



Ricerca di Sistema elettrico

Stato di avanzamento della realizzazione di un circuito sperimentale per la produzione di vapore surriscaldato con generatore di vapore di nuova concezione a sali fusi, per l'alimentazione di una turbina a vapore da 1,5 kW elettrici

W. Gaggioli, L. Rinaldi

STATO DI AVANZAMENTO DELLA REALIZZAZIONE DI UN CIRCUITO SPERIMENTALE PER LA PRODUZIONE DI VAPORE SURRISCALDATO CON GENERATORE DI VAPORE DI NUOVA CONCEZIONE A SALI FUSI, PER ALIMENTAZIONE DI UNA TURBINA A VAPORE DA 1,5 kW ELETTRICI

W. Gaggioli, L. Rinaldi (ENEA)

Settembre 2015

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2014

Area: Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente

Progetto: Energia elettrica da fonte solare

Obiettivo: Sviluppo di sistemi integrati per applicazioni in impianti di piccola taglia

Responsabile del Progetto: Domenico Mazzei, ENEA

Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	4
2 PROGETTO ESECUTIVO E REALIZZAZIONE DELLE PRINCIPALI ATTREZZATURE SPERIMENTALI	5
2.1 GENERATORE DI VAPORE A POZZO.....	5
2.2 TURBINA DA 1,5 kWE.....	8
2.3 PIPING, VALVOLE E STRUMENTAZIONE.....	10
2.4 COMPONENTI MECCANICI.....	10
3 AZIONI CONCLUSIVE.....	13
4 CONCLUSIONI	13
5 BIBLIOGRAFIA	13

Indice delle figure

Figura 2-1 Progetto meccanico del generatore di vapore a pozzo	6
Figura 2-2 Particolare dei 2 fasci tubieri (interno ed esterno) del generatore di vapore a pozzo	7
Figura 2-3 Vista di insieme del generatore di vapore a pozzo	7
Figura 2-4 Particolare del guscio della girante prima dello smontaggio	8
Figura 2-5 Particolare della girante	9
Figura 2-6 Prova del generatore elettrico della turbina: particolare dell'accoppiamento al motore.....	9
Figura 2-7 Dissipazione dell'energia elettrica generata	10
Figura 2-8 P&ID del circuito acqua/vapore	11
Figura 2-9 Riferimenti della taratura delle valvole di sicurezza e certificato di taratura di una termocoppia .	12

Sommario

Il presente documento riporta lo stato di avanzamento delle attività svolte nell'ambito dell'Accordo di Programma tra Ministero dello Sviluppo Economico ed ENEA - Ricerca di Sistema Elettrico, dal Laboratorio Ingegneria delle Tecnologie Solari, per la realizzazione del circuito acqua/vapore relativo a un impianto di cogenerazione dimostrativo di piccola taglia, che utilizza una microturbina a vapore da 1,5 kWe. Questo nuovo circuito viene realizzato sull'Impianto Sperimentale Prova Collettori Solari (PCS), sito nell'area Capanna del Centro Ricerche ENEA della Casaccia, al fine di utilizzare il circuito a sali fusi di questo impianto.

Nei punti seguenti sono riassunte le azioni svolte per lo sviluppo di sistemi integrati di piccola taglia negli ultimi anni di ricerca relativi all'Accordo di Programma:

- Ultimazione della caratterizzazione del serbatoio di accumulo a sali fusi dell'Impianto sperimentale PCS, iniziata nell'ambito degli obiettivi già consuntivati (vedi Rif. /1/)
- Progetto completo del circuito vapore per l'alimentazione di una microturbina da 1,5 kWe comprendente pompa di alimentazione, tubazioni, valvole, condensatore
- Approvvigionamento di una microturbina a vapore da 1,5 kWe
- Progetto preliminare di un generatore di vapore innovativo, riscaldato da sali fusi per la produzione di vapore a pressione 12 bar e portata 60 kg/h, senza la necessità di preriscaldare l'acqua di alimento (Rif. /2/)

Completata la realizzazione del circuito, le attività proseguiranno con l'esecuzione delle prove sperimentali del sistema integrato per la produzione di energia elettrica.

