

出國報告(出國類別：實習)

赴義大利參加核能電廠除役研習計畫

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：	劉純光	第一核能發電廠	值班主任
	林義翔	核能後端營運處	課長
	黃郁凱	核能後端營運處	專員
	莊偉翔	第二核能發電廠	專員

派赴國家：義大利

出國期間：105年11月05日至105年11月18日

報告日期：105年12月21日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：赴義大利參加核能電廠除役研習計畫

頁數 28 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

劉純光/台灣電力公司/第一核能發電廠/一號機反應器值班主任/(02)2638-3501#3753

林義翔/台灣電力公司/核能後端營運處/除役計畫課長/(02)2365-7210#2244

黃郁凱/台灣電力公司/核能後端營運處/除役技術發展專員/(02)2365-7210#2243

莊偉翔/台灣電力公司/第二核能發電廠/燃料營運專員/ (02)2498-5990#2618

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：105.11.05 ~ 105.11.18

出國地區：義大利

報告日期：105.12.21

分類號/目：

關鍵詞：核電廠除役

內容摘要：(二百至三百字)

依據「核子反應器設施管制法」第23條規定，經營者應於核子反應器設施預定永久停止運轉之三年前提出除役計畫，本公司依法已於104年11月24日陳報行政院原子能委員會「核一廠除役計畫」。考量本公司將首次面臨核能電廠除役工作，須積極汲取國外除役中核能電廠之實際經驗，以進行除役工作之整體規劃，有必要派員赴國外接受核能電廠除役相關課程實習，本次實習計畫選擇義大利SOGIN(Società Gestione Impianti Nucleari, SOGIN)公司之核能廢料管理學校(Radwaste Management School, RMS)為受訓地點，內容含括除役策略與技術、輻射特性調查、拆除策略與技術、廢棄物管理等6天課程，課程講師自除役規劃至除役作業活動均有相當完整經歷及豐富之應用實例，另有3天安排前往除役中之Caorso電廠之作業現場進行參訪，實地瞭解執行情形並與工作人員經驗訪談及技術交流，且Caorso電廠與核一廠屬同一機型，更能貼近實際情境，俾參訓人員吸收電廠除役實務經驗，提供後續公司進行除役規劃之重要參考。

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

目錄

一、出國目的.....	1
二、出國行程.....	2
三、研習課程規劃與摘要.....	3
(一) SOGIN 公司除役研習課程.....	3
1、管制規定.....	3
2、除役策略.....	5
3、成本估算.....	7
4、除役技術.....	10
5、廢棄物管理.....	16
(二) Caorso 核能電廠除役作業實習.....	18
1、Caorso 核電廠現況.....	18
2、用過核燃料及燃料格架處理.....	18
3、放射性廢棄物管理(三個儲存場).....	22
4、建築、設施、設備拆除及規劃.....	24
四、心得.....	26
五、建議.....	28

圖目錄

圖 1、	義大利核設施除役程序.....	4
圖 2、	核設施除役的執行步驟.....	6
圖 3、	成本結構架構.....	8
圖 4、	義大利 SOGIN 公司所屬 4 座核電廠之基本資訊	8
圖 5、	除役成本估算之國際間比較結果.....	9
圖 6、	義大利 SOGIN 公司除役基金募資流程	9
圖 7、	核電廠各階段輻射特性調查之目的.....	11
圖 8、	SOGIN 公司所使用輻射特性調查程序	11
圖 9、	中子活化評估流程.....	12
圖 10、	金屬、混凝土和土壤的除污技術方法.....	14
圖 11、	Caorso NPP 系統除污流程圖	14
圖 12、	Garigliano NPP 污染煙囪拆除作業	15
圖 13、	廢棄物處理設施(WMF)之處理流程	17
圖 14、	Caorso NPP 廢棄物處理設施(WMF).....	17
圖 15、	義大利核子設施分佈圖.....	20
圖 16、	燃料運輸桶吊掛過程.....	20
圖 17、	置於 PIT 的燃料格架.....	21
圖 18、	WMF 配置圖	24
圖 19、	汽機轉子移除過程.....	25
圖 20、	熱切割房.....	25

表目錄

表 1、	不同種類的放射性廢棄物桶數.....	22
表 2、	不同顏色的桶子所裝載之不同種類的廢棄物.....	22

一、 出國目的

依據「核子反應器設施管制法」第23條規定，經營者應於核子反應器設施預定永久停止運轉之三年前提出除役計畫，而核一廠1、2號機運轉執照年限為40年，因此該兩部機組將分別於107年及108年屆期停止運轉，故本公司依法已於104年11月24日陳報行政院原子能委員會「核一廠除役計畫」。

考量本公司將首次面臨核能電廠除役工作，須積極汲取國外除役中核能電廠之實際經驗，以進行除役工作之整體規劃，有必要派員赴國外接受核能電廠除役相關課程實習，蒐集最新核能電廠除役資訊，以期培養本公司核能電廠除役種子教師及提升本公司除役相關專業能力。

本次實習計畫選擇義大利SOGIN(Società Gestione Impianti Nucleari, SOGIN)公司之核能廢料管理學校(Radwaste Management School, RMS)為受訓地點，SOGIN公司是義大利在1999年成立的放射性廢棄物管理、核子設施除役的國營公司，主要負責核子與放射性廢棄物管理及義大利所有核能電廠的除役工作，並開辦有核能廢料管理學校，負責培訓除役作業人才及除役利害關係人參訪解說專業人員，且因辦理成效佳也吸引國際上其它公司派員前往接受訓練。

本次訓練課程內容含括除役策略與技術、輻射特性調查、拆除策略與技術、廢棄物管理等5天課程，課程講師自除役規劃至除役作業活動均有相當完整經歷及豐富之應用實例，必能帶給參訓者對除役工作更深入之了解。

另有3天安排前往除役中之Caorso電廠之作業現場進行參訪，實地瞭解執行情形並與工作人員經驗訪談及技術交流，且Caorso電廠與核一廠屬同一機型，更能貼近實際情境，俾參訓人員吸收電廠除役實務經驗，提供後續公司進行除役規劃之重要參考。此外，透過本次實習課程亦可建立往後聯繫國際除役電廠相關經營者、主管機關、技術專家等之交流管道，可更快速獲取及分享國外最新之除役技術、經驗與資訊。

二、 出國行程

本次出國實習計畫於105年11月5日至11月18日在義大利舉行，為期14天(含交通轉乘時間)之訓練課程，第一週在SOGIN公司位於義大利羅馬城市之核能廢料管理學校參訓，第二週前往Caorso核電廠現地參訪及實作。

- 105 年 11 月 05~06 日 行程 (台北 → 義大利)
- 105 年 11 月 07~11 日 核能廢料管理學校之課程研習
- 105 年 11 月 12 日 整理受訓資料
- 105 年 11 月 13 日 交通行程(前往 Caorso 核電廠)
- 105 年 11 月 14~16 日 Caorso 核能電廠除役作業實習
- 105 年 11 月 17~18 日 返程 (義大利 → 台北)

三、 研習課程規劃與摘要

(一) SOGIN 公司除役研習課程

SOGIN公司除役研習課程內容主題包括法規、除役策略、成本估算、輻射特性調查與除污、除役技術、除役放射性廢棄物管理與最終處置等，講師由義大利SOGIN公司及Caorso核能電廠內部各領域經驗豐富之專家擔任。

本次除役研習課堂訓練課程相當全面且實用，並涵蓋該公司在核設施除役領域上實務的經驗分享，課程非常豐富在此無法詳實羅列，特將參訓所獲得的相關技術、經驗、方法以及摘要分成五大課題彙整說明如下。

1、 管制規定

義大利法規架構主要包含四個層級，分別為法（內含法律Act）、法令(legislative decree)、以及命令(decree)、行政法令(Ministerial decrees)、技術導則(Technical Guides)、與技術標準(Technical Standards)。

核發除役許可機關為經濟發展部(Ministry of Economic Development)，核准依據係基於國家環境保護與研究署(National Institute for Environmental Protection and Research, ISPRA)的技術建議，以及環境影響評估的評核，亦要求內政部、勞動部、與衛生部需提供相關建議。

核能電廠除役許可申請程序主要規範於Legislative Decree n. 230/1995第55-57條，除役作業前須獲得經濟發展部核准，而ISPRA將對該除役申請案提供技術建議，包含核准除役申請的技術規範，而環境影響評估的評核主要由環境與領土部(Ministry of Environment and Territory)執行。

除役過程中ISPRA管制重要考量因素為使執照者能夠安全進行各項除役活動，並確保放射性危害明顯遠低於核電廠運轉階段，因

此除役許可須同時取得除役計畫(DP)及環境影響評估(EIA)的核准，但在取得核准前，仍可在特設管制規定(“ad hoc” authorizations)下執行相關除役活動，例如：Caorso NPP在2014年才取得除役許可，卻已完成汽機廠房內相關設備組件、廢氣廠房及RHR部分冷卻塔拆除工作。

義大利法規要求除役終止狀態須為廠址無條件的釋出，除役過程(如圖1)首先同時進行廢棄物的處理和用過核子燃料的移除，以及核設施之系統及結構物的除污和拆除工作，並將無法外釋的放射性廢棄物暫時貯存在廠內成為保留區(BROWN FILED)，待國家處置場址設置完成後，移除廠內所有放射性廢棄物，方可釋出廠址成為綠地(GREEN FIELD)。

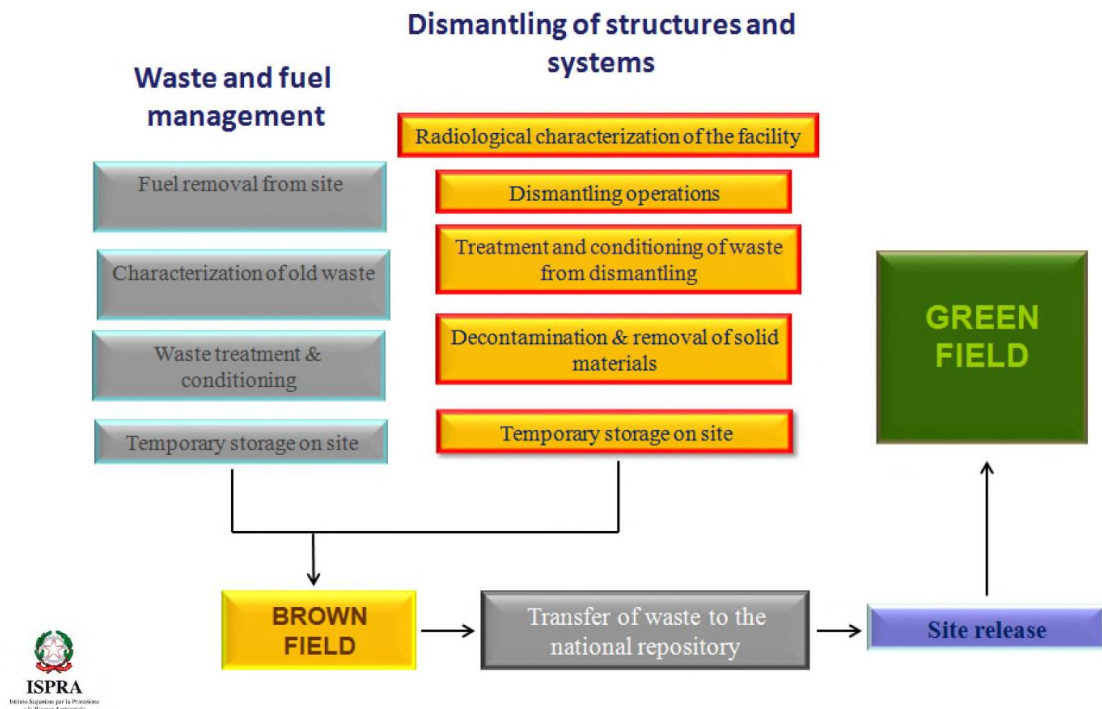


圖1、義大利核設施除役程序

2、除役策略

核設施除役的執行步驟(如圖2)從永久停機開始，首先進行先期的除役準備工作，依據國家政策決定除役策略分為立即除役(immediate decommissioning)、延後除役(deferred decommissioning)及固封(entombment)，確立除役策略後執行廢棄物處理及處置，移除所有放射性廢棄物即可進行廠址復原及釋出作業。

除役策略會依據國家政策而影響執行的方向，義大利1990年前因放射性廢棄物處置等相關決定持續延宕，使得核能電廠永久停機後，初期階段決定實施延後除役策略，然而1990年後卻因輻射劑量未如預期般顯著降低、廠內須維持足夠的營運人員及當地政府要求盡速使場址作為其他用途等內外因素，而改採立即除役策略，並成立核能電廠管理公司(SOGIN)為所有永久停機核能電廠的受讓人，負責立即除役策略。

義大利核能電廠管理公司(Società Gestione Impianti Nucleari, SOGIN)則隸屬於經濟與財政部(Ministry of Economy and Finance)，主要負責所有核能電廠除役與放射性廢棄物管理，包含處置設施選址、設計、建造、與營運，以及放射性廢棄物長期貯存與處置作業。

制定除役策略除考量國家政策外，尚需關注的因素有資金來源、成本、用過核子燃料及放射性廢棄物的管理、管制法規、經驗傳承、社會和經濟影響以及利害關係人等，其中資金來源需及早預作準備，確保除役過程能夠安全有效率且準時完成，若經費不足將會使早期的花費都集中在確保核能安全及降低職業災害上。

而用過核子燃料及放射性廢棄物的管理也是重要的考量因素之一，若無適當的處置場址，除役策略有兩項選擇：一為執行立即除役(DECON)並將放射性廢棄物暫時貯存在核設施內或移往中期貯存設施，另一則為延後除役(SAFESTORE)直到廢棄物處理能夠獲得解決為止，例如：Caorso NPP在2001年決定改為立即除役(DECON)，關鍵因素則為決定將1032束用過核子燃料運往法國再處理，以及將355噸低活度(1.84 GBq)放射性廢棄物運往瑞典進行焚化作業。



圖2、核設施除役的執行步驟

3、 成本估算

核電廠除役成本估算(Cost Estimation)目的在於達成準確的成本估算和時間表，以避免成本超支和進度落後，相應的工作項目有策略擬定、範圍設定、廠址特定調查、建立工作分解結構(Work Breakdown Structure, WBS)、建置專案管理資訊系統(Project management information system, PMIS)等。

國際間針對除役成本的參考準則係依據IAEA邀集相關單位(OECD-NEA、EC等)所制定國際核能設施除役費用估算結構(International Structure for Decommissioning Costing, ISDC)，提供核電廠除役專案之計價項目之標準格式，並希冀藉此格式協助除役專案工作之成本估算之推展及溝通，並避免有前後不一致或矛盾之情形。

ISDC所定義成本結構架構(Cost Structure Hierarchy)分成四個階層(如圖3)為Level 1-主要工項(Principal Activity)、Level 2-工項群組(Activity Group)、Level 3-工作細項(Typical Activity)及Level 4-工作封包(work package)，其中第一階層的主要工項可分為：1.除役前行動、2.設施關閉行動、3.通用設備與材料採購、4.拆除活動、5.廢棄物、貯存與處置、6.廠區保安、監控與維護、7.廠區復原、清理與綠化、8.計畫管理、工程與廠區支援、9.研究與發展、10.燃料與核子材料以及11.其他費用，成本是先由工作細項估算而得，然後再依序往上層累加而得到最後的除役成本。

SOGIN公司參考ISDC導則自行開發所屬的成本估算方法，並在2006年底就所屬4個核電廠(如圖4)進行除役成本估算之國際間比較研究，結果顯示Caorso(BWR)的估算接近於相同類型及功率之機組的平均值，而Garigliano(BWR)及Trino(PWR)的估算皆低於相似機組的平均值之下，如圖5所示。

SOGIN公司每年滾動更新未來3年之成本估算，並準備所有除役計畫和費用估算提送政府進行審查，依據所批准之費用估算來募集除役基金，所有活動從設施停止到最後釋出都須列入成本要求，包

括用過燃料處理、廢棄物管理處置、廠址解除及監控等。另外，廢棄物再利用之成本回收亦須考慮於成本估算中，並在2009及2010年曾被該國電力與天然氣管理局強制要求降低有關運轉、維護及安全等項目成本，如圖6所示。

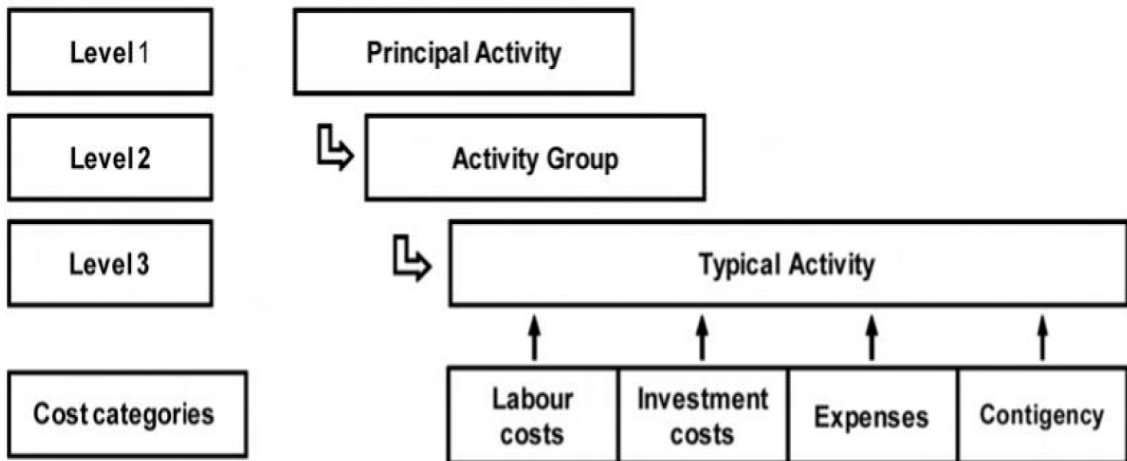


圖3、成本結構架構

NPP	Type	Designer	MWe	Commercial operation	Shutdown
Latina	Magnox	TNPG	200	1963	1986
Garigliano	BWR Dual cycle	General Electric	150	1964	1978
Trino	PWR	Westinghouse	260	1964	1987
Caorso	BWR	AMN - GETSCO	860	1978	1986

圖4、義大利 SOGIN 公司所屬 4 座核電廠之基本資訊

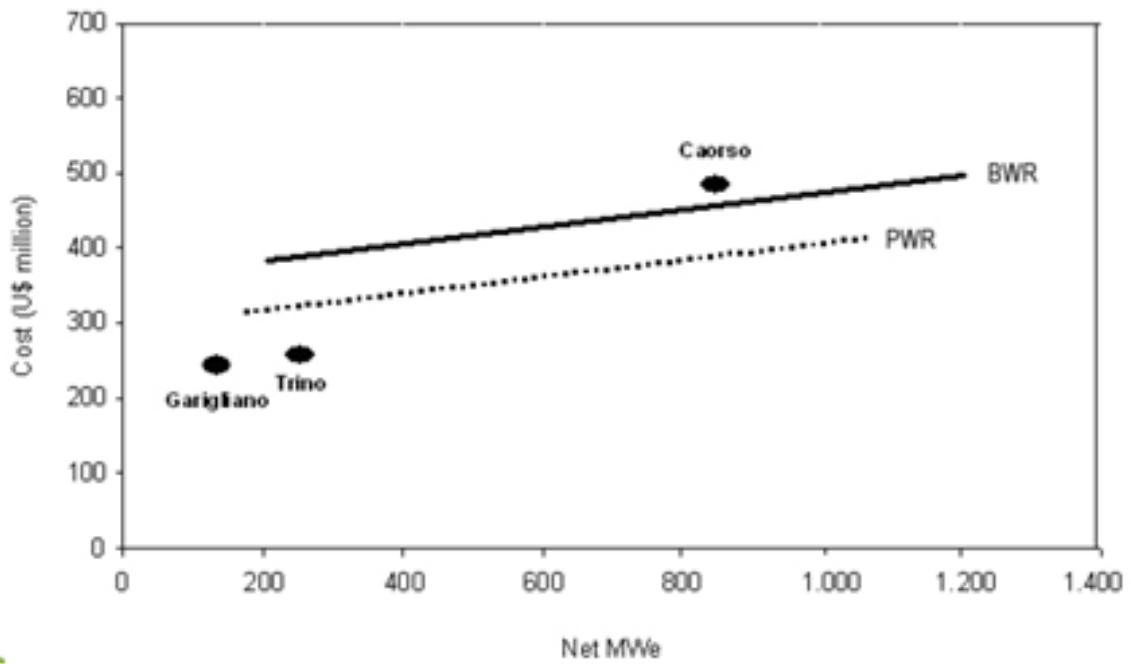


圖5、除役成本估算之國際間比較結果

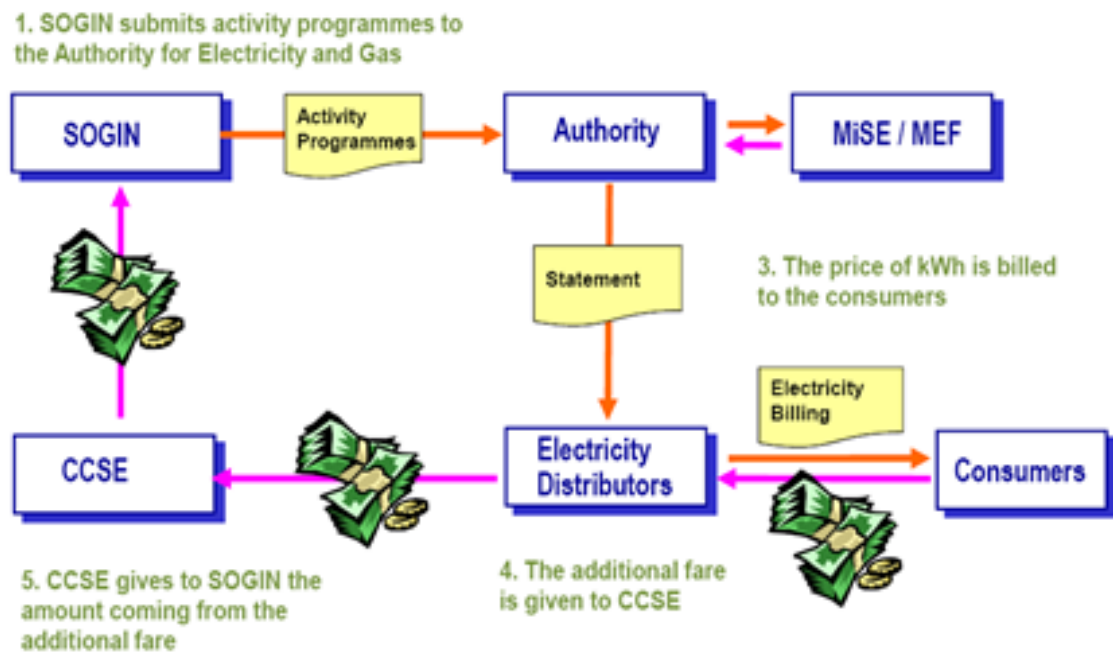


圖6、義大利 SOGIN 公司除役基金募資流程

4、除役技術

核電廠的除役工作從先期準備、用過核子燃料和廢棄物移除、設備和建物拆除至廠址復原為止，除役期程難以精準掌控，所需除役技術也隨著工作進程不斷與時俱進，主要的工作項目有輻射特性調查、系統和組件除污以及設備和建物拆除，分別摘述相關課程內容如下：

(1) 輻射特性調查

此項工作於核電廠建造申照、運轉、永久停機、除役乃至廠址釋出皆須持續進行，針對除役前後的輻射特性調查之目的不盡相同，除役過渡期間是為建置除役計畫及估算除役成本之用，拆除階段則為系統除污驗證、工作人員劑量評估、廢棄物分類及產量估算等用途，而執照終止階段則須執行廠址最終偵測以符合釋出標準，如圖7所示。

SOGIN公司所使用輻射特性調查程序如圖8所示，與本公司參考MARSSIM和MARSAME所建議之程序相近，相關程序為：1.廠址歷史評估；2.中子活化評估；3.初始和除役執行階段輻射特性調查；4.最終狀態監控。因爐心與其內部組件結構複雜，Caorso NPP針對反應器中子活化評估採用一維(XSDRNPM)與二維(DOT 3.5)資訊進行中子遷移計算，以合成三維空間中子通量分布，再利用ORIGEN-S程式進行活化分析取得活化評估結果(如圖9)。

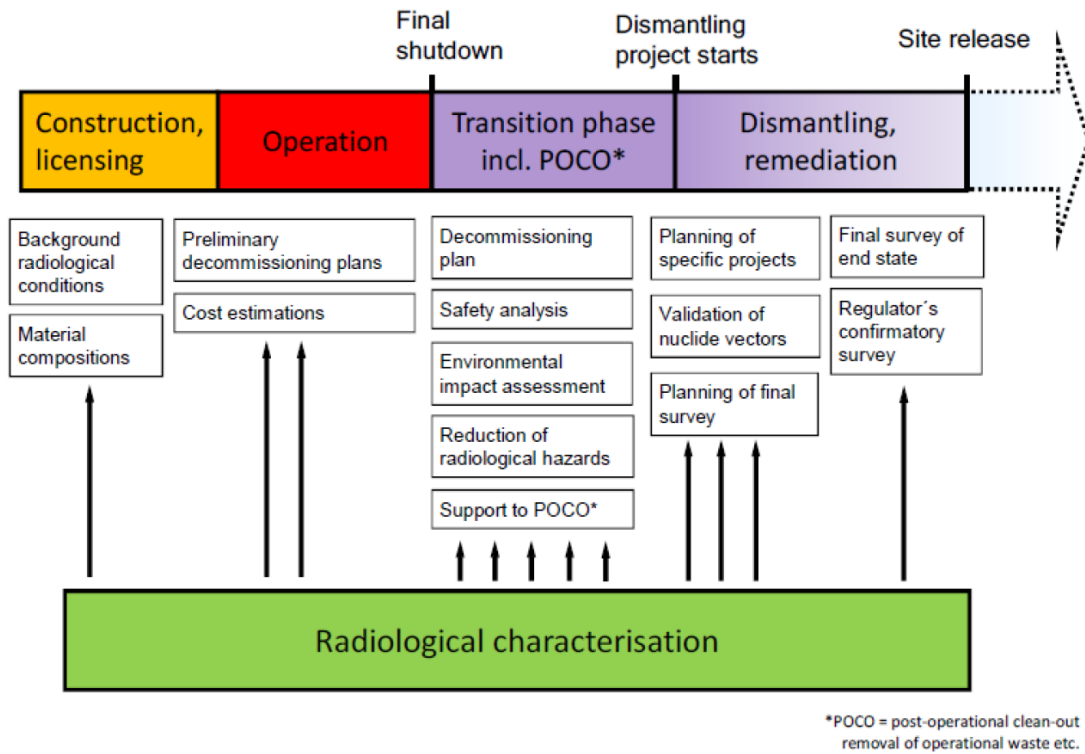


圖7、核電廠各階段輻射特性調查之目的

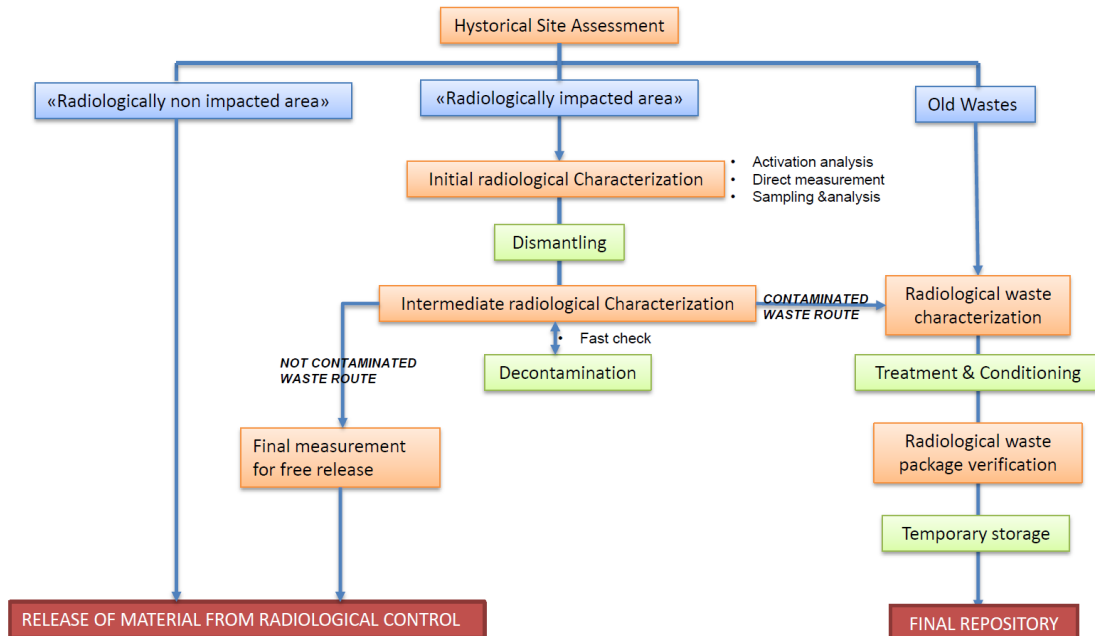


圖8、 SOGIN 公司所使用輻射特性調查程序

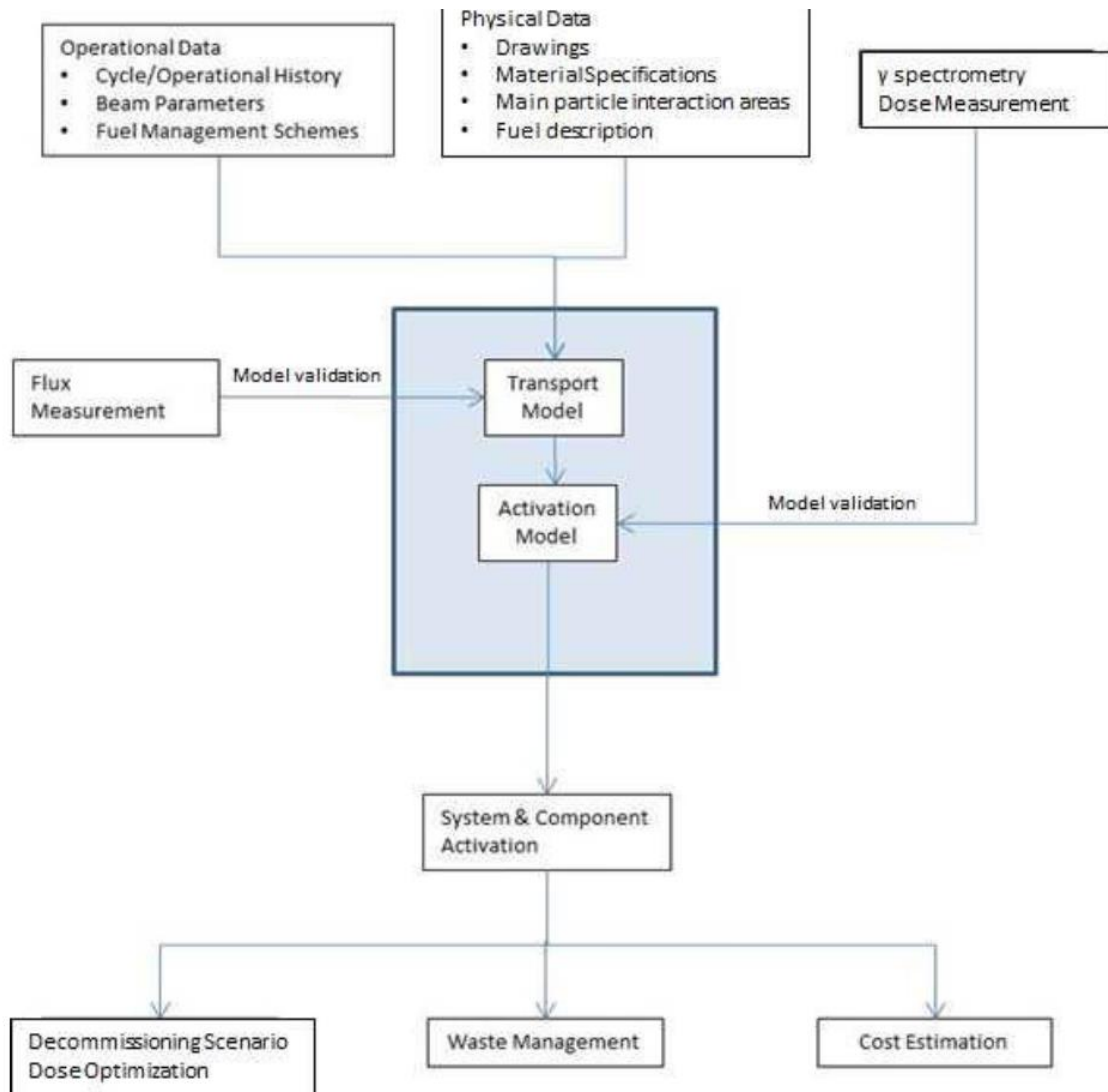


圖9、中子活化評估流程

(2) 系統和組件除污

核電廠除役階段所進行除污工作之目的為降低輻射暴露、設備材料再利用、減少放射性廢棄物產量及復原廠址等，過程中除關注除污效果外，仍需衡量二次廢棄物的產生及所需除污成本，針對金屬、混凝土和土壤的除污技術方法列舉如圖10所示。

其中，系統除污目的為移除系統內部及管件表面之放射性污染物質，進而降低工作人員於進行系統拆除作業時之輻射暴露，根據IAEA建議應選擇除污效果較好或除污因子(Decontamination Factor, DF)較高之除污技術，DF值的要求至少須大於10。

Caorso NPP採用CORD-UV(AREVA)系統除污技術，經評估人員劑量之影響程度僅針對反應器再循環系統(RRS)及爐水淨化系統(RWCU)進行系統除污，平均DF值分別為93(RRS)及359(RWCU)，如圖11所示。

	Chemical (open and closed systems)	Electro-chemical (open systems)	Physical	Combined/ Other
Metals	Oxidation Oxidation-reduction (for instance CORD-UV applied in-line at Caorso NPP) LOMI (for BWR – closed system) Foams (closed system) Reagents	Phosphoric acid Nitric acid Oxalic acid Sodium sulphate Citric acid Sulphuric acid	Ultrasonic High pressure CO2 ice Ice water Freon Abrasive wet Abrasive dry Grinding	Pastes Foams/Gel Vacuum cleaning Melting
Concrete			Scabbling Milling/Shaving Rock breaker/ Jackhammer	
	Biological	Non-Biological		
Soil	Land-farming Bio-venting Natural Attenuation Phyto-remediation Bio-sparging Bio-rehabilitation in-situ	Vitrification (Thermal) Incineration (Thermal) Soil washing (Physical-chemical) Soil vapour extraction (Physical Chemical) Electro-kinetic (Others)		

圖10、 金屬、混凝土和土壤的除污技術方法

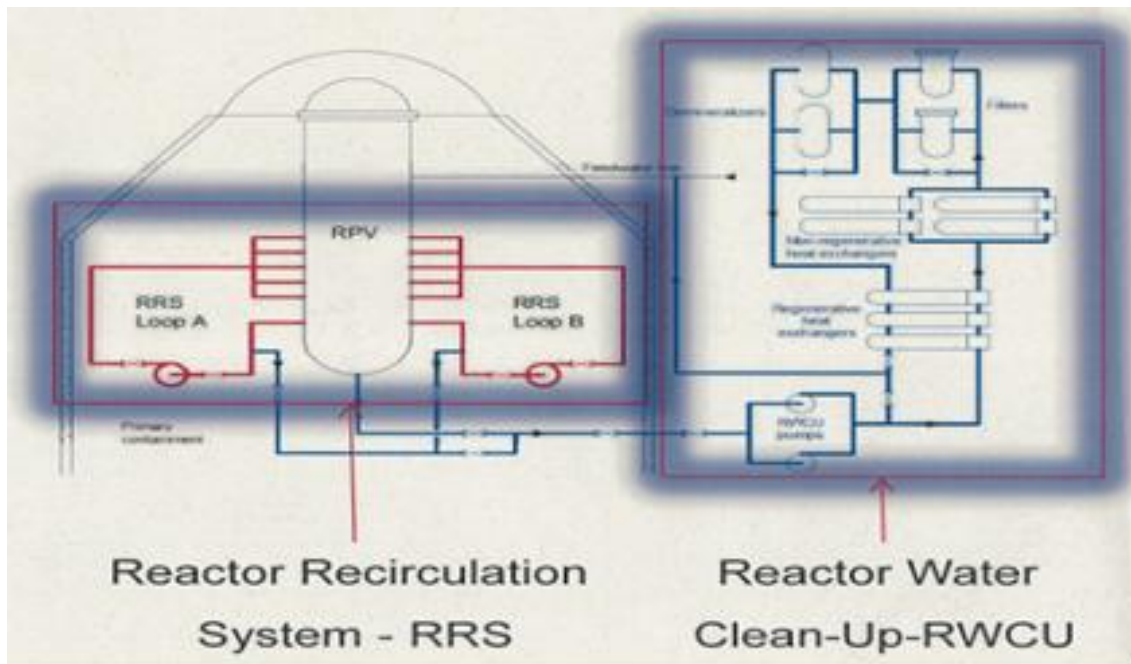


圖11、 Caorso NPP 系統除污流程圖

(3) 設備和建物拆除

核電廠除役之主要拆除項目為反應器壓力槽及其內部組件、大型組件(桶槽、NSSS系統等)及混凝土結構，拆除過程首先需執行輻射特性調查以進行工作人員輻射防護、廢棄物處理包裝及運送貯存或處置等前置規劃工作，而針對較高污染之反應器壓力槽及其內部組件的拆除作業，建置3-D模型有助於選擇適當的切割方法、決定拆除順序及規劃廢棄物處理包裝之動線等工作順利推展。

核電廠建物拆除需利用各項技術來達成分段拆除、指定區域拆除及限制污染區附近的拆除等作業目標，SOGIN提供所屬Garigliano NPP拆除污染煙囪的實際執行案例(圖12)，有助於瞭解建物拆除的主要步驟為開發遠端除污、刨除和輻射偵測的機械設備、建構模型建物(Mock-up)執行可靠度測試、進行煙囪內部表面的輻調和刨除作業、結構物風洞測試和分析以及全部除污後進行由上至下逐段拆除，作為日後建物拆除流程規劃之最佳參考範例。



圖12、 Garigliano NPP 污染煙囪拆除作業

5、廢棄物管理

SOGIN參考IAEA一般安全導則(GSG-1)的放射性廢棄物分類標準分成六類廢棄物為：外釋(Exempt Waste)、非常短半化期(Very Short Lived Waste)、極低活度(Very Low Activity)、低活度(Low Activity)、中活度(Medium Activity)及高活度(High Activity)，以符合義大利未來設置最終處置場(National Repository)的貯存規定，而除役過程所產生的放射性廢棄物須妥善處理及固化以便運送到處置場。

除役過程所產生的廢棄物大部份屬於可外釋，有些放射性廢棄物經過除污後達可放行的標準即可釋出回收再利用，因此，Caorso NPP先完成汽機發電機相關設備移至廠外進行回收再利用，並於2009年在汽機廠房內原汽機發電機的位置上完成廢棄物處理設施(Waste Management Facility, WMF)之改建工作如圖14所示，而WMF規劃有切割和噴砂除污(Segmentation (size reduction) and sand blasting decontamination)、化學除污(Phosphoric Acid DEContamination, PHADEC)、放行偵測(Monitoring for material clearance)、廢棄物容器灌漿(Waste container grouting)及暫時貯存(Buffer storage)等5個處理作業區域，盡可能將不需要的系統組件進行拆除、處理及最終偵測以符合放行標準，此項工作仍持續進行中。

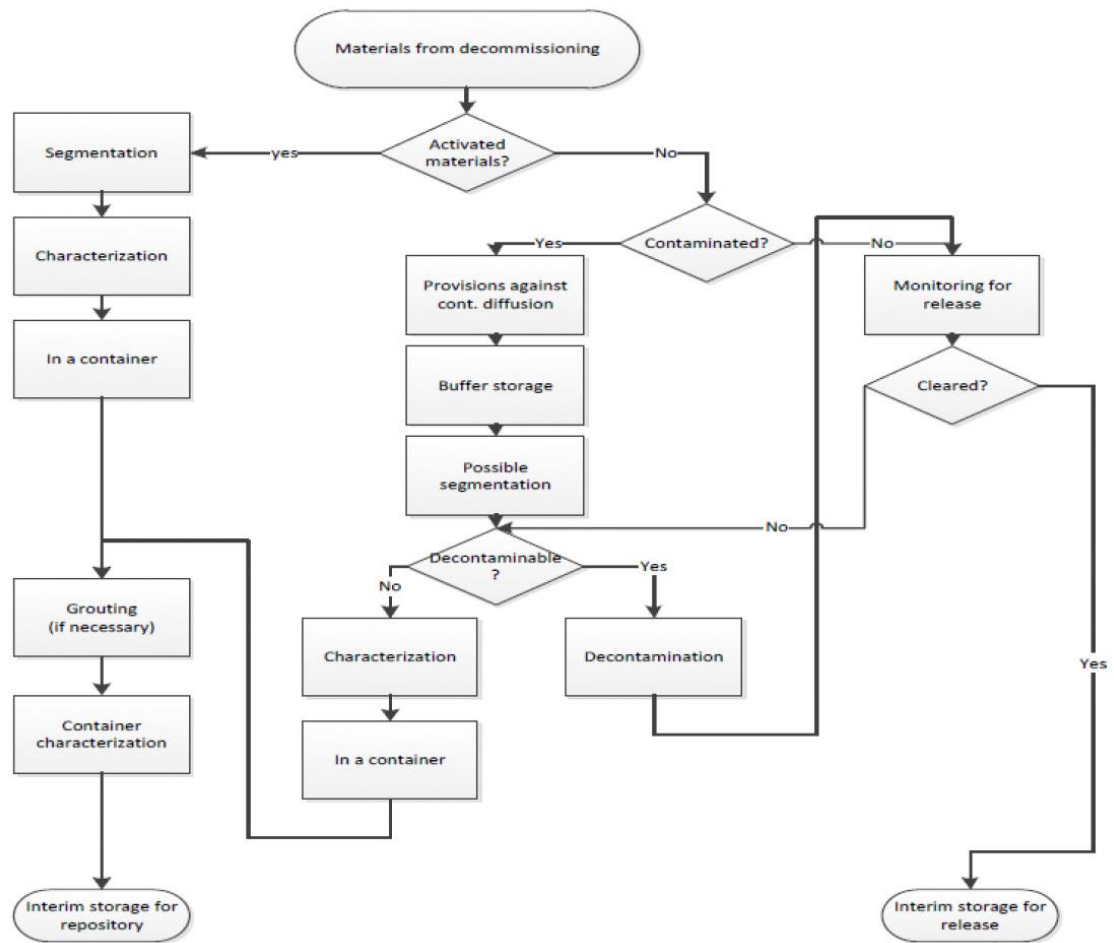


圖13、 廢棄物處理設施(WMF)之處理流程



圖14、 Caorso NPP 廢棄物處理設施(WMF)

(二) CAORSO 核能電廠除役作業實習

1、Caorso 核電廠現況

位於義大利北方的Caorso核電廠是一座單一機組的BWR 4(沸水式反應爐第4型)核電廠，圍阻體形式為Mark II型、額定熱功率2,651MWth、毛發電量860MWe，整體而言與我國的第一核能發電廠十分相似。Caorso核電廠於1970年開始興建，並於1978年商轉，在當時是全義大利發電量最大的機組。1986年適逢車諾比爾事件，義大利遂於1987年舉行全國公投終止了所有核電廠的運轉及核燃料處理廠的計畫，甫結束第4次大修燃料填換的Caorso核電廠尚未等到反應爐再次臨界和發電併聯，便提早走向除役之路。

Caorso核電廠從停機至今已完成許多重大的除役工作，包含：用過核燃料運送至再處理廠進行再處理、發電機拆除、廢氣系統建築物拆除、RHR(Residual Heat Removal)餘熱移除系統冷卻塔拆除、一次側循環系統的除污等。另就此三天的觀察，Caorso核電廠在放射性廢棄物的處置、建築物的改建或興建計畫、除役設施的建置…等項目，都完成初步規劃且執行中。下列就各項重要的議題進行較深入的報告。

2、用過核燃料及燃料格架處理

義大利於1970年代曾有核燃料再處理的計畫，除了既有的四座核電廠(Caorso、Trino、Latina、Garigliano)之外，尚有一座核燃料再處理廠(Saluggia EUREX)、一座燃料製造工廠(Bosco Marengo)及兩座研究用的反應器(Casacciar及Rotondella)，但隨著全國公投的結果，核燃料再處理計畫也一併宣告終止。Caorso核電廠的1032束用過核子燃料以及184束已置入燃料池的新燃料該如何處置成了一項關鍵的工作。

(1) 184束新燃料：

由於未曾經歷臨界運轉，雖已置入燃料池，但經過清洗及除汙，仍可視為可用的新燃料再以原本價格的70%左右賣回給原廠

家(Simens公司)。原廠家可取出燃料束內的鈾燃料丸重新製作新燃料束。

(2) 1032束用過核燃料:

SOGIN公司與法國AREVA公司已簽訂合約，在2007年~2010年期間，分批次將所有用過核燃料運送至法國La Hague核燃料再處理廠再處理。由於用過燃料屬於高放射性核物料，因此就其運送過程進一步說明如下:用過燃料的運送容器為AREVA TN 81型護箱，該護箱可裝載16束用過燃料。護箱先移至爐內設施水池(PIT)內加裝外側襯裙並充水以提高冷卻及輻射屏蔽的效果。接著置入燃料池內的cask pool再將16束燃料依序放入，並安裝屏蔽蓋。接著可將護箱移至平面的特製工作台進行洩水、乾燥、密封檢查、灌氬氣、壓力及輻射檢查等作業，最後送到平面樓將護箱平置於拖板上再行運送。此特製的工作台是由義大利FIAT公司製造。

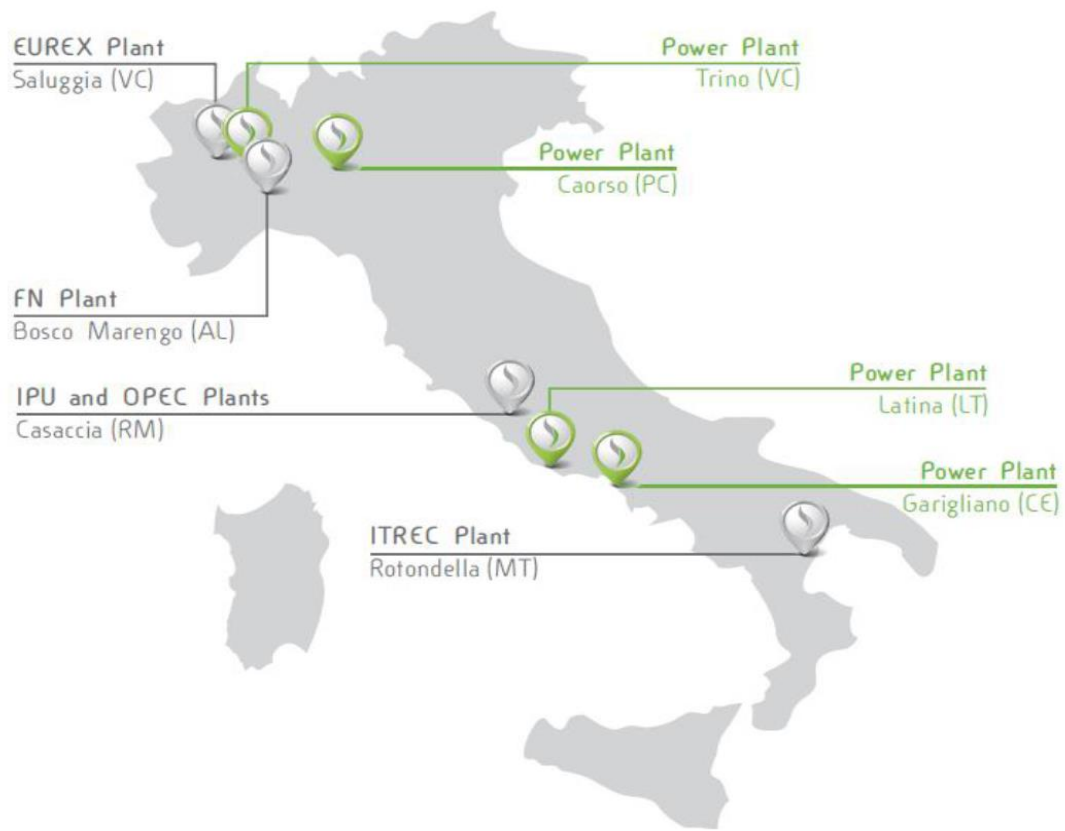


圖15、 義大利核子設施分佈圖



圖16、 燃料運輸桶吊掛過程

(3) 燃料格架

用來裝載核子燃料的燃料格架實際上並沒有太高的放射性，當格架內的燃料全數移出後便可進行清潔除污，目前Caorso電廠的燃料格架在燃料移出後已完成除污作業，並且吊離燃料池，暫放在已經無水且乾燥的爐內設備水池(PIT)中，以塑膠布覆蓋後存放，等待管制單位核准移出後送再處理廠回收可用的金屬。值得一提的是Caorso核電廠內的金屬物質，只要經過除污且低於法規的輻射劑量限值，皆可以回收再利用，而簽約的回收廠商則需要以1份回收金屬與9份新的金屬的比例相混合後才可以使其再利用。

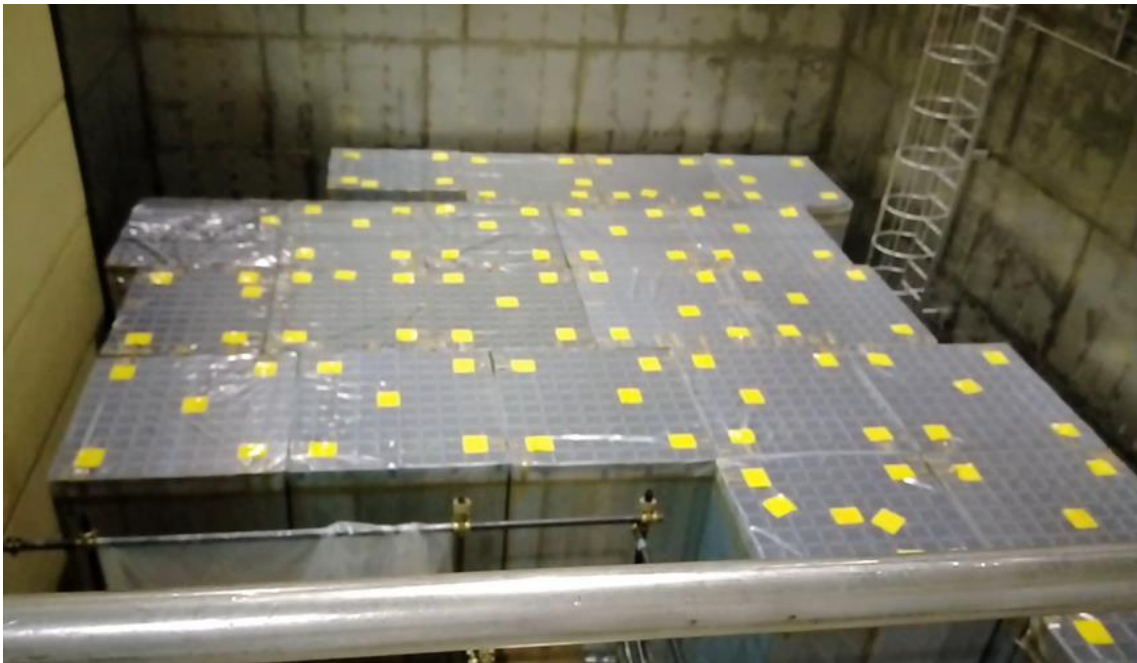


圖17、 置於 PIT 的燃料格架

3、放射性廢棄物管理(三個儲存場)

目前 Caorso 核電廠內共有兩座低階放射性廢棄物儲存場 (ERSBA1 & ERSBA2)，及一座中階放射性廢棄物儲存場(ERSMA)。三座放射性廢棄物儲存場總計存放不同種類的放射性廢棄物桶如下表。

表 1、不同種類的放射性廢棄物桶數

廢棄物種類	桶數
離子交換樹脂	5492
技術(乾性)廢棄物	1663
汙泥	357
固化廢棄物	852
其他	342
總數	8706

表 2、不同顏色的桶子所裝載之不同種類的廢棄物

白色	固化或壓縮廢棄物
黃色	活度>1850 MBq
灰色	技術(乾性)廢棄物
咖啡色	活度<1850 MBq
鍍鋅	重新包裝桶(裝載已破損的 220 公升桶)

現今Caorso核電廠內共有600個裝有乾性廢棄物的220公升桶已完成壓縮，將其體積縮小至原本的3到5分之一後再用380公升桶重新包裝；另外有約350公噸的低放射性完成焚化或熔化後將其殘渣重新包裝再送回Caorso核電廠，其體積縮小至204個廢料桶的大小。

為了符合現行的法規並透過新的設計讓廢料桶的再處理更為便利，兩座低放射性廢棄物儲存場(ERSBA1&2)皆須進行重建。透過實地觀察可發現，兩座低放儲存場內建築物本體並未通過耐強風的標準，所以已經安置的廢料桶外圍還需要架設繩網來固定廢料桶，以避免當屋頂因龍捲風損壞後，廢料桶有四散的可能。另外場內並沒有太多自動化的設施讓廢料桶可以精準的定位，這也影響到空間的運用或是搬運時的便利性，的確有其重建的必要性。

中階廢料處存場ERSMA專門儲存廢棄的離子交換樹脂或是污泥，目前儲存了約各約5500及360個廢料桶，這些廢料桶將會被送到捷克的Javis焚化廠進行再處理與固化，爾後再用380公升桶重新包裝後送回Caorso核電廠存放，此期間ERSMA廢料儲存場也會進行改建，以符合新的法規並可同時容納低、中放射性廢棄物。

參觀廢料儲存場的期間，電廠人員強調由於年代久遠許多廢料桶並沒有詳細的記錄，包括其內容物、重量、體積、核種、活度…等資訊，導致需要花許多時間及人力重新建立相關資料，這點若能在一開始就訂定明確準則，可以減少許多工時。

此行也參觀了SOGIN公司自行研發的自動化廢料桶輻射偵測設施，並直接展演，目前透過使用該設施，已完成ERSBA所有的廢料桶輻射劑量量測。

4、 建築、設施、設備拆除及規劃

與台灣的作法不同，Caorso核電廠在取得除役執照前，便可先進行已獲得管制機關許可的「除役前行動」，此「除役前行動」並非單指輻射特性調查或是除役規劃，而是真正拆除電廠的某些部分，例如：汽機及發電機、廢氣廠房、RHR冷卻塔。在完整的拆除計畫送審核備之後，Caorso核電廠已完成上述設備及建物的拆除。

汽機轉子經拆除且除污後低於法規的輻射劑量限值，皆可以回收再利用。義大利的法規規定進入除役階段後，廠區內的建築物的總體積無法再增加，因此，這些拆除設備後的建築可直接再利用，改建後作為其他用途。以汽機廠房為例，汽機廠房三樓已改建為放射性廢棄物處理設施(WMF)，用來集中處理所有在電廠拆除過程中產生的廢棄材料。在Caorso核電廠的WMF裡有許多不同的設備如:切割機、熱切設備、噴砂房、化學除污房、輻射偵測等，最主要的目的就是盡可能的減少放射性廢棄物的產量，增加可回收的材料。Caorso核電廠表示，經過WMF處理後的放射性廢料，其體積是原本的2%，成效相當卓越。

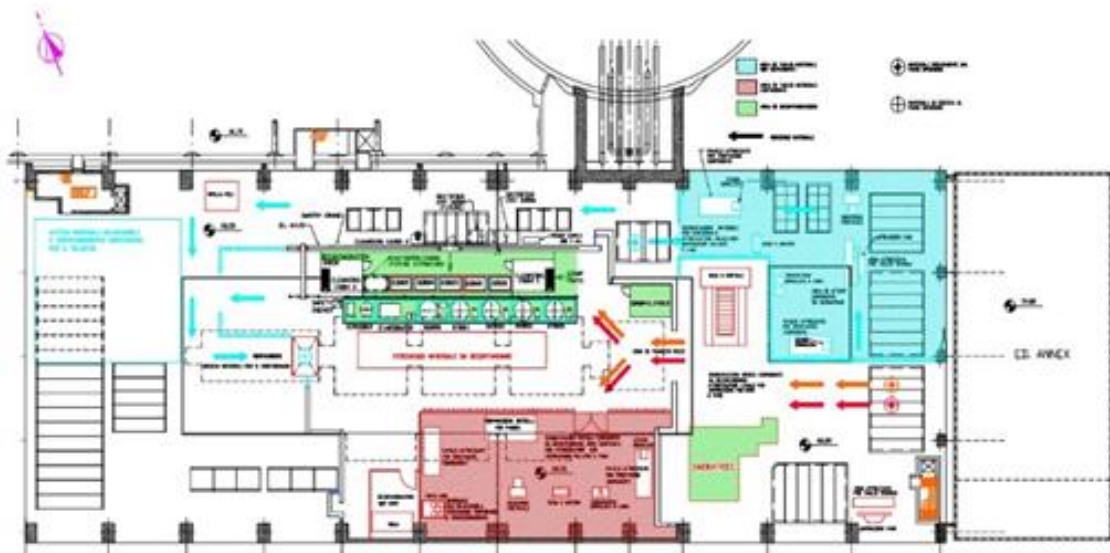


圖18、 WMF 配置圖



圖19、 汽機轉子移除過程



圖20、 熱切割房

四、心得

- (一) 本次出差前往義大利國營SOGIN公司，參加該公司核能廢料管理學校開辦之除役訓練課程，課程內容涵蓋除污策略與技術、輻射特性調查、拆除策略與技術、廢料管理等5天之學理課程，接著前往該公司旗下Caorso核能電廠進行3天的除役作業實習與觀摩，理論與實務兼具；藉由訓練與觀摩所獲的經驗與技術訊息，將可提供本公司目前除役作業規劃及未來進行除役工作之參考。
- (二) 義大利核能工業自1960年代開始發展，境內有4座核能電廠及4座核子設施(包括研究型反應器、核燃料製造廠與再處理廠)，義大利政府於1987年舉辦國家核能政策公投，並於後續國家能源計畫中放棄使用核能發電，自1990年起全部核能電廠進入永久停機狀態。由於放射性廢棄物處置策略及設施等相關決策之延宕，義大利核能電廠永久停機後，初期階段採用延後除役(deferred decommission)策略，由國家電力公司(ENEL)負責除役作業，並提出安全貯存的延後除役申請，同時尋求放射性廢棄物處置之策略。
- (三) 放射性廢棄物之處置及管理策略將影響除役策略之選擇，由國際各國經驗可知，政府對用過核子燃料及放射性廢棄物的處理應有明確的決定，以供執行者據以遵循，有效運用有限的財務與人力資源，安全順利的完成除役與廢料處置作業，確保社會大眾安全之保障。若因決策延宕導致除役作業無法進行或延續，將徒耗營運財務及人力資源，例如義大利於核能電廠永久停機後，大部分員工即轉業或歷經數年後退休，待除役工作要進行時，卻面臨缺乏熟悉電廠的關鍵人力，必須耗費相當資源重新建立人力資源與專業團隊。
- (四) 隨者許多考量因素之變化，例如核能電廠或設施內需維持足夠的營運財務資源與人力、永久停機後輻射劑量未如預期般顯著降低，義大利政府在除役策略上改採較積極的立即除役策略，故於1999年成立國營SOGIN公司，承接核能電廠與核子設施資產，負責境內所有核能電廠及核子設施之除役，以及放射性廢棄物之處理及處置。SOGIN公司自2002年提交4座核能電廠的立即除役申請，於2012至2014年陸續取得3座核能電廠的除役許可，目前已累積相當程度的除役技術與經驗。

- (五) SOGIN公司成立後積極招募各領域之專業人才，並設立核能廢料管理學校，除了長期培育與整合跨領域專業團隊、執行協力廠商之職業安全教育，建立自主技術與制度，同時亦放眼國際核能電廠及核子設施除役的市場，積極在國際核能業界推展除役作業之教育訓練，以及技術輸出之機會；其積極建立技術及發展制度之策略值得學習。
- (六) 義大利核能電廠除役前須提交除役計畫送審，但在取得除役許可執照前，主管機關針對個別除役相關作業經審查後亦核准業者執行；例如Caorso電廠在2014年取得除役許可前，獲准進行用過核燃料運送至海外再處理(2007~2010年)、主汽機及發電機移除(2009~2012年)、廢氣廠房拆除(2013年完成)、餘熱移除系統(RHR)冷卻水塔拆除(2008年完成)、一次系統除污(2003~2004年，包括反應爐再循環系統RRS及爐水淨化系統RWCU)，以及建置除役所使用的廢料管理設施(包括組件除污、切割、壓縮減容及廢料分類與暫存等設施，目前仍持續進行中)。故其除役計畫是整體全貌性的計畫，針對個別除役作業或準備工作若經評估安全無虞，另考量整體除役排程規劃與資源之有效運用，經主管機關審查核准執行，使除役工作更安全順利的完成。

五、 建議

- (一) 為了除役作業與放射性廢料處理之溝通與宣導，**SOGIN**公司的核能廢料管理學校也在**Caorso**電廠所在地設立訓練中心，安排來自義大利各地的學生前來接受核能相關之核能安全、環境保護及輻射防護之訓練課程。著眼於除役利害關係人之溝通，台電公司亦可考慮於北部及南部核能展示館成立類似功能的機構，進行除役作業與放射性廢料處理之溝通與宣導。
- (二) 放射性廢棄物處置方面，義大利的規劃是將低階放射性廢料用近地表處置，高階放射性廢料則以深層地質處置，目前正進行國家處置場之選址，**SOGIN**公司已完成潛在適合地區位置圖與近地表處置的初步設計概念，值得本公司進一步了解，尋求是否有觀摩或合作的機會。
- (三) **Caorso**電廠與核一廠具有同型**BWR-4**反應器，除役工作經多年規劃與提交申請，已於2014年取得除役許可，目前汽機廠房設備均已完成拆除，並利用該廠房空間建置除役使用的廢料處理設施，包含切割、除污、減容壓縮以及廢料分類與暫存空間，後續除役拆除之廢棄物即可運用此設施進行處理。考量整體除役計畫之排程與廠區廠房空間之運用，台電公司未來亦可參考這種廠房空間運用模式，採取最佳的廢料處理設施建置方式。