cdot \rho = 0,498 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 1796,13 \text{ kg/h} .$$

Dato il costo eccessivo della pompa, essa viene esclusa dalla fornitura in oggetto, anche se ne sono state individuate tre possibili offerte

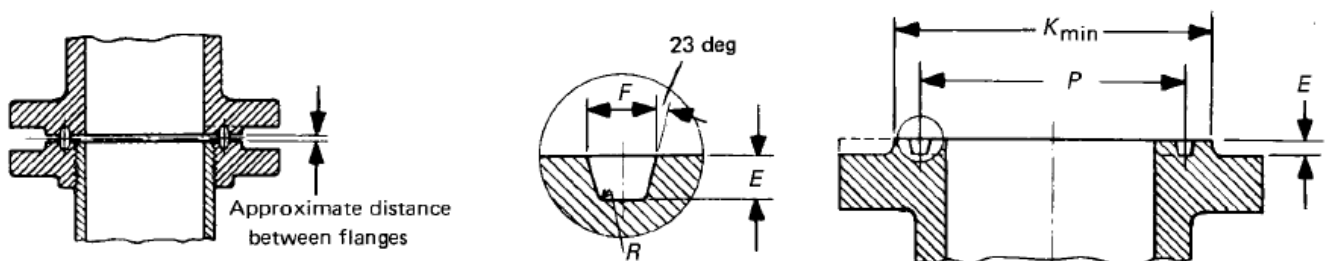
### 3.3.2 Flange

Le flange sono state dimensionate, per tubi caratterizzati da NPS pari a 1" alle condizioni di temperatura e pressione di progetto, secondo la norma ASME B16.5.

Come detto nel paragrafo riguardante il riscaldatore, le flange sono del tipo RJT.

Per diametro nominale dei tubi pari a 1" e alle condizioni di progetto specificate le flange sono in classe 2500 (Rif 6).

Le dimensioni delle flange tipo RJT per NPS 1" e in classe 2500 sono ricavabili dallo schema di **Figura 7**.



**Figura 7:** dimensionamento flange RJT (NPS 1" – classe 2500), ASME B16.5

NPS	Pitch Diameter, P	Depth, E	Width, F	Radius at Bottom, R
1"	60,33	6,35	8,74	0,8



### 3.3.3 Valvola di regolazione

La valvola di regolazione è in grado di regolare la pressione disponibile per la sezione di prova ed eventualmente la portata, nel caso in cui la pompa che si installerà non abbia la possibilità di variare la portata.

Essa si inserisce nella tubazione di circolazione dell'acqua, dopo la pompa, tramite flange da 1" ANSI 2500 RJT.

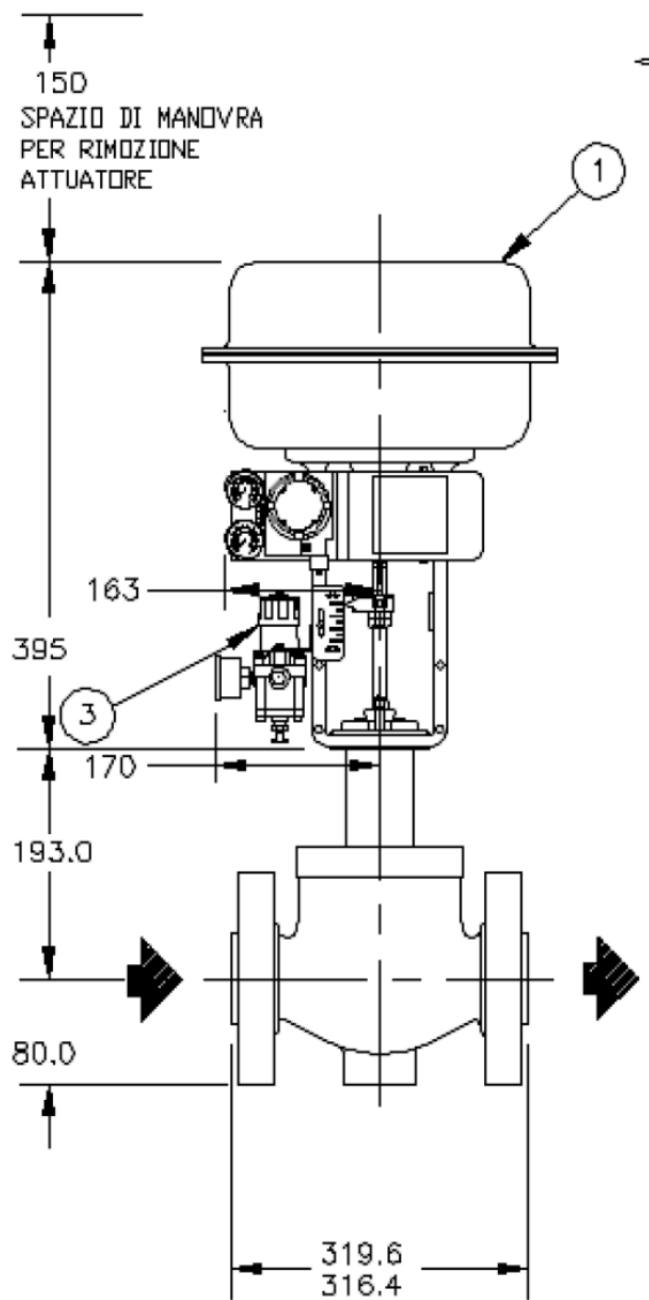
Il corpo della valvola è da 1" con packing in grafite e bussola in stellite.

