



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

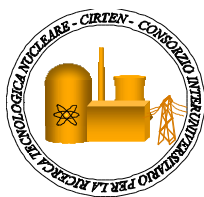


*Ministero dello Sviluppo Economico*

## RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

# Pompa centrifuga per impianto a metallo liquido pesante

*M. Tarantino*



POMPA CENTRIFUGA PER IMPIANTO A METALLO LIQUIDO PESANTE

M. Tarantino ENEA

Settembre 2010

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Produzione e fonti energetiche

Tema: Nuovo Nucleare da Fissione

Responsabile Tema: Stefano Monti, ENEA

**Titolo**

## Pompa Centrifuga per Impianto a Metallo Liquido pesante

**Descrittori**

**Tipologia del documento:** Specifica Tecnica di Sistema  
**Collocazione contrattuale:** Accordo di programma ENEA-MSE: tema di ricerca "Nuovo nucleare da fissione"  
**Argomenti trattati:** Generation IV Reactor  
 Reattori Nucleari Veloci  
 Tecnologie dei metalli liquidi  
 Impianti Meccanici


**Sommario**

IL presente documento riporta la Specifica Tecnica di fornitura di una pompa centrifuga per un impianto a metallo liquido pesante (Piombo)

Note : LP3-C

**Copia n.**
**In carico a:**

2			NOME			
			FIRMA			
1			NOME			
			FIRMA			
0	EMISSIONE	13/09/2010	NOME	Mariano Tarantini	Pietro Agostini	Stefano Monti
			FIRMA			
REV.	DESCRIZIONE	DATA		REDAZIONE	CONVALIDA	APPROVAZIONE

 <b>Ricerca Sistema Elettrico</b>	<b>Sigla di identificazione</b>	<b>Rev.</b>	<b>Distrib.</b>	<b>Pag.</b>	<b>di</b>
	NNFISS – LP3- 011	0	L	2	12

## INDICE

1. Introduzione .....	3
2. Oggetto della fornitura .....	6
3. Scopo .....	7
4. Descrizione della fornitura .....	7
5. Dati di progetto.....	8
6. Requisiti della fornitura.....	9
6.1. Fabbricazione .....	9
6.2. Pulizia.....	9
7. Estensione della fornitura.....	10
7.1. Imballo e trasporto .....	10
7.2. Parti di ricambio .....	11
7.3. Assistenza in Sito .....	11
7.4. Accettazione e Garanzia.....	11
8. Durata della Fornitura, Penali, Pagamenti .....	12

 <b>Ricerca Sistema Elettrico</b>	<b>Sigla di identificazione</b>	<b>Rev.</b>	<b>Distrib.</b>	<b>Pag.</b>	<b>di</b>
	NNFISS – LP3- 011	0	L	3	12

## 1. INTRODUZIONE

I reattori di quarta generazione, sono oggetto di un’iniziativa avviata dal Dipartimento dell’Energia (DOE) USA nel gennaio 2000, allorquando dieci paesi si sono uniti per formare il Generation IV International Forum (GIF) col fine di sviluppare i sistemi nucleari di futura generazione, cioè i sistemi che potranno divenire operativi fra 20 o 30 anni, subentrando all’attuale generazione di reattori a neutroni termici refrigerati ad acqua.

I sistemi nucleari di quarta generazione dovranno rispettare i seguenti requisiti:

- ❖ Sostenibilità, ovvero massimo utilizzo del combustibile e minimizzazione dei rifiuti radioattivi;
- ❖ Economicità, ovvero basso costo del ciclo di vita dell’impianto e livello di rischio finanziario equivalente a quello di altri impianti energetici;
- ❖ Sicurezza e affidabilità; in particolare i sistemi di quarta generazione dovranno avere una bassa probabilità di danni gravi al nocciolo del reattore e tollerare anche gravi errori umani; non dovranno, inoltre, richiedere piani di emergenza per la difesa della salute pubblica, non essendoci uno scenario credibile per il rilascio di radioattività fuori dal sito;
- ❖ Resistenza alla proliferazione e protezione fisica tali da rendere non conveniente il furto o la produzione non dichiarata di materiale nucleare o l’uso illecito della tecnologia e da assicurare un’aumentata protezione contro attacchi terroristici.

I paesi costituenti il GIF sono: Argentina, Brasile, Canada, Cina, Federazione Russa, Francia, Giappone, Gran Bretagna, Repubblica di Corea (Sud), Repubblica del Sud Africa, Svizzera, e Stati Uniti; anche l’Euratom, per l’Unione Europea, aderisce al Forum. L’Italia – grazie all’impegno su buona parte dei progetti europei del VI e VII Programma Quadro indirizzati allo sviluppo dei reattori di IV generazione ed alla partecipazione per conto Euratom di singoli ricercatori ad alcune strutture organizzative di GIF - di fatto partecipa a Generation IV tramite l’Euratom.

