



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia
e lo sviluppo economico sostenibile



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Sviluppo e qualifica di sonde per il monitoraggio dell'ossigeno disciolto in
sistemi nucleari a piscina refrigerati a piombo

M. Tarantino

Report RdS/2012/063

SVILUPPO E QUALIFICA DI SONDE PER IL MONITORAGGIO DELL'OSSIGENO DISCIOLTO IN SISTEMI NUCLEARI
A PISCINA REFRIGERATI A PIOMBO

M. Tarantino - ENEA

Settembre 2012

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Area: Governo, gestione e sviluppo del sistema elettrico nazionale

Progetto: Nuovo nucleare da fissione: collaborazioni internazionali e sviluppo competenze in materia nucleare

Responsabile del Progetto: Mariano Tarantino, ENEA

Titolo

Sviluppo e qualifica di sonde per il monitoraggio dell'ossigeno disciolto in sistemi nucleari a piscina refrigerati a piombo

Descrittori

Tipologia del documento: Rapporto Tecnico
Collocazione contrattuale: Accordo di programma ENEA-MSE: tema di ricerca "Nuovo nucleare da fissione"
Argomenti trattati: Tecnologia dei metalli liquidi
 Generation IV Reactors

Sommario


Il presente rapporto riporta le prime indicazioni tecnologiche e il progetto preliminare di una sonda ad ossigeno per sistemi a metallo liquido pesante, interamente concettualizzata e sviluppata da ENEA.

Note

Attività svolta in collaborazione con la FER Strumenti Srl di Seregno (Mi)


Copia n.
In carico a:

| | | | | | | |
|------|-------------|------------|-------|---|---|---|
| 2 | | | NOME | | | |
| | | | FIRMA | | | |
| 1 | | | NOME | | | |
| | | | FIRMA | | | |
| 0 | EMISSIONE | 19/09/2012 | NOME | M. Tarantino | P. Gaggini | M. Tarantino |
| | | | FIRMA |  |  |  |
| REV. | DESCRIZIONE | DATA | | REDAZIONE | CONVALIDA | APPROVAZIONE |

| | | | | | |
|--|---------------------------------|-------------|-----------------|-------------|-----------|
|  Ricerca Sistema Elettrico | Sigla di identificazione | Rev. | Distrib. | Pag. | di |
| | NNFISS – LP3 - 064 | 0 | L | 2 | 9 |

INDICE

| | |
|---|----------|
| 1. INTRODUZIONE | 3 |
| 2. SCOPO | 3 |
| 3. DESCRIZIONE DELLE CONDIZIONI DI PROGETTO..... | 4 |
| 4. DATI DI PROGETTO..... | 4 |
| 5. LIMITI DI PROTOTIPAZIONE E SUCCESSIVA FORNITURA | 5 |
| 6. PROTOTIPAZIONE..... | 5 |
| 7. RELAZIONE SULLA PROGETTAZIONE..... | 6 |
| 7.1 STRUTTURA DELLA SONDA..... | 6 |
| 7.2 ASPETTO TERMICO | 6 |
| 7.3 ASPETTO PNEUMATICO | 7 |
| 7.4 ASPETTO ELETTRICO | 8 |

| | | | | | |
|--|---------------------------------|-------------|-----------------|-------------|-----------|
|  Ricerca Sistema Elettrico | Sigla di identificazione | Rev. | Distrib. | Pag. | di |
| | NNFISS – LP3 - 064 | 0 | L | 3 | 9 |

1. INTRODUZIONE

La definizione dei materiali strutturali e quindi il loro corretto impiego nei sistemi nucleari di quarta generazione refrigerati a piombo, è fortemente connessa con il tenore di ossigeno disciolto nel metallo liquido a cui viene esercito il sistema.