Tabella 2: dati valvola di regolazione

DATI	UNITA' DI MISURA	VALORE DI PROGETTO
Portata massima	m <sup>3</sup> /h	2
pressione ingresso	bar g	180
pressione uscita	bar g	175
Deltap	bar	5
temperatura	deg C	330
pressione vapore	bar a	128.8
condizione di flusso		subcritico
Cv calcolato		0.585
Cv maggiorato		0.585
% corsa	%	38.79
% CV	%	34.41
Velocità uscita	m/s	1.949

La valvola è stata dimensionata per essere inserita nel circuito ed avere perdite di carico cospicue (fino a 15 bar) e caratteristica lineare.

La valvola sarà fornita da DRESSER Masoneilan.



*Figura 8: Valvola di regolazione della linea di circolazione dell'acqua*

## 4 Linea circolazione aria compressa

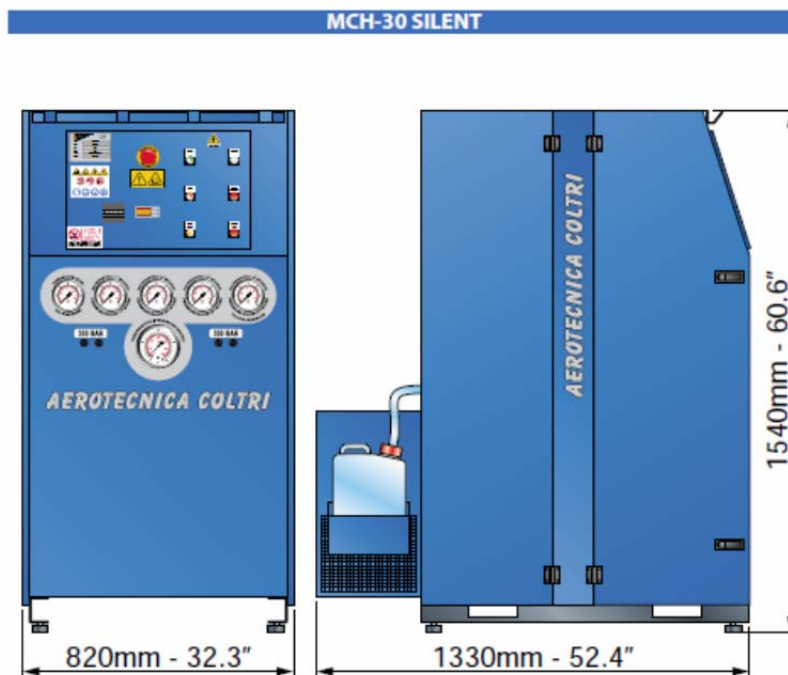
### 4.1 Compressore

Il compressore è del tipo ad alta pressione per aria e/o gas tecnici; il costruttore è Aerotecnica Coltri – modello MCH-30 Silent.