Oltre 100 esperti dei 10 paesi aderenti a GIF hanno lavorato per due anni all’esame di un centinaio di alternative tecnologiche, e – con l’emissione nel dicembre 2002 di una Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy

 <b>Ricerca Sistema Elettrico</b>	<b>Sigla di identificazione</b>	<b>Rev.</b>	<b>Distrib.</b>	<b>Pag.</b>	<b>di</b>
	NNFISS – LP3- 011	0	L	4	12

Systems - sono pervenuti alla selezione dei sei concetti più promettenti per la IV generazione di reattori nucleari, intorno a cui organizzare il successivo programma di ricerca e sviluppo. I sei sistemi nucleari selezionati da GIF sono:

- ⇒ Gas-Cooled Fast Reactor (GFR) – reattori a spettro veloce, refrigerati a elio e con ciclo del combustibile chiuso, per una più efficiente conversione dell’uranio fertile e la gestione degli attinidi;
- ⇒ Lead-Cooled Fast Reactor (LFR) - reattori a spettro veloce, refrigerati a piombo o eutettico piombo-bismuto e con ciclo del combustibile chiuso, per una più efficiente conversione dell’uranio fertile e la gestione degli attinidi;
- ⇒ Molten Salt Reactor (MSR) – reattori a fissione prodotta in una miscela circolante di sali fusi, con spettro epitermico e possibilità di gestione degli attinidi;
- ⇒ Sodium-Cooled Fast Reactor (SFR) - reattori a spettro veloce, refrigerati a sodio e con ciclo del combustibile chiuso, per una più efficiente conversione dell’uranio fertile e la gestione degli attinidi;
- ⇒ Supercritical-Water-Cooled Reactor (SCWR) – reattore refrigerato ad acqua a temperatura e pressione oltre il punto critico, a spettro termico o veloce;
- ⇒ Very-High-Temperature Reactor (VHTR) – reattore moderato a grafite e refrigerato ad elio, con ciclo del combustibile ad un solo passaggio (once-through). Questo reattore è ottimizzato per la produzione termochimica di idrogeno, oltre che di elettricità.

In ambito Generation IV l’impegno italiano è limitato ai sistemi LFR, SFR e VHTR.

In particolare l’Accordo di Programma fra Ministero dello Sviluppo Economico ed ENEA, nell’ambito del tema di ricerca “Nuovo nucleare da fissione” si pone diversi obiettivi programmatici:

- i. A breve termine: contribuire a ricreare le competenze e le infrastrutture tecniche e scientifiche necessarie per la ripresa del settore nucleare in Italia, supportare l’autorità di sicurezza per gli iter autorizzativi, sviluppare una capacità autonoma di valutazione delle diverse opzioni tecnologiche,

 <b>Ricerca Sistema Elettrico</b>	<b>Sigla di identificazione</b>	<b>Rev.</b>	<b>Distrib.</b>	<b>Pag.</b>	<b>di</b>
	NNFISS – LP3- 011	0	L	5	12

consentire all'Italia di partecipare a pieno titolo alle grandi iniziative di R&S internazionali/europee (GIF, INPRO, GNEP, SNETP, EII, EERA, programmi Euratom, ecc.) sul nuovo nucleare;

- ii. A medio termine: concentrare le risorse su un programma di dimensione internazionale quale l'IRIS Project, nel quale sia comunque possibile giocare un ruolo significativo anche a livello industriale;
- iii. Al lungo termine: sfruttare le competenze ancora esistenti per partecipare a pieno titolo allo sviluppo di un reattore di quarta generazione quale il Lead Fast Reactor e/o il Sodium Fast Reactor e/o il Very High Temperature Reactor in ambito Euratom e GIF.

Il programma triennale (2006-2008) complessivo del nuovo nucleare da fissione prevede l'effettuazione di diverse macro-attività in ambito LFR, tra cui le principali sono:

- Prove integrali di grandi componenti (GV, DHR, pompe, ecc.)
- Tecnologie dei materiali per sistemi raffreddati a piombo;
- Concettualizzazione di noccioli innovativi di reattore LFR, incluso il nocciolo dell'impianto dimostrativo;
- Supporto all'autorità di sicurezza per gli iter autorizzativi.