E' di fondamentale importanza quindi disporre di un sistema di regolazione e controllo del tenore di ossigeno disciolto nel metallo liquido che permetta di:

1. purificare il sistema nelle fasi di avvio e manutenzione, quando l'inquinamento da ossigeno è massimo;
2. regolare il tenore di ossigeno entro i limiti desiderati durante il normale esercizio e i transitori operazionali.

Elemento portante del sistema di regolazione e controllo dell'ossigeno disciolto nel refrigerante nucleare sono le sonde ad ossigeno, che permettono di realizzare il monitoraggio nel metallo liquido.

Scopo dell'attività è sviluppare e qualificare sonde ad ossigeno per sistemi nucleari a piscina che siano affidabili, robuste, accurate e sensibili ai transitori operazionali.

2. SCOPO

Lo scopo della presente attività è di concettualizzare, prototipare e qualificare sonde ad ossigeno per sistemi nucleari refrigerati a metallo liquido pesante.

In linea generale si prevede:

- La definizione e la progettazione di una sonda ad ossigeno per metalli liquidi pesanti, basata sulla tecnologia delle celle elettrolitiche ad ossido di zirconio/yttria;
- la messa a punto del processo di fabbricazione secondo i parametri di progetto di seguito riportati;
- la realizzazione di prototipi di diversa lunghezza, per applicazioni sia in sistemi a loop che in sistemi a piscina;
- la calibrazione delle sonde;
- il testing negli impianti del CR Brasimone.

| | | | | | |
|--|---------------------------------|-------------|-----------------|-------------|-----------|
|  Ricerca Sistema Elettrico | Sigla di identificazione | Rev. | Distrib. | Pag. | di |
| | NNFISS – LP3 - 064 | 0 | L | 4 | 9 |

3. DESCRIZIONE DELLE CONDIZIONI DI PROGETTO

Le sonde ad ossigeno, di numero e lunghezza come di seguito riportato, dovranno essere basate sulla tecnologia dei ceramici in ossido di zirconio/yttria.

Il progetto dovrà definire, in prima istanza, la scelta del tipo di elettrodo di riferimento e la necessità o meno di installare un apposito elemento scaldante all'interno della sonda per portare in temperatura l'elemento ceramico durante l'esercizio.

Sarà inoltre previsto che all'interno di ogni sonda sia installata un apposita termocoppia di controllo, che permetta di monitorare la temperatura della cella elettrolitica durante l'esercizio.

E' fatta inoltre esplicita richiesta che ogni sonda sia fornita di apposito connettore meccanico (da definire e concordare con il costruttore), che ne permetterà l'installazione sugli impianti sperimentali.

Per le sonde oggetto della presente attività si dovrà inoltre indicare:

- tempo necessario per raggiungere le corrette condizioni di funzionamento a seguito della messa a bagno in metallo liquido pesante;
- il tempo di risposta.

4. DATI DI PROGETTO

Le sonde dovranno essere progettate e realizzate assumendo i seguenti parametri di progetto:

- Fluido di lavoro: Piombo fuso (LEAD), Lega Eutettica Piombo-Bismuto (LBE)
- Regime di flusso: altamente turbolento, velocità massima 2 m/s
- Temperatura di esercizio minima: 200°C
- Temperatura di esercizio massima: 550°C
- Temperatura di progetto: 650°C
- Pressione di progetto: 16 bar
- Gradiente massimo: 10°C/min
- Lunghezza massima sonda: 6000 mm
- Lunghezza minima sonda: 200 mm
- Range di funzionamento (tenore di ossigeno): 10^{-10} – 10^2 wt%
- Ingombro massimo (diametrale): O.D. ½"

Tutti i componenti a contatto con il metallo liquido, escluso l'elemento sensibile, dovranno essere realizzati in acciaio inossidabile AISI 316L.

Per la realizzazione delle sonde saranno ammessi collegamenti meccanici e/o saldati, mentre sono da escludere collegamenti brasati.