Le principali caratteristiche tecniche sono (Rif 7):

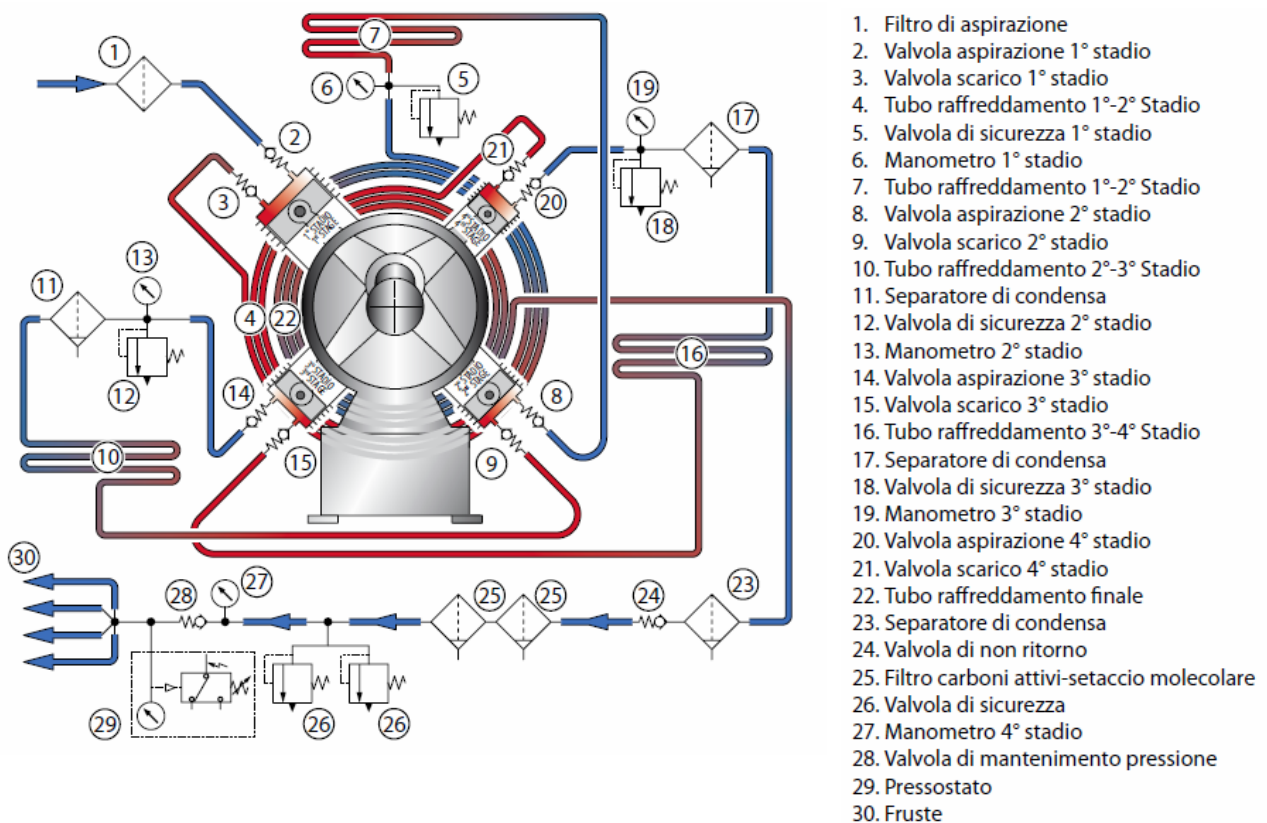
- Motore: Elettrico trifase
- Potenza motore (kW): 9
- Giri motore (giri/min): 2910
- Tensione (V): 230/400
- Frequenza (Hz): 50/60
- Assorbimento (A): 38/22
- Unità pompante (giri/min): 1100
- Pressione 1° stadio (bar): 3,5
- Pressione 2° stadio (bar): 18
- Pressione 3° stadio (bar): 70
- Pressione di esercizio (bar): 225-300-330-425
- Portata: 500 l/min – 30 m<sup>3</sup>/h
- Rumorosità – ISO 3746(dB): 70
- Peso a secco (kg): 420

Le dimensioni sono rappresentate in **Figura 9**



**Figura 9:** MCH-30 Silent: dimensioni compressore

Il circuito in pressione del compressore è raffigurato in **Figura 10**.