 <b>Ricerca Sistema Elettrico</b>	<b>Sigla di identificazione</b>	<b>Rev.</b>	<b>Distrib.</b>	<b>Pag.</b>	<b>di</b>
	NNFISS – LP3- 011	0	L	6	12

## 2. OGGETTO DELLA FORNITURA

La presente Specifica ha come oggetto la fornitura di una pompa centrifuga, operante con piombo fuso, da installare sull' impianto sperimentale HELENA presso il C.R. ENEA del Brasimone.

Nell'ambito dell' Accordo di Programma (AdP) siglato fra ENEA e Ministero dello Sviluppo Economico (MSE), Linea Progettuale 3 "Reattori Innovativi di Quarta Generazione", è prevista un'azione per la "*Qualifica girante per pompa centrifuga realizzata con materiale ad elevata resistenza alla corrosione/erosione*"

Come riportato nel Piano Annuale di Realizzazione 2007 (PAR2007), l'attività consiste nella definizione concettuale, progettazione e realizzazione di un apposito circuito a piombo sul quale realizzare opportuni test sperimentali concepiti per la qualifica di una girante per pompa centrifuga realizzata con materiale ad elevata resistenza alla corrosione/erosione.

Il materiale identificato, MAXTHAL, è stato già sottoposto a test preliminari di verifica, nel corso delle attività del primo anno (PAR2006) mediante l'esposizione di appositi provini alle condizioni sperimentali richieste.

I test sono stati realizzati sull'impianto a metallo liquido pesante CHEOPEIII installato presso il C.R. ENEA del Brasimone, e hanno mostrato un'ottima resistenza alla corrosione/erosione del MAXTHAL nelle condizioni di prova (550°C, 1 m/s).

Per il raggiungimento dell'obiettivo sopra indicato, l'UTIS-TCI dovrà quindi provvedere alla progettazione e realizzazione di un nuovo impianto sperimentale, denominato HELENA "*Heavy Liquid Metal Experimental Loop for Advanced Nuclear Applications*", che consiste di un circuito a sviluppo prevalentemente orizzontale che adotta piombo fluente come fluido di esercizio.

L'impianto HELENA, è stato concepito quindi come una "multipurpose facility", su cui è installata una pompa di circolazione per metallo liquido pesante (HLMP) ad elevate prestazioni fluidodinamiche e realizzata con i più elevati standard tecnologici.



 <b>Ricerca Sistema Elettrico</b>	<b>Sigla di identificazione</b>	<b>Rev.</b>	<b>Distrib.</b>	<b>Pag.</b>	<b>di</b>
	NNFISS – LP3- 011	0	L	7	12

### 3. SCOPO

Lo scopo della presente Specifica Tecnica è di descrivere la fornitura di una pompa di circolazione di tipo centrifugo, per metalli liquidi pesanti (HEAVY LIQUID METAL PUMP – HLMP), stabilendo le condizioni di esercizio, le caratteristiche e le prestazioni richieste.

In linea generale la fornitura dell' HLMP prevede:

- l'approvvigionamento del materiale prototipico MAXTHAL usato per la girante;
- la progettazione, la fabbricazione ed installazione della girante in MAXTHAL;
- la fornitura della pompa completamente assemblata comprensiva di motore elettrico;
- il dossier finale di fornitura;
- la pulizia della pompa;
- l'imballo e la spedizione presso il sito ENEA del Brasimone;
- assistenza all'installazione, primo avvio e collaudo in sito del componente.

### 4. DESCRIZIONE DELLA FORNITURA

La pompa dovrà essere del tipo con girante aperta realizzata in MAXTHAL.

Il corpo pompa, e comunque tutte le parti che lavorano a contatto con il metallo liquido, fatta esclusione per la girante e le tenute, dovrà essere realizzata in acciaio austenitico (AISI 316L, AISI 316, AISI 304L, AISI 304).

Viste le elevate temperature di esercizio, si ammette l'utilizzo di un sistema di tenuta sull'albero-girante del tipo a baderna.

Per il corretto funzionamento della tenuta sarà quindi ammesso un leggero trafileamento di piombo, tra albero-girante e treccia, al fine di lubrificare la tenuta stessa.

 <b>Ricerca Sistema Elettrico</b>	<b>Sigla di identificazione</b>	<b>Rev.</b>	<b>Distrib.</b>	<b>Pag.</b>	<b>di</b>
	NNFISS – LP3- 011	0	L	8	12

Sarà a carico di ENEA installare un apposito sistema per la raccolta del piombo, in atmosfera inerte, evitando il congelamento dello stesso nella zona di trafilamento mediante installazione di opportuni sistemi traccianti elettrici.

Il sistema sarà dimensionato da ENEA secondo le indicazioni date dal Fornitore circa i ratei di trafilamento ipotizzabili.

Sarà cura del Fornitore la scelta del tipo di baderna, la sua installazione, e la definizione temporale delle manutenzioni programmate, che comunque dovranno avere una frequenza non inferiore a 200 ore in regime di esercizio continuo.


La pompa, completa di basamento per l'installazione orizzontale sul piano di lavoro in sito, dovrà essere dotata di motore elettrico alimentato a 380V, 50 Hz. (grado di protezione IP23).

## 5. DATI DI PROGETTO

La pompa HLMP dovrà essere progettata e realizzata nel rispetto dei seguenti dati di progetto:

➤ Fluido di processo	Piombo Fuso
➤ Temperatura di esercizio:	400°C
➤ Temperatura di Progetto:	450°C
➤ Pressione di Progetto:	10 bar
➤ Portata Minima:	10 kg/s
➤ Potata Massima:	50 kg/s
➤ Portata BEP (Best Efficiency Point):	35 - 45 kg/s
➤ Prevalenza BEP:	3.5 – 5 bar

Per quanto riguarda le procedure di avvio e spegnimento della pompa, così come delle fasi di stand-by di impianto, sarà garantita nell'impianto HELENA una temperatura uniforme e costante pari a 400°C, al fine di assicurare che nel corpo pompa non abbia luogo la solidificazione del metallo liquido.

 <b>Ricerca Sistema Elettrico</b>	<b>Sigla di identificazione</b>	<b>Rev.</b>	<b>Distrib.</b>	<b>Pag.</b>	<b>di</b>
	NNFISS – LP3- 011	0	L	9	12

Sarà cura del Fornitore indicare le corrette procedure di avvio della pompa di circolazione dalla condizione di stand-by fino al punto di funzionamento nominale.

Per quanto riguarda il fluido di lavoro si adotterà del piombo fuso, le cui caratteristiche chimico-fisiche sono di seguito riportate:

Temperatura	Temperatura	Tensione di Vapore	Tensione Superficiale	Densità	Velocità del Suono	Calore Specifico	Viscosità dinamica	Conducibilità Termica
[K]	[°C]	[Pa]	[N/m]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[m/s]	[J/kg K]	[Pa s]	[W/m K]
601	327.85	5.515E-07	0.451	10649.2	1773.6	141.3	2.69E-03	15.8
610	336.85	9.5221E-07	0.450	10638.4	1771.4	141.0	2.62E-03	15.9
620	346.85	1.7147E-06	0.449	10626.5	1768.9	140.6	2.55E-03	16.0
630	356.85	3.0308E-06	0.448	10614.5	1766.4	140.3	2.48E-03	16.1
640	366.85	5.2624E-06	0.447	10602.6	1764.0	139.9	2.42E-03	16.2
650	376.85	8.9833E-06	0.446	10590.6	1761.5	139.5	2.36E-03	16.4
660	386.85	1.5089E-05	0.444	10578.7	1759.1	139.1	2.30E-03	16.5
670	396.85	2.4954E-05	0.443	10566.8	1756.7	138.7	2.24E-03	16.6
680	406.85	4.0664E-05	0.442	10554.8	1754.3	138.3	2.19E-03	16.7
690	416.85	6.5332E-05	0.441	10542.9	1751.9	137.9	2.14E-03	16.8
700	426.85	0.00010355	0.440	10530.9	1749.6	137.5	2.10E-03	16.9

## 6. REQUISITI DELLA FORNITURA

La fornitura dovrà essere in accordo alle prescrizioni elencate nei successivi paragrafi.

### 6.1. FABBRICAZIONE

Il Fornitore si dovrà responsabilizzare sulle indicazioni effettuate da ENEA in termini di parametri di progetto, soluzioni tecnologiche proposte, condizioni di esercizio. Tuttavia potrà proporre soluzioni diverse qualora ne semplifichino la fornitura o si ottimizzino le prestazioni.

### 6.2. PULIZIA

 <b>Ricerca Sistema Elettrico</b>	<b>Sigla di identificazione</b>	<b>Rev.</b>	<b>Distrib.</b>	<b>Pag.</b>	<b>di</b>
	NNFISS – LP3- 011	0	L	10	12

Particolare attenzione dovrà essere riservata alla pulizia del manufatto, sia in fase di fabbricazione che durante il trasporto. Dovrà essere garantito un alto livello di pulizia necessario ad evitare che residui di lavorazioni meccaniche, scorie di saldatura, polvere ecc. possano depositarsi nel corpo pompa.

