



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



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO



Ricerca di Sistema elettrico

Studi e Valutazioni del Costo del DEMO LFR Alfred

Jorge Luis Manzano, Marco Ciotti

Studi e Valutazioni del Costo del DEMO LFR Alfred

Jorge Luis Manzano, Marco Ciotti - 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

**Titolo****Studi e Valutazioni del costo del DEMO LFR ALFRED****Descrittori**

Tipologia del documento:

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

Argomenti trattati:

Reattori Nucleari di IV Generazione
Politica Energetica
Energia nucleare
Tecnologia dei reattori nucleari**Sommario**

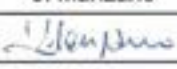
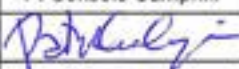
In questo documento sono riportati, descritti e discussi i risultati relativi ad una prima revisione dei costi per la costruzione del reattore dimostrativo ALFRED forniti nel precedente studio condotto nell'ambito del progetto Leader.

Note:**Autori:**

J. Manzano, M. Ciotti (ENEA)

Copia n.

In carico a:

2			NOME			
			FIRMA			
1			NOME			
			FIRMA			
0	EMISSIONE	26/09/14	NOME	J. Manzano	P. Console Camprini	M. Tarantino
			FIRMA			
REV.	DESCRIZIONE	DATA		REDAZIONE	CONVALIDA	APPROVAZIONE

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS ñ LP2 ñ	Rev. 0	Distrib.	Pag. 2	di 16
--	--	------------------	-----------------	------------------	-----------------

INDICE

Introduzione	3
Modalità di valutazione	6
Analisi costo pompe.....	6
Componenti all'interno del vessel	8
Costruzioni civili.....	9
Costo del circuito secondario.....	10
Conclusioni	11
Ringraziamenti.....	11
Bibliografia.....	12
Appendice 1: Costi del reattore ALFRED determinati in [2]	13
Appendice 2: Riassunto del profilo della SIGMA Group a.s.....	14
Appendice 3: Costo delle costruzioni civili in diversi paesi	16

Introduzione

In tutte le imprese industriali è fondamentale un'accurata analisi dei costi; nel caso del dimostratore ALFRED (Advanced Lead Fast Reactor Demonstrator) date le incertezze legate ad una tecnologia ancora in sviluppo e la continua ottimizzazione del progetto si rende necessario rivisitare ed aggiornare continuamente le stime iniziali seguendo l'evoluzione del progetto sia in termini di nuove soluzioni adottate sia in termini di evoluzione di soluzioni consolidate che arricchendosi di particolari rendono possibile una stima di maggiore accuratezza.

Il reattore ALFRED, infatti, pur trattandosi di un dimostratore, e quindi di una macchina che necessariamente sarà sottoposta a modifiche, prove, ottimizzazioni e tutte le pratiche necessarie per spianare la strada verso la realizzazione di una filiera di reattori, rimane pur sempre un impianto in grado di produrre energia elettrica con un ritorno economico atteso non trascurabile. Questa caratteristica, che ne determina la possibilità di essere costruito mediante accesso ad un prestito erogato dalla Banca Europea degli Investimenti (BEI), ne rende indispensabile un'attenta valutazione dei costi, per far sì che vi siano la possibilità che i guadagni generati nell'arco della sua vita siano in grado di ripagare il finanziamento che potrebbe essere concesso. La BEI, di proprietà dei 28 paesi dell'UE, assume prestiti sui mercati dei capitali e concede supporto economico senza scopi di lucro a un basso tasso d'interesse per finanziare progetti volti a migliorare le infrastrutture, l'approvvigionamento energetico o la sostenibilità ambientale sia all'interno dell'UE che nelle zone limitrofe o nei paesi in via di sviluppo.

Questa particolare possibilità di finanziamento viene ad azzerare una delle voci che pesantemente influenzano il costo economico di un reattore, ovvero il ritorno atteso sull'utilizzo di un capitale che, per attività a forte rischio imprenditoriale, può arrivare ad essere dell'ordine del 10%, comportando una sensibile variazione del prezzo del kWh, come evidenziato nella figura 1.