**Figura 10: MCH-30 Silent: circuito in pressione**

## 4.2 Accumulatore aria compressa

Sulla linea aria compressa è previsto un serbatoio per l'accumulo dell'aria. L'accumulatore ha le seguenti caratteristiche:

- Capacità nominale  $V = 50$  L
- Diametro esterno nominale  $D_e = 220$  mm
- Lunghezza nominale  $L = 1750$  mm

## 5 Strumentazione

Vengono ora descritti i misuratori di temperatura, di pressione, portata e livello utilizzati nel circuito di prova.

### 5.1 Misuratori di temperatura

I sistemi di misurazione delle temperatura utilizzati sono costituiti da:

- N°3 Termoresistenze Pt 100 Ohm RTD classe B (2 con pozzetto termometrico da barra utilizzate dentro il serbatoio, 1 predisposta per misurare la temperatura nella linea di circolazione, in corrispondenza del tronchetto del misuratore di portata)
- N°3 trasmettitori (248R Railmount) smart di temperatura per testina tipo Din B forniti da Emerson Process Management.

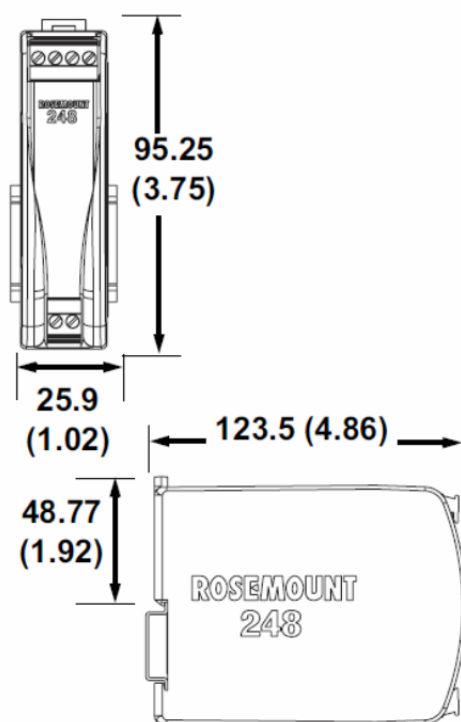
Le principali caratteristiche tecniche della termoresistenze Pt 100 ( $\alpha = 0,00385$ ) sono (Rif 8):

- Range di temperature in ingresso al trasmettitore: -200 °C; 850 °C
- Accuratezza: 0,2 °C
- Effetto sulla temperatura per variazione della temperatura ambiente pari a 1°C: 0.006 °C

Le principali caratteristiche tecniche del trasmettitore sono (Rif 8):

- Output: da 4 a 20 mA, andamento lineare con l'input
- Isolamento: l'isolamento è stato testato per una tensione in ca di 500 V (707 in cc) a 50/60 Hz
- Limiti di temperatura: da -40°C a 85 °C
- Limiti di umidità: UR da 0% a 99%

Le dimensioni del trasmettitore sono riportate in **Figura 11**:



**Figura 11:** trasmettitore 248R Railmount: dimensioni in mm (inch)

## **5.2 Misuratori di pressione**

Le misurazioni di pressione, livello e portata sono effettuate mediante trasmettitori del tipo Rosemount 3051S Scalable MultiVariable Pressure Transmitter (**Figura 12**) forniti da Emerson Process Management