1 Introduzione

Lo sviluppo di sistemi integrati di generazione di energia elettrica per impianti solari a concentrazione è stato inserito nel programma di Ricerca di Sistema Elettrico per le promettenti possibilità di applicazione.

L'obbiettivo principale è realizzare moduli standardizzati di power unit, assemblati in funzione dell'applicazione specifica e dei parametri di vapore richiesti, che possano essere impiegati come generatori di emergenza per l'alimentazione elettrica di sistemi vitali per l'impianto, ad es. durante gli improvvisi periodi di black out dovuti a problemi di trasmissione dell'energia elettrica in rete.

Questi sistemi sono caratterizzati da un concept design che consente di utilizzare l'enorme quantità di energia termica ad alta temperatura accumulata nel serbatoio degli impianti solari a sali fusi.

Lo scopo delle attività di ricerca è progettare, realizzare e provare sperimentalmente, un sistema di produzione di energia elettrica basato su moduli standardizzati, che sia affidabile, richieda poca manutenzione e sia facilmente integrabile in un impianto solare con accumulo a sali fusi.

I componenti principali di questi sistemi sono un generatore di vapore di caratteristiche innovative e una turbina a vapore che si caratterizza per i bassi costi di acquisto, elevata disponibilità e facile manutenzione.

L'attività di sviluppo condotta negli anni passati ha permesso di raggiungere i seguenti obiettivi:

- Caratterizzazione termica di un serbatoio di accumulo di un impianto solare termodinamico a sali fusi, al fine di dimensionare e provare i sistemi cogenerativi che si intende sviluppare. Per lo sviluppo sperimentale è stato utilizzato il serbatoio di accumulo di energia termica dell'Impianto sperimentale PCS (Rif. /1/);
- Individuazione di una turbina di bassa potenza, a basso costo, per una produzione dimostrativa di energia elettrica (max 2 kW elettrici). In collaborazione con l'Università Roma III, è stata acquistata una turbina da 1,5 kWe della Turney Turbines LTD;

- Definizione del progetto termo-fluidodinamico di un generatore di vapore che utilizza il calore ad alta temperatura disponibile nel serbatoio dell’Impianto PCS;
- Definizione del P&ID di base del circuito acqua/vapore;

Il presente documento riassume lo stato di avanzamento delle azioni da compiere per il completamento del circuito sperimentale da integrare nell’impianto sperimentale. Nella fase successiva sarà elaborata la matrice delle prove di caratterizzazione del sistema.

2 Progetto esecutivo e realizzazione delle principali attrezzature sperimentali

2.1 Generatore di vapore a pozzo

Il cuore del sistema è un generatore di vapore di nuova concezione, che oltre ad essere di facile integrazione nel serbatoio di accumulo a sali fusi, è caratterizzato da bassi costi di realizzazione ed elevata affidabilità di esercizio.

Per raggiungere questi obiettivi è stato ideato un generatore di vapore (GV), a circolazione forzata di tipo “once through” detto “a pozzo”, costituito da un tubo elicoidale in cui si realizza il preriscaldamento e l’evaporazione dell’acqua di alimento e il surriscaldamento del vapore.

Il tubo elicoidale è immerso in un fusto d’acciaio contenente una miscela quaternaria di sali fusi, che in condizioni di esercizio è completamente immerso nella miscela binaria (60% NaNO₃, 40% KNO₃), utilizzata sia come fluido termovettore sia come materiale di accumulo di energia termica nel serbatoio dell’Impianto PCS.

La miscela quaternaria ha una temperatura di solidificazione inferiore a 100 °C, quindi il sale a contatto con la parete esterna del tubo elicoidale non riesce a solidificare.

Questa scelta progettuale permette di eliminare il circuito di preriscaldamento e di alimentare direttamente il tubo elicoidale con acqua a temperatura ambiente.

A fronte di una maggiore spesa dovuta all’acquisto dei sali quaternari, che peraltro non è elevata considerata la piccola quantità necessaria ($\cong 100$ kg), si ottiene una notevole semplificazione impiantistica del sistema, con conseguente aumento dell’affidabilità di esercizio.

Il GV a pozzo è stato progettato per la produzione di vapore leggermente surriscaldato a pressione massima 12 bar e temperatura 200 °C.