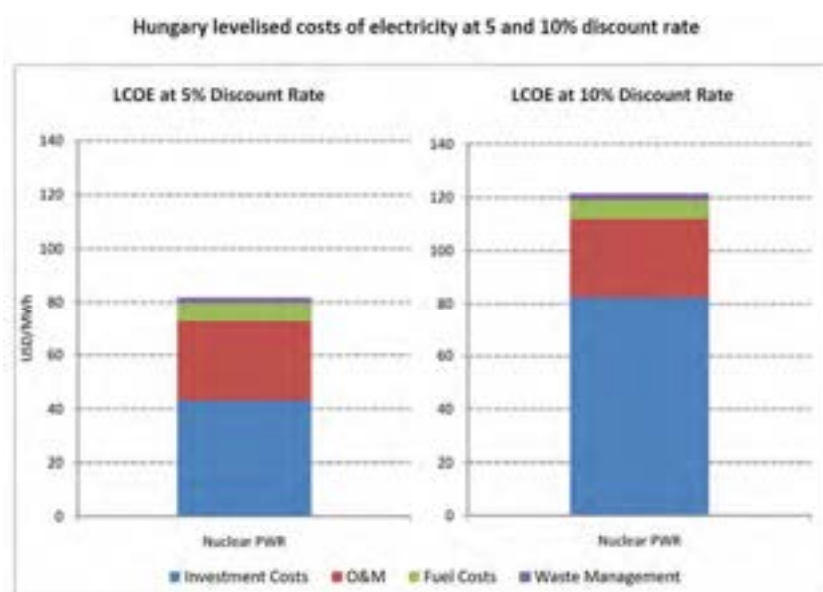


Figura 1: costo del kWh da fonte nucleare per due diversi tassi di sconto in Ungheria [1].

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS ñ LP2 ñ	Rev. 0	Distrib.	Pag. 4	di 16
--	--	------------------	-----------------	------------------	-----------------

Ciò è dovuto principalmente ai lunghi tempi di costruzione per opere di questo tipo, che portano ad una rilevante incidenza di questa voce che diventa determinante nel garantire o meno la economicità del progetto.

Pertanto, i maggiori costi connessi con il forte carattere innovativo di ALFRED, possono essere bilanciati da una forma di finanziamento particolarmente favorevole, a patto che durante la fase progettuale le decisioni ingegneristiche seguano attentamente gli aspetti economici.

Metodologie top-down e bottom-up

Descrizione dei due approcci

Un approccio **top-down** consiste nello scomporre un sistema partendo da una formulazione iniziale generale costituita da un insieme di sottosistemi. I sottosistemi sono poi singolarmente scomposti e analizzati in maggiore dettaglio. Per i reattori nucleari il costo relativo di ogni sottosistema è valutato sulla base di dati storici contenuti in archivi generati per questo fine. Differenze fra diverse tipologie di sottosistemi utilizzati possono portare a variazioni del peso relativo del loro costo. La semplificazione di ciascun sottosistema è essenziale per la convergenza del progetto, generalmente molto complesso, verso criteri di economicità. I vincoli degli impianti nucleari, che prevedono la presenza di sottosistemi che devono soddisfare i criteri di ridondanza e indipendenza, rende maggiormente utile l'utilizzo di questo approccio, dove a ciascun sottosistema, visto come una vera e propria scatola nera, viene attribuito un costo basato su dati storici relativi alla realizzazione di sistemi analoghi. In tal modo, risulta possibile, oltre ad una disamina dei costi, anche una valutazione dei tempi di realizzazione. Infatti, nell'analisi dei costi di un reattore nucleare, il fattore tempo assume un valore rilevante a causa del grosso capitale investito che rimane infruttuoso fino all'inizio della produzione di energia elettrica, come già evidenziato nel precedente capitolo.

L'approccio di tipo **bottom-up** al contrario parte dal considerare gli elementi costituenti il reattore suddivisi con il massimo dettaglio possibile e attribuendo ad ognuno il costo presunto. I singoli elementi vanno a costituire i primi sottosistemi che a loro volta crescono in complessità e organicità, per formare in definitiva il tutto.

Relativi vantaggi e svantaggi

L'approccio di tipo top-down offre il vantaggio di potersi basare su dati di tipo storico e non in funzione a stime estrapolate. Questo evita il rischio di omettere delle voci di spesa e, sebbene fornisca un dato approssimato, elimina il rischio di scostamenti rilevanti rispetto al valore vero.