## **7. ESTENSIONE DELLA FORNITURA**

La fornitura comprende, oltre alla pompa di circolazione descritta un dossier finale di fornitura riportante:

- progetto preliminare della palettatura della girante;
- progetto fluidodinamico e termo-meccanico definitivo della palettatura della girante;
- i certificati dei materiali adottati per la realizzazione della girante e delle tenute;
- il libretto d'uso e manutenzione;
- disegni esplosi della pompa;
- schemi elettrici di installazione;
- le curve caratteristiche della pompa, (diagramma portata – prevalenza in funzione del numero di giri);
- il diagramma del triangolo delle velocità sulla girante in funzione del numero di giri;
- i disegni costruttivi della girante in MAXTHAL

### **7.1. IMBALLO E TRASPORTO**

Gli imballi dovranno essere idonei a garantire la conservazione della pulizia, la protezione delle parti e l'integrità strutturale della fornitura, durante il trasporto fino al sito ENEA del Brasimone.

 <b>Ricerca Sistema Elettrico</b>	<b>Sigla di identificazione</b>	<b>Rev.</b>	<b>Distrib.</b>	<b>Pag.</b>	<b>di</b>
	NNFISS – LP3- 011	0	L	11	12

## **7.2. PARTI DI RICAMBIO**

Nella fornitura sono incluse, come parti di ricambio consigliate dal Fornitore, i componenti che garantiscono il corretto funzionamento della pompa di circolazione HLMP per un periodo di due anni in esercizio continuo.

In particolare dovranno fornirsi come parti di ricambio la baderna per la realizzazione delle tenute, e tutti gli accessori che si rendano necessari per la corretta installazione e sostituzione della stessa.

## **7.3. ASSISTENZA IN SITO**

Il Fornitore dovrà garantire la necessaria assistenza tecnica in sito, al fine di provvedere, coadiuvato dal personale tecnico ENEA, alla corretta installazione, primo avvio e il relativo collaudo della pompa di circolazione HLMP sull'impianto HELENA.

Il Fornitore dovrà inoltre garantire la propria presenza in sito durante le fasi di prima manutenzione della pompa di circolazione al fine di assicurare il necessario supporto tecnico per la rimozione e successiva sostituzione del sistema di tenuta del tipo a baderna sull'albero-girante.

## **7.4. ACCETTAZIONE E GARANZIA**

L'accettazione della fornitura avverrà presso il Centro ENEA del Brasimone a seguito verifica dell'integrità del componente, e del buon stato di conservazione dopo l'effettuazione del trasporto.

La garanzia avrà la durata di 36 mesi e inizierà dalla data di accettazione della fornitura.

Il primo avvio e collaudo della pompa di circolazione sarà realizzato sull'impianto HELENA, a cui parteciperà anche una delegazione tecnica indicata dal Fornitore.

 <b>Ricerca Sistema Elettrico</b>	<b>Sigla di identificazione</b>	<b>Rev.</b>	<b>Distrib.</b>	<b>Pag.</b>	<b>di</b>
	NNFISS – LP3- 011	0	L	12	12

Durante il collaudo sarà verificata la corrispondenza fra le prestazioni della pompa di circolazione e quanto riportato in Specifica Tecnica.

In caso di esito negativo del collaudo sarà a completo carico del Fornitore apportare tutte le modifiche necessarie alla pompa di circolazione per soddisfare i requisiti di prestazioni e funzionalità riportate in Specifica Tecnica.

## **8. DURATA DELLA FORNITURA, PENALI, PAGAMENTI**

La presente fornitura dovrà essere ultimata entro il **30 Giugno 2011**.

Per ogni giorno solare di ritardo nella consegna della fornitura sarà applicata la penale dello 0,3% (tre per mille) dell'importo totale.

L'importo globale della penale applicabile non potrà superare, comunque, il 10% dell'importo totale della fornitura.

Qualora l'ammontare complessivo della penale ecceda il 10% del valore del contratto, il responsabile ENEA può risolvere il contratto e provvedere all'esecuzione in danno.

I pagamenti saranno effettuati, a fronte di presentazione di regolare fattura posticipata, come di seguito riportato:

- 15% ad approvazione da parte di ENEA del progetto preliminare della palettatura della girante.
- 75% dell'ammontare totale a esito positivo dell'accettazione in sito
- 10% dell'ammontare totale ad esito positivo del collaudo finale. Tale ultima quota potrà essere svincolata all'esito positivo dell'accettazione in sito mediante istituzione di idonea garanzia bancaria o assicurativa di pari importo, della durata di 36 mesi.