La fabbricazione è stata eseguita dalla Ditta Nuova STEIM di Narni, conformemente al disegno di progettazione meccanica elaborato da ENEA e riportato in [Figura 2-1](#).

Le [Figura 2-2](#) e [Figura 2-3](#), mostrano alcune immagini relative alle fasi di costruzione, assemblaggio e controllo dimensionale del GV in fabbrica.

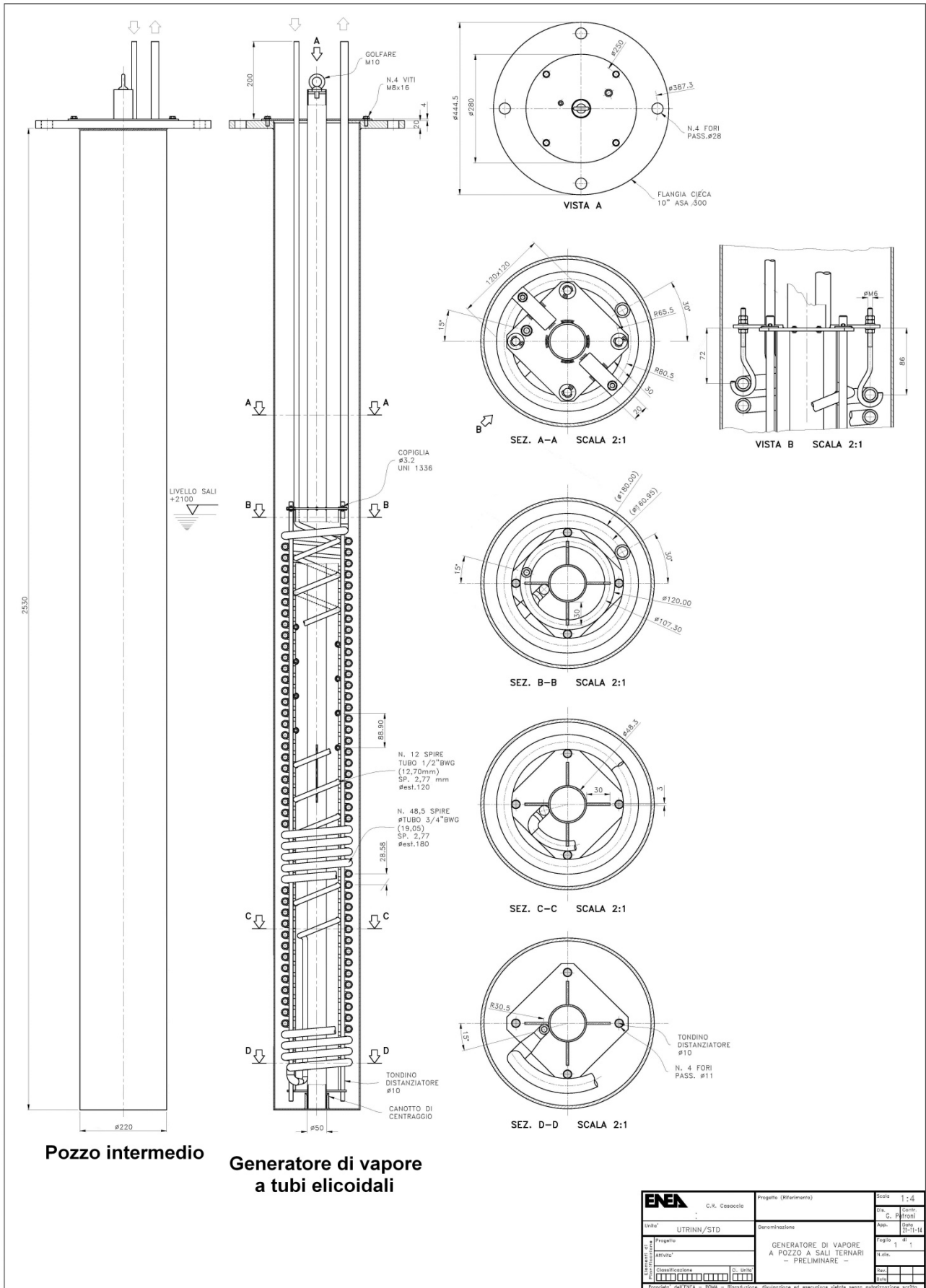


Figura 2-1 Progetto meccanico del generatore di vapore a pozzo



Figura 2-2 Particolare dei 2 fasci tubieri (interno ed esterno) del generatore di vapore a pozzo