Naturalmente bisogna prestare attenzione alla evoluzione temporale dei costi in quanto i dati utilizzati si riferiscono a valori del passato che vanno aggiornati, tenendo in considerazione la evoluzione delle singole voci.

Tale approccio ha, però il limite di poter essere difficilmente applicabile nel caso di reattori innovativi, poiché i dati precedenti su cui basarsi non esistono. Passati lavori nell'ambito dei sistemi refrigerati con piombo liquido [2] hanno tentato di ovviare a questo inconveniente in parte facendo riferimento a studi relativi alla macchina

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS ñ LP2 ñ	Rev. 0	Distrib.	Pag. 5	di 16
--	--	------------------	-----------------	------------------	-----------------

ELSY¹, valutando i fattori di scala fra i costi di un impianto tradizionale di III generazione ed un impianto innovativo di IV generazione. Il punto di partenza è rappresentato dal sistema strutturato per la stima dei costi del modello G4Econs sviluppato dall' Economics Modeling Working Group of the Generation IV International Forum [3]. Questo modello suddivide il sistema reattore in sottosistemi per ciascuno dei quali esegue una stima sulla base di dati simili aggiornati od adattati alla nuova tecnologia. I sottosistemi possono essere suddivisi in ulteriori livelli di dettaglio a seconda della loro complessità e conoscenza o meno del costo di singole parti.

Studi analoghi [4], su reattori di IV generazione, anche se non raffreddati al piombo, sono di ausilio, in quanto basati su dati reali di reattori che presentano in parte soluzioni tecniche di notevole affinità con la filiera di nostro interesse.

Al contrario l'approccio bottom up non ha bisogno di dati passati e si focalizza sulla stima dei costi a partire dai disegni costruttivi. Non vi sono rischi dovuti alla estrapolazione nel tempo, ma rimane la possibilità di omettere in parte i costi associati alla complessità del sistema e all'accoppiamento tra sottosistemi.

In ogni caso si è ritenuto al momento di maggiore interesse l'applicazione della metodologia di tipo bottom up che in questa fase del progetto risulta anche di ausilio nella comprensione su ciò che è conveniente migliorare per una ottimizzazione dei costi.

Tale attività richiede competenze sia in campo economico, per la corretta valutazione dei parametri finanziari, sia in campo ingegneristico, per la comprensione della funzione di ciascun componente e della specifica strategia costruttiva, al fine di determinare a priori la economicità e la possibile ottimizzazione con soluzioni più convenienti.

La semplicità delle soluzioni ha una triplice ricaduta in termini economici: da un lato assicura un contenuto costo di realizzazione, e contemporaneamente origina facilità di funzionamento con massimizzazione del fattore di carico e minimizzazione dei tempi di manutenzione e messa in funzione. Le caratteristiche di elevata sicurezza intrinseca dei sistemi raffreddati al piombo forniscono da questo punto di vista le massime potenzialità ad oggi ottenibili in campo nucleare.

Una prima analisi del tipo bottom-up è stata già realizzata nell'ambito del progetto LEADER, coordinato dalla Ansaldo Nucleare; ciò nonostante questo tipo di valutazioni necessitano durante l'evoluzione del progetto di un costante aggiornamento, al fine di incorporare sia lo sviluppo progettuale sia le conseguenze di specifiche scelte che vengono a maturare nel tempo.

Ad oggi, a causa di una migliore definizione dei componenti interni al vessel e dei materiali da utilizzare, è possibile procedere ad una ulteriore valutazione del costo di questi componenti in parte non presi in considerazione, per mancanza di particolari costruttivi rilevanti o per mancanza della scelta del tipo di materiale, durante il progetto Leader.

¹ Va segnalato che l'utilizzo valutazione dei costi per il reattore ELSY è giustificata dall'alto livello di dettaglio raggiunto nell'approccio bottom-up.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS ñ LP2 ñ	Rev. 0	Distrib.	Pag. 6	di 16
--	--	------------------	-----------------	------------------	-----------------

Modalità di valutazione

Si è ritenuto opportuno aggiornare le stime effettuate durante il progetto leader per i componenti che sono stati soggetti a modifiche o al miglioramento della definizione. Inoltre, in alcuni casi si è ritenuto opportuno eseguire nuove stime poiché ritenute quelle precedenti poco realistiche.

