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

MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO

Specifica Tecnica per Upgrade Impianto LECOR per Prove di Corrosione in Piombo Fluente

Mariano Tarantino

Report RdS/PAR2013/039

Specifica Tecnica per Upgrade Impianto LECOR per Prove di Corrosione in Piombo Fluente

Mariano Tarantino - ENEA

Settembre 2014

Report Ricerca di Sistema Elettrico
Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA
Piano Annuale di Realizzazione 2013
Area: Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente
Progetto: Sviluppo competenze scientifiche nel campo della sicurezza nucleare e collaborazione ai programmi internazionali per il nucleare di IV Generazione
Obiettivo: Sviluppo competenze scientifiche nel campo della sicurezza nucleare
Responsabile del Progetto: Mariano Tarantino, ENEA

ENEA Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Distrib.	Pag.	di
	ADPFISS – LP2 – 071	L	1	12

Titolo

Specifica Tecnica per upgrade impianto LECOR per prove di corrosione in piombo fluente

Descrittori

Tipologia del documento: Rapporto Tecnico

Collocazione contrattuale: Accordo di programma ENEA-MSE su sicurezza nucleare e reattori di IV generazione

Argomenti trattati: Tecnologia dei Metalli liquidi
Generation IV rectors
Caratterizzazione dei materiali

Sommario

Il presente documento riporta la Specifica Tecnica di fornitura e installazione della sezione di prove dell'impianto LECOR (piombo) presso il C.R. ENEA del Brasimone.

Note

Copia n. **In carico a:**

REV.	DESCRIZIONE	DATA		REDAZIONE	CONVALIDA	APPROVAZIONE
2			NOME			
			FIRMA			
1			NOME			
			FIRMA			
0	EMISSIONE	24/09/14	NOME	M. Tarantino	A. Del Nevo	M. Tarantino
			FIRMA			

INDICE

INTRODUZIONE 3
1 CONCETTUALIZZAZIONE UPGRADE IMPIANTO NACIE (NACIE-UP) 7
2 OGGETTO DELLA FORNITURA 7
3 SCOPO 7
4 DESCRIZIONE DELLA FORNITURA E DATI DI PROGETTO 8
5 REQUISITI DELLA FORNITURA 8
5.1 FABBRICAZIONE 8
5.2 MATERIALI 8
5.3 SALDATURE 9
5.4 PROVE IN PRESSIONE 9
5.5 PULIZIA 9
6 ESTENSIONE DELLA FORNITURA 10
6.1 IMBALLO E TRASPORTO 10
6.2 INSTALLAZIONE ED ASSISTENZA IN SITO 10
6.3 ACCETTAZIONE E GARANZIA 10
7 LIMITI DI FORNITURA, ESCLUSIONI, INTERFACCE 10
8 DURATA DELLA FORNITURA, PENALI, PAGAMENTI 11
9 ALLEGATI 11
9.1 NUOVA LINEA SEZIONE DI PROVA LECOR 12

INTRODUZIONE

In ambito europeo lo sviluppo dei reattori di IV generazione e dei sistemi SMR (Small Modular Reactor), con particolare riguardo a quelli a spettro neutronico veloce capaci di sostenere la chiusura del ciclo del combustibile per la minimizzazione dei rifiuti radioattivi e l'utilizzo ottimale delle risorse naturali, è inquadrato nella European Sustainable Nuclear Industrial Initiative (ESNII) dello Strategic Energy Technology-Plan (SET-Plan), di cui anche l'ENEA è membro.
In questo contesto, sia ENEA sia il sistema industriale italiano (es. ANSALDO NUCLEARE) e il sistema universitario (CIRTEN), sono focalizzati sullo sviluppo concettuale, sulla progettazione di dettaglio, e sulla ricerca tecnologica, del DEMO-LFR ALFRED "**A**dvanced **L**ead **F**ast **R**eactor **E**uropean **D**emonstrator", vedi Figura 1.

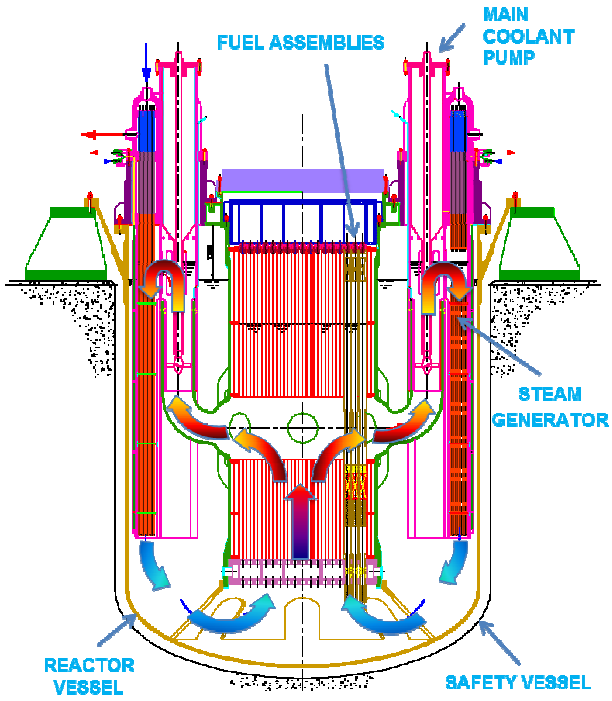


Figura 1: DEMO ALFRED Reactor Configuration.

Il prototipo ALFRED non solo funge da DEMO-LFR, ma ha insita l'ambizione di essere il primo prototipo di SMR refrigerato a metallo liquido pesante di concezione europea, in alternativa all' SVBR di concezione russa.
I sistemi LFR (anche SMR) nella configurazione a piscina integrata soddisfano tutti i requisiti introdotti per i sistemi nucleari di quarta generazione. Una roadmap di sviluppo dei sistemi LFR a livello europeo è riportata in Figura 2.

Sostenibilità: efficace utilizzo del combustibile e minimizzazione delle scorie.
Il piombo è un refrigerante che presenta una sezione d'urto di assorbimento neutronico bassa e uno scarso potere moderante. Questa proprietà nucleare, intrinseca al refrigerante, permette di progettare ed esercire noccioli a spettro neutronico veloce anche con geometrie con un elevato rapporto refrigerante/

combustibile, a sua volta necessario per la corretta asportazione del calore di fissione nel rispetto dei vincoli sulle temperature massime di esercizio.
La possibilità di operare con flussi neutronici particolarmente "duri" consente di ottenere facilmente noccioli con rapporto di conversione unitario (qualora il tasso di produzione di nuovo materiale fissile nel combustibile coincide con il tasso di consumo dello stesso), e quindi noccioli a lunga vita ed elevato tasso di bruciamento (elevata efficienza di utilizzo del combustibile, circa 150-200 volte superiore agli attuali sistemi di seconda e terza generazione).
Un flusso neutronico veloce permette non solo di accrescere la sostenibilità di tali sistemi mediante un utilizzo più efficace e razionale del combustibile nucleare, ma permette contemporaneamente una drastica riduzione della generazione di scorie ad elevata radiotossicità grazie ad un ciclo del combustibile "chiuso". Le scorie effettivamente prodotte sono infatti separate dal plutonio e dagli attinidi minori, che vengono completamente riciclati e riutilizzati nel ciclo del combustibile (detto per l'appunto chiuso). Il plutonio e gli attinidi minori sono infatti i principali responsabili dell'elevata radiotossicità delle scorie nucleari dei sistemi GEN-II, GEN-III, che richiedono tempi di stoccaggio in siti geologici dell'ordine del milione di anni.
Con un ciclo del combustibile chiuso i sistemi LFR permettono di ridurre i volumi di scorie nucleari prodotte e la relativa radiotossicità, con la sola necessità di uno stoccaggio in siti superficiali per un tempo dell'ordine di 300-400 anni.

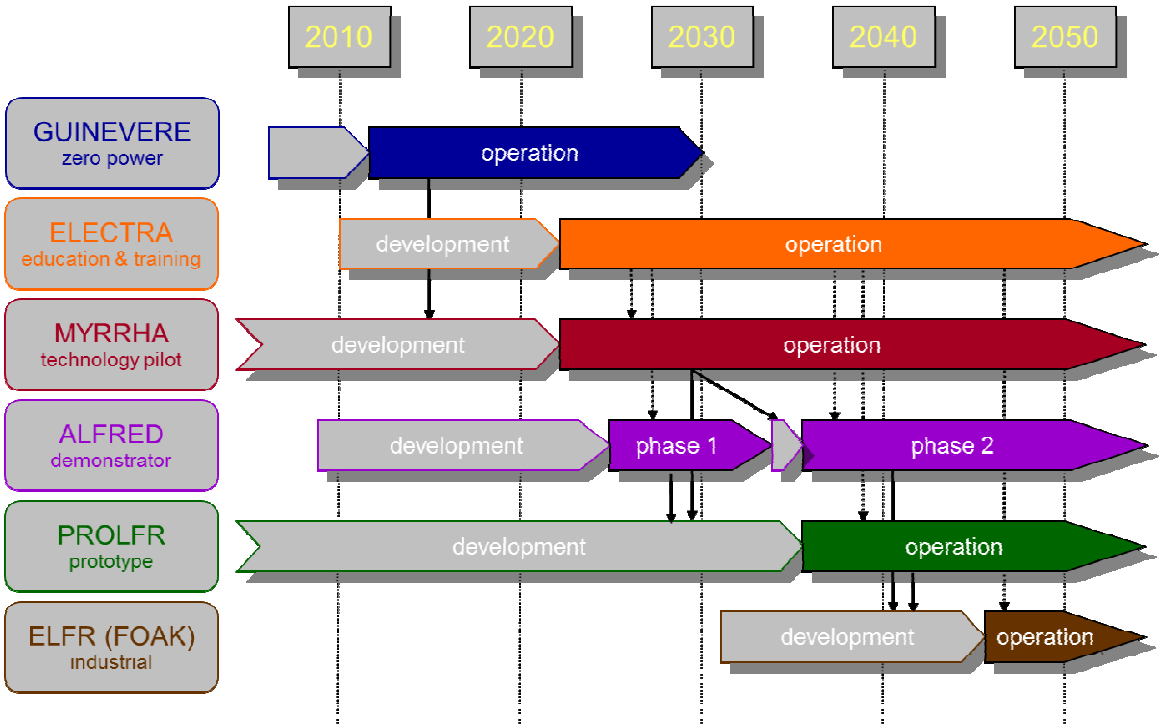


Figura 2: Roadmap sviluppo dei sistemi LFR

Economicità: costi competitivi e rischio sul capitale investito paragonabile ad ogni altra forma di produzione di energia elettrica.
I sistemi LFR sono ideati e progettati per essere estremamente semplici, riducendo quindi i tempi di costruzione, i tempi di ammortamento del capitale investito

(parametro molto critico per i sistemi nucleari), e il costo di produzione dell'energia elettrica.
Tale semplicità è in gran parte consentita dalle intrinseche proprietà del refrigerante utilizzato. Il piombo infatti non interagisce chimicamente con aria e acqua (a differenza del sodio), e ha una bassa tensione di vapore. Ciò consente di realizzare sistemi a bassa pressione (praticamente pressione atmosferica) e consente di installare direttamente nel sistema primario il generatore di vapore, portando ad una considerevole semplificazione impiantistica. Nei sistemi refrigerati a sodio ciò non è praticabile, e un apposito circuito intermedio a sodio è previsto, aumentando la complessità, dimensioni e costi di impianto.
Inoltre la diretta installazione del generatore di vapore nel sistema primario migliora l'efficienza energetica del sistema LFR, riducendo i costi di produzione dell'energia elettrica.
Infine mediante un accorto ed innovativo progetto di impianto, che lo rende estremamente semplice, è possibile sostituire o comunque ispezionare tutti i componenti del sistema primario, incrementando sensibilmente non solo il fattore di utilizzo dell'impianto e riducendo quindi i tempi di ammortamento sul capitale investito, ma anche la protezione dell'investimento.

Sicurezza e Affidabilità: elevata sicurezza e affidabilità durante l'esercizio, minimo rischio di danneggia-mento del nocciolo, esclusione di un piano di evacuazione
I sistemi refrigerati a piombo, visto l'elevato punto di ebollizione del refrigerante utilizzato (1750 °C), la sua bassa tensione di vapore anche ad elevate temperature, e le sue ottime capacità schermanti, sono progettati per essere eserciti a pressione atmosferica e a temperature particolarmente lontane dal punto di ebollizione. Ciò consente di ottenere elevati standard di sicurezza e affidabilità durante l'esercizio, con un rischio di esposizione agli operatori molto modesto vista la capacità del piombo di intrappolare i prodotti di fissione anche volatili e di schermare le radiazioni gamma.
Le ottime proprietà neutroniche del piombo, già citate, consentono inoltre di sfruttare a pieno le peculiarità dello stesso come refrigerante, ovvero da un punto di vista termo-fisico (elevata capacità di asportare potenza termica, elevato calore specifico, elevato coefficiente di espansione termica), permettendo la progettazione di noccioli ad elevato rapporto passo su diametro, il ché implica direttamente sistemi a ridotte perdite di carico e quindi contenute potenze di pompaggio. Inoltre tale configurazione permette di incrementare le capacità del sistema di asportare la potenza di decadimento in regime di circolazione naturale, quindi in maniera completamente passiva, permettendo così una sensibile semplificazione dei sistemi di controllo e protezione e accrescendo ulteriormente il grado di sicurezza di tali sistemi.
Da un punto di vista prettamente nucleare i reattori refrigerati a piombo presentato un coefficiente di reattività per presenza di vuoto negativo nel caso di noccioli di piccole-medie dimensioni e positivo nel caso di noccioli di grosse dimensioni. Tuttavia, in virtù dell'elevato punto di ebollizione del refrigerante (superiore alla temperatura di fusione degli acciai ma inferiore a quella del combustibile), l'ipotesi di esteso svuotamento della sola regione del nocciolo può essere considerata fisicamente irrealizzabile, così che i reattori refrigerati a piombo possano essere considerati immuni da uno degli scenari incidentali più gravi, tipici dei reattori veloci tradizionali.

Anche in caso di rottura dei tubi del generatore di vapore, vista l'elevata densità del piombo e le soluzioni progettuali adottate, il rischio di inserzione di vapore nel centro del nocciolo (dove il coefficiente di vuoto è maggiormente positivo) è estremamente ridotto.
Va infine evidenziato come l'elevata densità del piombo, pur nel caso di una improbabile fusione del nocciolo, riduca significativamente il rischio di una successiva compattazione del combustibile e quindi di una nuova condizione di criticità del sistema. I fenomeni di dispersione del combustibile nel refrigerante sono infatti predominanti viste le densità del combustibile nucleare paragonabili a quelle del piombo e l'attitudine del piombo ad instaurare moti di circolazione naturale in ogni condizione incidentale ipotizzabile. Tale scenario non è invece ipotizzabile per i reattori ad acqua e a sodio, per i quali altresì il rischio di parziale o completa fusione del nocciolo è meno ridotto che non nel caso di un LFR.
D'altro canto l'elevato punto di fusione del piombo (327°C) che può indurre problemi di esercizio e controllo dei sistemi LFR, introduce un enorme vantaggio per quanto riguarda la sicurezza di tali sistemi. In caso di rottura del vessel con fuoriuscita di piombo dal sistema primario, questo tenderebbe immediatamente a solidificare arrestando la fuoriuscita, senza alcuna conseguenza per le strutture circostanti data anche la sua inerzia chimica con aria e acqua. Per i sistemi a sodio ciò non è neanche lontanamente immaginabile.
Rimane infine la questione della produzione del Polonio-210, volatile e altamente pericoloso per la salute pubblica. Con una adeguata selezione dei materiali e una corretta implementazione dei sistemi di controllo della chimica, e ancora date le attitudini del piombo ad intrappolare i prodotti di fissione altamente volatili, il rischio di rilascio delle pur minime quantità di Po-210 prodotte nel reattore, è estremamente ridotto.

Resistenza alla Proliferazione e Protezione Fisica: impossibilità di avere plutonio per la fabbricazione di bombe, elevata sicurezza per la salute pubblica in caso di atti terroristici.
L'uso di combustibile ad ossidi misti contenente attinidi minori (nel lungo termine), associato ad un ciclo di combustibile che non prevede la separazione chimica degli attinidi presenti nel combustibile stesso, rende questi sistemi enormemente inefficaci per la diversione di plutonio a fini illeciti. Inoltre nel breve termine, le proprietà neutroniche del piombo premettono la concezione di noccioli a lunga vita (peraltro già esercibili in un'ottica di chiusura del ciclo del combustibile), intrinsecamente incompatibili con la produzione di plutonio weapon-grade.
L'uso di un refrigerante chimicamente compatibile con aria e acqua, con ottime proprietà intrinseche di schermaggio delle radiazioni e di ritenzione dei prodotti di fissione tipicamente responsabili della contaminazione ambientale in caso di incidente severo, ed operante a bassa pressione permette di aumentare sensibilmente la protezione fisica della popolazione residente nelle zone limitrofe alla installazione nucleare, riducendo inoltre la necessità di robusti e complessi sistemi di protezione contro eventi catastrofici iniziati da eventi terroristici. Inoltre per i sistemi LFR in nessuna configurazione e previsto l'utilizzo di fluidi infiammabili, eliminando quindi il rischio di propagazione di incendi nel sito.

In tale ambito, l'ENEA ha assunto l'impegno di svolgere prove di corrosione in piombo fluente in ambiente ossidante mediante l'up-grade dell'impianto LECOR. Saranno realizzati test di 1000 h di corrosione su acciai strutturali anche ricoperti di interesse per i sistemi LFR.

1 CONCETTUALIZZAZIONE UPGRADE IMPIANTO NACIE (NACIE-UP)

L'impianto a metallo liquido pesante LECOR è stato definito e progettato con lo scopo di realizzare una "multipurpose facility" che possa supportare sperimentalmente lo sviluppo tecnologico dei sistemi refrigerati a piombo fluente.
In particolare, gli ambiti nel quale si inserisce l'attività di ricerca e sviluppo prevista sull'impianto LECOR, riguardano:

1. caratterizzazione componenti prototipici;
2. qualifica e caratterizzazione strumentazione;
3. prove di corrosione in ambiente controllato.

L'upgrade dell'impianto LECOR è stato dettagliato secondo i disegni costruttivi riportati nel disegno LE-I-D-053.

2 OGGETTO DELLA FORNITURA

La presente Specifica Tecnica ha come oggetto l'approvvigionamento, la fabbricazione l'installazione e il collaudo presso il C.R. Brasimone (edificio sperimentale CPC-1), della sezione di prova corrosione dell'impianto a metallo liquido pesante (Pb) LECOR.

3 SCOPO

La Specifica Tecnica ha lo scopo di descrivere l'oggetto della fornitura, di stabilire i criteri generali per la fabbricazione, certificazione secondo direttiva 97/23/CE (PED), i controlli, le prove non distruttive, l'imballaggio e quanto necessario alla realizzazione, trasporto e installazione dell'upgrade dell'impianto presso il C.R. Brasimone.

In linea generale la fornitura comprende:

- ✓ l'approvvigionamento dei materiali;
- ✓ la realizzazione dei disegni costruttivi di officina;
- ✓ la fabbricazione dei componenti di impianto indicati e il relativo assemblaggio;
- ✓ i controlli e i test in corso d'opera e di fine realizzazione;
- ✓ il dossier di fine fabbricazione comprensivo di certificazioni;
- ✓ la pulizia e decapaggio di tutti i componenti di impianto;
- ✓ l'imballo e la spedizione presso il sito ENEA del Brasimone;
- ✓ installazione presso l'edificio sperimentale CPC-1;

- ✓ collaudi in sito.

4 DESCRIZIONE DELLA FORNITURA E DATI DI PROGETTO

L'impianto LECOR consiste di un circuito a piombo a sviluppo prevalentemente verticale, costituito da tratti di tubazione con estremità flangiate con diverse funzioni e da componenti d'impianto come descritti di seguito.
Il Fornitore dovrà comunque responsabilizzarsi sulle scelte del Cliente nella definizione del piping e dei relativi collegamenti flangiati.
Il piping oggetto della fornitura sarà costituito principalmente da tubazioni in acciaio inox AISI304/316 da 1", 2", 2.5" S40. La realizzazione e installazione delle tubazioni ed i relativi supporti sono completa responsabilità del Fornitore.
Il fornitore dovrà responsabilizzarsi, coadiuvato da ENEA, nella definizione delle procedure di assemblaggio e saldature in opera, atte a garantire le giuste pendenze sulle linee di impianto, necessarie al corretto drenaggio di impianto durante le fasi di manutenzione e transitori operazionali.

5 REQUISITI DELLA FORNITURA

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

5.1 FABBRICAZIONE

Il Fornitore si dovrà responsabilizzare sulle scelte effettuate dal Cliente nel progetto proposto. Tuttavia potrà proporre soluzioni diverse qualora ne semplifichino la fabbricazione e l'assemblaggio.
Sulla base dei disegni di assieme del Cliente, il Fornitore dovrà produrre i disegni di dettaglio ritenuti necessari per definire le dimensioni e le tolleranze finalizzate alla realizzazione dei componenti di impianto in officina.
La fabbricazione dovrà essere eseguita conformemente alla direttiva 97/23/CE (PED) per quanto concerne le costruzioni saldate.

5.2 MATERIALI

Le parti di impianto, supporti e altri componenti oggetto della fornitura dovranno essere realizzati in acciaio austenitico tipo AISI 304/316/316L, a meno che non venga specificatamente indicato un materiale diverso dal Cliente.
L'approvvigionamento e la ricezione dei materiali dovranno essere condotti conformemente alle norme ASTM, UNI e DIN, accompagnati da certificati di origine, comprovanti le caratteristiche chimico-fisiche e i trattamenti subiti relativi al lotto di materiale della fornitura.

Per le parti per le quali non sia applicabile alcuna delle norme indicate, il Fornitore dovrà procedere secondo il proprio standard aziendale, previa autorizzazione del Cliente.
Le guarnizioni di tenuta delle flange di collegamento sul piping e sui vari componenti dovranno essere del tipo spirometallico a spire alternate grafite e AISI 316 (HB<160) di spessore 4.5 mm, con anello esterno di centraggio e anello di compressione interno in AISI 316, con spessore di 3 mm, dimensionate secondo ASME B16.20 (m=3.00 ;Y=68.9 MPa).
La bulloneria di collegamento tra le flange con interposte le guarnizioni spirometalliche dovrà essere in acciaio inossidabile austenitico secondo ASTM A193 B8 del tipo A2/70.

5.3 SALDATURE

Il riferimento normativo per quanto riguarda i giunti saldati è la Direttiva 97/23/CE (PED).
Per le saldature dovrà essere prodotto un documento che riporti per ogni giunzione:

- procedimento usato;
- qualifica saldatura;
- tipo di elettrodo e omologazione;
- qualifica del saldatore;
- controlli non distruttivi previsti.

Valgono inoltre le seguenti prescrizioni aggiuntive:

- ✓ i giunti saldati non di testa che realizzano la tenuta con l'ambiente esterno dovranno essere rasati dopo l'ultima passata ed ispezionati con Liquidi Penetranti ad ogni passata;
- ✓ le saldature di testa presenti sui vari componenti di impianto, dovranno essere radiografate; in alternativa si ammette ispezione con Liquidi Penetranti ad ogni passata.

5.4 PROVE IN PRESSIONE

A fine assemblaggio, l' ENEA richiede che vengano eseguite una prova in pressione, secondo direttiva 97/23/CE (PED):

1. Prova in pressione per il circuito secondario completamente assemblato, presso il CR ENEA Brasimone.

5.5 PULIZIA

Particolare attenzione dovrà essere riservata alla pulizia dei manufatti, 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 all'interno dei componenti di impianto.

Tutti i componenti di impianto dovranno essere sgrassati e decapati presso le officine del Fornitore, adottando un apposita procedura che dovrà essere elaborata e proposta dal Fornitore e successivamente approvata da ENEA.

6 ESTENSIONE DELLA FORNITURA

La fornitura comprende, oltre ai manufatti descritti,

- la bulloneria;
- le guarnizioni di tenuta (3 per ogni giunto);
- componenti e accessori per l'esecuzione delle prove di tenuta.

La fornitura include, inoltre, il dossier di fine fabbricazione (in formato cartaceo ed elettronico), dove sono raccolti tutti i documenti riguardanti:

- l'approvvigionamento dei materiali e i relativi certificati;
- i disegni di officina necessari per la fabbricazione;
- la descrizione delle saldature e i controlli effettuati;
- le prove di tenuta realizzate e la relativa procedura adottata;
- la procedura di sgrassatura e decapaggio adottata.

6.1 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.

6.2 INSTALLAZIONE ED 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 e primo avvio.

6.3 ACCETTAZIONE E GARANZIA

L'accettazione della fornitura avverrà presso il C.R. ENEA del Brasimone a seguito del esito positivo della prova di tenuta sull'impianto LECOR completamente assemblato. In caso di esito negativo dell'accettazione, sarà a completo carico del Fornitore apportare tutte le modifiche necessarie per soddisfare i requisiti di prestazioni e funzionalità riportate in Specifica Tecnica.

7 LIMITI DI FORNITURA, ESCLUSIONI, INTERFACCE

Per la fornitura della sezione di prova LECOR, sono escluse dalla presente fornitura (vedi disegno LE-I-D-053):

- Flow meter IFM;

- Valvola 1” PVL2;
- Giunto ABF da 1”;
- N°4 tappi ABF da 1”;
- Linea piping da flngia superuione SDO a valvola PVL2;
- Linea da flangia inferiore a tubo di entrata Flow Meter.

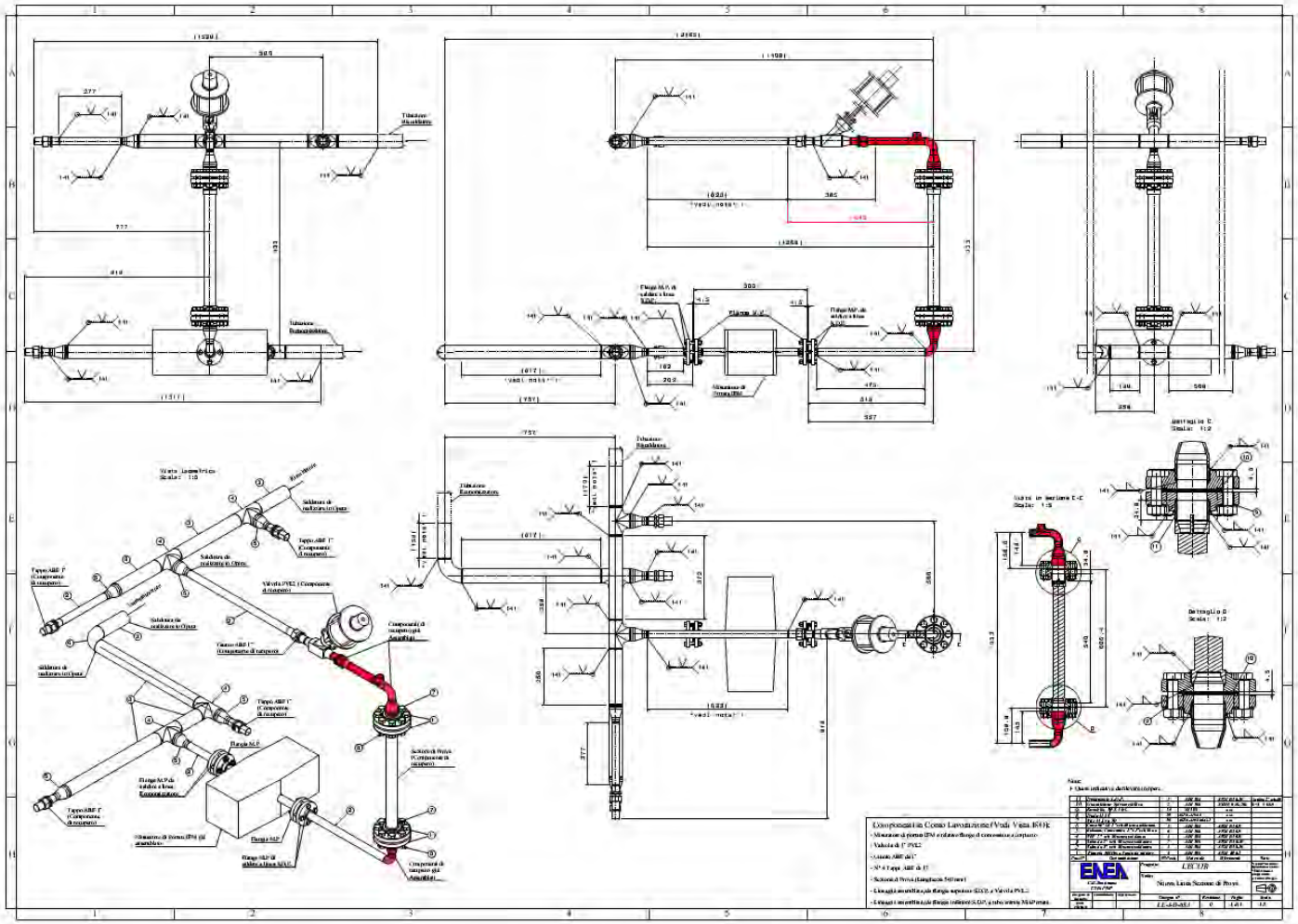
8 DURATA DELLA FORNITURA, PENALI, PAGAMENTI

La presente fornitura dovrà essere ultimata entro il **30 Maggio 2014**.
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:

- 100% dell’ammontare totale ad esito positivo dell’accettazione della fornitura in sito.

9 ALLEGATI

Di seguito sono elencati i disegni allegati alla presente Specifica Tecnica.

1. LE-I-D-053

9.1 NUOVA LINEA SEZIONE DI PROVA LECOR