Figura 2-3 Vista di insieme del generatore di vapore a pozzo

2.2 Turbina da 1,5 kWe

La microturbina “Turney Turbines LTD” da 1,5 kWe, è stata individuata grazie alla collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria dell’Università di Roma RM3 ed è stata approvvigionata per essere integrata nel circuito vapore dell’impianto PCS . Questa turbina è stata costruita in Inghilterra negli anni ’60 e verrà utilizzata solo a scopo dimostrativo di chiusura del ciclo di produzione dell’energia elettrica (in passato è stata utilizzata in un laboratorio di Ingegneria Meccanica per fini didattici) .

Considerata la data di fabbricazione della turbina, è stato previsto un intervento di manutenzione straordinaria per il controllo dello stato dei materiali, dei livelli dei lubrificanti, del funzionamento dei cuscinetti, di ricondizionamento degli ugelli e infine la messa a norma secondo le vigenti leggi che regolano l’uso di queste macchina nel nostro Paese.

La manutenzione è stata affidata alla Ditta Nuova STEIM (la stessa che ha fabbricato il GV), che ha effettuato i lavori di revisione presso le sue officine di Narni, verificando la completa operatività di esercizio della macchina.

Le operazioni di manutenzione effettuate sono le seguenti:

- Smontaggio dei gusci
- Smontaggio della girante
- Smontaggio generatore in C.C.
- Prova del generatore in C.C. previa costruzione di apposita attrezzatura ed allineamento del generatore al motore
- Sostituzione delle valvole di sicurezza
- Pulitura della girante
- Sostituzione dei gommini del giunto
- Controllo del gioco degli accoppiamenti rotanti
- Rimontaggio e allineamento del generatore alla turbina

Anche queste lavorazioni sono state documentate per conservare memoria della sequenza degli interventi di manutenzione. Alcune immagini sono mostrate nelle Figure seguenti.



Figura 2-4 Particolare del guscio della girante prima dello smontaggio



Figura 2-5 Particolare della girante



Figura 2-6 Prova del generatore elettrico della turbina: particolare dell'accoppiamento al motore



Figura 2-7 Dissipazione dell'energia elettrica generata

2.3 Piping, valvole e strumentazione

Per la realizzazione del circuito sperimentale sono necessarie tubazioni, fittings meccanici (attacchi, raccordi), valvole, ecc. Lo schema di processo "P&ID" riportato in Figura 2-8, sintetizza quanto è stato elaborato nella fase di progettazione del circuito acqua/vapore. Per quanto riguarda le tubazioni, saranno utilizzati tubi conformi a quanto richiesto dalla Normativa e già disponibili presso l'impianto.

I fittings, gli attacchi e i raccordi sono stati scelti di tipo "Swagelok", per la comodità e la praticità di montaggio e smontaggio. Le valvole sono state ordinate e saranno disponibili in tempi brevi. La strumentazione per il controllo dei parametri di funzionamento consiste in termocoppie, misuratori di pressione e portata, misuratore di livello, pressostato e altri indicatori, secondo quanto indicato nella tabella presente nelle 'General Notes' del P&ID in Figura 2-8. Copia del certificato di taratura delle termocoppie e dei dati di riferimento della taratura delle valvole di sicurezza sono mostrati in Figura 2-9.

2.4 Componenti meccanici

Alcuni componenti necessari alla realizzazione del circuito acqua/vapore sono già disponibili presso l'impianto, in particolare:

- per la pompa di circolazione dell'acqua di alimento sarà utilizzata una pompa alternativa a pistoni con le opportune caratteristiche di portata e pressione. E' comunque necessario effettuare la manutenzione e il controllo delle prestazioni di questo componente;
- il polmone smorzatore posto sulla linea di adduzione dell'acqua al GV è già disponibile;
- per la condensazione del vapore sarà installato uno scambiatore aria/acqua, adatto per le prestazioni richieste;
- per il serbatoio dell'acqua condensata si utilizzerà un serbatoio già installato sull'Impianto PCS.