5. LIMITI DI PROTOTIPAZIONE E SUCCESSIVA FORNITURA


Secondo i dati di progetto sopra elencati si provvederà alla prototipazione e successiva fornitura di:

- Nr. 6 sonde di lunghezza di 200 mm
- Nr. 6 sonde di lunghezza di 600 mm
- Nr. 2 sonde di lunghezza di 2000 mm
- Nr. 2 sonde di lunghezza di 4000 mm
- Nr. 2 sonde di lunghezza di 6000 mm

6. PROTOTIPAZIONE

Sulla base delle indicazioni sopra riportate, il progetto prevede le seguenti specifiche degli analizzatori di ossigeno disciolto in metallo fuso pesante

| | |
|------------------------------|--|
| Principio di misura | Ossido zirconio |
| Riferimento | Aria strumenti |
| Portata aria di riferimento | circa 0.1 l/min |
| Cella | tubo a fondo chiuso in ossido zirconio totalmente stabilizzato yttria (16% in peso) |
| Spessore cella | > 2 mm |
| Elettrodo interno | Platino |
| Elettrodo esterno | A massa |
| Materiale della sonda | AISI 316 L |
| Temperatura del metallo fuso | normale 450°C massima 650°C |
| Pressione massima | 16 Bar |
| Pressione di prova | 20 Bar |

| | | | | | |
|--|---------------------------------|-------------|-----------------|-------------|-----------|
|  Ricerca Sistema Elettrico | Sigla di identificazione | Rev. | Distrib. | Pag. | di |
| | NNFISS – LP3 - 064 | 0 | L | 6 | 9 |

| | |
|-----------------------------|--|
| Temperatura della cella | 450 – 650°C |
| Controllo della temperatura | variazione tensione |
| Lunghezza delle sonde | 600, 2000, 4000, 6000 mm dalla cella al pelo del libero del metallo liquido |
| Lunghezza complessiva | circa 800 mm oltre lunghezza sonde |

7. RELAZIONE SULLA PROGETTAZIONE

7.1 STRUTTURA DELLA SONDA

Il corpo della sonda porta la cella in ossido di zirconio nella sua parte bassa (vedi allegato 1); dalla parte opposta sono presenti tre raccordi a compressione. Uno per il collegamento dell'elettrodo interno della cella, il secondo per il collegamento dei due conduttori che portano alimentazione elettrica al riscaldatore, il terzo per l'adduzione di aria di riferimento con tubo diam. 3 mm spessore 0.5 mm che verrà introdotto in tubo diam. 6 spessore 0.5 mm e che evacuerà l'aria di riferimento. I conduttori elettrici saranno entro tubi inox isolati con ossido minerale (magnesia).


La sonda verrà mantenuta in posizione alle diverse profondità mediante tubo (tubo di guida) inox 1"1/2 di lunghezza di 2000 mm avvitati uno su l'altro.

Il piombo fuso potrà entrare nel tubo di guida. L'ultimo spezzone sarà dotato di portagomma per l'adduzione di gas inerte a contatto della superficie del piombo. All'estremità superiore verrà montata una piccola scatola metallica di derivazione che conterrà le morsettiere, il raccordo per l'adduzione dell'aria di riferimento. Il riduttore di pressione e il rotometro per il dosaggio aria di riferimento verrà posto in remoto.

Tutta la costruzione non dovrà comprendere alcuna saldatura.

7.2 ASPETTO TERMICO

Il corretto funzionamento di un analizzatore di ossigeno basato su una cella in zirconia stabilizzata, necessita normalmente una temperatura di almeno 500°C.

| | | | | | |
|--|---------------------------------|-------------|-----------------|-------------|-----------|
|  Ricerca Sistema Elettrico | Sigla di identificazione | Rev. | Distrib. | Pag. | di |
| | NNFISS – LP3 - 064 | 0 | L | 7 | 9 |

La temperatura del metallo fuso entro cui la sonda è immersa non dovrebbe essere sufficiente. E' necessario quindi riscaldare la cella stessa.

