

GIORNATA DI STUDIO AIN 2020

Rivalutazione di alcuni progetti a vita intera sulla base delle esperienze internazionali



IAEA

International Atomic Energy Agency

Società Gestione Impianti Nucleari (SOGIN)

IAEA Collaborating Centre

for

Knowledge Transfer and Training
for Nuclear Decommissioning

2019–2023

FRANCESCO TROIANI

Direttore Sviluppo e Innovazione Tecnologica

troiani@sogin.it

DOMENICO PILORUSSO

Responsabile progetti

pilorusso@sogin.it

16 luglio 2020

1. Gestione dei Rifiuti Radioattivi:

- è uno dei processi fondamentali alla base del *PTGvi* ed è oggetto di continuo confronto con altri Operatori internazionali;
- i rifiuti sono il “prodotto” principale delle attività aziendali, alle quali sono associati buona parte dei costi complessivi, in relazione alle sequenze lavorative, apparecchiature ed impianti di trattamento, materiali e contenitori, nonché allo smaltimento finale;
- ad essi sono associati i principali vincoli regolamentari ed incertezze, con sensibili ricadute su tempi e costi.

2. Smantellamenti delle isole nucleari (vessels e internals):

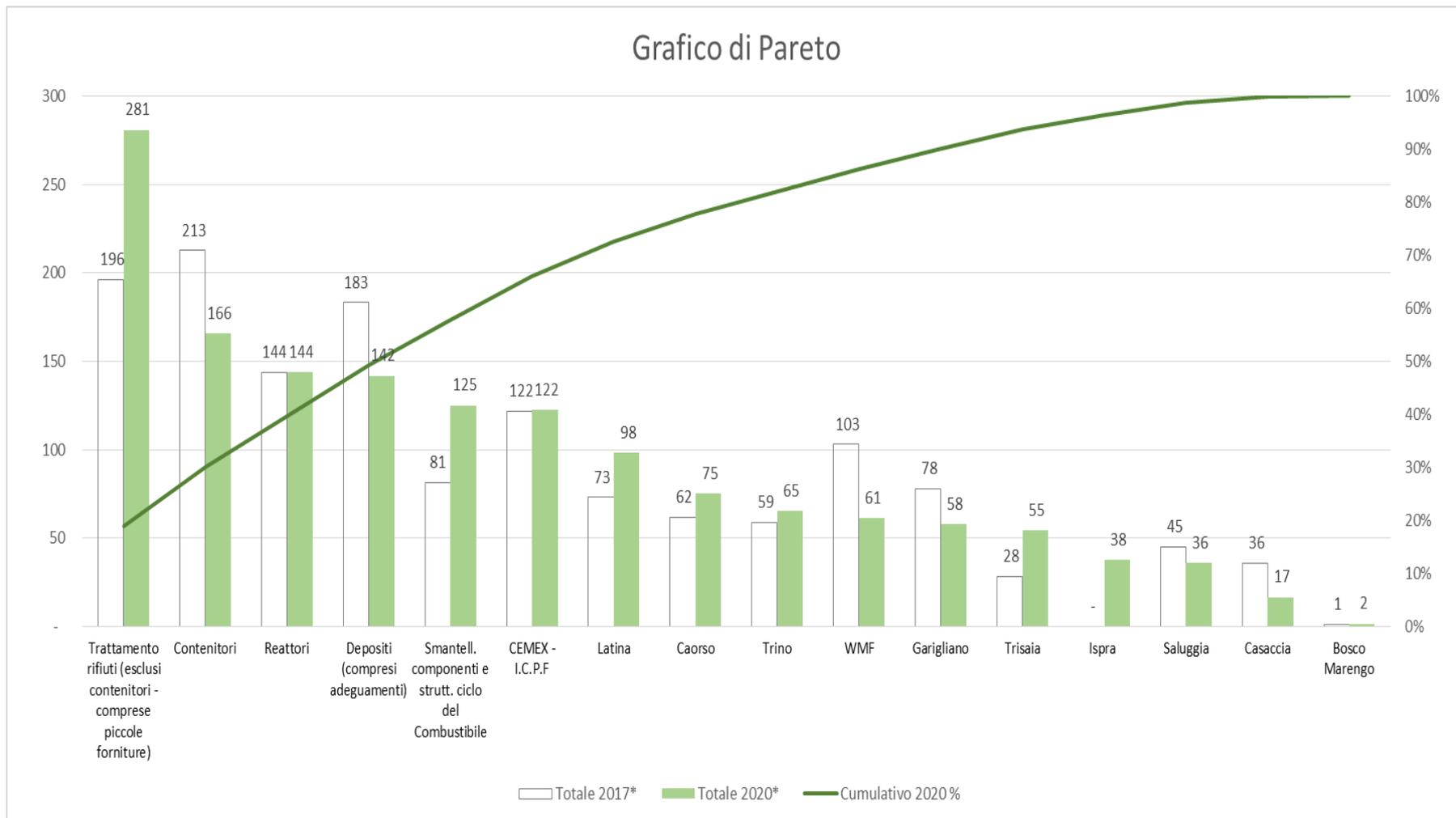
- sono le attività di decommissioning più impegnative, in termini di tecnologie, costi e sicurezza radiologica;
- sono le attività avviate più di recente che impegneranno il gruppo Sogin nei prossimi anni.

3. Waste Oxidation Technology:

- è una delle principali sfide tecnologiche in tema di trattamento rifiuti radioattivi a media attività;
- beneficia di tecnologie sviluppate a livello internazionale nel settore convenzionale da «nuclearizzare».

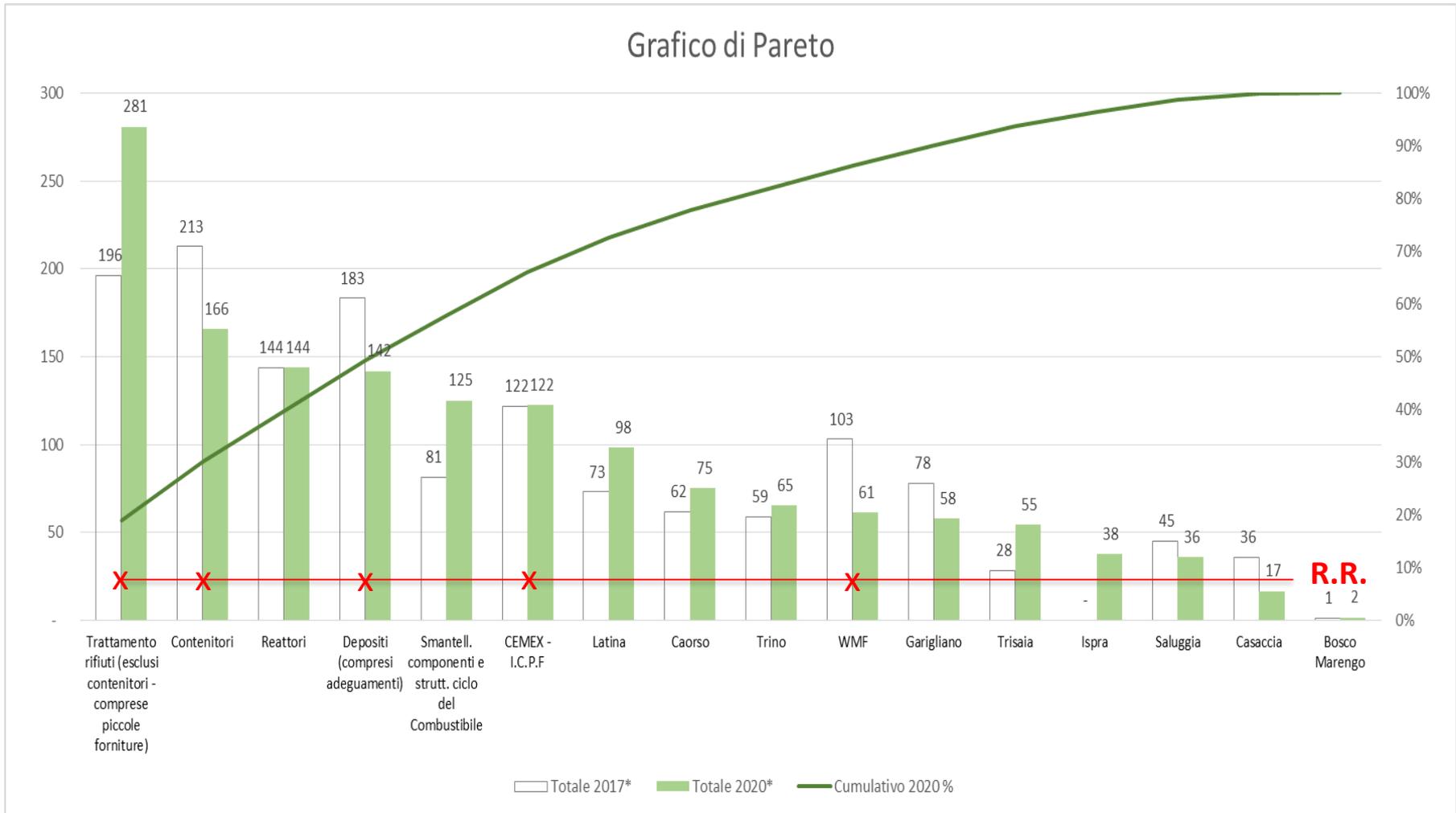
4. Rimozione e gestione della Grafite Irraggiata:

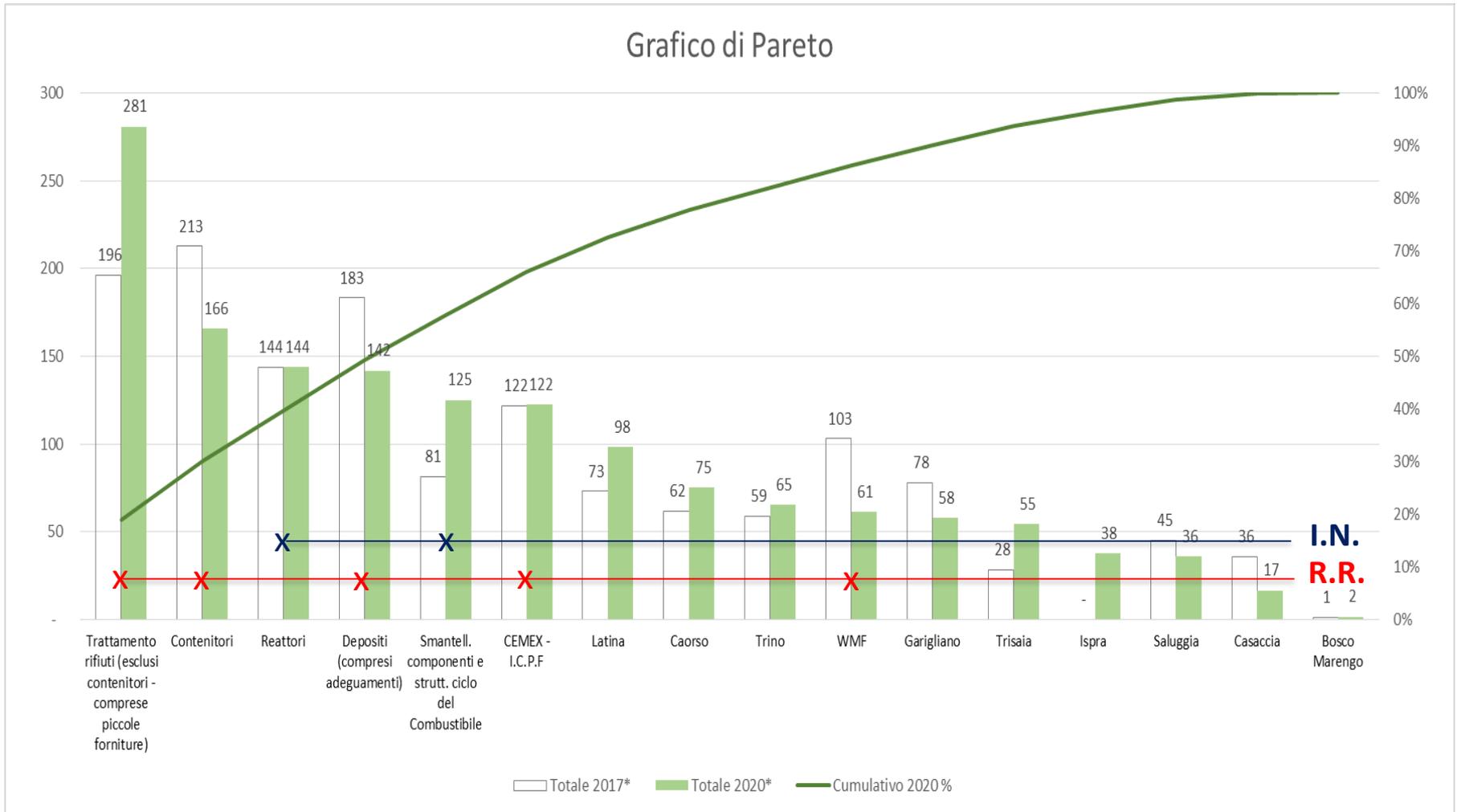
- è uno dei principali problemi ancora «aperti» a livello mondiale, sul quale creare sinergie con i principali Operatori internazionali.

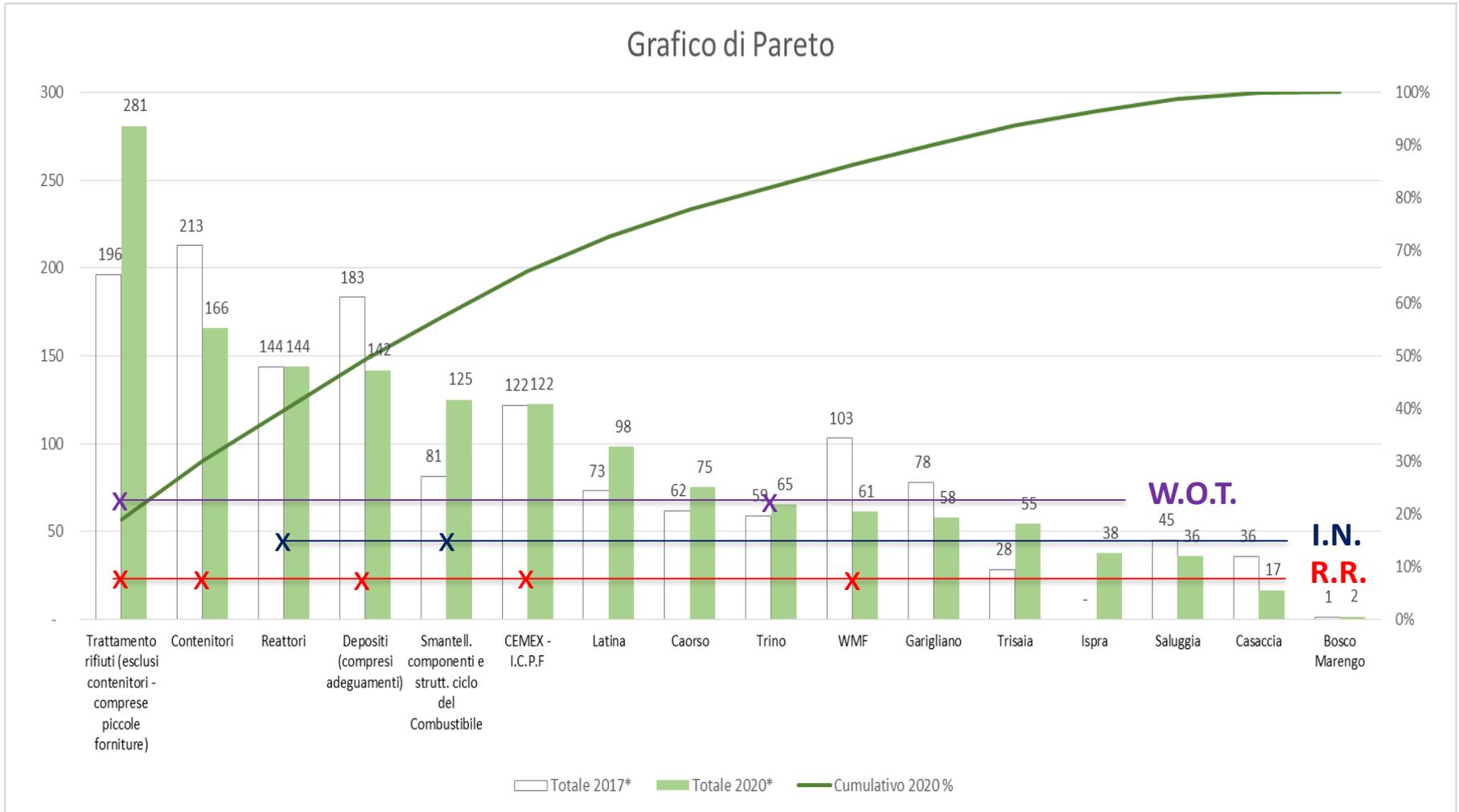


Costi esterni di realizzazione completamente fase-I o di conseguimento *Brown field*

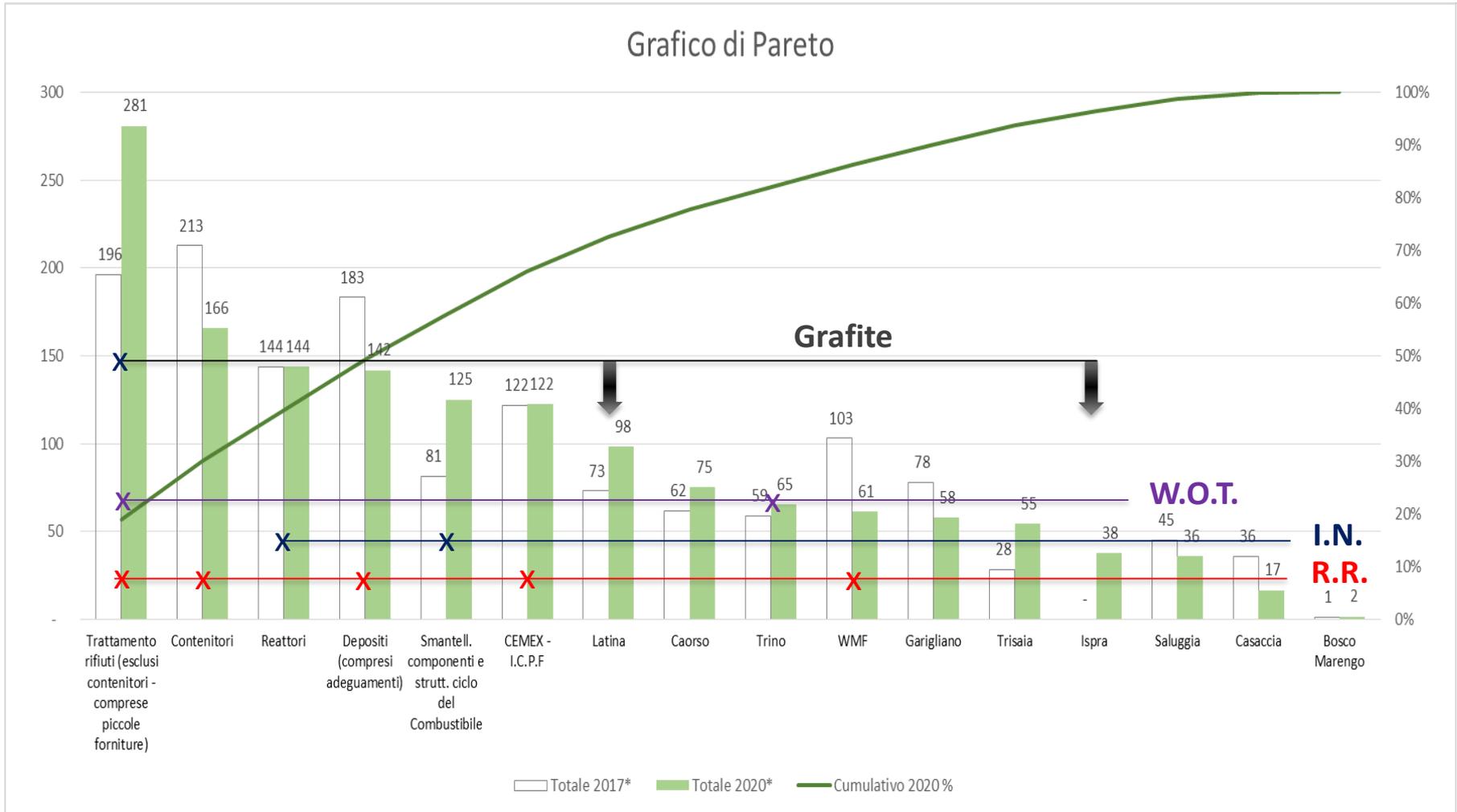
DIMENSIONE ECONOMICA PROGETTO RIFIUTI RADIOATTIVI







DIMENSIONE ECONOMICA PROGETTO GRAFITE



RIFERIMENTI AD ESPERIENZE INTERNAZIONALI

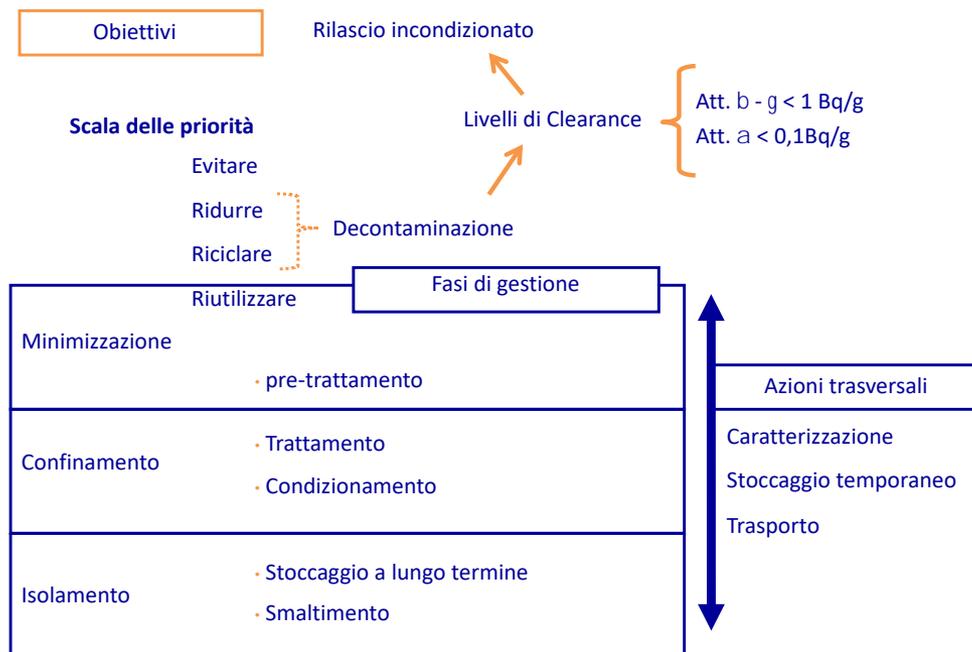
- **Accordi bilaterali** con Operatori europei di settore sui temi di decommissioning, processi su rifiuti radioattivi e smaltimento.
- **Collaborazioni internazionali**
 - IAEA Collaborating Center.
- **Accordi specifici con Organizzazioni e Agenzie internazionali**
 - Peer Review of SOGIN Decommissioning and Waste Management Programme (IAEA-ARTEMIS),
 - Review of Sogin's plans for dismantling of Garigliano and Trino reactor pressure vessels and internals (IAEA-ARTEMIS);
 - Collaborative Project on Global Status of Decommissioning (IAEA);
 - International Decommissioning Network (IAEA);
 - International Low Level Waste Disposal Network (IAEA);
 - International Project on Irradiated Graphite Processing Approaches (IAEA);
 - Committee Decommissioning Legacy Management (NEA);
 - Radioprotection and Public Health Committee (NEA);
 - Radioactive Waste Management Committee (NEA).
- **Progetti di R&S EURATOM e IAEA**
 - EU-SHARE: *StakeHolder-based Analysis of Research for dEcommissioning*;
 - EU-MICADO: *Measurement and Instrumentation for Cleaning and Decommissioning Operations*;
 - EU-INNO4GRAPH: *INNOvative tools FOR dismantling of GRAPHite moderated nuclear reactors*;
 - EU-PREDIS: *PRE-DISposal management of radioactive waste*;
 - IAEA - *Characterization and Preliminary Study for Solidification and Storage of Organic Alpha-Contaminated Liquid Waste*.

PROGETTO RIFIUTI RADIOATTIVI

Nella revisione del PTGvi è stato perseguito sistematicamente un approccio «*cradle-to-grave*», al fine di mantenere sotto stretto controllo l'intero ciclo di gestione ed applicando i migliori standard internazionali.

Il migliore processo di gestione dei rifiuti radioattivi è quello di non produrli!

Pertanto i processi di *clearance* sono stati studiati ed applicati, dove possibile.



Misure di hot-spot

www.sogin.it



Misure in campo



Misure di grandi componenti



Controlli finali per il rilascio

Cementazione omogena di liquidi radioattivi acquosi, con impianti fissi (LECO-Latina, CEMEX-Saluggia e ICPF-Trisaia) o trasportabili (SiCoMoR) e impianti confinati in SaG trasportabili per rifiuti alfa-contaminati, per i quali è stata qualificata una vasta gamma di matrici di condizionamento;

Cementazione eterogena di solidi sfusi o super compattati, con qualifica delle matrici di *grouting*;

Supercompattazione di materiali di diversa natura (rifiuti tecnologici e metallici), come trattamento per il successivo processo di condizionamento mediante cementazione eterogena;

Segmentazione e Immobilizzazione di parti e componenti che sono ridotti a piccoli pezzi come processo di trattamento per essere sottoposti a cementazione eterogena, eventualmente preceduta da super compattazione;

Ossidazione ad umido come processo di trattamento di materiali organici solidi (e.g.: resine organiche) che sono ridotti a soluzioni acquose per essere sottoposte a cementazione diretta;

Incapsulamento in contenitori ad alta integrità, anche schermati, soprattutto per materiali ad alta e media attività o combustibili irraggiati;

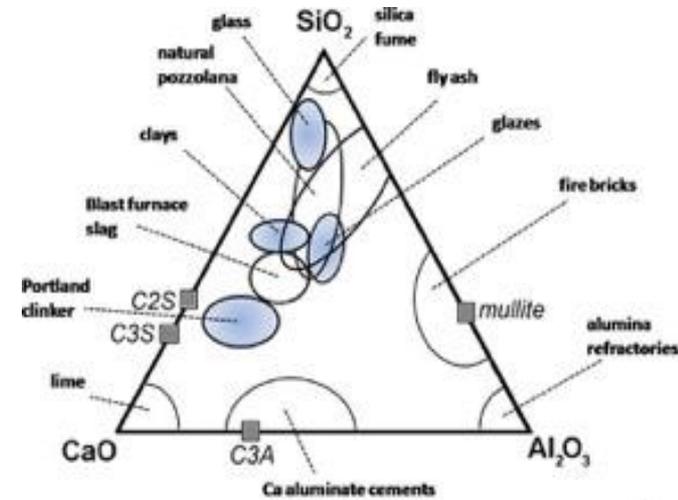
Fusione (all'estero) come trattamento di decontaminazione dei rottami metallici radioattivi, con produzione di lingotti metallici decontaminati rilasciabili e ganghe radioattive molto leggere da condizionare;

Incenerimento (all'estero) di rifiuti organici combustibili, che permette consistenti fattori di riduzione, anche oltre il 90%, con conseguente super compattazione delle ceneri e degli *scrap* metallici e loro cementazione eterogena;

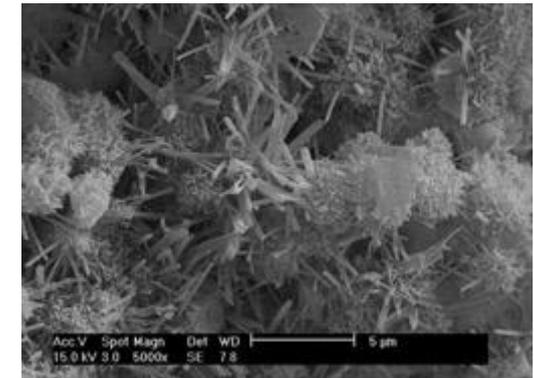
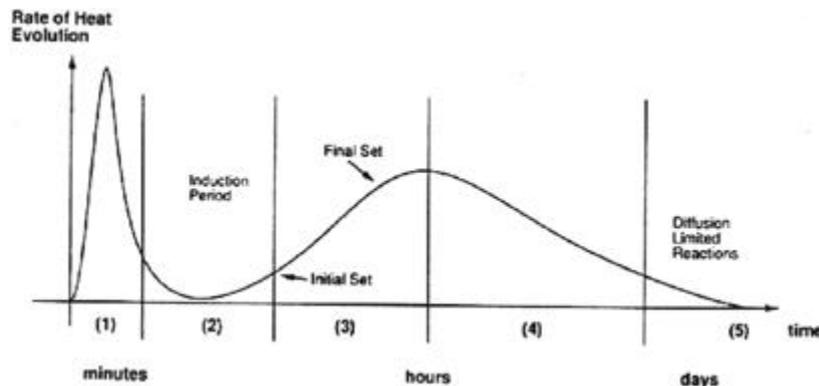
Atri processi di trattamento e condizionamento specifici per particolari classi di rifiuto, integrati direttamente nei processi di smantellamento, come la decontaminazione ad umido con soluzioni decontaminanti o processi fisici abrasivi.

PROGETTO RIFIUTI RADIOATTIVI - CEMENTAZIONE

- Processo relativamente semplice e a bassa temperatura, economico e riproducibile;
- Tecnologia ampiamente conosciuta e largamente applicata;
- Il prodotto finale presenta eccellenti caratteristiche in termini di resistenza meccanica, resistenza all'irradiazione e lisciviazione;
- Il cemento è un materiale compatibile con molti rifiuti liquidi acquosi, in grado di attivare meccanismi di immobilizzazione chimica per diversi tipi di radionuclidi;
- In termini di composizione chimica, l'area di esistenza di un cemento con caratteristiche adeguate è piuttosto limitata e la scelta del cemento di partenza (**Portland, Masonry, Sodium silicate, Pozzolanic**, etc) può essere complicata e richiedere l'aggiunta di additivi correttivi.
- La rapida formazione di cristalli (Ettringite) può portare a una frammentazione del monolite con un aumento esponenziale della superficie esposta e della temperatura di reazione.



www.sogin.it



ESEM figure of ettringite prismatic crystals growing on the clinker grains. Image courtesy of Central Analytical Laboratory, Mapei Spa.

PROGETTO RIFIUTI RADIOATTIVI - CONTENITORI

Modello contenitore	Caratteristiche principali contenitori				Tipologia di Rifiuto condizionabile	
	Descrizione sintetica	Dimensioni max esterne [mm]	Volume esterno [m3]	Volume interno utile [m3]	Classificazione [Decreto 07-08-2017]	Forma fisica di partenza
CC-220	Contenitore cilindrico in acciaio al carbonio utilizzato per il confezionamento di rifiuti solidi per successiva super compattazione. Non presenta cestello interno.	H: 870 mm; D: 600 mm	0,25	0,2	N.A.	Solidi
CC-220 mix	Contenitore cilindrico in acciaio al carbonio dotato di girante a perdere per cementazione diretta di rifiuti liquidi.	H: 870 mm; D: 600 mm	0,25	0,2	VLLW	Liquidi
CC-380	Contenitore cilindrico in acciaio al carbonio dotato di cestello interno per solidi super compattati (pizze) ad attività molto bassa e grouting di condizionamento (utilizzato sugli impianti Nucleo)	H: 1.110 mm; D: 714 mm	0,44	0,28 (interno cestello)	VLLW	Solidi
CP-5.2-Sogin Light	Contenitore prismatico in acciaio al carbonio senza cestello interno per rifiuti solidi sfusi o super compattati e grouting di immobilizzazione. Senza filtri di sfiato e aperture per grouting su coperchio e con guarnizione in elastomero. Modello specifico ottenuto da adattamento CP-5.2-Sogin	L= 2.500 mm; P = 1.650 mm; H = 1.250 mm	5,2	4,5	VLLW	Solidi
CC-440 (A/B)- Sogin	Contenitore cilindrico in acciaio inox dotato di cestello interno in acciaio al carbonio per solidi sfusi o super compattati (pizze) ad attività bassa e grouting di condizionamento. Modello specifico sviluppato da Sogin.	H: 1.117 mm; D: 791 mm	0,51	0,28 (interno cestello)	VLLW; LLW	Solidi
CC-440 (C)- Sogin	Contenitore cilindrico in acciaio inox dotato di girante interna in acciaio al carbonio per cementazione liquidi. Modello specifico sviluppato da Sogin.	H: 1.117 mm; D: 791 mm	0,51	0,44	VLLW; LLW; ILW	Liquidi
CP-2.6-Sogin	Contenitore prismatico in acciaio inox dotato di cestello interno in acciaio al carbonio per rifiuti solidi sfusi o super compattati e grouting di condizionamento. Modello specifico sviluppato da Sogin.	L= 1.650 mm; P = 1.250 mm; H = 1.250 mm	2,6	1,3 (interno cestello)	VLLW; LLW	Solidi
CP-5.2-Sogin	Contenitore prismatico in acciaio inox dotato di cestello interno in acciaio al carbonio per rifiuti solidi sfusi o super compattati e grouting di condizionamento. Modello specifico sviluppato da Sogin.	L= 2.500 mm; P = 1.650 mm; H = 1.250 mm	5,2	3 (interno cestello)	VLLW; LLW; ILW (superficie)	Solidi
CP-5.2-Sogin CS	Contenitore prismatico in acciaio inox dotato di cestello interno in acciaio al carbonio per rifiuti solidi sfusi o super compattati e grouting di condizionamento. Modello specifico sviluppato da Sogin.	L= 2.500 mm; P = 1.650 mm; H = 1.250 mm	5,2	3 (interno cestello)	VLLW; LLW; ILW (superficie)	Solidi
CC-30-mix-Sogin	Contenitore cilindrico in acciaio inox dotato girante interna in acciaio al carbonio per cementazione liquidi di particolare complessità o alfa contaminati Modello specifico sviluppato da Sogin.	H: 493 mm; D: 410 mm	0,03	0,02	ILW	Liquidi
CSC-Beta	Contenitore speciale cilindrico a pareti spesse per stoccaggio ILW solidi senza matrice. Realizzato in vari materiali metallici (Acciaio al carbonio con trattamenti superficiali, Ghisa sferoidale, Acciaio inox). Possibilità di utilizzare schermi e accessori aggiuntivi nella cavità interna (non quotati)	H: 1.500 mm; D: 1.060 mm	1,3	0,5 (interno cavità senza schermi aggiuntivi)	ILW	Solidi
CSP-Beta	Contenitore speciale prismatico a pareti spesse per stoccaggio ILW solidi senza matrice. Realizzato in vari materiali metallici (Acciaio al carbonio con trattamenti superficiali, Ghisa sferoidale, Acciaio inox).	L= 2.000 mm; P = 1.600 mm; H = 1.700 mm	5,44	3,3 (interno cavità)	ILW	Solidi
CSC-Alfa-Sogin *	Contenitore speciale cilindrico per stoccaggio ILW solidi alfa emettitori senza matrice. Doppio coperchio in inox, corpo con struttura scatolare in inox e riempimento in materiale ceramico coibente. Modello specifico sviluppato da Sogin.	H: 1.500 mm; D: 1.060 mm	1,32	0,67 (interno cavità)	ILW	Solidi
CSP-Alfa-Sogin *	Contenitore speciale prismatico per stoccaggio ILW solidi alfa emettitori senza matrice. Doppio coperchio in inox, corpo con struttura scatolare in inox e riempimento in materiale ceramico coibente. Modello specifico sviluppato da Sogin.	L= 2.000 mm; P = 1.600 mm; H = 1.700 mm	1,32	3,3 (interno cavità)	ILW	Solidi
CSC-Beta (Graf)*	Il contenitore CSP-Beta-(Graf) è un modello di contenitore CSP-Beta ipotizzato specificamente per lo stoccaggio della grafite tal quale ed eventuale da sviluppare ad hoc nel caso sia confermata tale modalità di confezionamento della grafite.	L= 2.000 mm; P = 1.600 mm; H = 1.700 mm	5,44	3,5 (interno cavità)	ILW	Solidi

Una capillare rivalutazione della tipologia dei contenitori, anche in relazione a quanto disponibile a livello internazionale e la loro adeguatezza alla classe di rifiuto da contenere, ha portato ad una ottimizzazione delle *performance* degli stessi, ad una sensibile riduzione del numero complessivo e dei costi associati.



Un'ulteriore alternativa posta alla base del *PTGvi*, che avrebbe anche il vantaggio di ridurre i costi di smaltimento, è quella di presentare all'Autorità di Controllo un programma di *clearance* per questa classe di rifiuto, con l'adozione di limiti derivati per l'allontanamento superiori a quelli generali autorizzati, quindi con superamento del limite attuale di 1 Bq/g (almeno per il H-3, C-14, Ni-63) ed adozione dei limiti previsti dalle normative comunitarie RP-89, RP-113 e RP-122, con valutazione degli scenari d'impatto sulla popolazione e rispetto del limite primario di dose di 10 microSv/anno-uomo, previsto dal D. Lgs. 230/95.



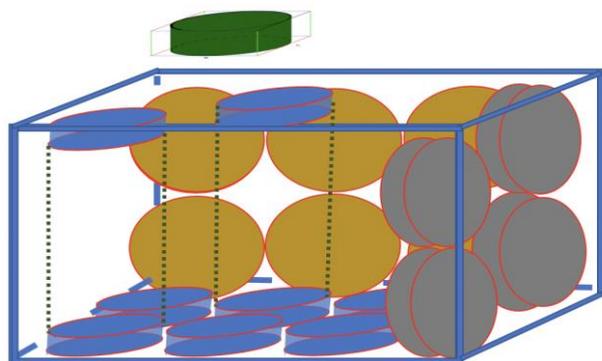
Centro di smaltimento rifiuti di livello molto basso (VLLW), Aube (F).

L'accanimento nei processi di trattamento non porta sempre a risultati economici ottimizzati.



CC-440

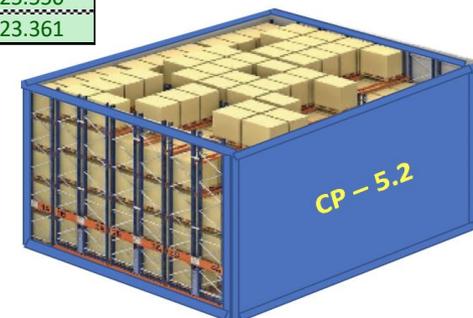
Fattore di riduzione	Costo smaltimento [€/m ³] con contenitori CC-380 Nucleo				
	5.287	17.782	33.401	49.021	64.640
1,0	5.575	18.070	33.690	49.309	64.928
1,5	14.518	40.540	73.068	105.597	138.125
2,0	11.720	31.237	55.633	80.029	104.425
2,5	10.041	25.654	45.171	64.688	84.205
3,0	8.922	21.933	38.197	54.461	70.725
3,5	8.122	19.275	33.215	47.156	61.097
4,0	7.523	17.281	29.479	41.677	53.875
4,5	7.056	15.731	26.573	37.416	48.259
5,0	6.683	14.490	24.249	34.007	43.766



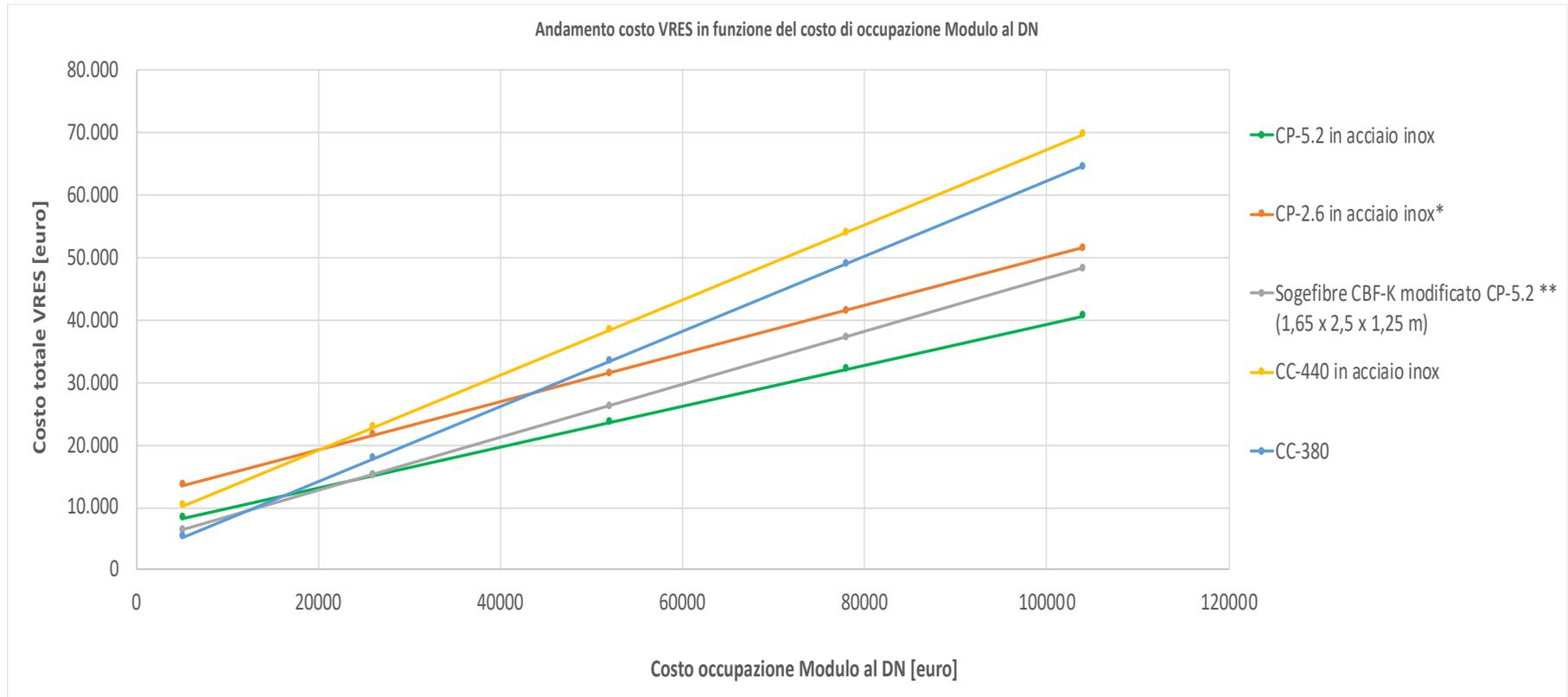
CP-5.2

Fattore di riduzione	Costo smaltimento [€/m ³] con contenitori CP-5.2 inox				
	8.262	15.082	23.607	32.131	40.656
1,0	8.551	15.370	23.895	32.420	40.944
1,5	17.225	28.197	41.911	55.625	69.340
2,0	13.833	22.062	32.347	42.633	52.919
2,5	11.798	18.380	26.609	34.838	43.066
3,0	10.441	15.926	22.783	29.641	36.498
3,5	9.471	14.173	20.051	25.928	31.806
4,0	8.744	12.859	18.002	23.144	28.287
4,5	8.179	11.836	16.408	20.979	25.550
5,0	7.727	11.018	15.132	19.247	23.361

In prospettiva futura



Le analisi delle stime dei costi di smaltimento hanno permesso di ottimizzare la scelta dei contenitori e il loro grado di riempimento.



PROGETTO RIFIUTI RADIOATTIVI – INVENTARIO R.R. CONDIZIONATI



Inventario 31.12.2018

CATEGORIA	PREGRESSI	DECOMMIS	TOTALI	LATINA FASE II	TOTALI
	m ³			m ³	m ³
VLLW	7.408	11.328	18.736	9.107	27.843
LLW	6.688	13.681	20.369	1.132	21.501
ILW	3.369	1.856	5.225	4.385	9.610
TOTALI	17.465	26.865	44.330	14.624	58.954

Inventario 31.12.2019

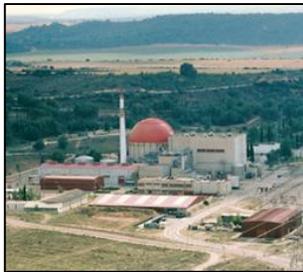
CATEGORIA	PREGRESSI	DECOMMIS	TOTALI	LATINA FASE II	TOTALI
	m ³			m ³	m ³
VLLW	7.027,4	9.760,9	16.788	6.964,6	23.753
LLW	5.464,3	12.965,5	18.430	1.140,7	19.571
ILW	2.762,6	1.522,0	4.285	4.384,6	8.669
TOTALI	15.254	24.248	39.503	12.490	51.993

- 12 %



Chooz A (Francia)

- Tipo di reattore: 4 loop **PWR** realizzato in caverna all'interno di una collina
- Potenza elettrica: 305 MWe
- Esercizio: dal 1967 to 1991
- Operatore: EDF
- Decommissioning RVI e RPV: 2010 – in corso



Josè Cabrera NPP (Spagna)

- Tipo di reattore: 1-Loop **PWR** Westinghouse
- Potenza elettrica: 160 MWe
- Esercizio: 1969-2006
- Operatore: Union Fenosa S.A.
- Decommissioning RVI e RPV: 2010 – 2016



Stade NPP (Germania)

- Tipo di reattore: 4-Loop **PWR**
- Potenza elettrica: 630 MWe
- Esercizio: 1972-2003
- Operatore: EON.
- Decommissioning RVI e RPV: 2007 – 2010



Wurgassen NPP (Germania)

- Tipo di reattore: **BWR**
- Potenza elettrica: 670 MWe
- Esercizio: 1971-1997
- Decommissioning RVI e RPV : 1997 – 2014

Da questi principali riferimenti internazionali (ed altri in minor misura) sono state estratte le informazioni tecniche per lo sviluppo dei progetti di smantellamento dei RVI e RPV.

Il progetto di smantellamento di vessel e internals della Centrale di Garigliano è un'attività molto complessa sia per l'alto livello di radioattività dei componenti coinvolti sia per i vincoli imposti dalle aree in cui si svolgeranno le attività.

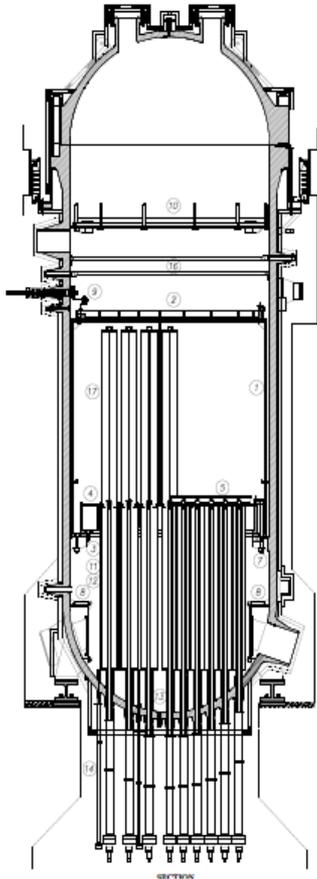
Il progetto è stato suddiviso nelle seguenti fasi:

Fase 0 Attività preliminari;

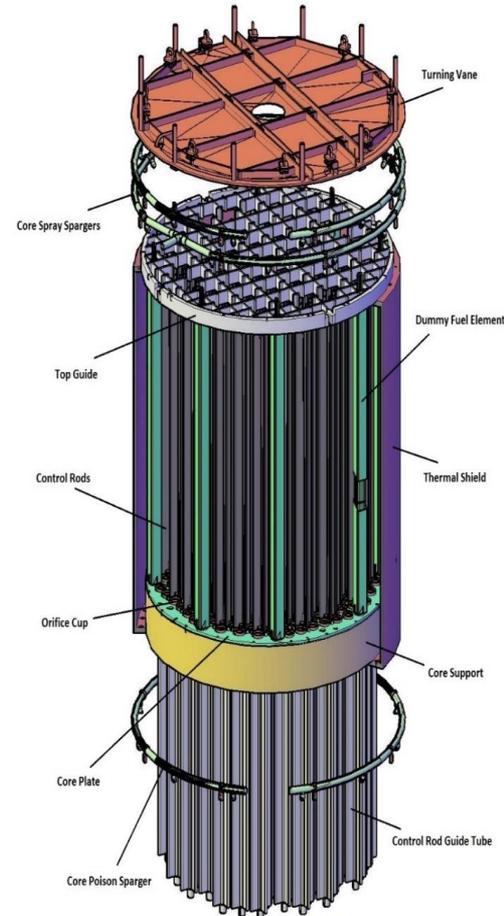
Fase 1 «Apertura del vessel» rimozione e smantellamento sotto battente d'acqua di rifiuti operativi;

Fase 2 Rimozione e smontaggio sotto battente d'acqua degli internals del reattore (guida superiore, supporto del core, aste di controllo, scudo termico ...);

Fase 3 Smantellamento del contenitore a pressione del reattore.



- Weight: 190 tons
- Height: 11,50 m
- Outside diameter: 3,83 m
- 111 penetrations from the bottom:
 - 89 for control rods
 - 20 for instrument nozzles
 - 2 for drain nozzles



- 89 cross-shaped control rods
- Guide Tubes
- Turning vane
- Thermal shield
- Core plate
- Spray spargers
- Poison spargers

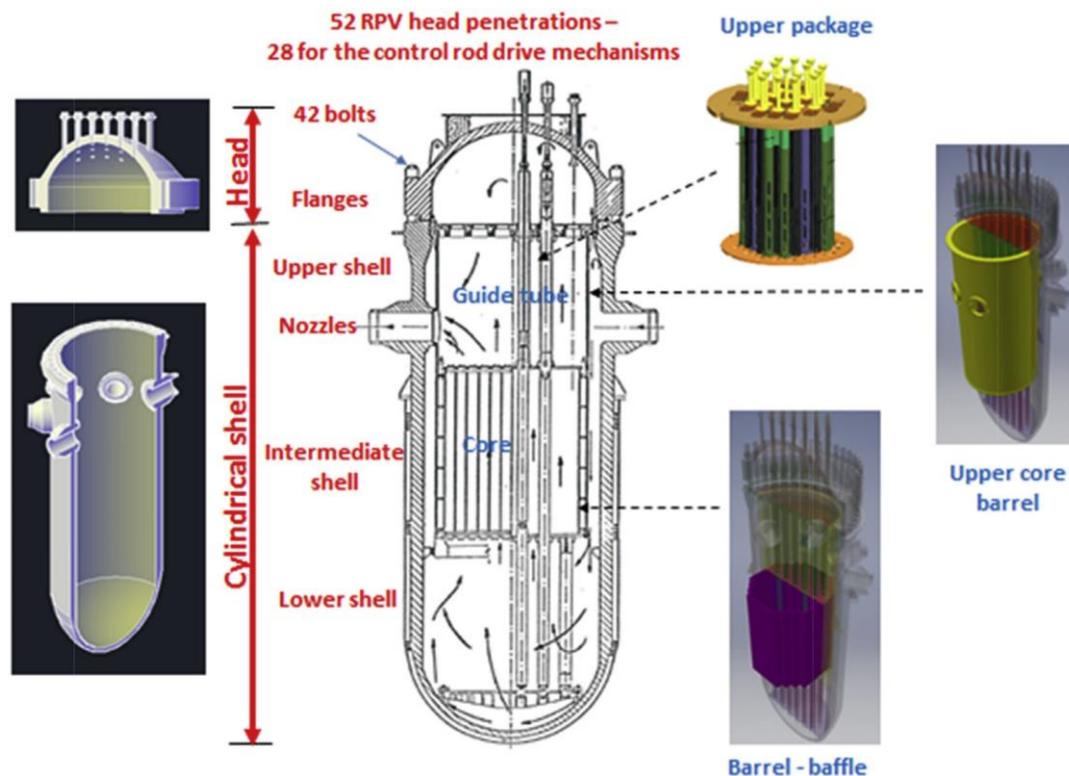
Il progetto di decommissioning è stato diviso in quattro fasi principali:

Fase 0 Attività preliminari;

Fase 1 Caratterizzazione radiologica di RPV e RVI,

Fase 2 Smantellamento della testa del e «Upper Package»;

Fase 3 Smantellamento degli Internals e RPV.



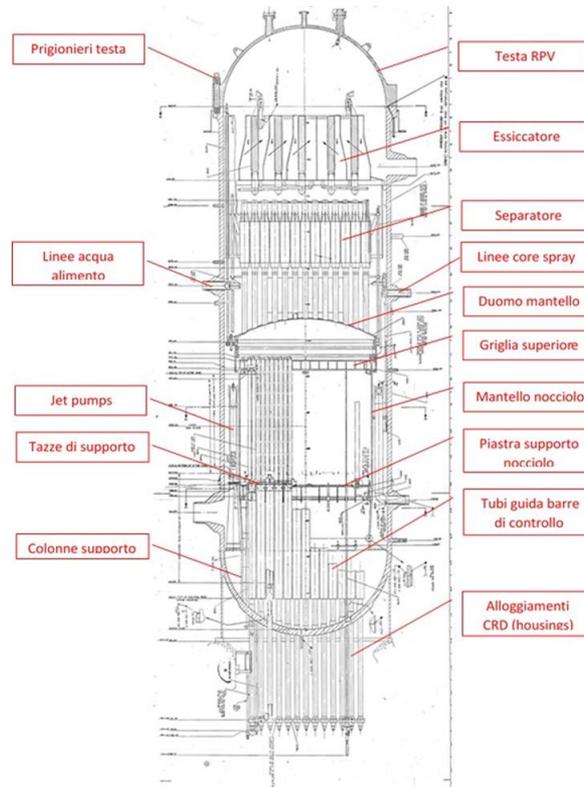
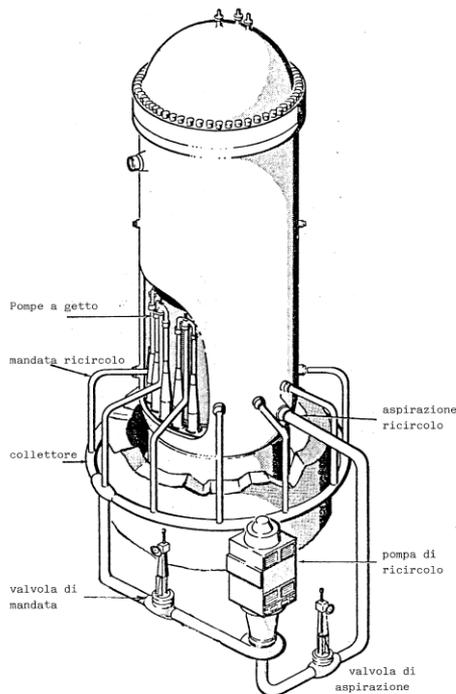
Il progetto di decommissioning è stato diviso in quattro fasi principali:

Fase 0 Attività preparatorie e preliminari all'apertura RPV;

Fase 1 Apertura RPV e rimozione internals mobili;

Fase 2 Taglio degli internals in piscina e confezionamento in contenitori;

Fase 3 Taglio del vessel e confezionamento in contenitori.



- Weight: 707 tons
- Height: 21,87 m
- Outside diameter: 5,82 m
- 181 penetrations from the bottom:
 - 137 for control rods
 - 43 for instrument nozzles
 - 1 for drain nozzles

L'analisi di recenti esperienze internazionali ha messo in evidenza tecniche e strategie che Sogin sta adottando:

Internals: la strategia più utilizzata prevede l'adozione di sistemi di taglio meccanico (principalmente disco e sega a nastro) e l'esecuzione delle operazioni di taglio sotto battente d'acqua, sfruttando la piscina del combustibile, nei casi in cui questa si trovi all'interno dell'Edificio Reattore, oppure effettuando le operazioni direttamente all'interno della cavità reattore allagata.

Vessel: la strategia utilizzata è più dipendente dalla esperienza e dal background dell'operatore che si aggiudica il contratto. Oltre alle tecniche di taglio meccanico, in alcuni casi si opta (Stade) per un taglio termico (es oxi-fuel) che però sono stati scartati per la produzione di gas con sostanze radioattive. Le operazioni di taglio possono essere effettuate sotto battente d'acqua (taglio meccanico) quanto a secco. Nella scelta di un'opzione rispetto all'altra gioca un ruolo determinante la possibilità di decontaminare preliminarmente il vessel stesso e la caratterizzazione radiologica del vessel stesso.

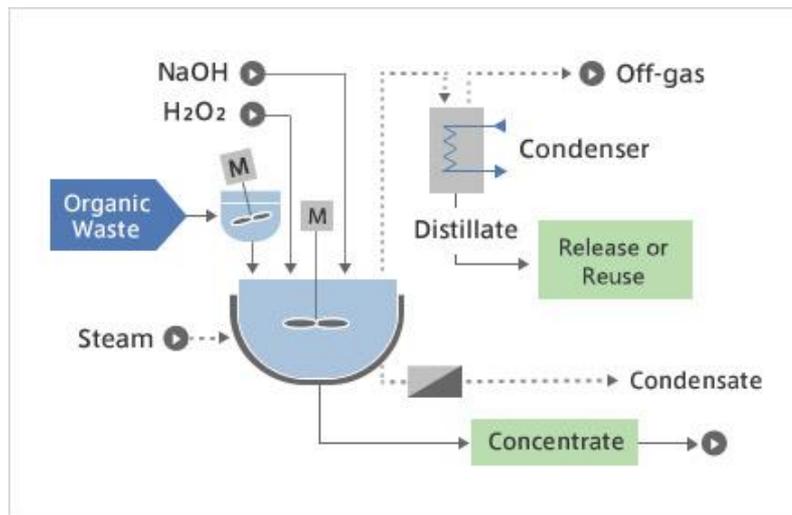
In generale la definizione, la progettazione e la realizzazione di tutte le attività preliminari necessarie e lo sviluppo di un dettagliato piano di segmentazione e packaging, basato possibilmente su modellazione 3D.



Le resine esaurite (perline o polvere) ed altri materiali organici sono difficili da decomporre e le tecnologie di trattamento convenzionali, come l'incenerimento e/o la solidificazione diretta, spesso presentano ulteriori inconvenienti, soprattutto nel trattamento degli *off-gas* o nella qualità dei rifiuti solidificati, soprattutto quando si trattano rifiuti a più alta attività o con particolari elementi chimici (e.g.: Boro), che interferiscono nel processo di condizionamento.

Il processo di ossidazione a umido risolve la maggior parte di questi problemi e riduce il volume dei rifiuti decomponendo la loro struttura organica in CO_2 e H_2O .

Molti studi sono stati effettuati in passato, usando la reazione di ossidazione a bassa temperatura, con H_2O_2 e catalizzatori specifici, con notevoli vantaggi tecnici ed economici.



Ulteriori vantaggi, in termini riduzione di volumi, di sicurezza ed economici, si possono acquisire con sistemi di produzione elettrolitica di ossigeno *in situ*, oppure iniettando ossigeno gassoso ad alta pressione direttamente nella miscela organica.

I liquidi acquosi ottenuti possono essere agevolmente sottoposti a cementazione in appropriate matrici cementizie.

L'esercizio della centrale di Trino e la decontaminazione chimica del circuito primario hanno generato circa 100 metri cubi di resine a scambio ionico, contenute in 106 purificatori in acciaio inox, stoccati all'interno del Deposito 1, in un'area schermata.

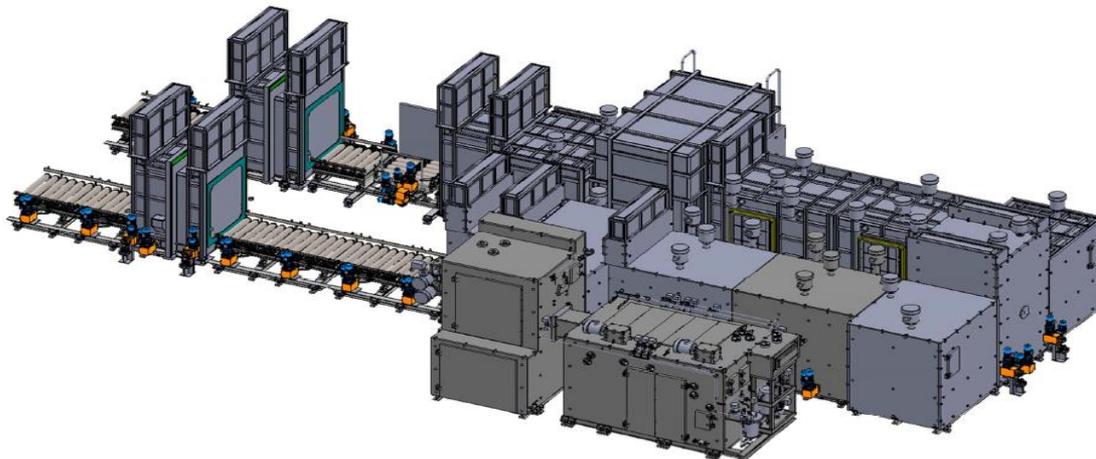
Esse costituiscono il rifiuto più critico presente in centrale, in attesa di trattamento. L'alta radioattività e la forma «liquida» ne rendono problematico il trasferimento presso impianti di trattamento esteri (al contrario di quelle di Caorso che sono in forma solida).



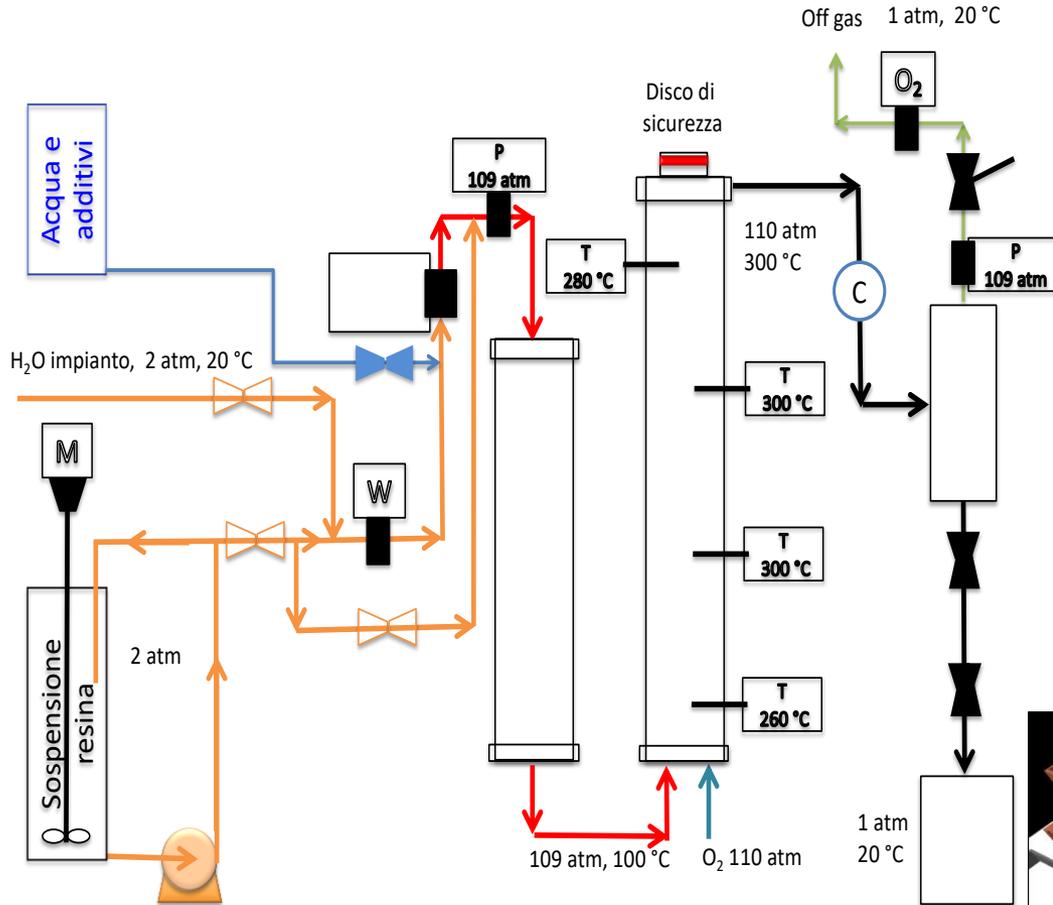
Ai fini del trattamento delle resine esaurite Sogin esaminò diverse possibilità:

- Cementazione diretta (progetto TECO);
- Trasferimento delle resine presso impianto estero;
- Incenerimento «in sito» - impianto mobile SOCODEI;
- Essiccamento in sito e cementazione eterogenea;
- “Hot-Compaction” ad alta temperatura, Hansa Project (gruppo Westinghouse);
- Trattamento WOT (Ossidazione ad umido)

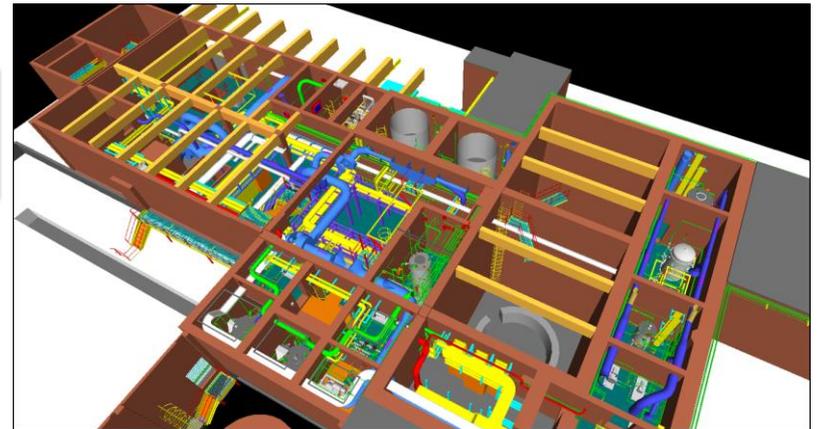
Dopo esaustive analisi tecnico-economiche delle alternative, Sogin decise di utilizzare e sviluppare la tecnologia di ossidazione ad umido (**WOT**), avendo sviluppato una matrice cementizia per la solidificazione dei liquidi acquosi risultanti, mediante la stazione di cementazione (**SiCoMoR** - Sistema di Condizionamento Modulare Rifiuti), che è in fase avanzata di costruzione.



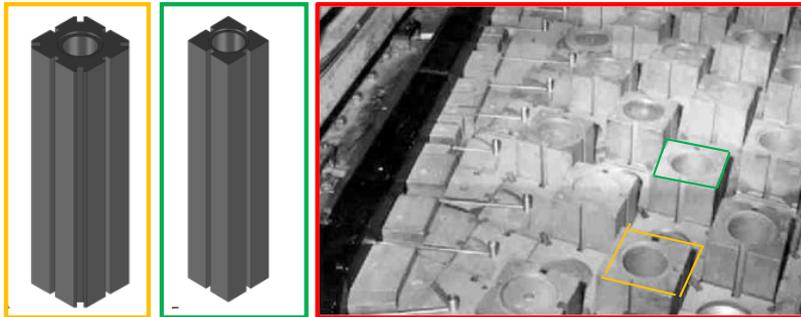
SiCoMoR



Layout impianto WOT nei locali Radwaste della centrale di Trino

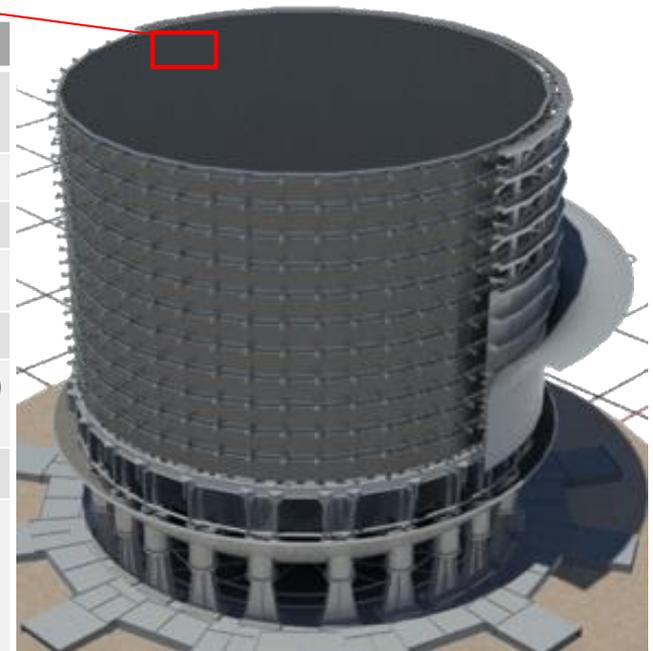


Il progetto Grafite riguarda principalmente il reattore di Latina, anche se i blocchi di grafite sono presenti nel reattore Ispra-1, come riflettore.



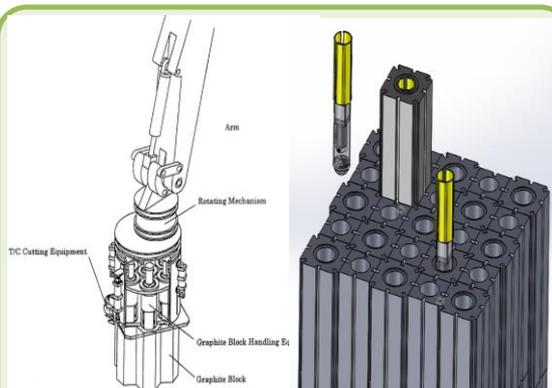
Il nocciolo ha forma prismatica con base poligonale a 24 lati, racchiuso in una struttura di contenimento in acciaio. La connessione tra il nocciolo e la struttura è assicurato da speciali supporti

MAIN DATA OF GRAPHITE STACK	
Dimensioni	Diametro 14,2 m, altezza 9,4 m, volume $\approx 1300 \text{ m}^3$
Massa del moderatore	1258 t
Massa del riflettore	807 t
Numero totale di blocchi	46574 suddivisi in 5 tipi, 11 strati
Chiavette	≈ 630000
Fabbricante: (produzione e lavorazione)	Head Wrightson Processes Ltd. (Yarm, Yorkshire, UK) A. Reyrolle & Co. Ltd. (Hebburn, UK)
Anno di produzione	1960 - 1961
Tipo	<u>Moderatore</u> : grafite tipo PGA, densità $1,75 \text{ g/cm}^3$, sezione d'urto di diffusione 4,0 mb <u>Riflettore</u> : grafite tipo PGB, densità $1,64 \text{ g/cm}^3$, sezione d'urto di diffusione 4,5 mb



Le tecniche di estrazione emergenti a livello internazionale sono:

Estrazione blocchi interi



Vantaggi:

- Riduzione di polvere e detriti; waste route verso i contenitori più semplice;
- Ventilazione, contenimento e sistema di filtrazione più semplici;
- Riduzione di rifiuti secondari.

Svantaggi:

Necessità di attività R&D di apparecchiature specifiche per la manipolazione remota.

Frammentazione e aspirazione (a secco o con vessel allagato)

A SECCO



Vantaggi:

- Apparecchiature di demolizione (BROKK™, Husquarna™ etc..) già esistenti;
- Prescinde dalle caratteristiche meccaniche dei blocchi di grafite;
- Trattamento integrato.

Svantaggi:

- Grandi quantità di polvere e detriti da gestire;
- Sistemi di ventilazione e filtrazione specifici
- Produzione di importanti quantità di rifiuti secondari (filtri)

VESSEL ALLAGATO

Vantaggi:

- Processo di trattamento integrato;
- Prescinde dalle caratteristiche meccaniche dei blocchi di grafite.

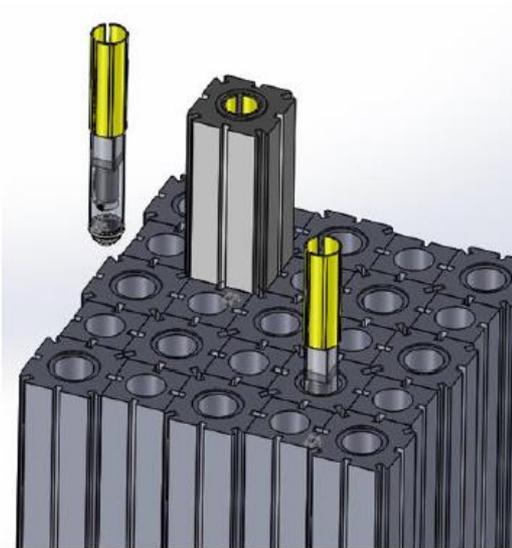
Svantaggi:

- Necessità di una specifica waste route e trattamento specifico dell'acqua;
- Necessità di effettuare test di tenuta del vessel e di carico delle masse d'acqua;
- Produzione di importanti quantità di rifiuti secondari.

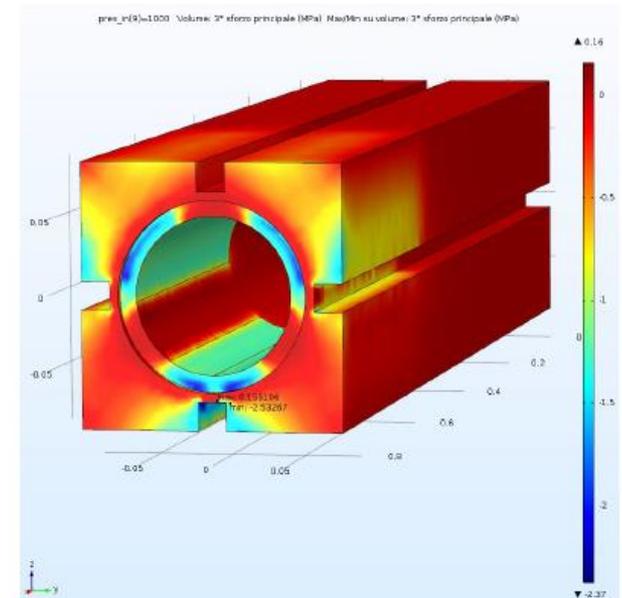
La scelta perseguita da Sogin è la rimozione dei blocchi interi e a tal fine sta eseguendo test strutturali per determinare la resistenza dei blocchi, la loro fragilità e fessurazione post irraggiamento, nonché le vie di accesso al nocciolo, che rimane il problema principale, non essendo il reattore progettato per tale scopo.

I blocchi estratti potranno essere caratterizzati e conservati in contenitori prismatici CP-5.2, opportunamente modificati, per la custodia a lungo termine.

Analisi agli elementi finiti (COMSOL Multiphysics®) assumendo differenti **configurazioni di carico e condizioni al contorno**, per simulare l'interazione meccanica blocchi/chiavette.



www.sogin.it



Eddy current

- Tipicamente usata per applicazioni aerospaziali, industria petrolifera e centrali di potenza;
- Adatta per rilevare impurezze ferrose e non ferrose nei materiali attraverso correnti indotte.

Benefici:

- Misure sull'intera massa di grafite
- Variazione di densità
- Rilevazione di crepe iniziali