Metrologie Srl
Via S. Predengo, 27/29
Loc. S. Abramo
26022 Castelverde (CR)
Tel. +39 0372807525
Fax +39 0372027800
info@metrologie.it
www.metrologie.it

METROLOGIE

RAPPORTO DI TARATURA N° 152215-01/06 Pagina 1 di 1
REPORT OF CALIBRATION No. Page 1 of 1

Cliente: Termics Srl - Via S. Predengo, 29 - Loc S. Abramo 26022 Castelverde (CR)
Customer

Destinatario: Tecnostrumenti Italia Srl - Via Udine, 9/11 - 00161 Roma (RM)
Addressee

Ordine N: 539
Order No

In data: 2015-06-19
Date

Oggetto: Termocoppia Codice Articolo: TNT00255
Item Thermocouple Product code

Modello: Tipo "K"
Model

Matricola: 152215-01/06
Serial number

N° punto	Riferimento		Termocoppia in taratura			
	Temperatura di riferimento [°C]	f.e.m di riferimento IEC 60584-1 [mV]	f.e.m sperimentale [mV]	Temperatura corrispondente [°C]	Differenza (T _{ref} - T _{ref}) [°C]	Differenza (fem _{ref} - fem _{ref}) [mV]
1	199,60	8,1225	8,1227	199,60	0,01	0,0002
2	299,68	12,1954	12,1904	299,56	-0,12	-0,0050
3	399,66	16,3827	16,3796	399,59	-0,07	-0,0031
4	499,71	20,6318	20,6461	500,04	0,34	0,0143
5	599,22	24,8724	24,8915	599,67	0,45	0,0191
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						

N° point	Reference		Thermocouple in calibration			
	Reference temperature [°C]	Reference f.e.m IEC 60584-1 [mV]	Experimental f.e.m [mV]	Equivalent Temperature [°C]	Difference (T _{ref} - T _{ref}) [°C]	Difference (fem _{ref} - fem _{ref}) [mV]

I risultati di misura riportati sono stati ottenuti applicando le procedure Nr. IO-T01
The measurement results reported were obtained following procedure No.

La catena di riferibilità ha inizio dai campioni di prima linea Nr. PNM00 STR00 STR03 STC02
Traceability is through first line standards No.

Luoghi di certificati validi di taratura Nr. 14-0241-01 0001A14 0004A14 0001A15
Validated by certificates of calibration No.

Metodo di taratura Calibration method	Temperatura ambiente 19°C-28°C		Umidità relativa 50% U.R. ± 25% U.R.		
	30°C to +10°C	0°C to +300°C	300°C to +550°C	+550°C to +1200°C	+1200°C to +1500°C
Bagno termostatico ad alcool Alcohol stirred bath	Bagno termostatico ad olio silconico Silicon oil stirred bath	Bagno termostatico a sale fuso Fuse salt stirred bath	Forno termostatico verticale Vertical furnace	Forno termostatico orizzontale Horizontal furnace	
Incertezza estesa della misura The measurement uncertainties	0,8 °C	0,8 °C	0,8 °C	2,5 °C	4 °C

Le incertezze di misura dichiarate in questo documento sono espresse come due volte lo scarto tipo corrispondente ad un livello di confidenza del 95%.
The measurement uncertainties stated in this document were estimated as the double of standard uncertainty corresponding to a confidence level of 95%.