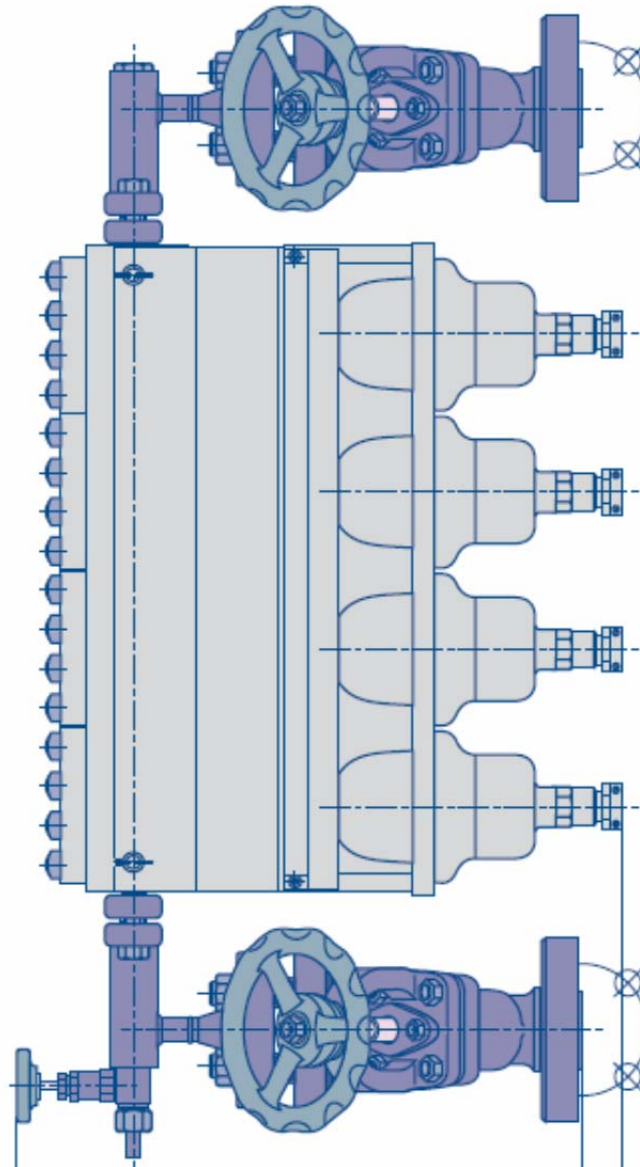


**Figura 12:** Rosemount 3051S Scalable MultiVariable Pressure Transmitter

Il range di pressione statica misurabile va da 0,03 a 250 bar (Rif 9).

## **5.3 Indicatore visuale di livello**

Come previsto dalle norme, il serbatoio sarà dotato anche di un indicatore visuale di livello in grado di raggiungere le pressioni e le temperature di progetto del serbatoio. L'indicatore, fornito da Klinger, è di tipo bicolore (rosso/verde) e dotato di illuminatore.



**Figura 13:** *Indicatore visuale di livello*

## 6 Conclusioni

Nel presente report sono stati descritti i principali componenti dell'apparato sperimentale di prova oggetto dell'attività 6.1B del PAR 2010 con le relative caratteristiche tecniche.

Per quanto riguarda il recipiente in pressione, le tubazioni e le flange della linea area circolazione ci si è rifatti alle norme di riferimento (Direttiva PED, raccolta VSR, norme ASME).

Per il i riscaldatori, il compressore, i misuratori di temperatura e di pressione e le valvole di sicurezza sono riportati i dati tecnici forniti dalle ditte costruttrici e/o fornitrici e, per alcuni di questi componenti, sono state citate le norme di riferimento.

Il circuito così composto sarà installato presso il CR ENEA CASACCIA.

## 7 Riferimenti

Rif 1 Direttiva 97/23/CE del 29 maggio 1997 (PED)

Rif 2 Palma A., "Relazione tecnica progettazione serbatoio in pressione"

Rif 3 I.S.P.E.S.L., "Raccolta VSR", Specificazioni tecniche applicative del decreto ministeriale del 21 novembre 1972 per la verifica della stabilità dei recipienti in pressione" Ed. '95.

Rif 4 Masterwatt s.r.l., "Riscaldatori su flangia - catalogo e dati tecnici"

Rif 5 ASME B31.3-2008 "Process Piping"

Rif 6 ASME B16.5-2009 "Pipe Flanges and Flanged Fittings"

Rif 7 Aerotecnica Coltri, "MCH-30-36, Manuale di uso e manutenzione"

Rif 8 Emerson Process, "Rosemount 248 Product Data Sheet"

Rif 9 Emerson Process, "Rosemount 3051S Series Product Data Sheet"

Rif 10 Dresser Italia, "PSV Technical Summary"