E' stato individuato un riscaldatore il cui elemento riscaldante è in carburo di silicio (SiC) e che può raggiungere la temperatura massima di 1450°C alla massima tensione prevista di 24 V con una potenza di circa 55 W.

La parte riscaldante è però molto piccola e potrebbe determinare un riscaldamento troppo concentrato della cella in ossido di zirconio che, essendo un pessimo conduttore di calore, potrebbe subire dei gradienti termici eccessivi che possono portare a rotture della cella. E stato quindi deciso di interporre tra il riscaldatore e la cella una piccola guaina in allumina pura, buon conduttore di calore, che aumenterà l'area di irraggiamento.

Per la regolazione della temperatura del riscaldatore, procederemo come segue: esso verrà messo in forno a 450°C , alimentato con tensioni crescenti e misurando in corrispondenza la temperatura dell'elemento riscaldante. Con questa procedura sarà possibile capire a quale tensione (temperatura) alimentare il riscaldatore per ottenere un regolare funzionamento dell'analizzatore, che verrà confermato dal livello di bassa resistenza ai capi della cella. Una troppo bassa temperatura della cella determina una alta resistenza elettrica agli elettrodi della cella.

Sempre in campo termico è stata anche considerata la temperatura della superficie esterna della cella a contatto del piombo fuso. La turbolenza del metallo fuso potrebbe raffreddarne in modo non accettabile la superficie esterna della cella. Intorno alla cella è stato quindi previsto un separatore con alcuni fori. Esso ha lo scopo di rallentare la sostituzione del metallo sulla cella e quindi il suo raffreddamento. Prove pratiche in campo potranno indicare se i fori previsti sono adeguati come numero e diametro, conservando un accettabile tempo di risposta senza disperdere eccessivo calore.

7.3 ASPETTO PNEUMATICO

Considerata la notevole pressione a cui l'analizzatore dovrà lavorare, sono state impostate delle celle a maggiore spessore di quanto previsto in specifica. Sono state già realizzate una decina di celle a diversi spessori da 2 a 3 mm.

La cella in ossido di zirconio ad alto spessore, previa rettifica della superficie piana, verrà premuta contro una opportuna guarnizione mediante un cuscinetto in grafite e tiranti a cui è collegato il separatore di cui sopra.

| | | | | | |
|--|---------------------------------|-------------|-----------------|-------------|-----------|
|  Ricerca Sistema Elettrico | Sigla di identificazione | Rev. | Distrib. | Pag. | di |
| | NNFISS – LP3 - 064 | 0 | L | 8 | 9 |

Le guarnizioni per impedire la penetrazione del metallo liquido sono previste in grafite rinforzata da lamierino inox posto al centro dello spessore della guarnizione di circa 2 mm.

Il taglio di queste piccole e fragili guarnizioni verrà realizzato con taglio ad acqua ad altissima pressione. Lo stesso materiale verrà utilizzato per garantire la tenuta del corpo della sonda. Esso verrà realizzato in due pezzi per consentire il collegamento dell'alimentazione elettrica del riscaldatore e dell'elettrodo interno.

Sarà realizzata una apparecchiatura di prova per la preventiva verifica della resistenza della sonda e dei suoi collegamenti alla pressione di prova in aria e alla temperatura di 450°C.

7.4 ASPETTO ELETTRICO

La sonda necessiterà di alimentazione a tensione da stabilire durante le prove, tra 6 e 24 V per una potenza massima di 60 W.

Il segnale sarà una tensione di alcune centinaia di mV DC leggibili tra l'elettrodo interno il cui morsetto è presente nella cassetta di derivazione all'estremità superiore del tubo di guida e la massa.

E' possibile che il segnale abbia una resistenza abbastanza elevata.

Si suggerisce che l'apparecchiatura di registrazione del segnale della misura di ossigeno abbia una impedenza di ingresso non inferiore a 20 mega ohm.

8. APPENDICE: DISEGNO PRELIMINARE SONDA A OSSIGENO