In questa prima revisione sono stati presi specificatamente in considerazione i seguenti elementi:

- Ç Pompe del circuito di raffreddamento primario;
- Ç Componenti interni al vessel;
- Ç Circuito di raffreddamento secondario;
- Ç Costruzione degli edifici;

di seguito sono riportati e analizzati i nuovi risultati.

Analisi costo pompe

La valutazione del costo delle otto pompe previste all'interno del vessel di ALFRED era stata effettuata nell'ambito del progetto Leader, specificando esplicitamente tale voce (Appendice 1). Le attività di ricerca e sviluppo, che si pensa siano necessarie per la definizione di dettaglio, non erano comprese in tale stima.

Da una prima valutazione basata sulla personale esperienza il costo indicato, fra 75,4 e 143,3 M€, appare sovrastimato.

Si è pertanto cercata una ditta che avesse esperienza nel campo specifico delle applicazioni nucleari, in particolare per quanto riguarda le pompe, e un opportuno background di sviluppo di componenti innovativi, possibilmente localizzata in uno Stato che abbia dimostrato un interesse al progetto ALFRED, per favorire così anche un futuro coinvolgimento di enti di ricerca con cultura nucleare per le attività di sviluppo e prova.

La ditta Sigma (Appendice 2), con sede in prossimità di Praga (CZ), soddisfa tutti i requisiti su elencati.

Si è quindi proceduto a un reciproco scambio di informazioni con la suddetta ditta al fine di definire congiuntamente i parametri di funzionamento delle pompe in un insieme di caratteristiche finali che rappresentassero il giusto compromesso tra funzionalità del reattore e fabbricabilità del componente con lo scopo di minimizzarne, pur negli elevatissimi standard di sicurezza previsti per un reattore nucleare, l'impatto economico.

Il risultato dello studio (Tabella 1) ha evidenziato la possibilità di realizzare il componente ad un prezzo decisamente inferiore a quello stimato nell'ambito di Leader. L'importo risultante è stato di circa quattro M€ per tutte le pompe previste, con l'ulteriore aggiunta di una unità per effettuare i test preliminari che potrà comunque essere disponibile come ricambio per future manutenzioni.

L'entità della differenza riscontrata si ritiene non sia giustificabile con la sola attività di ottimizzazione del costo.

Nella stima effettuata nell'ambito di Leader il valore di questo componente oscillava fra l'8% ed il 10% dell'intero costo del reattore.

Mentre la nuova stima si attesta fra il 2% ed il 3% dell'intero importo, risultando ugualmente superiore alle percentuali riportati in letteratura [4, 5]; ciò trova giustificazione nella valenza innovativa dei componenti impiegati nei sistemi refrigerati al piombo e nella associata attività di sviluppo e convalida.

Tabella 1: Offerta fornitura delle pompe del circuito primario del reattore ALFRED effettuata dalla ditta Sigma.

Main circulation pumps for Alfred reactor		
	thousands of CZK	[€]
1. Pump development	9.250	335.775
hydraulic design		
CFD flow analysis		
analysis of impeller forces		
strenght and dynamic alayses		
manufacturing of prototype		
hydraulic tests on water test stand		
test reports		
2. Manufacturing of 6pc. pump assemblies	29.200	1.059.960
fabrication of 6 pumps and documentation + 1 device for testing (seismic, ...)		
purchase of 6 motors + 1 motor for testing (seismic, ...)		
quality assurance programme for pump assemblies		
qualification programme (vibration tests, radiation damadge, ...)*		
3. Engineering support (4 year programme, 4-6 persons)	55.000	1.996.500
project management and planning		
quality assurance and environment control		
analysis of input documentation, applicable european codes		
and standards, licencing and legislation for nuclear		
integrated safety plan		
machinery documentation		
input documentation for electrical design		
input documentation for measurement and regulation		
input documentation for construction		
documentation for Procurement department		
construction, assembly and testing		
test operation		
operation manual and maintenance documentation		
total price	93.450	3.392.235
* excluded, will be negotiated separately		
1czk = 0,0363 Euro		

Componenti all'interno del vessel

Il maggiore livello di dettaglio raggiunto nella progettazione dell'isola nucleare ha giustificato una nuova valutazione dei costi dei relativi componenti.

Inoltre, grazie ad una collaborazione attiva con la ditta Mangiarotti, si è proceduto anche in questo caso ad una attività di ottimizzazione dei dettagli costruttivi in funzione delle tecniche di lavorazione ritenute maggiormente efficaci in termini di sicurezza, ma al contempo che portano ad un contenimento della spesa. L'aver intrapreso tale attività con una ditta Italiana specializzata in costruzione di componenti per sistemi energetici di grandi dimensioni, inclusi i componenti nucleari, risponde alla strategia di coinvolgimento dell'industria nazionale con un ruolo di rilievo per la realizzazione del reattore.

Tabella 2: Costo componenti del Vessel.

Sottoassieme	Leader		Mangiarotti		
	Base cost	Max. cost	Peso	cost	cost
	[M€]	[M€]	[Kg]	[M€]	[M€]
Core Upper Grid			27.700	0,808	
Core Lower Grid			21.300	0,770	
Inner Vessel	3,5	5,6	162.000	6,895	8,473
Vessel Support	9,3	14,9	271.000	1,562	
Reactor Cover			91.000	2,509	
Reactor Vessel	8,4	13,4	202.000	5,628	8,137
Steam Generators	10,9	17,4	546.800	46,018	
Totale	32,1	51,3		64,190	

In Tabella 2 sono riportati i valori stimati per i maggiori componenti ubicati all'interno del vessel. I valori sono elencati per confronto fra il progetto Leader e la ditta Mangiarotti. Come si può notare il costo complessivo mostrato da quest'ultima, ed effettuato sulla base dei disegni costruttivi, eccede di circa il 20% anche il limite superiore del costo previsto nell'ambito di Leader.

Nello specifico i dati relativi alle upper e lower grid e riportati separatamente nelle stime della Mangiarotti, sono stati accorpati nella stima di Leader sotto la voce inner vessel immaginando che in mancanza dei disegni specifici la stima fosse relativa a tutte le componenti meccaniche alloggiate all'interno del vessel. Il costo riportato dalla Mangiarotti per questi componenti eccede di circa il 40% quello di Leader.

Per il vessel support si notano differenze rilevanti in senso inverso (circa un ordine di grandezza), difficilmente imputabili a particolari costruttivi, essendo questo un componente abbastanza standard.

Per l'outer vessel, accorpati in tabella con il proprio coperchio, si evidenzia, anche in questo caso una differenza in controtendenza, ovvero una stima di costo più contenuta per la Mangiarotti rispetto a Leader, anche se marginale.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS ñ LP2 ñ	Rev. 0	Distrib.	Pag. 9	di 16
--	--	------------------	-----------------	------------------	-----------------

Da ultimo si rileva che i generatori di vapore, al momento ancora incentrati sul concetto dei tubi coassiali fra loro separati per motivi di sicurezza, ma in fase di valutazione, hanno un costo particolarmente rilevante, così come evidenziato dal lavoro Mangiarotti, e circa il triplo di quello valutato in Leader. Questo valore è il principale responsabile della differenza del costo totale fra le due stime. Anche in base alla sola esperienza maturata, il costo valutato dal progetto Leader per questo componente, appare particolarmente ottimistico.

Costruzioni civili

Le stime effettuate nell'ambito del progetto Leader riportano come risultato finale delle valutazioni un costo di riferimento ed un costo massimo ipotizzabile, determinato mediante una maggiorazione del 40% per eventualità non previste (contingencies) e del 30% per possibili incrementi dei prezzi di mercato (uncertainties).

Si ritiene che tali assunzioni siano completamente giustificabili per alcuni gruppi di componenti, fortemente innovativi, il cui livello di progettazione e il conseguente approfondimento delle modalità costruttive ancora non hanno raggiunto un grado di conoscenza tale da escludere le su elencate maggiorazioni.

Al contrario per quanto riguarda le stime di attività rientranti a pieno titolo fra quello a livello di incertezza inferiore, come i componenti che vengono utilizzati normalmente negli attuali reattori, o, a maggior ragione le opere civili, tali assunzioni siano eccessivamente conservative.

Le contingencies associate alle opere civili possono essere valutate dell'ordine del 10%, visto che non vi sono incertezze dovute al complesso globale degli edifici da realizzare e analogamente la incertezza sui prezzi sui materiali tradizionali può essere stimato prudenzialmente sempre dell'ordine del 10%.

In aggiunta, la decisione ufficiale da parte del governo Rumeno di voler ospitare il reattore ALFRED sul proprio territorio, nello specifico nella regione del Sud-Muntenia, presso il centro di ricerche nucleari ICN di Pitesti, permette un'ulteriore incremento di accuratezza nella stima delle opere civili. In particolare per quanto riguarda quelle non in classe II e IIA, che verranno pertanto realizzate con manodopera locale e sulla base dei costi edili tipici della regione considerata, si ritiene possibile adottare i corrispondenti valori specifici. Infatti, le valutazioni effettuate in Leader si ritiene che si riferiscano a costi medi tipici di paesi dell'area euro; in base a confronti comparativi esistenti per opere civili in diversi paesi europei, si evince che la Romania presenta costi ridotti del 50% (Appendice 3) rispetto ai valori medi. Questo consentirebbe di riparametrizzare i costi per metro cubo utilizzati in Leader, riducendo i relativi importi per un effetto paese.

In aggiunta a queste generiche valutazioni si è fatto riferimento a scambi di informazioni con l'ufficio Rumeno della Ansaldo Nucleare per avere le stime dei costi per le opere civili che vengono utilizzate per le costruzioni nucleari realizzate in Romania.

Essendo queste stime ben superiori (circa maggiori di un fattore 2) rispetto a quelle effettuate in Leader, l'approccio volto alla riduzione dei costi sulla base della

riparametrizzazione delle opere per ðeffetto paeseô su descritto, pur essendo riportato in tabella, a nostro avviso perde di significato.

I costi delle opere civili, secondo i tre approcci su descritti, sono stati riportati nella tabella seguente.

Tabella 3: stima dei costi delle opere civili per ALFRED.

		LEADER					“effetto paese”			Ansaldo	
		Base	Massimo	Base			Base	Massimo	Base		
	[m3]	[M€]	[M€]	[€/m3]	perc. m.o.	rid. m.o.	[M€]	[M€]	[€/m3]	[€/m3]	[M€]
Total building Class I	267464	315,3	536	1179	0,4	0,5	252,2	302,7	943	2200	588,4
Total buildings/areas Class II A	17886,36	20,2	34,3	1129	0,4	0,5	16,2	19,4	903	1700	30,4
Total buildings/areas Class II	58749,3	31,3	53,2	533	0,6	0,5	21,9	26,3	373	300	17,6
Forced Draught Cooling Towers	10240	1,8	3,1	176	0,6	0,5	1,3	1,5	123	300	3,1
		368,6	626,6				291,57	349,9			639,5

Si nota che i valori del costo totale stimati sulla base dei valori riportati dalla Ansaldo Romania sono leggermente maggiori del valore massimo ipotizzato in Leader.

Costo del circuito secondario

Nel rapporto Leader sono genericamente riportati i costi relativi alle strutture a corollario del circuito di raffreddamento secondario definite come “Balance Of Plant” specificando esplicitamente il costo degli edifici di contenimento. Si presume che all’interno della generica voce BOP sia ricompreso anche il costo dei generatori di corrente.

Si è provveduto pertanto a cercare di dettagliare questo impianto in modo più specifico, coinvolgendo nella stima la Ansaldo Energia che ha lunga esperienza nella costruzione di sistemi per la produzione dell’energia elettrica.

I valori delle stime effettuate sono riportate in tabella 4.

Tabella 4: Valutazione dei costi dei principali componenti del circuito secondario.

	Leader (high price)	Ansaldo
	[M€]	[M€]
Secondario		
Turbina + Alternatore		60
Condensatore		10
Torri di raffreddamento		2
Totale	167,4	72

Confrontando l’entità economica riportata nelle tabelle di Leader con questa seconda valutazione, si deduce che la stima del BOP maggiormente rispondente sia quella

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS ñ LP2 ñ	Rev. 0	Distrib.	Pag. 11	di 16
--	--	------------------	-----------------	-------------------	-----------------

riportata come costo massimo anche in accordo con i valori tipici dei costi del materiale di supporto riportate su altre fonti [4].

Questa valutazione è principalmente basata che nella colonna relativa al BOP sono anche compresi i costi di edificazione degli edifici relativi al secondario oltre ai vari componenti di supporto (cavi, tubi, ecc).

Conclusioni

Le attività relative alla stima dei costi di ALFRED devono procedere parallelamente alla attività progettuale seguendone la evoluzione e valutandone le conseguenze in termini economici.

Pertanto tale lavoro si prospetta come un aggiornamento periodico in sintonia con le valutazioni tecniche che sottendono lo sviluppo dei componenti del reattore.

La sinergia tra gli aspetti ingegneristici ed economici stabilita sin dalle fasi iniziali del progetto ne consente l'ottimizzazione dei costi.

La recente definizione della localizzazione di ALFRED in Romania permetterà una dettagliata valutazione del costo di Licensing al momento effettuata in termini generici. La localizzazione presso il centro di ricerche ICN di Pitesti induce ad una valutazione dei costi relativi ai sistemi di asportazione di calore del secondario in mancanza di un corso acqua di entità sufficiente (bacino per l'immagazzinamento dell'acqua).

Lo stadio preliminare di conoscenza del tipo di combustibile da utilizzare lascia ancora grossi margini di incertezza per le stime del suo costo di fabbricazione e di qualificazione.

In una successiva versione del presente studio saranno affrontati questi aspetti a tutt'oggi non sufficientemente approfonditi.

Da questa prima analisi si pensa che fra le valutazioni riportate in Leader (Appendice 1) quelle relative al costo massimo (1580 M€) siano maggiormente rispondenti alla realtà.

Ringraziamenti

Si ringraziano per la attiva collaborazione:

- Ing. Eugenio Lumini, Ing. Giovanni De Bernardis, Mangiarotti S.p.A.;
- Ing. Fosca di Gabriele, Centro di Ricerca Rez (Cz);
- Ing. Giovanni Villabruna, Ansaldo Nucleare Romania;
- Ing. Luigi Mansani, Ansaldo Nucleare

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione ADPFISS ñ LP2 ñ	Rev. 0	Distrib.	Pag. 12	di 16
--	--	------------------	-----------------	-------------------	-----------------

Bibliografia

- [1] OECD. Projected costs of generating electricity: 2010 Edition Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). International Energy Agency (IEA) and Nuclear Energy Agency (NEA) Joint Report, Paris, France.
- [2] M. Vazquez Gonzalez and F. Roelofs. Cost estimate for the LFR and ETDR. LEADER DEL-030-2012. (disponibile sul sito <http://www.leader-fp7.eu/>)
- [3] GIF/EMWG, 2007. Cost Estimating Guidelines for Generation IV Nuclear Energy Systems. OECD/NEA, GIF/EMWG/2007/004.
- [4] C. Nitta, Applying Risk informed Methodologies to improve the economics of sodium-cooled fast reactors. MIT MsC thesis. March 2010.
- [5] Gokcek O., et al., 1995. 1994 ALMR Capital and Busbar Cost Estimate. GEF-00940 UC-87Ta.

Appendice 1: Costi del reattore ALFRED determinati in [2]

Components	Item	Category Class	Length	Wide	Height	Base Price (MEu)	Contingency		Uncertainty		High Price (MEu)
			(m)	(m)	(m)						
Buildings & Civil structures	Reactor Building	Class I	82	82	57						
	Control Building, m2	Class I	30	20	27						
	Fuel Building, m2	Class I	39	43	30						
	Radiowaste Building, m2	Class I	24	38	20						
	Service Building & Operation Support Centre, m2	Class I	28	28	15						
	AVAC, m2	Class I	—	88	88						
	Fire Brigade	Class I	30	20	10						
	Fire Water Tank	Class I	0	—	10						
	Emergency Diesel (generator 3000, m2)	Class I	18	15	10						
	Pump House, m2	Class I	20	20	15						
	Total building Class I					315.3	40%	126.1	30%	34.6	536.8
	Auxiliary Boiler	Class IIA	20	15	10						
	Condensate Tank	Class IIA	—	87	4						
	Electrical Building	Class IIA	40	20	15						
	Transformers	Class IIA	28	15	8						
	Fuel Oil Tank	Class IIA	—	810	8						
	Total buildings/areas Class IIA					29.2	40%	8.1	30%	6.0	34.3
	Switching	Class I	82	30	—						
	Warehouse	Class I	30	15	18						
	Cold Machine Shop, m2	Class I	40	20	15						
	Lay Down Area	Class I	108	55	—						
	Cooling Tower Auxiliary Building	Class I	20	20	15						
	Water Treatment Plant Building	Class I	30	20	10						
	Service Water Tank	Class I	—	87	10						
	Administration Building	Class I	38	25	15						
	Internal Car Park	Class I	80	22	—						
	Grease & Gases Storage, m2	Class I	15	10	10						
	SL & Air Workshop, m2	Class I	8	12	8						
	Laboratory, m2	Class I	20	25	8						
	Demineralised Water Tank	Class I	—	87	10						
	Sewage Treatment Plant, m2	Class I	20	20	15						
	Effluent Collection Pond	Class I	20	15	5						
	External Car Park	Class I	18	15	—						
	Access Control Building	Class I	10	5	5						
	Roads	Class I	1994	—	—						
	Total buildings/areas Class I					31.3	40%	12.5	30%	9.4	53.2
	Forced Draught Cooling Towers		80	18	8	1.8	40%	0.7	30%	0.6	3.1
	Total Buildings & Civil Structures					366.6	40%	147.4	30%	119.6	626.6
Nuclear fuel	Fuel assembly bundles: 1 Core (5.4 t Uranium + 1.2 t Plutonium)					61.8	40%	24.4	30%	18.3	103.6
Primary Coolant (Lead)	Coolant supply (standard lead) Purification system (included in auxiliary systems)					7.7	40%	3.1	30%	2.3	12.1
Primary Circuit components	Primary pumps (8)	Class I				75.4	50%	37.7	40%	30.2	143.3
	Primary heat exchangers (8)	Class I				10.9	40%	4.3	30%	2.2	17.4
	Reactor inner vessel	Class I				3.5	40%	1.4	30%	0.7	5.8
	Reactor outer vessel with cover	Class I				8.4	40%	3.4	30%	1.7	13.4
	Vessel support	Class I				0.3	40%	0.1	30%	0.1	0.4
	B/C associated to primary system	Class I				3.0	40%	1.2	30%	0.6	5.4
	Total Primary System Components					110.4	47%	51.7	34%	37.8	199.9
Balance of Plant (BOP)	Turbine building civil work		37	34	29						
	Mechanical machinery										
	Rest of mechanical equipment										
	Electrical equipment										
	Piping materials										
	Electrical materials										
	Local instrumentation										
	Total BOP					104.8	48%	41.8	36%	20.9	187.4
Emergency systems	DWR Heat Exchangers (8)	Class I				1.0	40%	0.4	30%	0.2	1.7
Power Supply	Electrical equipment and power network distribution					13.3	50%	6.6	40%	5.3	25.3
Auxiliaries	Liquid waste processing										
	Solid waste processing										
	Radiation waste processing										
	Purification system										
	Fuel transfer machine										
	Handling equipment										
	Fire Protection										
	Miscellaneous										
	Total Auxiliary Systems					150.0	50%	75.0	40%	60.0	285.0
Engineering	Project Management					41.0	40%	16.4	30%	9.0	75.3
	Engineering Procurement					38.0	40%	15.2	30%	7.2	63.6
	Construction					14.4	40%	5.8	30%	2.9	23.0
	Total Engineering					93.4	40%	37.4	30%	19.1	157.4
TOTAL						915.0	43%	385.3	36%	275.1	1588.8

Appendice 2: Riassunto del profilo della SIGMA Group a.s.





SIGMA GROUP a.s.

4. QUALITY ASSURANCE SYSTEM

- Since 1994 SIGMA GROUP a.s. has been a holder of quality certificate according to ČSN EN ISO 9001.
- Currently, the company follows the EN ISO 9001:2008, EN ISO 14001:2004 and BS OHSAS 18001:2007 certificate by TÜV NORD.
- CUSTOMER AUDITS:
 - May 2011 – Contractor AUDIT BY ENEL – Completion NPP Mochovce34 - engineering/procurement, PASSED SUCCESSFULLY
 - August 2011- Contractor AUDIT BY ENEL – Completion NPP Mochovce34 – site activities/construction , PASSED SUCCESSFULLY
 - August 2012 – ČEZ – audit of engineering/procurement activities, PASSED SUCCESSFULLY





www.sigma.cz *Uvidel / Uvidet...* *Runner systems* *Pumping can be easy*

Appendice 3: Costo delle costruzioni civili in diversi paesi

Tabella 5: da <http://www.echarris.com>

