

## 出國報告(出國類別：開會)

# 赴義大利參加 EPRI 核電廠除役會議

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：邱顯郎 副處長

蕭向志 工程技術組長

顏昌發 主管機械維護

張 靜 主管材料防蝕

邱心怡 協辦劑量評估專員

謝瑋師 新能源評估專員

派赴國家：義大利

出國期間：101.10.20 ~ 101.10.27

報告日期：101.12.22

# 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

赴義大利參加 EPRI 第 11 屆國際核電廠除役會議

頁數 49 含附件：■是□否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/ 陳德隆 / (02)2366-7685

出國人員姓名/台灣電力公司/單位/職稱/電話

邱顯郎/台灣電力公司/核能後端營運處/副處長/(02)23683430

蕭向志/台灣電力公司/核能後端營運處/工程技術組長(02)23662240

顏昌發/台灣電力公司/核能安全處/主管機械維護/ (02)23667194

張 靜/台灣電力公司/核能發電處/主管機械維護/(02)23667071

邱心怡/台灣電力公司/核能發電處/協辦劑量評估專員/02)23667077

謝瑋師/台灣電力公司/環境保護處/新能源評估專員/(02)23667208

出國類別： 1 考察  2 進修  3 研究  4 實習  5.其他(開會)

出國期間：101.10.20 ~ 101.10.27 出國地區：義大利

報告日期：101.12.22

分類號/目：

關鍵詞：核電廠除役

內容摘要：(二百至三百字)

依據政府 100 年 11 月宣布之新能源政策，本公司核一廠即將進行除役工作，為因應該除役工作預作準備，故派員參加 ERPI 舉辦之第 11 屆「核電廠除役會議」，蒐集最新核能電廠除役資訊及學習經驗。核電廠之除役工作可以分成四個階段，分別為(一)先期規劃、初期除役任務工作(決定場址未來用途、初期場址特性調查及歷史資料評估、與管制機關之互動)、執照終止計畫、場址外釋劑量評估模式(二)系統與組件之安全除污、拆除、移除(三)建物與場址環境之整治(四)場址最終調查與電廠執照終止。

一整套除役工作包含法規、除役計畫等細節，由核設施經營者、拆除者和政府管制機關等多方單位共同坐下來就執行細節、法令、社會各層面衝擊的可適性進行詳細討論，型塑出一套兼具符合國際公約規定及適合國情的除役工作管理策略和方針，以增加除役工作計畫執行的可靠性及安全性。

(本文電子檔已傳至出國報告資訊網 <http://report.nat.gov.tw/reportwork>)

# 目 次

壹、出國目的.....	1
貳、出國過程.....	2
參、出國心得.....	3
肆、建議事項.....	36
附件一 EPRI 第 11 屆核電廠除役會議議程.....	37

## 壹、出國目的

核一廠將於 107 年面臨除役。同時也是本公司第一次面臨核能電廠除役工作，為因應核一廠除役工作並預作準備，故派員赴義大利參加 ERPI 舉辦之第 11 屆「核電廠除役會議」，蒐集最新核能電廠除役資訊與學習經驗，並做成具體建議，俾供本公司在後續除役作業方向及重要決策之參考。

## 貳、出國過程

核後端處邱顯郎副處長、蕭向志組長、核安處顏昌發主管、核發處張靜主管、邱心怡專員以及環保處謝瑋師專員一行六人同赴義大利羅馬參加EPRI所舉辦第11屆「核電廠除役會議」(會議議程如附件一)，會議主題包括「國際除役計畫資訊更新」、「系統結構和元件的特性介紹」、「放射性廢棄物管理」、「廠址特性及整治」、「核電廠主要組件之拆除及管理」、「反應爐及內部組件管理及除污」等，共有來自14個會員國家93位代表出席本次會議，會議期間並赴義大利Latina電廠實際參訪。

## 參、出國心得

### 一、國際除役計畫資訊更新

#### (一)美國 Humboldt Bay 核能電廠

Humboldt Bay 電廠位於加州北部，發電容量為 65Mwe，為一部由 GE 公司設計之沸水式反應器，自 1963 年開始商轉，至 1976 年停止運轉。由於無法解決的斷層問題，以及 1979 年 3 月發生三哩島事故之後核管法規更趨嚴格，考量重新啓動已無經濟效益，故於 1983 年決定永久停止運轉並採安全貯存(SAFSTOR)方式進行除役，安全貯存至 2009 年 7 月，才開始與相鄰的火力電廠一起進行除役工作。

1.該廠目前已經完成之工作項目為：

- (1)用過核子燃料搬移至廠內乾式貯存設施
- (2)相鄰的火力電廠已完全拆除
- (3)包含汽機、冷凝器之大部分蒸氣系統之移除
- (4)正進行以機械式切除反應器內部組件

2.後續除役工作仍待完成：

- (1)將 A 類之放射性廢棄物運至猶他州之低放射性廢棄物處置場
- (2)將 B、C 類之放射性廢棄物運至德州之低放射性廢棄物處置場
- (3)從水池中移除所有超 C 類之放射性廢棄物
- (4)拆除所有地表以上之建築物，視為極低微放射性廢棄物
- (5)土壤整治，以達恢復工業使用之水平
- (6)運轉執照終止

#### (二)美國 Zion 核能電廠

Zion 電廠位於伊利諾州北部，廠內有西屋公司設計之壓水式反應器兩部，發電容量各為 1040MWe，分別於 1973、1974 年開始商轉，於 1998 年停止運轉。因更換蒸氣產生器需耗費 435 百萬美元，經評估後認為已無經濟效益，遂於 1998 年決定永久停止運轉，安全貯存至 2010 年 9 月，由 Exelon 賣給 Energy Solutions 公司，以 10 年的時間興建乾式貯存設施、進行核電廠之除役及執照終止相關作業。俟除役完成後，用過核子燃料之營運責任及廠址之產權再移轉回 Exelon 公司。

在這三年來 Energy Solutions 公司進行的工作如下：

1.2010 年主要工作(除役第 1 年)

- (1)建立廢料營運程序書
- (2)建立工作管制程序書

### (3)訓練

- 大多數工作人員並無核能工作經驗
- 快速學習以適應核能文化(安全的工作環境、污染/暴露之管制、程序上的符合性等)
- 人員資格檢定以確保設備運轉之安全

### (4)長程的規劃及排程

### (5)專業工作(反應器本體及內部組件之切割)的招標與簽約

## 2.2011 年主要工作(除役第 2 年)

### (1)廢料營運

- 建立將廢料(包括反應器頂蓋)運往猶他州最終處置場之程序書
- 鐵道基礎建設之改善
- 乾式貯存設施之經營

### (2)建物/資產恢復

- 場址道路改善、小型建物拆除、暫時電力計畫
- 飼水馬達回收及出售
- 金屬回收及出售

### (3)反應器槽/反應器內部組件切割

- 切割工具之設計、建造、測試
- 建立程序書、專案規劃

## 3.2012 年主要工作(除役第 3 年)

### (1)準備二號機反應器槽及內部組件移除之準備工作

- 建立 9 公尺 X 9 公尺之圍阻體進出口
- 安裝圍阻體進出口之門
- 建立重物吊卸軌道系統
- 準備二號機反應器槽及內部組件移除標案
- 切除 RCS 管件
- 建立二號機圍阻體暫時電源、照明、通訊電纜

從 2010 年執行除役工作以來(尤其以前 18 個月為主)所面臨的挑戰列舉如下，可供未來我國執行除役工作之參考。

- 1.使用電漿火炬切，造成割圍阻體煙霧
- 2.無工作經驗之工作人員，須儘速建立核能工作文化
- 3.須建立跨部門良好的合作關係
- 4.為執行放射性物質外釋，須符合 MARSAME 之規定

### (三)義大利除役計畫

在車諾比核子事故後，義大利已於 1987 年經由公投宣示廢核，在 1990 年關掉四座核電廠中的最後一座，目前義國並無運轉中的核電廠。總理貝魯斯柯尼考量降低對國外能源的依賴，於 2008 年提出興建新核電廠、恢復核電等構想，打算 2030 年時讓全國電力的 25% 來自核電。義大利於 2011 年 6 月 12、13 日進行四場公民投票，95% 的民眾表明反對總理貝魯斯柯尼內閣的立法案，包括封殺重啟核能的提案，也因此義大利成爲繼德國於 2011 年 5 月 30 日宣布要在 2022 年廢核後，第二個確定棄核的八大工業國，表一爲義大利各核設施之除役時程規劃。

以下針對義大利之除役專責公司、最終處置場等進行相關介紹。

1. SOGIN 公司成立於 1999 年，負責義大利核電廠之除役，及負責低放處置場之選址、設計、建造、營運。



圖一 義大利核設施分布區位圖

表一 義大利各核設施之除役時程規劃

Sites	D&D license	Green field
Bosco Marengo	2008	2022
Trino	2012	2024
Garigliano	2012	2025
Caorso	2012	2026
Latina	2017	2035
Trisaia	2014	2026
Saluggia	2015	2029
Casaccia	2016	2025



2.義國的放射性廢棄物最終處置場設計容量為 80,000 立方公尺，預計 70% 來自該國核電廠除役所產生，30% 來自全國醫療、工業，同時最終處置場也供暫時貯存再處理所產生之高放射性廢棄物。

### 3.義國執行除役計畫概要

(1)除役目標是將核電廠恢復成綠地。

(2)時間的安排是由下列因素決定

- 國家最終處置場之可用性
- 除役許可及國家與地方主管機關之核准
- 橫跨八個場址之最佳化計劃及知識建立專案

(3)目前重大進展：

- 移除所有用過核子燃料並送去再處理
- 除污及除役所需系統與組件之安全提升
- 運轉產出的廢棄物之固化
- 一般建物之拆除
- 石棉移除
- 依據主管機關專門委員會之核准，除污及拆除選定之放射性系統與組件
- 在缺乏國家最終處置場情況下進行除役計畫，必須興建新的廢料倉庫及提升現有倉庫，以下是目前增加之廢料倉庫，以後可能還要擴充：

- CAORSO 電廠：固化中階廢棄物貯存倉庫容量 4,000 桶
- GARIGLIANO 電廠：新建廢棄物貯存倉庫容量 2,400 立方公尺
- BOSCO MARENGO 設施：提升現有廢棄物貯存倉庫容量 200 立方公尺
- SALUGGIA 設施：新建廢棄物貯存倉庫容量 2,000 立方公尺
- LATINA 電廠：新建廢棄物貯存倉庫容量 1,800 立方公尺

(4)其他主要計畫：

- LATINA 電廠：
  - 拆除電廠碼頭及防波堤
  - 拆除汽機及蒸汽管路

- 進行殘渣及液體廢料處理系統工作
- GARIGLIANO 電廠：
  - 完成主煙囪拆除之設計工作
  - 興建貯存倉庫以拆除廢料壕溝
  - 進行拆除汽機、蒸汽管路之設計工作
  - 進行提升反應器廠房通風系統之設計工作
  - 拆除石棉並進行廠內貯存
- CAORSO 電廠：
  - 拆除一般建物(例如 RHR 冷卻塔)
  - 興建除污廠房，以便將廢金屬除汙至清潔水平
  - 完成拆除汽機、蒸汽管路(除汙 5,800 噸廢金屬及外釋)
  - 進行廢氣煙囪移除及廢氣處理廠房拆除工作
- TRINO 電廠：
  - 完成拆除一般建物及系統
  - 完成拆除石棉
  - 完成汽機廠房通風系統、電力系統、提升冷卻水系統
  - 計畫進行濕式氧化計畫以處理用過樹脂
- SALUGGIA 設施：
  - 拆除用過燃料池
  - 拆除水冷卻塔
  - 興建完成新液體廢料貯存槽
  - 新廢料處理設施正在興建中
  - 新廢料貯存倉庫正在興建中

## 二、系統、結構和元件的特性介紹

### (一)組件金屬母材中不純物和活化產物之研究

金屬活化後成為運轉和處理環境下主要之 **source term** 來源，早期評估輻射暴露主要是針對能造成直接暴露的  $\gamma$  核種，而最近針對處理環境進行評估的模式則偏重於核種同位素造成長期  $\gamma$ 、 $\beta$  暴露的影響。目前人類已知的金屬材料知識，特別是對於近期即將進行除役工作的反應器，仍無法精確地預測出廢棄物中的放射性核種濃度。美國核管會及其他單位亦針對此做了一系列相關研究如下。

- NUREG/CR-3474, Long-Lived Activation Products in Reactor Materials(1984)
- NUREG/CR-6567, Low-Level Radioactive Waste Classification, Characterization and Assessment: Waste Steams and Neutron Activated Metals(2000)
- 國際原子能總署, Technical Reports Series No.389, Radiological Characterization of Shut Down Nuclear Reactors for Decommissioning Purposes (1998)
- 美國能源部, PNL-6046 Spent Fuel Disassembly Hardware and other Non-Fuel Bearing Components: Characterization, Disposal Cost Estimates and Proposed Repository Acceptance Requirements (1986)
- 倫敦帝國學院環境科學與技術系, Determination of Chlorine in Steel and Graphite (2002)

而放射性核種<sup>93</sup>Mo, <sup>36</sup>Cl, <sup>108m</sup>Ag, <sup>59</sup>Ni, <sup>63</sup>Ni, <sup>94</sup>Nb, <sup>14</sup>C, <sup>99</sup>Tc 因為具有長半衰期、在自然環境中可移動的特性和經由攝食途徑造成體內暴露的特性而受到關注。<sup>108m</sup>Ag, <sup>59</sup>Ni和<sup>63</sup>Ni主要源自含銀和鎳的結構物，<sup>93</sup>Mo, <sup>36</sup>Cl, <sup>94</sup>Nb, <sup>14</sup>C, <sup>99</sup>Tc主要源自不銹鋼材質內含Mo, Cl, Nb, N, S等不純物。

除役電廠中拆下的金屬管路組件，其輻射特性主要受到原來合金中元素成份的影響。但目前採購組件時附來的材質證明中，多半只列了對材料特性(如強度)有關的元素數據，但對影響受照射後輻射特性的微量元素(如Cl)，則不會特別標註出來。

表二 各類分析方法針對不同類型不銹鋼分析其所含重要微量元素結果摘要表  
單位:(mg/kg , ppm)

元素	NUREG/ CR-3474 Type 304	PNL-6046 Type 304	Anonym. Type 304	Imperial College Type 304L	NUREG/ CR-3474 Type 316	Anonym. Type 316	Imperial College Type 316L
Mo	2.6	0	--	--	21100	250	--
Cl	70	--	--	<0.73	--	--	<1.2
Nb	89	100	220	--	29.33	370	--
N	452	1300	670	--	357	500	--
S	--	300	34	--	--	28	--
Co	1414	800	2310	--	1473	3180	--

註：Anonym. Type 316鉬含量太少，可能是分析錯誤，也可能事實上不是316不銹鋼。

表三 本公司核能電廠常用的SA240 Type 304、316不銹鋼材質規範

元素	304	304L	316	316L
C	<0.08%	<0.03%	<0.08%	<0.03%
Mn	<2.00%	<2.00%	<2.00%	<2.00%
P	<0.045%	<0.045%	<0.045%	<0.045%
S	<0.030%	<0.030%	<0.030%	<0.030%
Si	<0.75%	<0.75%	<0.75%	<0.75%
Cr	18.00~20.00%	18.00~20.00%	16.00~18.00%	16.00~18.00%
Ni	8.00~12.00%	8.00~12.00%	10.00~14.00%	10.00~14.00%
Mo	---	---	2.00~3.00%	2.00~3.00%
N	<0.10%	<0.10%	<0.10%	<0.10%
Fe	其餘	其餘	其餘	其餘

在電廠除役過程中，不易尋得待拆設備材質證明的歷史紀錄，僅能依賴執行微量元素的化學定性分析，而此方法常常有使用上之限制性。將除役關注的元素與本公司常用的採購材質規範比較，可以看出兩者關注重點不同。微量元素對放射性廢棄物處置的重要性尚無法建立出一套標準或固定的化學分析方法，現行的分析結果相當有限，依目前結果看來，合金中實際的氮及鈷濃度可能比預期要高，氯、鉍實際的濃度可能少於預期，可能必須仰賴額外的試驗分析以建立各種金屬中之雜質平均濃度。

## (二)放射性評估軟體工具介紹

AERI(Automatic Estimation of Radiological Inventory (AERI) Software Tool)是一套 EPRI 和 ENRESA 共同合作開發使用於除役場址設施放射性評估的軟體工具。最初開發的目的，係用來評估 ENRESA 所負責核設施除役的放射性和廢棄物產量。使用上需先輸入除役場址的特性調查資料和場址內各項設備和建築物的詳細尺度大小，使用此軟體能估算出各類除役廢棄物(Releasables、VLLW、ILLW、HLW 等等)的產量和裝桶數。EPRI 也預定將此軟體轉譯為英文版本並於 2013 年開始供各會員參考使用。AERI 的操作介面如下所示。



## Automatic Estimation of Radiological Inventories for Nuclear Dismantling Facilities

Version 3.0 2009, 2012

Electric Power Research Institute (EPRI)  
3420 Hillview Ave.  
Palo Alto, CA 94304

Copyright © (2012) Electric Power Research Institute, Inc. All rights reserved.

ACCESS connection

**Materials Management**

Initial Data Import   Estimations   Export Data

Export: \Datos\ResultadosGestMat\_mdb

Visualisation Options:  
 No  Yes  
 No  Yes

Export Actual View

COMPONENTS	Steel	Non Ferrous Metals	Cables	Insulations	Others	TOTAL
	Mass (Kg)   Activ (Bq)	Mass (Kg)   Activ (Bq)	Mass (Kg)   Activ (Bq)	Mass (Kg)   Activ (Bq)	Mass (Kg)   Activ (Bq)	Mass (Kg)   Activ (Bq)
Releasables 2	4.519E+05   1.223E+07	2.688E-04   1.113E+07	1.502E+03   0.000E+00	0.000E+00   0.000E+00	2.230E+04   0.000E+00	5.051E+05   2.337E+07
Releasables 1	4.279E+05   2.251E+08	6.585E-04   2.028E+08	0.000E+00   0.000E+00	0.000E+00   0.000E+00	0.000E+00   0.000E+00	4.933E+05   4.279E+08
VLLW	1.078E+06   5.106E+11	5.521E-04   3.152E+09	0.000E+00   0.000E+00	1.527E+02   2.192E+06	0.000E+00   0.000E+00	1.133E+06   5.138E+11
ILLW	0.000E+00   0.000E+00	0.000E+00   0.000E+00	0.000E+00   0.000E+00	0.000E+00   0.000E+00	0.000E+00   0.000E+00	0.000E+00   0.000E+00
HLW	4.118E+05   4.361E+16	2.208E-03   9.924E+08	0.000E+00   0.000E+00	5.272E+02   8.892E+08	0.000E+00   0.000E+00	4.146E+05   4.361E+16
Non impacted	2.349E+06   0.000E+00	2.345E-05   0.000E+00	0.000E+00   0.000E+00	1.702E+03   0.000E+00	5.535E+05   0.000E+00	3.190E+06   0.000E+00
<b>TOTAL</b>	<b>4.709E+06</b> <b>4.361E+16</b>	<b>4.467E-05</b> <b>4.358E+09</b>	<b>1.502E+03</b> <b>0.000E+00</b>	<b>2.483E+03</b> <b>8.914E+08</b>	<b>5.735E+05</b> <b>0.000E+00</b>	<b>5.736E+06</b> <b>4.361E+16</b>

CIVIL STRUCT.	Steel	Concrete	Non Ferrous Metals	Others	TOTAL
	Mass (Kg)   Activ (Bq)	Mass (Kg)   Activ (Bq)	Mass (Kg)   Activ (Bq)	Mass (Kg)   Activ (Bq)	Mass (Kg)   Activ (Bq)
Releasables 2	1.059E+03   0.000E+00	5.733E-07   1.519E+10	0.000E+00   0.000E+00	0.000E+00   0.000E+00	5.733E-07   1.519E+10
Releasables 1	5.555E+04   2.919E+09	4.183E-04   1.277E+09	3.213E+04   1.155E+09	0.000E+00   0.000E+00	1.298E+05   1.575E+09
VLLW	5.019E+05   1.912E+09	1.880E-06   3.670E+11	1.437E+05   6.524E+09	9.504E+04   6.928E+08	2.619E+06   3.694E+11
ILLW	0.000E+00   0.000E+00	0.000E+00   0.000E+00	0.000E+00   0.000E+00	0.000E+00   0.000E+00	0.000E+00   0.000E+00
HLW	3.509E+04   7.865E+13	1.478E-05   5.638E+13	0.000E+00   0.000E+00	0.000E+00   0.000E+00	1.828E+05   1.350E+14
Non impacted	1.419E+05   0.000E+00	3.345E-07   0.000E+00	9.543E+04   0.000E+00	1.607E+06   0.000E+00	3.529E+07   0.000E+00
<b>TOTAL</b>	<b>7.348E+05</b> <b>7.866E+13</b>	<b>9.285E-07</b> <b>5.679E+13</b>	<b>2.712E+05</b> <b>7.693E+08</b>	<b>1.702E+06</b> <b>6.928E+08</b>	<b>9.559E+07</b> <b>1.354E+14</b>

**Radiological Inventory**

Results of Total Activity (Bq)

COMPONENTS	Without decay		Decayed	
	Mass	Activation	Mass	Activation
Superficial External	2.99E+10	2.48E+10		
Superficial Internal	1.36E+12	1.01E+12		
<b>Total Superficial</b>	<b>1.39E+12</b>	<b>1.04E+12</b>		
Mass	8.73E+11	7.02E+11		
Neutronic Activation	4.36E+16	2.52E+16		
<b>Total (Superficial + Activation)</b>	<b>4.36E+16</b>	<b>2.52E+16</b>		

CIVIL STRUCTURES	Without decay		Decayed	
	Mass	Activation	Mass	Activation
Superficial	5.22E+10	3.87E+10		
Mass	5.03E+11	4.49E+11		
Neutronic Activation	1.35E+14	8.13E+13		
<b>Total (Mass + Activation)</b>	<b>1.35E+14</b>	<b>8.18E+13</b>		

Decay Time to be applied (years):  
 Superficial and Mass: 3    Activation: 3    **Update**

Export Radiological Inventory to "InventarioComponentes" and "InventarioParamentos" tables

Export to Database: D:\AERI\Datos\ResultadosInventario\_mdb

Decay Time to be applied in export (years):  
 Superficial and Mass: 0    Activation: 0

**Export Radiological Inventory**    **Close**

圖二 AERI 操作介面示意

### 三、放射性廢棄物管理

#### (一)EPRI 關於除役工作放射性廢棄物的研究

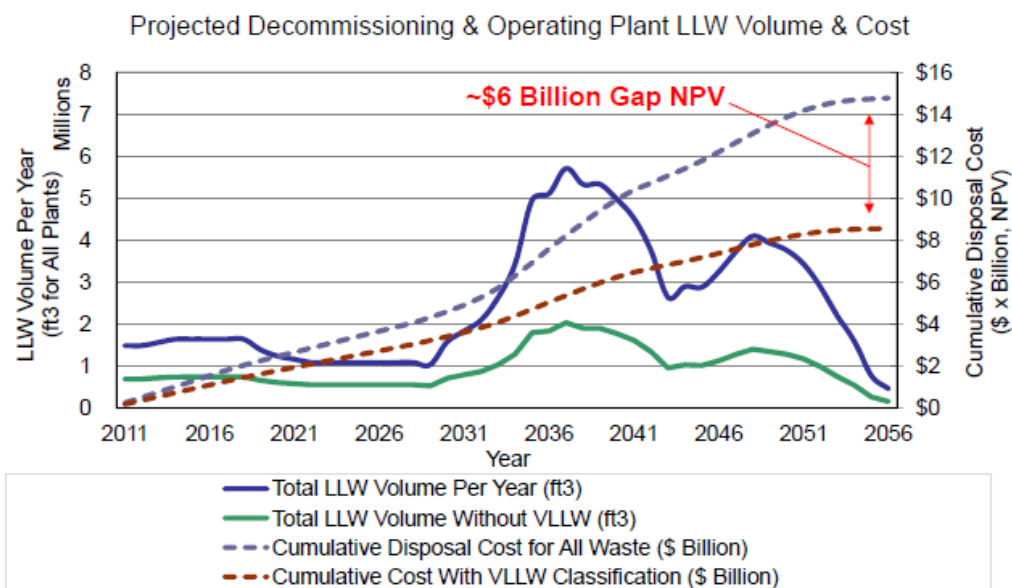
##### 1.VLLW (Very Low Level Waste):

電廠除役過程中 VLLW 可能包含有混泥土塊、橡膠、土壤和金屬元件。法國和西班牙擁有成熟的 VLLW 處置計畫。美國目前放射性廢棄物採用 A、B、C、超 C 分類，其中並無類似歐洲 VLLW 廢棄物的等級。EPRI 評估認為，美國若採行 VLLW 的廢棄物管理策略可以明顯減少除役成本，預計累積至 2056 年為止可節省下 60 億美金。

ERPI 相關報告可參考

(1)EPRI Technical Report, 1023025, “Decommissioning Experiences and Lessons Learned: Decommissioning Cost”

(2)EPRI Technical Report, 1024844, “Basis for National and International Low Activity and Very Low Level Waste Disposal Classifications”



圖三 美國採行 VLLW 節省的除役成本

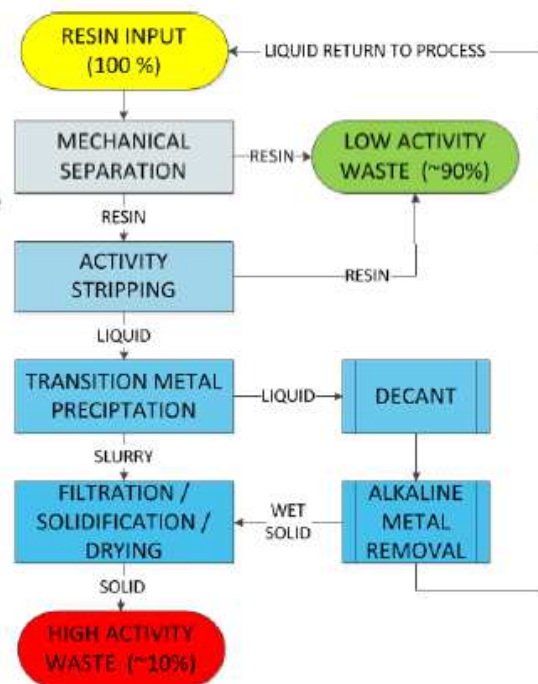
##### 2.放射性廢棄物減容策略：

美國最初幾個電廠除役時，拆下的放射性廢棄組件設備，完全配合盛裝容器之尺寸及重量進行切割、裝桶。之後發現此做法既耗費人力、經費、劑量，又增加廢料數量，並不恰當。之後改為依據現有廢棄物尺寸設計盛裝容器，甚至整個組件適當包裝灌漿即做為盛裝容器，如此可大幅減少切割數量，並進而降低經費及劑量。

### 3.用過樹脂的管理-化學除污樹脂的處理

運用化學除污已被證實有助於除役工作的開展和降低除役成本，然而化學除污後所產生的用過廢棄樹脂經常成為考量採行化學除污時的阻礙，目前發展中的新技術將可加快化學除污樹脂的處理和處置。

在有機樹脂中分離出無機的放射性金屬可以使原有樹脂中含有較少量的放射性核種濃度。在初期分離的階段約可減少 50%的樹脂廢棄物量，最終留下的廢棄物量僅約為起初廢棄樹脂的 10%。詳流程如圖四所示：



圖四 樹脂分離流程圖

EPRI 相關的報告可參考：

EPRI Technical Report 1025303, “Program on Technology Innovation: Volume Reduction Methods and Waste Form Changes for High-Activity Spent Resin, A Feasibility Study”

#### (二)義大利除役和廢棄物管理標準簡介

1980 年代中期，義大利核安管理機關頒布了一套放射性廢棄物分類及管理安全指引。此後，在國家核安機關的審查把關下，義大利國際標準化組織 UNI (Italian Standard Organization)和核能工業界開始合作研擬出一整套涵蓋了低階(Low-Level)和中階(Intermediate-Level)放射性廢棄物(源自電廠營運和電廠除役工作下產生)的國家管理標準。這整套標準規範了義大利核能設施除役工作中每個階段低階放射性廢棄物的管理準則，包含有初期的場址特性調查、除役廢棄物分類、場址釋出和場址整治等。

義大利國家核安機關於 1987 年頒布了 Technical Guide n.26 “Radioactive Waste Management”，旨在建立放射性廢物管理和處置的完整標準。此技術指引將廢棄物分為三類，也於指引內容中說明了各類廢棄物分別對應的不同限制時間(confinement times)和管理策略(如表四)。

表四 義大利核安機關建立之廢棄物分類技術指引

廢棄物類型	定義	型態	最終處置方式
I	放射性廢棄物其所含核種活度能在數月或數年內衰減至可外釋於一般環境的標準。這當中允許少量長半衰期核種的存在，惟其濃度須低於規範限值。	放射性廢棄物主要含有短半衰期的核種，一般而言其半衰期須低於一年甚或是二個月。此類廢棄物主要是由生物醫藥和研究活動所產生。	最終解除管制
II	放射性廢棄物其所含核種放射性活度濃度能在數十年至百年間衰減至數百貝克/克。	此類型廢棄物主要由核能設施(特別是核能電廠營運期間)和少數生物醫藥、工業和研究活動所產生。也包含了電廠除役過程中拆除元件和設備產生的廢棄物。	近地表處置
III	放射性廢棄物無法歸屬於前二類者。特別是指其所含核種放射性活度濃度須在數千年後才衰減至數百貝克/克。	高階廢棄物，包含用過燃料再處理過程中所產生之廢棄物和其他研究和工業用途中包含有 $\alpha$ 和中子射源者。	地質深層處置

第 I 類放射性廢棄物，必須在一段時間內儲存於適當環境，以令其所含放射性核種活度濃度衰減至足以低於法令限制值。第 II 類放射性廢棄物再依據其所擁有的處理特性分成兩類：

Group1 廢棄物-進行後續處置前需要先進行適當處理

Group2 廢棄物-不需要先進行適當處理即可進行處置

義大利政府於 1987 年起陸續關閉核能電廠和燃料循環處理設施後，政府核能管制單位於 1996 年開始進行 Technical Guide n.26 管理指引修訂工作，修訂工作聚焦於第 III 類廢棄物的安全管理。



以上所有類型廢棄物的最終處置日益受到關注，目前義大利亦致力研究各除役場址衍生之新問題：

1. 放射性材料的化學特性鑑定
2. 混合型廢棄物的最終處置方式
3. 醫藥放射性廢棄物的管理
4. NORM 的管理
5. VLLW (Very Low Level Waste) 的處置
6. 高階廢棄物的必要處理
7. 銻再處理過程中的產物和廢棄物管理

義大利政府制定這套放射性廢棄物安全管理指引的經驗，給予正在台灣開始規劃除役工作的吾輩啓示是，一整套除役工作包含法規、除役計畫等細節，應該由核設施經營者、拆除者和政府管制機關管制單位等多方單位共同坐下來就執行細節、法令、社會各層面衝擊的可適性進行詳細討論，型塑出一套適合本國國情兼具吻合國際公約規定的除役工作管理策略和方針，以增加除役工作計畫執行的可靠性。

### (三) 烏克蘭 Chernobyl 核能電廠之放射性廢棄物管理成本估算介紹

在 Chernobyl 核能電廠除役期間放射性廢棄物的財務評估，是必須考量在除役的每一階段裡之放射性廢棄物產生量及汙染物質的動態來進行的。放射性廢棄物管理所需財務範圍之決定上，對於新的公共設施的建立、電力需求、包封、運輸、折舊分配、維護成本等都必須列入考慮。但屬於長半衰期須深層地質最終處置之廢棄物不在本範圍成本考量內，但它們在中期貯存階段之費用則必須列入。

同時對於財務的評估主要須採取保守的觀點，當然財務估算會隨著使用技術與設備而加以修正。經估算結果得出，Chernobyl 核能電廠放射性廢棄物的管理所需成本約 UAH2,920 百萬(目前 UAH:歐元約 10:1)，約占整個除役成本之 14.8%，該廠之放射性廢棄物管理工作摘錄如下。

1. 該廠內放射性廢棄物分類法係將已累積之液體及固體廢棄物先擺在既有的貯存庫內。放射性廢棄物貯存之成本估算為：

(1) 液體廢棄物  $1\text{m}^3$  貯存成本約 186.9 UAH/年、固體廢棄物約 140.7UAH/年

(2) 液體廢棄物的年貯存體積約  $19,527\text{m}^3$ ，固體廢棄物則約  $2,600\text{m}^3$

(3) 對於放射性廢棄物在除役成本中的貢獻為

$$19,527 \times 186.9 + 2,600 \times 140.7 = \text{UAH}4,015,416.3 \approx 4 \text{ 百萬 UAH/年}$$

2. 電廠對於放射性廢棄物管理成本之目前狀態：

- (1)需進行處置之廢棄物處理成本上—還是決定於所委託 Buriakovka 處置場接收放射性廢棄物所需之費用成本。
  - (2)在 Buriakovka 處置場之處置成本係採固定增加方式，在 2007 年 270.43 UAH/m<sup>3</sup>，但在 2011 年則漲到 348.97UAH/m<sup>3</sup>。
  - (3)目前在 Chernobyl 電廠固體廢棄物管理所需之成本已達到 4.1 百萬 UAH/年。至於液體廢棄物管理成本的貢獻為 3.7 百萬 UAH/年。
- 3.對於 Chernobyl 核電廠而言，上述放射性廢棄物及污染物質之管理，所採取的原則包括
- (1)儀器、設備及材料回收在利用最大化。
  - (2)污染物質盡可能除污。
  - (3)已處理之放射性物質安全封存。
- 4.放射性廢液處理中心 (LRTP) 的生產率約 10,500 廢液固化桶，其在處理及準備送低放處置場之主要成本項目包括：
- (1)消耗品成本：7.69 百萬 UAH/年
  - (2)第一次包裝容器成本：10.6 百萬 UAH/年
  - (3)消耗能源成本：5.11 百萬 UAH/年
  - (4)試驗成本：1 百萬 UAH/年
  - (5)人力薪資：8.424 百萬 UAH/年
  - (6)設備維修成本：1 百萬 UAH/年

所以放射性廢液處理中心總年度營運成本預估為 33.8 百萬 UAH/年，除了營運成本外，放射性廢棄物包封後運送最終處置之成本應該也須列入考量，預估約 17.7 百萬 UAH/年，此部分包括運輸成本(350UAH/天 ×250 = 87.5 千 UAH/年)與在 SENSFSRW 處置成本(8,400UAH/m<sup>3</sup>×10,500 pc. ×0.2m<sup>3</sup> = 17.64 百萬 UAH/年)

綜上所述，液體廢棄物之每年度處理成本及處置成本總和約貢獻 UAH51.6 百萬，亦即所有液體廢棄物處理成本約 UAH1,179 百萬。

- 5.廢離子交換固體廢棄物處理中心 (ICSRM) 的生產率約每年處理固體廢棄物 525 桶，其在處理及準備暫時貯存與送低放處置場之主要成本項目包括：
- (1)消耗品成本：1.25 百萬 UAH/年
  - (2)第一次包裝容器成本：16.9 百萬 UAH/年
  - (3)消耗能源成本及營運媒介：1.95 百萬 UAH/年
  - (4)人力薪資：16 百萬 UAH/年
  - (5)設備維修成本：1 百萬 UAH/年

所以 ICSRM 總年度營運成本預估為 37.1 百萬 UAH/年，除了營運成本外，放射性廢棄物打包運送最終處置之成本應該也須列入考量，預估約 26.5 百萬 UAH/年，此部分包括：

- 運輸成本： $350\text{UAH}/\text{天} \times 175 = 61.25$  千 UAH/年
- 在 SENSFSRW 處置成本： $8,400\text{UAH}/\text{m}^3 \times 525 \text{ pc.} \times 6\text{m}^3$ （包括容器在內之包封總體積）= 26.46 百萬 UAH/年

綜上所述，ICSRM 之每年度處理成本及處置成本總和約 UAH63.6 百萬，亦即所有固體廢棄物處理成本在設計使用壽命期間約需 UAH1,908 百萬。經過以上之估算，所有放射性廢棄物在設施內之處理成本總和約 UAH3,087 百萬。

#### (四) Jose Cabrera 核電廠廢棄物管理設施

由於先前之汽機廠房非歸類屬除役電廠中之受衝擊影響地區，根據整體除役計畫之規劃，原已列為第一批被拆除之建物，但最後決定汽機廠房，包括基座部分均不拆除，而是修改成廢棄物管理營運之廠房，其當然必須能符合放射性廢棄物中期貯存及除污等條件。另外，一個由反應器廠房而來的新的專用通道被作為容器直接運輸，此外，廠房有些內部結構需要修改，譬如建造新的屏蔽牆和地板，直接保留大部分的汽機基座作為屏蔽和限制區。電廠將在廠房內安裝包括切割與化學除污等新設施系統。

#### (五) 除役廢棄物之成本有效性及環境可靠性管理

為了做好放射性廢棄物或潛在放射性廢棄物之成本有效性及環境可靠性之管理，除役工作必須擬定廢棄物管理的程序。而其關鍵參數係依據國家所訂定之清潔標準和廢棄物處置接收準則所管制之特性化與分類等要項辦理。

在瑞典 Studsvik 建議將產生之廢棄物從非常小風險之放射性污染物到高放射性廢棄物分成六大類，重點分述如下：

1. 依據風險分類和廢棄物管理之重要性，建議設立一套好的系統，具備商用方法可在廠內或廠外處理、活度偵測與調整，且這套系統是必須具備可靠性與持續性，並包括再循環使用之成本有效性。
2. 在除役計畫中廢棄物管理成功之關鍵因子是包括核種在內等特性之品質及接受度，然而經驗與了解是發展除役工作結構組織成功的基礎。
3. 為避免除役程序發生瓶頸與在廠內或廠外間進行維持平衡同等重

要，例如送到外部設施處理等，延遲可能是除役計畫中一項發生成本的關鍵性因子。

#### 4. 考量上述種種因素而得到除役中廢棄物管理最適化之指引。

除役計畫可分成八大階段:初期計畫、移除燃料、盤查及特性調查、除污、拆除、廢棄物管理、盤點存查、場址清潔等。其中針對重點項目，特加以說明如下:

- (1)初期計畫須考量的因素包括規劃時程、廢棄物產生來源、廢棄物管理方式(風險、廢棄物出廠與否)、除役行動可能之風險。
- (2)盤查及特性調查須可慮之因素包括材料、容積、時程及廢棄物來源之可靠性預測之重要性進行、調查任何未知的廢棄物產生源、以及文件化資料庫管理等。
- (3)除污須考慮之因素包括全系統之除污、採現場除污及局部施作、建築物除污及混凝土刮除、在廠外處理設施內執行除污工作等。

綜上所述，除役時的廢棄物規劃應學習之功課包括:

- 除役總廢棄物中之裝備廢棄物約為總成本之 1/3。
- 特性調查須依據所訂定之清潔目標。
- 在廠外處理設施處理廢棄物可節省時間及費用。

同時，應進行廢棄物流程模擬分析，以改善拆除程序的控制，要點包括:

- 使用已商業化技術及有經驗之人員可安全執行計畫，降低人員集體劑量。
- 縮短時程及減少處置廢棄物，降低成本。
- 工作人員及設施在廠內作最佳之運用，可降低風險。

此外，廢棄物最適化之管理優先順序應為:

減少廢棄物量 ⇔ 重新使用 ⇔ 回收再利用 ⇔ 能源回收 ⇔ 處置

## 四、 廠址特性及整治

EPRI 於 2006 年起即對地下水特性調查及整治技術進行研究，以 MARLAP principals、EPA 及 NRC 提供的導則為基礎，出版了地下水保護指引、土壤及地下水整治指引等相關報告，以提供地下水採樣樣品保存、放射性核種分析之指引，並經由實際除役廠區案例反饋整治技術。目前美國運轉中電廠的除役計畫主要導向為(1)在執照終止後，將場址設施整治至非限制使用用地之規定。(2)重大的殘留放射性需要在除役階段進行場址整治，以符合除役完成後非限制使用用地之標準。

EPRI 在 2012 年所提出的報告修訂版主要針對三處內容修正:第一為如何減少場址內(包含地下)殘留放射性物質的介紹；第二為調查除設計畫場址之地下特性以驗證殘留之放射性；第三為妥善保存調查紀錄，包括調查站點及調查量的紀錄。

(一)案例介紹摘錄

位於西班牙首都馬德里的能源環境與科技研究中心 CIEMAT，曾經是西班牙致力於應用核子領域的代表，然而現在有部分設備已經過時、停機並進入除役階段。在 2000 年 CIEMAT 開始進行了一項整合計畫(Integrated plan for the improvement of CIEMAT facilities, PIMIC)，包括設施場址的除污、拆除、復育及土壤整治活動，其中有一處區域”Lenteja”(圖五)於 70 年代曾因為把待處理液體從再處理廠轉運至液體處理裝置設備時，發生放射性液體洩漏的意外事故，污染了將近 1000 立方公尺的土壤，於是展開詳細的放射性土壤特性調查，包括表土及深達 16 米的鑽孔調查，以及發展全面的放射性材料特性預分類法。主要的整治步驟為劃定受污區域、挖除受污染的土壤、最終達成非限制使用的土地特性調查以及填補土壤至完成整治的區域。

西班牙於 1984 年成立放射性廢棄物營運公司(Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, ENRESA)，負責全國放射性廢棄物之收集、運輸、處理及最終處置，該公司於 2006 年開始進行 CIEMAT 的拆除工作至 2010 年始完成，於 2010-2012 年間對”Lenteja”區域 進行土地復育活動。在 ENRESA 完成的初期土壤特性調查結果顯示，土壤中的主要的放射性核種為 Sr-90 和 Cs-137，1 至 2 米深的土壤殘留著大部分的污染物質，5 米深處的土壤檢測出的污染物質已大幅度減少，到了 9 米深處的土壤，所檢測出的污染物質已經低於 1Bq/g。



圖五 Lentejaj 污染區域

在經過了一連串的檢測工作後，接著進行土壤挖除工作(圖六)，剷除作業亦必須符合歐盟的相關規定(EC Recommendations RP122、RP113)。



圖六 現場整治照片

Lenteja 場址最後共挖除了 2845 噸的土壤，其中可被釋出的土壤佔 66%，其餘 34% 為極低階(VLLW)與低中階(LILW)廢棄物。完成挖除工作之後，則需進行最終輻射偵檢調查，確認放射性物質已清除完畢且低於外釋標準，最後再將乾淨土壤回填至該區域。從本案例可學習到，界定整體工作範圍(地表及地下深度、土方量)與物料管理尤其重要，可幫助後續的土壤挖除及輻射偵檢工作。

## (二) 界定與管理土壤地下水污染物質的方法及技術-模式建立

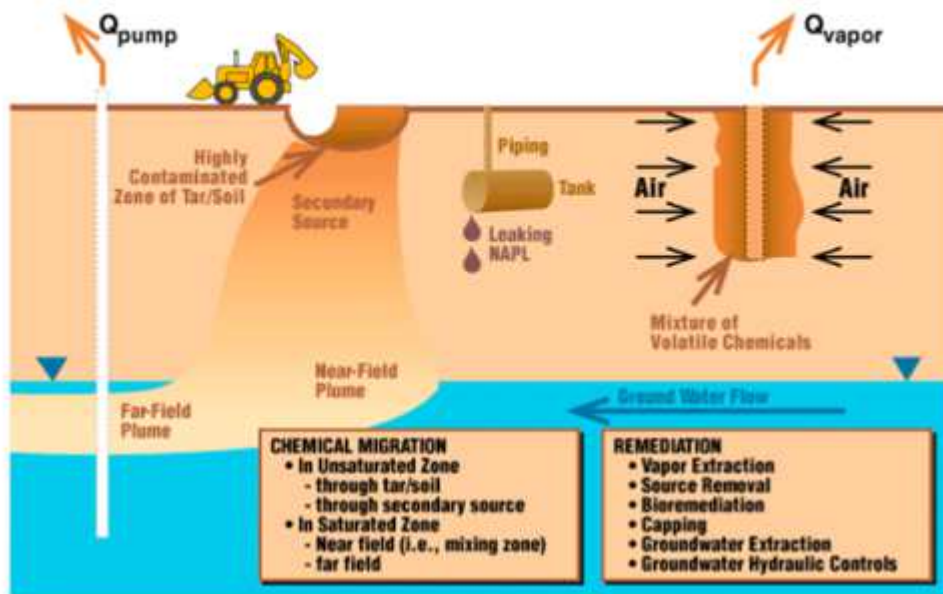
除了輻射物質會造成土壤及地下水污染，核電廠內仍有許多潛在的污染問題，如某些化學物質(包含有機物及無機物)及重金屬的污染。早期的石油冶煉工廠及瓦斯製造廠往往在製程上產生許多副產品，並在過程中會造成許多污染，對環境造成負荷，故 EPRI 於 1988 年發展了一套場址管理方案，針對場址特性調查、評估及土地復育進行創新技術研究，這套方案於 1988 年開始應用，而後也應用於核電廠除役工作當中的土污鑑定及整治。

在 ERPI 這套方案中，須先進行特性調查-場址歷史研究，先瞭解土壤及區域所在岩床的基本資料，包括土壤孔隙度、滲透性、地下水深度、

岩床可能的潛在污染(物質的路徑分析)等等，利用雷射誘發螢光(Laser Induced Fluorescence, LIF)技術提供地下石油污染狀況高解析度之定性至半定量之資訊，透過此技術可快速及具經濟效益之方式區分受污染及未受污染之區域。

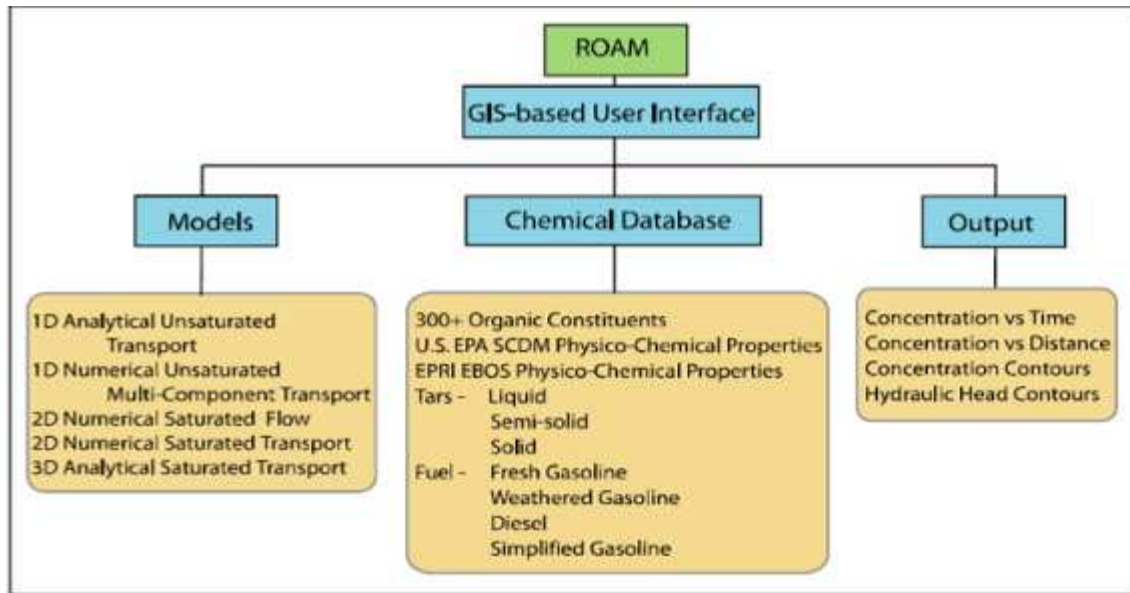
調查完成後即針對污染場址進行評估，但是在實際的特定場址，如隧道等處，是很難進行評估的，因此 EPRI 發展一套 Remedial Options Assessment Model(ROAM)模式，可以讓我們對污染場址有相當程度的瞭解，這套 ROAM 模式，相關的概念如下圖，可幫助我們瞭解：

1. 污染源濃度和溶出隨時間變化的程度
2. 濃度降至背景值需要花多久時間
3. 減少水池滲漏將對流場隨時間變化造成什麼改變
4. 爲了符合管制標準的必要考量爲何
5. 對於附近水體有何潛在影響



圖七 ROAM Conceptualization

ROAM 模式係利用場址地圖來建立圖層，以鑑定污染源點位及整治的整體規劃設計，這也是 ROAM 的特點之一，因為這樣可經由場址可視化瞭解特定場址的問題，以及整治系統是否設計適當。模式中也內建了幾種可驗證土壤及地下水中污染物質的流場與傳送模式，經由計算及嚴謹的模擬評估後，可以提供可行的改善方案。



圖八 ROAM Components

ROAM 的特色除了為利用圖層顯示場址污染外，並可處理複合式的污染源及預測整治的效果，且不管是否運用 MODFLOW 三維地下水流模式，都可以算出流場分布。此外，ROAM 也可應用於預測地下水中物質的濃度，會對人體健康和生態造成多大風險影響。

## 五、核電廠主要組件之拆除及管理

### (一)熱交換器、蒸汽產生器及鍋爐等大型組件回收再利用

1. Studsvik 廠商是瑞典熔鍊工廠，自 1987 開始處理核能電廠大型組件，處理的項目包括：

- (1)高/低壓汽機轉軸和其外罩
- (2)加熱器、預熱器和熱交換器
- (3)蒸汽產生器 (SG)
  - 鍋爐
  - 燃料元件運輸設備
  - 反應爐頂蓋

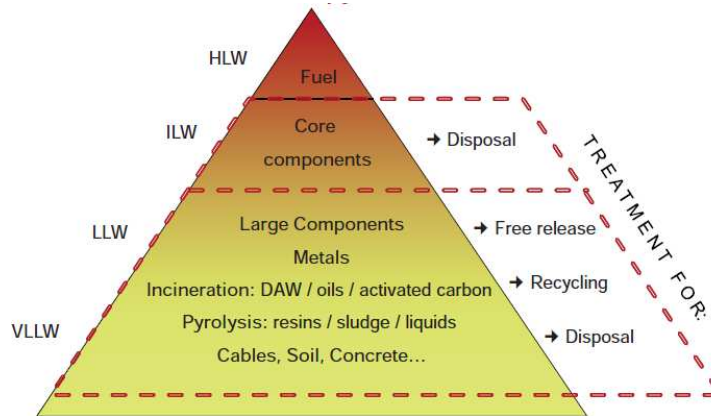
由於經過處理的大型組件可減少廢棄物的體積及最終處置的數量，近年來也開始處理來自德國，芬蘭，西班牙和英國交付的大型組件。

對於低污染組件(如預熱器，汽機、冷凝器，鍋爐等)其處理的方法為分割、除污、熔煉，有條件外釋及進一步回收；對於污染稍高的組件(如熱交換器，蒸汽產生器、燃料元件運輸設備)，採取之處理方法係在一個專用輻射防護工作室中進行除污及部分分割，緊接著進一步分割及熔



煉，有條件外釋及進一步回收。

經處理後之大型組件，原始總重之 80-90%可以外釋，二次廢棄物約佔 10%至 15%，後者可進行壓縮封裝及最終處置。



圖九 Studsvik 廢料處理金字塔模型

Type of treated components	Total weight of treated (~t)	Material recycling ratio (~%)	Waste volume for final storage in % of original volume (~%)
BWR pre-heaters	1000	96	2
BWR heat exchanger	5000	94	5
BWR-turbines	6000	93	8
Steam Generators	3450	70-80	6-8
Boilers	1550	95	2

表五 大型組件減廢成效

## 2.具污染之大型組件運輸須考慮以下問題：

### (1)運輸許可

國內及國際運輸及管制機構參與，如：

- 交通運輸主管部門
- 核能管制單位
- 港務局
- 環保主管機關
- 其他國家或地區的特定機構和組織

按照 ADR / RID 規定的運輸管制下的表面污染物體 (SCO) 分類：

- SCO-I：固定污染接觸的表面  $4E4 \text{ Bq/cm}^2$
- SCO-II：固定污染接觸的表面  $8E5 \text{ Bq/cm}^2$

### (2)運送準備作業

- 工地作業
- 輻射調查
- 穿越孔加蓋及密封

- 額外的屏蔽
- 組件上漆或包裝
- 結構檢查及運送判定
- 大型設備鞍座的設計和製造
- 吊運文件紀錄
- 運輸路線調查
- 重件運輸
- 管制機關和利害相關團體的參與
- 許可證申請

### 3.大組件廢料減容愈益重要

對大多數國家而言，貯存場的空間有限或難覓，全尺寸儲存不僅不可行，而且費用高昂。對我國而言，大組件進行境外處理有許多優點，包括安全及環境效益及成本節省，可避免需要在電廠內訂製專用處理設施，這些優勢可能超過它帶來的不便(大型組件運送)。其他優點如下：

- (1)減少廢料產量，降低中期和最終儲存設施成本
- (2)延長貯存場的壽限
- (3)減少現場的廢料處理作業
- (4)避免在電廠暫存，並增大儲存空間
- (5)回收有用材料資源
- (6)降低未來未知成本
- (7)提高正面形象

### (二)義大利三座核電廠核島拆除

義大利 Sogin 公司報告 TRINO、GARIGLIANO、CAORSO 三座核電廠拆除作業現況如下。

#### 1.TRINO 電廠基本資料：

- (1)型式：PWR
- (2)發電量：270 MWe
- (3)運轉年限：1964 – 1987
- (4)4 迴路
- (5)反應爐廠房現況：
  - 反應爐燃料已移除，47 組燃料暫存於用過燃料池中。
  - 2004 年 4 個蒸汽產生器(SG)及反應爐冷卻水泵進行線上化學除污。
  - 現有大型組件計 924 噸，包括反應爐 229 噸、4 個蒸汽產生器

452 噸、1 個調壓槽 55 噸、4 個 RCP 泵 80 噸、釋壓槽 6 噸及管閥等 102 噸，另外輔助系統有 28 噸，總活度 1.65E11 貝克。

- 大型組件拆除之設計階段(Phase I)已完成，但 RPV 及其內部組件之拆除屬 Phase II 階段，不包含在本階段中。

(6)汽機廠房現況：

- 系統及組件已經拆除。

2.GARIGLIANO 電廠基本資料：

(1)型式： BWR

(2)發電量：160 MWe

(3)運轉年限： 1964 – 1978

(4)反應爐廠房現況：

- 反應爐燃料已移除，用過核燃料廠外運送。
- 廠房石棉保溫材已移除。
- 現有大型組件計 685 噸，包括反應爐 181 噸、2 個 2 次蒸汽產生器 200 噸、1 個 1 次蒸汽產生器 134 噸、2 個再循環泵 40 噸、及管閥 130 噸，另外輔助系統有 45 噸。
- 系統更新設計階段進行中，包括：新的電力系統、更新既有吊掛設備、新的空調系統、更新洩水系統。(今年 12 月底前完成設計階段)。

(5)汽機廠房現況：

- 系統及組件尚未拆
- 汽輪發電機的石棉仍存現場
- 800 桶樹脂及濃漿仍存放在汽機廠房
- 大組件及系統拆除設計階段持續進行中
- 汽機廠房樓板裝置廢料處理設備用來處理反應爐廠房移除之系統及設備

3.CAORSO 電廠基本資料：

(1)型式： BWR 4 Mark II 圍阻體

(2)發電量：860 MWe

(3)運轉年限：1981 – 1986(4 個燃料週期)

(4)反應爐廠房現況：

- 反應爐燃料已移除，用過核燃料廠外運送
- 移除石棉保溫材
- 進行線上化學除污

- 廠房內仍有之系統及組件約有 2000 噸，在二次圍阻體內仍現有：寒水系統、乾井冷卻系統、RWCU、SBLC、池水淨化系統、RHR、HPCI 及 Core Spray；一次圍阻體內仍有：2 個再循環迴路等閥、4 個 MSIV、16 個安全釋壓閥、抑壓池及 Downcomer。
- 一次圍阻體及二次圍阻體系統及組件拆除設計階段持續進行中：
  - 物料及放射性材料貯存規劃
  - 確認拆除階段須保留之系統
  - 電力系統修改
  - 確認組件系統拆除順序
  - 汽機廠房內現有廢料處理設備小幅修改
  - 確認反應爐廠房及汽機廠房廢料運送替代路徑

(5) 汽機廠房現況：

- 5800 噸系統及組件已經拆除

#### 4. TRINO 電廠大型組件拆除計畫

(1) 拆除計畫主要步驟：

- 拆除之材料實物盤點
- 同質輻射群體的盤點
- 依據型式及同質輻射對組件及系統分門別類
- 每一組件依輻射數據、幾何形狀及厚度選擇適合之切割技術，切割計畫依個案來決定
- 局部切割及除污站容許在廠內彈性運送

(2) 拆除計畫一般要求：

- 拆除及運送作業最小化（劑量最小化）
- 盡量減少交叉污染的（分隔清潔及污染廢料）
- 盡量減少工作界面：拆除作業應在中央工作站執行，以降低污染的擴散
- 確認廢物運送路徑及緩衝區域
- 保守吊掛負載
- 重複性的工作以遙控方式操作（降低操作人員所受劑量）

(3) 切割方法確認：

- 熱切割方法
  - 蒸汽產生器頂部（氧丙烷）

- 蒸汽產生器外殼（氧丙烷）
- 機械切割方法
  - 蒸汽產生器管束（研磨機）
  - 蒸汽產生器管板（帶鋸）
  - 蒸汽產生器水室（帶鋸）
  - 調壓槽（帶鋸）
  - 24 吋管（軌道刀）
  - 小管（剪切）

## 六、反應爐及內部組件管理及除污

### (一)反應爐拆除最佳化

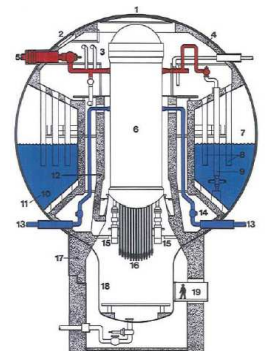
AREVA 公司認為拆除作業應由 HOT to COLD，首先進行全系統除污，拆除作業由高污染區域再至低污染區域，亦即由 NSSS 開始執行，可大幅降低人員接受的輻射劑量，使其後的輻防及監測變得更為簡單，其優點如下：

- 1.隨後之工作現場劑量率大幅降低
- 2.潛在性的放射性釋放機率顯著減少
- 3.早一點進入使用機動性操作設備
- 4.空浮監測/通風系統可大幅簡化
- 5.拆除作業的防火措施可簡化
- 6.廢水處理可簡化
- 7.監督程序簡化
- 8.使用一般工業標準

有關 BWR 圍阻體內拆除範圍：RPV 及內部組件、隔熱材及生物屏蔽、冷凝室、CRD Room、環狀區(annulus)及管閥，拆除作業順序如下：

#### (1)反應爐樓板及 CRD 室內進行工作準備

- 水泥塊、乾井蓋、反應爐蓋保溫及栓鎖緊裝置拆除
- 移除不再需要的工具，例如：燃料吊運工具
- 用過燃料池內設置工作區
- 設置除污設備、切割區域、封裝設備、輔助起重機和輔助工作橋
- 拆除並封裝控制棒驅動機構及泵葉輪
- 移除不再需要使用之燃料架



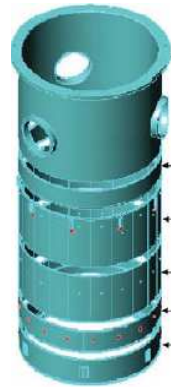
(2) 在水下進行拆除及封裝反應爐內部組件

- 蒸汽乾燥器-如果有必要進行後除污再拆解
- 汽水分離器-如果有必要進行後除污再拆解、壓縮及封裝
- 飼水噴嘴-拆解、封裝
- 上爐心隔板及下爐心隔板-拆解、封裝
- 爐內 flux tube 組件-拆解、封裝
- 爐心側板-拆解、封裝
- 清理上池及降低水位
- 拆除燃料吊運設備



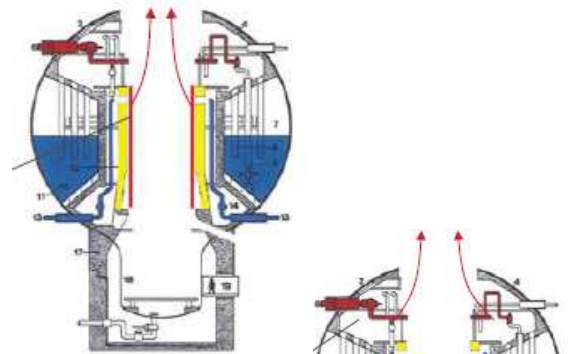
(3) 拆除及封裝反應爐

- 在用過燃料池安裝相關設備和後期割切區域
- 上部搭設環狀平台
- 降低反應爐內的水位
- 拆卸生物屏蔽以上管路、噴嘴及隔熱材內環
- 進行環段分割
- 在下池進行後續次分割
- 封裝/除污
- 支撐裙板拆除，並在用過燃料池進行切割
- 同時清理 CRD Room 內剩餘的組件



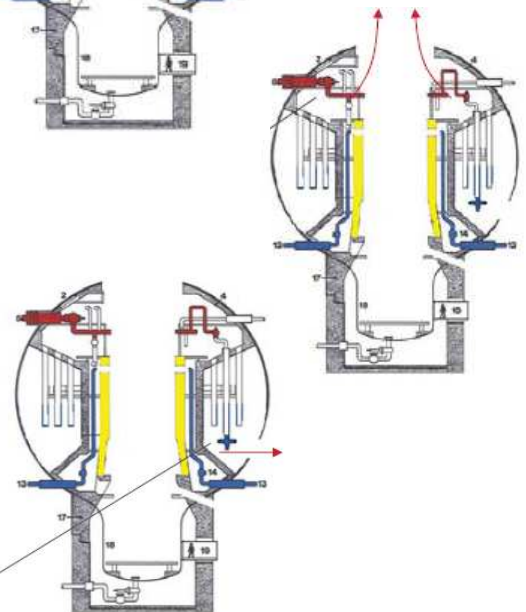
(4) 拆除並封裝反應爐隔熱材

- 搭設鷹架
- 設置工作區域
- 使用手工工具進行拆除
- 在用過燃料池內進行後切割
- 封裝



(5) 反應爐環形週邊房間拆除作業

- 藉由圍阻體氣鎖門進行設備材料運送
- 拆除上環部空氣循環系統
- 拆除主蒸汽管路、閥門及飼水管路
- 拆除 ECCS 系統
- 拆除爐水淨化系統

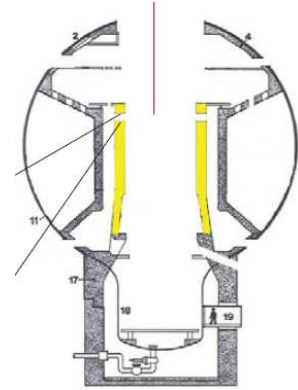


(6) 冷凝室設備拆除

- 搭架準備
- 由下而上拆卸

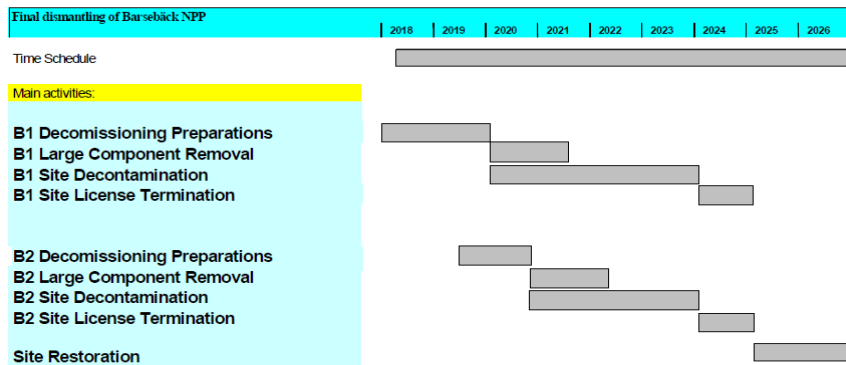


- (7)生物屏蔽拆除封裝
  - 設置工作區域
  - 塊狀拆卸
  - 後切割
  - 必要時除污後再封裝
- (8)清除廠房結構



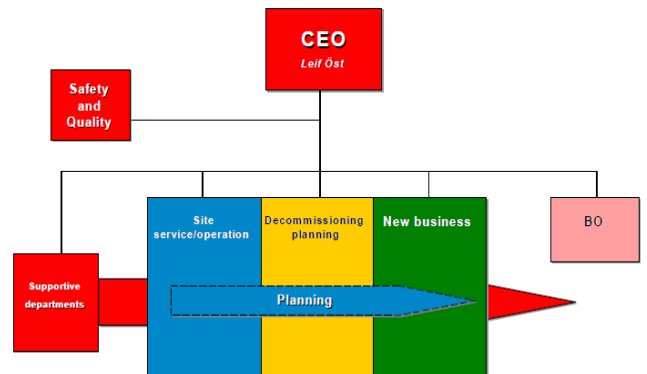
(二)瑞典 Barsebäck 核電廠除役計畫

Barsebäck 為 BWR 電廠有 2 部機組 B1(1975–1999) 及 B2(1977–2005)，每一部機容量 1800 MWt 及 615 MWe，由於政策因素決定，1 號機於 1999 年 11 月 30 日永久停止運轉，2 號機於 2005 年 5 月 31 日永久停止運轉，自 2006 年 12 月 1 日起兩部機皆處於 Service operation(設備仍在維護保養中以支援未來除役作業)。Barsebäck 將維持在 Service operation 狀態至 2018 年拆除作業(Dismantling operation)開始，目標在 2025 年開始進行廠址復原。Barsebäck 持照者為 Barsebäck Kraft AB (BKAB)，於 2007 年重新改組，其角色任務說明如下。



圖十 Barsebäck 除役時程

Service operation	持續監督電廠運作 籌劃拆除作業	1 Dec. 2006
Dismantling operation	準備拆除	2018
	進行拆除	2020
New Business	廠址開始外釋	2025



圖十一 Barsebäck 角色任務

1. **Site Service operation**：其任務是確保電廠保持在正常狀態，以提供未來的拆除作業的支援，現有作業包括監督，維護，修改，檢驗，保安，消防，廢料管理，職業健康，輻防和環保。
2. **Decommissioning planning**：籌劃長期安全及符合成本效業的拆解作業。
3. **New business**：以現有廠址作為支援其他新事業，例如提供廠房及系統作為測試維護中心，販售組件或設備等。
4. **BO**：提供廠內人員 3 年的就業保障，並輔導轉換至其它行業。

瑞典針對核電廠生命週期中處理核廢料的基金分為 2 個部份，其一為運轉廢料(Operational waste)，另一為拆除廢料(Dismantling waste)，Barsebäck 對於反應爐內組件最初策略視其為運轉廢料，必須在 2017 年前 Service operation 期間經處理並運送至廠外先行外部暫存。

為延長 Service operation 以整合由兩部機反應爐內部早期切割及儲存的廢料，以符合新的環境影響評估，所有儲放於爐穴的運轉廢料，留置於反應爐內部拆除廢料，將依據申請案來處理，此一變因已對原初期策略要求運轉廢料不應該影響拆除成本及 2020 年拆除計劃時程，產生了風險，另外運送容器的開發及使用執照可能無法及時完成，也是一項風險。

### (三)西班牙 José Cabrera 核電廠拆除計畫

位於西班牙的 José Cabrera 核電廠於 2010 年 7 月交付西屋公司進行拆除反應器內部組件 (Reactor Vessel Internals, RVI)的除役工程，工程包括須對 RV 內部和運轉時產生的廢棄物的拆解和分割，及包含先期性的工程研究，先期的工程研究意謂著要對一些必要的廠房改建、設備供應、初級和次級廢棄物的裝載進行研究。

在進行除役計畫的第一年，該公司致力研究爾後的工程規劃與製作未來工程所需的設備器材，這些設備都須經過特定的測試及檢驗合格後才移往場址，操作人員亦然。所有的方案推動都必須經過客戶，也就是電廠擁有人的同意才可續行，而該電廠最後選擇的組件切割係為機械切割方式。在切割活動之前，需要先切割反應器爐穴與用過核燃料池之間的牆、確保水池的完整性及裝設新的工作橋台和清潔燃料池。

可以預見的是，將來的現場工作具有相當程度的複雜性，現場的任何程序及工具須經測試合格後才可開始運作，而場址也必須處理恢復至初始狀態，所有的設備也須經過除污後搬離場址才算是告一段落。目前這個西班牙 José Cabrera 電廠的除役工作正緊鑼密鼓的執行中，未來將



可提供各電廠進行除役的一大借鏡與經驗分享。

#### (四)除役除污的價值評估

在除役工作中，化學除污的實際效益是很難估算的，因為組件劑量率降低的同時，廢棄物劑量、除污時間及費用都可能增加，必須詳細考慮決定最適除污率。

除污因子(Decontamination Factor,  $DF = \text{除污前組件劑量率} / \text{除污後組件劑量率}$ )通常用來代表除污效率，但卻也很容易使人混淆與誤解，舉例來說  $DF_{100}$  與  $DF_{10}$ ，就數字面來說是  $DF$  的 10 倍，但是實際上， $DF_{10}$  代表這個除污活動可去除 90% 的污染，而  $DF_{100}$  為可去除 99% 的污染，所以實際上  $DF_{10}$  和  $DF_{100}$  僅相差 9% 的差異，而非帳面上的 10 倍。

此外， $DF$  除污因子在實驗室裡的計算通常都高估了現場除污效力，往往不盡正確，因此如果在現場工作的合約中，要求廠家要達成實驗室  $DF$  的水準，將會導致人為增加除污工作，進而增加廢棄物產量、除污時間與除污工作劑量。廢棄物進行分類、儘量地節省拆除工程的成本，與因化學除污過程中產生的廢棄物所造成的成本，勢必得取得平衡。 $DF$  越高，表示去除越多的金屬，就得花上更多的成本來除污。因此，在除役計畫中，決定最佳的  $DF$  為除役計畫成功的第一步驟。

## 七、 CARBOWASTE Workshop

本次會議將 11/24 的議程分成 Track A、Track B 兩個會場來進行，其中 Track B 其實是歐盟的一個合作研究計畫 "CARBOWASTE" 的第 5 次會議。"CARBOWASTE" 全名為 Treatment and Disposal of Irradiated Graphite and Other Carbonaceous Waste, 放射性石墨及其他碳基廢棄物處理處置"，由歐盟出資，主要在研究反應爐內的放射性含碳廢棄物的處理處置方法。



「反應爐內的放射性含碳廢棄物」的主要來源是 GCR(Magnox)型、AGR 型、RBMK 型、V/HTR 型核電廠的石墨緩和劑，我國使用之輕水式反應爐並無此等放射性廢棄物。

歐盟估計，其境內之放射性含碳廢棄物共約 23000 噸，多半屬中階廢棄物(Intermediate Level Waste, ILW)或低階廢棄物(Low Level Waste, LLW) (歐盟分類法)，內含長半衰期之核種如 C-14(半衰期 5730 年)、氦-36(半衰期 30 萬年)、及碘-129(半衰期  $1.59 \times 10^7$  年)。不過因為半衰期很長，參觀 Latina 電廠時，對方說明該廠目前爐心中央之輻射劑量率僅  $1 \mu\text{Sv/hr}$ 。

在會議中發表之研究成果有：

- (一)義大利 SOGIN 公司/Latina 電廠 研究遙控取出裝置，以便將石墨磚自反應爐抓取出來。目前尚在以未受照射之單一石墨磚(virgin graphite brick)測試其所能承受之最大抓取壓力、及要把石墨磚抓起之最小抓力。Virgin Graphite 與現場已受照射之石墨其所能承受之最大抓取壓力應不相同，但把石墨磚抓起所需之最小抓力應類似。
- (二)英國曼徹斯特(Manchester)大學發表輻射照射對石墨之影響研究。結果顯示 Virgin Graphite 有大片的完整結晶，受輻射照射後，主要的破壞包括層間分離(laminated)、產生空洞(vacancy)。以拉曼(Raman)光譜儀計算晶格扭曲(disorder)的百分比，發現一個有趣的現象：低溫下產生之破壞百分比反高於高溫時，研究人員猜測可能是高溫時產生了退火(annealing)效應將部份損傷修復。
- (三)法國電力公司(EDF)發表法國石墨廢棄物處理/處置策略。法電目前有 9 個除役電廠，其中 6 個是石墨緩和氣冷式反應爐(GCR)。由於法國未能在 2009 年選定長半衰期放射性廢棄物儲存設施，EdF 目前朝向除污加減容後暫存的方向研究，並認為 Studsvick 公司美國分公司擁有的加熱有機物減容技術"THOR"可能可以修改後進行石墨除污減容處理。目前修改測試結果，C-14 除污最佳可達 80%、H-3 幾近 100%、灰燼重量減少約 17%。EdF 認為尚有下列問題需解決：C-14 除污效率 80%仍太少、灰燼重量減少太多(目標 5%以下)、氣體中放射性核種捕捉技術仍待加強。

"CARBOWASTE"計畫自 2008 年開始進行，第一期的 4 年計畫目前已接近尾聲，本次會議為第一期計畫之最後一次會議，並將於明(2013)年 5 月召開第 2 期計畫之規劃會議。由以上研究內容可以看出，目前業界仍在研究未照射石墨的性質，或者是在實驗室進行輻射影響或摹擬測試，距離發展實際放射性石墨的回收技術，還有很長的路要走。

## 八、Latina 核能電廠參訪

此次會議的第 4 天(10/25)，地主義大利 SOGIN 公司安排與會人員參觀除役中的 Latina 核能電廠。

在 1986 年車諾比事件發生後，義大利公投決定不再發展核能，不足之電力則向國外購買(主要是法國)。因此，義大利的 8 個營運中的核能設施(包括 4 個核能電廠，Latina 電廠即其中之一) 均停止運轉。而 Latina 電廠旁原有另一 Cirene 電廠(重水式核電廠)則是已建好，但從未裝填燃料。



圖十二 Latina 電廠位於羅馬南方，距羅馬約一個半小時車程

### (一)電廠描述

#### 1.歷程與特性

- (1)石墨式、採二氧化碳氣冷式反應器，二氧化碳壓力:14 bar、溫度: 180 - 360°C)。
- (2)淨電力輸出:200MW。
- (3)建造期間:1958-1962。1964 年時，是歐洲大陸最大機組核電廠。
- (4)運轉期間:1964-1986。1987 年由政府決定關閉，運轉期間共發電 26TWh。
- (5)除役:2009 年由政府要求進行除役。

## 2.主要組件

- (1)6 具鼓風機，每一座管路長 80 米。
- (2)6 具熱交換器，每一座直徑 5.59 米、高 24.1 米、重量 771 噸。
- (3)反應器
- (4)爐心:呈圓柱體，直徑 14.2 米、高 9.4 米。
- (5)石墨緩和劑(moderator):1258 噸、石墨反射劑(reflector):807 噸。
- (6)燃料:23.426 束(直徑 2.93cm、長 91.2cm)，每一燃料元件由 8 個燃料束組成。
- (7)燃料護套：材質為鋁鎂合金 Magnox-A1 80 製成，這也是石墨緩和氣冷式核電廠別稱 Magnox 電廠的原因。

## (二)電廠拆除

### 1.用過核子燃料移除及運輸

本項工作在 1987-1991 年間執行，共有 22,441 燃料元件(256 噸)經過 16 個航次之船運至英國 Sellafield 的再處理廠。

### 2.組燃料吊運設備在 1992-1994 年間拆除，共計 2,400 噸的廢金屬，其中超過 90%的材料在沒有放射性限制下釋出。共花費 30,000 人時及 16,000man $\mu\text{Sv}$ 之輻射劑量。

### 3.二氧化碳鼓風機拆除，分別在 1998-1999 年、2006-2007 年間進行，因為 6 座鼓風機分別位於反應器廠房兩側，其中位於西邊的先拆除，除了鼓風機本體拆除外，尚包括引擎、潤滑及電力系統部分，共花費 12,300 人時。

### 4.主要迴路管件拆除，其中所有上半部管件在 2008-2011 年間已被拆除，共計產生 350 噸的金屬物。下半部管件及旁通管等在 2003-2006 年間拆除，共計產生 260 噸金屬物。共花費 96,700 人時及 15,800 man $\mu\text{Sv}$ 之輻射劑量

### 5.燃料池的除污工作，在 1996-1998 年間進行，3 座燃料池中的 2 座已被刮除及清潔，共花費 5,400 人時及接受 5,800man $\mu\text{Sv}$ 之輻射劑量。其中所採用之專用除污工具係由電廠內之員工經過瞭解後所設計，主要用於垂直與水平的混凝土表面進行機械式的除污工作。廢棄物的產生量共 2.4 噸，共貯存在 14 只金屬桶(220 公升)中。至於在燃料池中心位置之汙泥已取樣分析。池內粉塵的處理系採用真空吸集方式。大部分表面以剷除約 3 mm 厚度表層作除污，在此剷除厚度時，其處理速率約 $1\text{m}^2/\text{hr}$ 。除污前的牆及地板表面污染值約 $3000\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，經過除污後污染值降至 $1\text{Bq}/\text{cm}^2$ 以下。

6. 超高壓縮及重新打包工作，係採用一部可產生 2000 噸力之移動式超高壓縮機，低放射性乾式廢棄物貯存在 220 公升之金屬桶內經超高壓縮後，將產生之餅狀物收集放入 380 公升桶內。處理之廢棄物桶共計 1512 桶(220 公升)，產生之套桶約 500 只(380 公升)。
7. 碼頭拆除工作在 2011 年進行，相關工程包括 700 米長的護堤，共計混凝土 5000 噸、鐵件 122 噸。
8. 汽機廠房拆除工作，計有 3 部各 70MW 之汽機加上 2 部各 12MW 變頻式汽機等，在 2004-2007 年間已拆除主要設備元件，大約產生 4200 噸之金屬物，以及 2500m<sup>3</sup> 之混凝土結構物被拆除。目前僅剩下建築物之結構體，正利用起重機拆解。
9. 其他已經完成的工作，包括管件封塞、材料濕性除污及廢液處理、材料熱切割裝桶與廠內貯存。

### (三)廢棄物管理

1. Latina 電廠爲了除役工作能順利進行，新建一座爲了各式低放射性廢棄物之中期貯存設施建築物，以及興建一部專門處理污泥之廢液處理固化系統之臨時建築物。
2. 新的貯存設施主要是爲提供未來廢棄物產生所需，設計容量爲 25,000m<sup>3</sup> 且僅接收經處理後之廢棄物桶，在本次參觀同時，約已貯存 1600 只具有不同活度之廢棄物桶。貯存設施廠房內，主要設備包括 2 台吊車、排水系統、放射性監測系統、通風系統、以及消防系統等。接收之廢棄物類別包括：
  - (1) 過去產生之運轉低放射性廢棄物
  - (2) 經固化之放射性污泥
  - (3) 經處理之"magnox"廢棄物(唯尚未決定如何處理)
  - (4) 一次迴路之二次廢棄物
3. 污泥處理固化系統安裝在專用暫時性建築物內，目前正在測試中，已在地下樓貯存 12m<sup>3</sup> 之中階放射性污泥，預計處理固化後之活度將約產生 100 桶(每桶 440 公升容積)。處理流程如下：
  - (1) 第一站~污泥桶內加水
  - (2) 第二站~移入攪拌器及水泥、廢棄物管線
  - (3) 第三站~加入定量之水泥及廢棄物(25%污泥+75%水/水泥)
  - (4) 第四站~移除攪拌器及加料管線
  - (5) 第五站~固結(48 小時)
  - (6) 第六站~秤重及封蓋

(7)第七站~固結(24 小時)

(8)第八站~封存

#### 4.未來除役規劃工作

(1)汽機廠房拆除完成

(2)鼓風機外殼(hosing)拆除(2013-2014 年):預期約產生 180 噸的金屬物，這部分是有污染的，所以必須謹慎進行，拆出後將送到污染區以水除污方式進行。

(3)切割廠房設立(2013-2014 年):該廠房分成四區塊，包括緩衝區、切割區、除污及檢查區、服務系統區。

(4)蒸汽產生器拆除(2014-2019 年):每座蒸汽產生器將切割成 8 大部分，切割後將運送至切割廠房進行偵測與切割成更小組件。

(5)反應器廠房拆除(2019-2021 年):在此階段反應器廠房將進行縮小，保留部分廠房改裝作為反應器爐心產生之中階及高階放射性廢棄物的貯存設施，進行安全貯存，直到義大利之最終處置場確定後為止。

## 肆、建議事項

- 一、核電廠之除役工作可以分成四個階段，分別為(一)先期規劃、初期除役任務工作(決定場址未來使用、初期場址特性調查及歷史資料評估、與管制機關之互動)、執照終止計畫、場址外釋劑量評估模式(二)系統與組件之安全除污、拆除、移除(三)建物與場址環境之整治(四)場址最終調查與電廠執照終止。
- 二、目前本公司電廠之廢料桶只有一個規格，即 55 加侖桶。然而除役產生之廢料數量較運轉多，且型式及尺寸大小不一，也會出現一些劑量很高的放射性廢棄物，此時再使用單一容器，則所有放射性廢棄物均需切割至能置入該尺寸桶中，既提高處理成本、也提高處理人員劑量，並不適宜。最終處置場設計與電廠產出廢料尺寸雙方應互相協調配合，才是合理的作法。以超 C 類廢棄物(GTCC)為例，因其輻射強度高，目前均是與用過燃料一起乾式貯存。一開始美國幾個除役電廠，其 GTCC 廢棄物均強制切割至能裝入用過燃料筒，因此花費了許多不必要的時間及劑量，之後除役電廠吸取教訓，GTCC 桶另行設計，在乾貯設施運作方便及儘量減少 GTCC 組件切割兩者之間取得平衡。
- 三、即使是在除役階段，電廠建廠及運轉時期的資料仍舊十分重要，需要仔細地保存。本次會議中國外經驗顯示：在沒有電廠實際數據的情形下，只好進行最保守之假設，如此可能產生不必要的花費。此部份本公司核一廠目前做得不錯，在進行延役評估時，已將建廠資料及運轉經驗整理過一次，發現與電廠資料中心不合的資料也回饋給電廠修改圖面或數據，日後停役/除役時這些資料仍應繼續保存，以便除役規劃時參考引用。
- 四、一整套除役工作包含法規、除役計畫等細節，應該由核設施經營者、拆除者和政府管制機關等多方單位共同坐下來就執行細節、法令、社會各層面衝擊的可適性進行詳細討論，型塑出一套兼具符合國際公約規定及適合我國國情的除役工作管理策略和方針，以增加除役工作計畫執行的可靠性及安全性。

## PRELIMINARY AGENDA

### 11<sup>TH</sup> EPRI DECOMMISSIONING AND CARBOWASTE WORKSHOP 2012

October 22-25, 2012 • NH Giustiniano Rome, Italy

MONDAY - OCTOBER 22		
TIME	TOPIC	PRESENTER
6:00 pm	Welcome Reception	
TUESDAY - OCTOBER 23		
<b>Plenary Session: Welcome and Introductions</b>		
<b>Room:</b> <i>Giulio &amp; Cesare Room – Ground Floor Level</i>		
<b>Session Chair:</b> <i>Lisa Edwards, EPRI</i>		
9:00 am	Sogin Welcome and Introduction	<b>G. Nucci, Sogin</b>
	Update on Sogin Decommissioning Program	<b>I. Tripputi, Sogin IT</b>
9:45 am	EPRI Decommissioning Program Update	<b>K. Kim, EPRI</b>
<b>Session I: International Decommissioning Project Updates</b>		
<b>Room:</b> <i>Giulio &amp; Cesare Room – Ground Floor Level</i>		
<b>Session Chair:</b> <i>Lisa Edwards, EPRI</i>		
10:15 am	Technical Update of ENRESA Decommissioning Projects	<b>J. L. Santiago, Enresa</b>
10:45 am	Break	
11:15 am	Update on EDF Decommissioning Projects	<b>G. Laurent, EDF</b>
11:45 am	United States Decommissioning Project Update	<b>R. McGrath, EPRI</b>
<b>Session II: Characterization of Systems, Structures, and Components</b>		
<b>Room:</b> <i>Giulio &amp; Cesare Room – Ground Floor Level</i>		
<b>Session Chair:</b> <i>Karen Kim, EPRI</i>		
11:45 am	Trace Impurities and Activation Products in Base Metals	<b>T. Kalinowski, DW James and Associates</b>
12:15 pm	Automatic Estimation of Radiological Inventory Software Tool	<b>R. McGrath, EPRI</b>
12:45 pm	Lunch • <i>Zenzero &amp; Cannella Restaurant</i> on the hotel premises	
<b>Session III: Radioactive Waste Management</b>		
<b>Room:</b> <i>Giulio &amp; Cesare Room – Ground Floor Level</i>		
<b>Session Chair:</b> <i>TBD</i>		
2:00 pm	Costing for RAW Management During Decommissioning	<b>S. Bashtovoy, Chernobyl NPP</b>
2:30 pm	Re-Conditioning of José Cabrera NPP Former Turbine Hall as a Waste Management Facility	<b>N. Martín, Enresa</b>
3:00 pm	Cost Effective and Environmentally Sound	<b>A. Larsson, Studsvik</b>



	Management of Decommissioning Waste	<b>Nuclear AB</b>
<b>3:30 pm</b>	Break	
<b>4:00 pm</b>	Italian Decommissioning Radwaste Management Standards	<b>L. Noviello, UNICEN</b>
<b>4:30 pm</b>	EPRI Radioactive Waste Research for Decommissioning	<b>B. Cox, EPRI</b>
<b>7:00 pm</b>	Offsite Dinner in Rome • Restaurant TBD (transportation provided)	
<b>WEDNESDAY – OCTOBER 24</b>		
<b>TRACK A</b>		
<b>Session IV-Track A: Site Characterization and Remediation</b>		
Room: <i>Cesare Room – Ground Floor Level</i>		
Session Chair: TBD		
<b>9:00 am</b>	Soil Radiological Characterization and Remediation	<b>C. Correa, Enresa</b>
<b>9:30 am</b>	Methods and Tools for Characterizing and Managing Non-Radiological Contaminants at Utility Sites	<b>J. Clock, EPRI</b>
<b>10:00 am</b>	EPRI Groundwater Monitoring and Remediation Program Update	<b>K. Kim, EPRI</b>
<b>10:30 am</b>	Break	
<b>Session V-Track A: Dismantlement and Management of Major Plant Components</b>		
Room: <i>Cesare Room – Ground Floor Level</i>		
Session Chair: TBD		
<b>11:00 am</b>	Methodology of Decommissioning Scenario Assessment for the Major Components of Nuclear Power Plant	<b>K. Jeong, Korea Atomic Energy Research Institute, Republic of Korea</b>
<b>11:30 am</b>	Recycling of Retired Large Components Such as Heat Exchanges, Steam Generators and Boilers	<b>G. Krause, Studsvik Nuclear AB</b>
<b>12:00 pm</b>	Nuclear Island Dismantlement	<b>S. Caterino, Sogin IT</b>
<b>12:30 pm</b>	Lunch • <i>Zenzero &amp; Cannella Restaurant</i> on the hotel premises	
<b>Session VI-Track A: Reactor Vessel and Internals Management and Decontamination</b>		
Room: <i>Cesare Room – Ground Floor Level</i>		
Session Chair: TBD		
<b>1:30 pm</b>	Optimized Reactor Dismantling Based on International Projects	<b>M. Ibrahim, Areva</b>
<b>2:00 pm</b>	Barsebäck NPP Planning for Project - HINT: Handling and Buffer Storage of Reactor Internal Waste at Barsebäck	<b>L. Johansson, Barsebäck</b>
<b>2:30 pm</b>	Experiences from José Cabrera RVI Segmentation Project	<b>P. Segerud, Westinghouse Electric Company</b>
<b>3:00 pm</b>	Assessing The Value Of Decontamination for	<b>R. Duncan, Westinghouse</b>

	Decommissioning	<i>Electric Company</i>
<b>3:30 pm</b>	Break	
<b>TRACK B IRRADIATED GRAPHITE WASTE</b>		
<b>Session IV-Track B: CarboWaste Session</b>		
Room: <i>Giulio Room– Ground Floor Level</i>		
Session Chair: Dr. W. vonLensa		
<b>9:00 am</b>	Objectives & Progress of the CARBOWASTE Project	<b>W. von Lensa, Forschungszentrum Juelich, DE</b>
<b>9:20 am</b>	Mechanical Technologies for Graphite Extraction from Latina NPP	<b>H. Katsavos, Sogin, IT</b>
<b>9:40 am</b>	Characterization and treatment of British i-graphites	<b>A. Jones, The University of Manchester, UK</b>
<b>10:00 am</b>	Investigations on i-graphite at ENEA	<b>M. Capone, ENEA, IT</b>
<b>10:20 am</b>	Gaseous Emissions During Thermal Treatment of Graphite	<b>C. Rizzato, Forschungszentrum Juelich, DE</b>
<b>10:45 am</b>	Break	
<b>Session V-Track B: CarboWaste Session Continued</b>		
Room: <i>Giulio Room– Ground Floor Level</i>		
<b>11:20 am</b>	Results & 'Cooking Books' from Round Robin Tests	<b>G. Pina, CIEMAT, ES</b>
<b>11:40 am</b>	Overview of 36Cl data in French Graphite Waste	<b>L. Petit, ANDRA, FR</b>
<b>12:00 pm</b>	Radiolysis and Irradiation Effects on the Behaviour of Chlorine in Nuclear Graphite	<b>A. Blondel, IPNL, FR</b>
<b>12:30 pm</b>	Lunch • <i>Zenzero &amp; Cannella Restaurant</i> on the hotel premises	
<b>1:20 pm</b>	Review of Leach Data on Irradiated-Graphite	<b>L. McDermott, The University of Manchester, UK</b>
<b>1:40 pm</b>	Impermeable Glas/Graphite Matrix	<b>J. Fachinger, FNAG, DE</b>
<b>2:00 pm</b>	Discussion	
<b>Session VI-Track B: Characteristics of Irradiated Graphite Waste</b>		
Room: <i>Giulio Room– Ground Floor Level</i>		
<b>2:20 pm</b>	Behavior of Chlorine-36 and Tritium in Irradiated Graphite Wastes	<b>T. Wickham, Nuclear Technology Consultancy</b>
<b>2:40 pm</b>	Treatment of Irradiated Graphite from French UNGG Reactor	<b>G. Laurent, EDF</b>

<b>3:00 pm</b>	New Calculations of Dust Deflagration Risk from Colder Parts of Graphite Cores	<b>L. Rahmani, Arbresle Ingerierie</b>
<b>3:30 pm</b>	Break - Adjourn Irradiation Graphite Session, Rejoin with Track A	
<b>JOINT TRACK A AND B</b>		
<b>Session VII- Member Panel</b>		
<b>Room:</b> <i>Cesare Room – Ground Floor Level</i>		
<i>Session Chair: TBD</i>		
<b>4:00 pm</b>	Member Panel – Innovative Decommissioning Technology	<b>TBA</b>
<b>4:30 pm</b>	Closing Remarks, Announcements, and Adjournment	<b>K. Kim, EPRI</b>
<b>THURSDAY – OCTOBER 24</b>		
<b>SITE TOUR TO LATINA POWER PLANT FOR PRE-REGISTERED ATTENDEES ONLY</b>		
<b>8:00 am</b>	Depart by Bus from NH Giustiniano Hotel for Latina Power Plant	
<b>9:30 am</b>	Welcome - Security Check-in and Coffee	
<b>10:00 am</b>	Sogin Presentations	
<b>11:00 am</b>	Tour Begins	
<b>1:00 pm</b>	Lunch at Power Plant	
<b>2:30 pm</b>	Summary of Tour, Q & A	
<b>3:00 pm</b>	Return Trip to Rome (Airport and NH Giustiniano)	
<b>4:15 pm</b>	Arrive at Fiumicino Rome Airport (travelers heading home from the plant tour will be allowed to store luggage on secure bus during plant tour)	
<b>4:20 pm</b>	Depart from Airport toward Hotel	
<b>5:00 pm</b>	Arrive at NH Giustiniano Rome	