Data di emissione: 08-07-2015
Date of issue

Il Responsabile del Centro
Head of the Centre
Stefano Lucchini

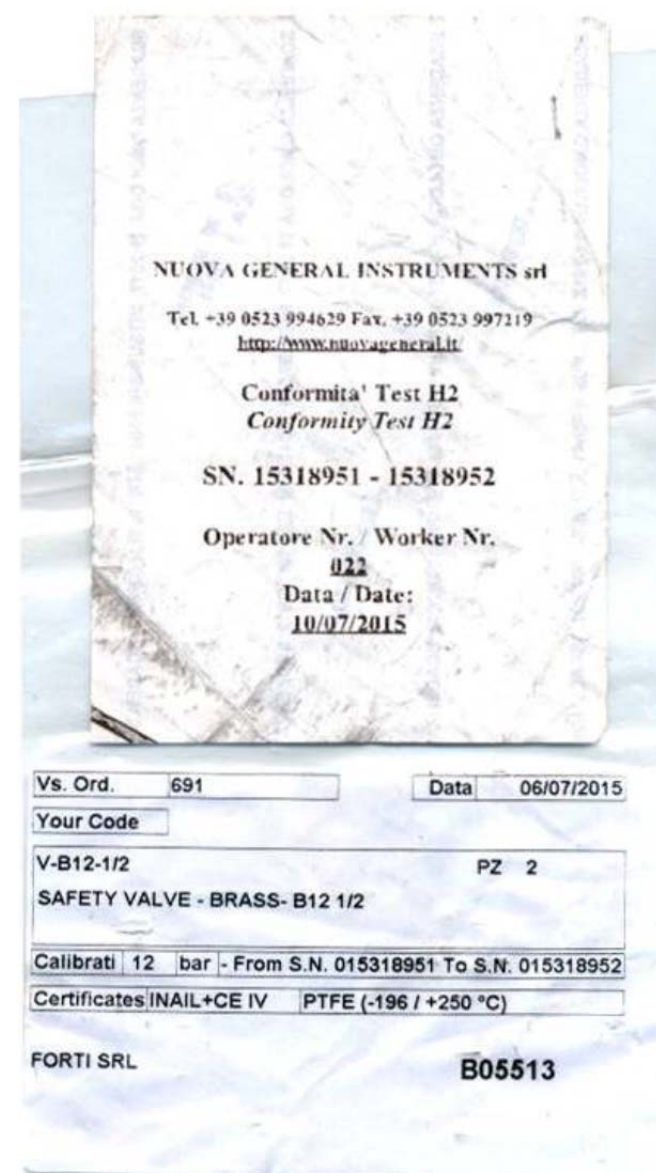


Figura 2-9 Riferimenti della taratura delle valvole di sicurezza e certificato di taratura di una termocoppia

3 Azioni conclusive

Per completare la realizzazione del circuito acqua/vapore restano ancora alcune azioni da realizzare:

- Approvvigionamento di un dissipatore dell'energia elettrica prodotta dal generatore in corrente continua. E' sufficiente predisporre un banco di resistenze elettriche di potenza adeguata, che potrebbero essere anche lampadine, così come è stato fatto nei test effettuati in fabbrica al termine delle operazioni di manutenzione
- Revisione della pompa circolazione dell'acqua di alimento
- Realizzazione del basamento della turbina, necessario per un corretto alloggiamento e installazione
- Realizzazione dei collegamenti meccanici delle tubazioni, compreso il montaggio dei componenti e la coibentazione di tutto il circuito
- Fornitura di $\cong 100$ kg di sale quaternario per il riempimento del pozzo del GV
- Estrazione dal serbatoio dell'Impianto PCS dell'attuale GV "shell and tube" da 300 kWt per la sostituzione con il GV a pozzo, da montare sul bocchello del fondello superiore del serbatoio
- Collegamenti elettrici
- Montaggio e collegamento della strumentazione
- Collaudo e prove di commissioning dell'intero sistema

4 Conclusioni

Il documento descrive lo stato di avanzamento delle attività di realizzazione del circuito acqua/vapore integrato nel serbatoio dell'impianto PCS, che sarà utilizzato per la sperimentazione del sistema di cogenerazione con microturbina a vapore.

La realizzazione del circuito è nella fase finale, mancano comunque alcune azioni necessarie per il suo completamento.

5 Bibliografia

- /1/ "Caratterizzazione termica del serbatoio di accumulo a sali fusi dell'impianto sperimentale PCS del C.R. Casaccia dell'ENEA", autori F. Fabrizi, W. Gaggioli, L. Rinaldi, P. Tarquini, Piano Annuale di Realizzazione 2012 - Settembre 2013.
- /2/ "Progetto dell'impianto di cogenerazione con microturbina a vapore. Schema dei circuiti vapore e acqua e delle strumentazione. Progetto nuovo generatore di vapore", autori G. Petroni, L. Rinaldi, C. Rocca, P. Tarquini, Report Ricerca di Sistema Elettrico, Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA