

Titolo
**SICUREZZA DEI REATTORI EVOLUTIVI: CONFRONTO E CONSIDERAZIONI
 SU EPR E AP1000**
Descrittori: Reattori di Nuova Generazione, Sistemi di Sicurezza e d’Emergenza
Tipologia del documento: Rapporto Tecnico

Collocazione contrattuale: Accordo di programma ENEA-MSE: tema di ricerca “Nuovo nucleare da fissione”

Argomenti trattati: Affidabilità
 PRA/PSA
 Sistemi innovativi attivi/passivi
 Sistemi di sicurezza ed emergenza di EPR e AP1000

Sommario


In questo documento si opera un confronto tra i sistemi di sicurezza e di emergenza che caratterizzano i reattori EPR e AP1000, di generazione III+. Si riportano considerazioni relative al diverso approccio seguito dai progettisti nelle due tipologie ed in particolare al ricorso di sistemi attivi nell’EPR, che richiedono ridondanza e apparecchiature esterne per il loro funzionamento, e di sistemi passivi nell’AP1000, che si basano su processi naturali.

Note:

Documento realizzato con il contributo degli ingg. Luciano Burgazzi e Marco Sangiorgi (UTFISSM-SICISIS)


Copia n.
In carico a:

2			NOME			
			FIRMA			
1			NOME			
			FIRMA			
0	EMISSIONE	15.9.2010	NOME	F. DE ROSA	P. MELONI	S. MONTI
			FIRMA			
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDAZIONE	CONVALIDA	APPROVAZIONE	

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP5 - 0008	0	L	2	26

INDICE

INTRODUZIONE	3
CONSIDERAZIONI SUL PSA/PRA PER AP1000 ED EPR	6
GENERALITA' SUI SISTEMI ATTIVI E PASSIVI DI AP1000 ED EPR	8
DESCRIZIONE DEI SISTEMI DI SICUREZZA NELL'AP1000.....	9
DESCRIZIONE DEI SISTEMI DI SICUREZZA NELL'EPR.....	16

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP5 - 0008	0	L	3	26

1 INTRODUZIONE

Il **reattore nucleare europeo ad acqua pressurizzata**, generalmente indicato con la sigla **EPR** (*European Pressurized Reactor*), prodotto dalla ditta franco-tedesca **AREVA** ed il reattore nucleare **AP1000** (*Advanced Passive*), prodotto dalla ditta **Toshiba-Westinghouse Electric Company**, sono impianti a fissione di generazione III+, nei quali la refrigerazione del nocciolo e la moderazione dei neutroni si ottengono con l'uso di acqua naturale in pressione in condizioni sottoraffreddate¹. Entrambi i reattori appartengono alla famiglia degli APWR, cioè *Advanced Pressurized Water Reactor*.

Viene denominato **reattore nucleare di III generazione** un reattore nucleare destinato a produrre elettricità che incorpora sviluppi delle tecnologie della "seconda generazione" (la stragrande maggioranza di quelli attualmente in funzione), con miglioramenti "evolutivi" nel progetto, ma senza innovazioni sostanziali sui principi di funzionamento. Tali miglioramenti derivano quindi da sperimentazioni effettuate durante la vita utile dei reattori nucleari attuali di II generazione, senza l'introduzione di modifiche radicali quali potrebbero essere la sostituzione del refrigerante-moderatore acqua con altri refrigeranti (elio, sodio e/o piombo fuso, ed i sali minerali fusi).


I punti su cui si è maggiormente sviluppato il progetto concettuale dei reattori di III generazione sono:

- migliorata sicurezza di esercizio;
- maggiore rendimento nell'utilizzo del combustibile;
- minori tempi di costruzione;
- costo di generazione competitivo rispetto ad altre fonti energetiche.

L'**AP1000** è la prima tipologia di reattore di III Generazione a ricevere l'approvazione dall'ente di regolamentazione per il nucleare americano (NRC). Questa tipologia di reattori riesce a generare circa 1154 MW di elettricità ed è essenzialmente la versione potenziata del modello AP600 (che genera circa 600 MW di elettricità) a parità di utilizzo di territorio.

Gli **EPR** sono i reattori che l'Italia è intenzionata a costruire nel suo territorio per dare il via al nuovo piano di sviluppo nucleare, grazie alla joint venture formata dall'ENEL e dalla francese EdF. Il consorzio formato da ENEL e EdF ha preso il nome di Sviluppo Nucleare Italia.

¹ Detta anche acqua leggera o H₂O, ricca dell'isotopo stabile ¹H dell'idrogeno, noto come prozio, formato da un protone ed un elettrone. Essa si distingue dall'acqua pesante D₂O, ricca dell'isotopo stabile ²H dell'idrogeno, noto come deuterio, formato da un protone e un elettrone come il prozio, ma con in più un neutrone).

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP5 - 0008	0	L	4	26

I reattori EPR sono ancora in fase di costruzione: una unità in Finlandia, nel sito di Olkiluoto (Olkiluoto3), una in Francia nel sito di Flamanville (Flamanville3) in Normandia e due unità in Cina ².


Anche gli **AP1000** rientrano nella possibilità di essere costruiti in Italia, essendo la Ansaldo Nucleare licenziataria della Westinghouse per l'Europa ed uno dei maggiori fornitori per i reattori AP1000 cinesi. Si ricorda anche che l'Italia ha firmato un piano d'intesa con gli USA per scambio di conoscenze nell'ambito nucleare. In Cina la filiera AP1000 è molto quotata, infatti nei propositi della Westinghouse e della Cina c'è l'intento di avere 100 o più reattori AP1000 in funzione o in costruzione per il 2020.

Ovviamente questa cifra sembra un po' gonfiata dalla propaganda, ma rappresenta comunque un importante messaggio a livello internazionale, specialmente per costruttori e vendors. In Cina sono attualmente in costruzione 3 reattori AP1000, due nella centrale di Sanmen ed uno in quella di Haiyang. Secondo le previsioni, questi tre reattori dovrebbero entrare in funzione fra la seconda metà del 2013 e la prima del 2014 ed essere quindi le prime unità AP1000 in funzione al mondo. Al momento, nel Regno Unito, il progetto AP1000 è ancora in fase di approvazione dalla competente agenzia nucleare, quindi la joint venture fra la tedesca Eon e RWE non ha ancora deciso definitivamente quale reattore proporre per il piano di espansione nucleare britannico. Per ora resta aperta l'opzione di utilizzare l'AP1000 o, in alternativa, l'EPR. La seconda cordata nucleare formata dalla tedesca Eon e dalla francese Gdf Suez aveva inizialmente espresso l'interesse di utilizzare la tecnologia AP1000, ma sembra che alla fine utilizzerà anch'essa la tecnologia degli EPR. La ditta italiana A2A ha manifestato interesse di aderire a questo secondo consorzio.

E' importante evidenziare subito che la differenza fondamentale tra EPR (concezione europea) ed AP1000 (concezione americana) sta nell'approccio che il progettista ha voluto nell'affrontare le modalità d'intervento dei sistemi di sicurezza ed emergenza. Mentre il reattore EPR non include sistemi passivi per l'adempimento delle funzioni di sicurezza e i suoi sistemi, come ad esempio il sistema di iniezione di sicurezza per il raffreddamento del nocciolo (ECCS, Emergency Core Cooling System), seguono i criteri di ridondanza e diversificazione, il reattore AP1000 prevede l'utilizzo di sistemi passivi, sia per la refrigerazione di emergenza del nocciolo (tra i quali il PRHR, Passive Residual Heat Removal System) e la rimozione del calore residuo, sia per la refrigerazione del contenimento (PCCS, Passive Containment Cooling System).

Prima di entrare più a fondo nei dettagli del confronto dei vari sistemi presenti nelle due tipologie di reattori, è consigliabile procedere allo stesso modo con cui il progettista affronta i suoi problemi legati all'identificazione degli stati di malfunzionamento del nocciolo, operando un'analisi in termini di PRA/PSA (Probabilistic Risk/Safety Assessment) ovvero procedendo all'analisi probabilistica di

² ENEL possiede il 12.5% di Flamanville3 in termini di potenza, che equivale a 200 MWe. Secondo gli accordi, ENEL pagherà il 12,5% della costruzione di Flamanville 3 e parteciperà al processo di progettazione e costruzione, per acquisire il know-how e l'esperienza per i propri futuri progetti.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP5 - 0008	0	L	5	26

rischio dell'impianto ³In particolare, per quanto riguarda la fase che coinvolge primariamente il nocciolo del reattore, si procede all'identificazione della CDF (Core Damage Frequency). Per determinare i valori di CDF è necessario procedere al PRA/PSA.

Il Probabilistic Risk Assessment è una metodologia matura che permette di quantificare il rischio derivante dagli incidenti negli impianti nucleari. Tale metodologia prevede lo sviluppo di modelli in grado di informare sulla risposta dei sistemi e degli operatori agli eventi iniziatori di sequenze incidentali. Modelli aggiuntivi sono elaborati per identificare i modi di guasto dei componenti che causano il malfunzionamento dei sistemi di mitigazione degli incidenti stessi.

Nel modellare il sistema, ogni modo di guasto di un componente viene rappresentato come un singolo "basic event". La valutazione del rischio si raggiunge "propagando" la probabilità di guasto e le distribuzioni dei parametri attraverso il PRA ed i relativi modelli per le incertezze. Nonostante le oggettive limitazioni del metodo, dovute principalmente alle incertezze in gioco, il PRA è uno strumento utile per comprendere il rischio di danneggiamento di un dato reattore.

L'attuale obiettivo per il CDF stabilito dall'autorità di sicurezza americana US Nuclear Regulatory Commission (NRC) è $1 \cdot 10^{-4}$ incidenti per anno per reattore, cioè $10^{-4}/ry$. Da ciò consegue che tutti i reattori licenziati negli Stati Uniti devono avere un valore di CDF inferiore a questo standard. La maggior parte dei reattori operanti negli Stati Uniti ha un CDF dell'ordine di $5 \cdot 10^{-5}$. In Finlandia, dove è in costruzione un reattore EPR, la legislazione impone un criterio pari a $10^{-5}/ry$, mentre l'autorità di sicurezza francese non prevede valori di riferimento come criterio di accettabilità dell'analisi di PSA, sebbene sia genericamente indicato un valore attorno a $1 \cdot 10^{-6}$ come probabilità annua che l'impianto possa essere fonte di conseguenze inaccettabili ⁴.

³ Da ora, quando ci riferiremo all'assessment probabilistico eseguito con l'approccio Americano, scriveremo PRA, con l'approccio europeo invece scriveremo PSA. Sostanzialmente i due approcci sono equivalenti e simili.

⁴ Riferimento: NEA/CSNI/R(2009)16, "Probabilistic Risk Criteria and Safety Goals", December 2009.

2 CONSIDERAZIONI SUL PSA/PRA PER AP1000 ED EPR

Le uniche valutazioni fornite da AREVA, per quanto riguarda il PSA dell'EPR, sono che in questo tipo di reattore il CDF si riduce di un fattore 10 rispetto agli attuali PWR, più specificamente, si stima un CDF di $1 \cdot 10^{-6}$ incidenti per reattore per anno ⁵.

Tale valore risulta di un ordine di grandezza più elevato di quello stimato per AP1000, pari a $2.4 \cdot 10^{-7}$ ⁶.

Tale differenza sembra sia dovuta al concorso di una varietà di contributi, che vanno dalle assunzioni conservative fino ad un effettivo vantaggio in termini di safety dell'AP1000 che, come già accennato, prevede l'impiego di sistemi passivi. In ogni caso, entrambi i reattori risultano sicuri e rispettano adeguatamente i requisiti imposti da NRC.

EPR, da parte sua, può argomentare il fatto che si avvale di caratteristiche aggiuntive per mitigare le conseguenze di un ipotetico deterioramento del nocciolo ed interazione con le strutture del basamento (come è per il "core catcher" nell'evento di fusione) e di un contenimento di tipo rinforzato contro il rischio di eventi esterni, compreso il crash d'aereo.


La seguente tabella indica i sistemi di sicurezza più rilevanti, introdotti per i due diversi reattori, per assicurare il raffreddamento del nocciolo e/o del contenimento anche in condizioni incidentali, e i risultati dell'analisi probabilistica di sicurezza in termini di CDF:

Progetto	Sicurezza	CDF	Sistemi Principali di Sicurezza
EPR	Sistemi Attivi	$1 \cdot 0E-6$	ECCS (4 treni ridondanti ed indipendenti)
AP 1000	Sistemi Passivi	$2.4E-7$	PXS (Passive Core Cooling System), PCS (Passive Containment Cooling System)


In particolare, ad esempio, l'utilizzo dei sistemi passivi per la refrigerazione di emergenza, risulta determinante, rispetto ai sistemi attivi, negli incidenti di SBO/LOOP (Station Black Out/ Loss of Off Site Power), in quanto questi, una volta attivati in maniera automatica, sono in grado di svolgere la funzione di sicurezza, relativa al raffreddamento del nocciolo, senza la necessità di alcuna forma esterna di energia né tantomeno dell'intervento dell'operatore, riducendo quindi in maniera significativa il rischio relativo. Pertanto, la migliore affidabilità del PRHR (Passive Residual Heat Removal), il cui funzionamento è basato sulla circolazione naturale, adottato nell'AP1000 rispetto al "tradizionale" AFW (Auxiliary Feed Water system), contribuisce in maniera rilevante alla riduzione del valore del CDF. L'impiego dei sistemi passivi consente inoltre l'eliminazione di importanti contributori al rischio, in

⁵ Riferimento: Nuclear Directorate Generic Design Assessment – New Civil Reactor Build, Step 3 Probabilistic Safety Analysis of the Edf and Areva Uk EPR, Division 6 Assessment Report No. Ar 09/027-P.

⁶ Riferimento: Westinghouse Co., "AP1000 Probabilistic Risk Assessment," Revision 5, December 2003, (Rev.0 sent to NRC March 2002).

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP5 - 0008	0	L	7	26

particolare di quelli associati ai guasti dei sistemi di supporto (ad esempio alimentazione elettrica o raffreddamento dei componenti) e di quelli associati al mancato avvio e funzionamento di componenti attivi, come le pompe o i generatori diesel.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP5 - 0008	0	L	8	26

3 GENERALITA' SUI SISTEMI ATTIVI E PASSIVI DI AP1000 ED EPR

Un punto importante da affrontare nella valutazione di sicurezza dei reattori innovativi, in cui è previsto l'impiego di sistemi passivi (AP1000), è la valutazione comparativa tra quei sistemi passivi e quelli attivi che sarebbero necessari per svolgere la stessa funzione di sicurezza, sia su base economica, sia funzionale. In linea di principio è generalmente diffusa l'opinione che i sistemi passivi siano più affidabili e competitivamente economici rispetto ai corrispondenti attivi. Tale opinione nasce dal fatto che i reattori dotati di sistemi di sicurezza passiva presentano un basico aumento della sicurezza accoppiato vantaggiosamente a una diminuzione dei costi per raggiungerla.

Per completezza di trattazione va però messo in evidenza che i sistemi passivi sono soggetti ad incertezze che non esistono per i sistemi attivi. Si fa qui segnatamente riferimento al ricorso ai processi naturali su cui i sistemi passivi si basano ed alla potenziale insorgenza di fenomenologie che ne potrebbero alterare la buona prestazione. Queste "vulnerabilità di fondo" possono risultare in un aumento della indisponibilità del sistema nonché in costi aggiuntivi. E' per questi motivi che si raccomanda fortemente, prima di decidere a quale filiera votarsi, di procedere ad un confronto approfondito tra il concetto passivo ed attivo, sia in termini di affidabilità, sia di costi.

Ecco alcuni esempi dei pro e dei contro dei sistemi passivi, che dovrebbero essere valutati rispetto al corrispondente sistema attivo ⁷.

Vantaggi:

- ✓ nessuna alimentazione esterna: nessun incidente di perdita di potenza;
- ✓ nessun fattore umano;
- ✓ migliore impatto sull'opinione pubblica grazie al ricorso a processi naturali;
- ✓ minore complessità rispetto ai sistemi attivi e, di conseguenza, maggiore competitività economica.

Inconvenienti:

- ✓ aumentata incertezza a causa del ricorso a processi naturali;
- ✓ questione aperta relativamente ai requisiti necessari per il licensing;
- ✓ necessità di ulteriori test operativi (fattore umano?);
- ✓ valutazione della affidabilità in ogni caso.

Di una certa utilità potrà risultare la descrizione e il confronto dei vari sistemi di sicurezza ed emergenza riportata qui di seguito.

⁷ Riferimento: L. Burgazzi, Addressing the challenges posed by advanced reactor operation and safety, presentato a IAEA International Conference on Operational Safety Experience and Performance of Nuclear Power Plants and Fuel Cycle Facilities, 21-25 June 2010.

4 DESCRIZIONE DEI SISTEMI DI SICUREZZA NELL'AP1000

L'edificio di contenimento è rivestito internamente da un cilindro di acciaio (**Containment Vessel**) appoggiato alla base dell'edificio stesso. La sua funzione è quella di trattenere il rilascio di radioattività a seguito di un incidente considerato in fase di progetto (DBA Design Basis Accident). Inoltre, questo cilindro in acciaio funziona come schermo del nocciolo durante la normale operazione del reattore. Infine costituisce anche un sistema per evacuare calore in caso di incidente.

Il sistema passivo di raffreddamento dell'edificio di contenimento (**PCS** Passive Containment Cooling System) è formato dai seguenti componenti:

- un deposito d'acqua di raffreddamento passivo del contenimento (Passive Containment Cooling System Water Tank) che è incorporato in vetta alla struttura dell'edificio di contenimento;
- un diaframma (Air Baffle) situato fra il cilindro in acciaio (steel containment vessel) e la struttura in cemento armato dell'edificio di contenimento;
- un'entrata e un'uscita d'aria per raffreddare il cilindro in acciaio (Containment Cooling Air Inlet/Discharge);
- un sistema di distribuzione d'acqua;
- un deposito ausiliario d'acqua e due pompe di ricircolo per immagazzinamento in-sito di acqua di raffreddamento addizionale.

Quando il PCS entra in funzione, versa acqua nella parte esterna superiore del cilindro in acciaio, formando una pellicola d'acqua. Grazie all'effetto camino, l'aria fresca entra all'interno della struttura in calcestruzzo dell'edificio di contenimento nella parte inferiore, lambisce l'esterno del cilindro in acciaio causando evaporazione della pellicola d'acqua e raffreddandolo.


Il Sistema di Isolamento del Contenimento (**Containment Isolation System**) ha la principale funzione di isolare il contenimento durante la normale operazione e in caso di emergenza per permettere il passaggio di fluidi attraverso le pareti del contenimento, mantenendone intatta la struttura. Questa funzione previene o limita le fughe di prodotti di fissione in caso di incidente. Sempre in caso di incidente, il sistema di isolamento è progettato in modo che le linee di penetrazione vengano isolate. Il sistema di isolamento è composto da tubature, valvole e servomotori.

Il sistema di controllo dell'idrogeno nell'edificio di contenimento (**Containment Hydrogen Control System**) controlla la concentrazione di idrogeno in modo da non mettere in pericolo l'integrità del contenimento. Questo sistema consiste in un sistema di monitoraggio, ricombinatori passivi autocatalitici (PAR Passive Autocatalytic Hydrogen Recombiners) e ignitori.

Il Sistema passivo di raffreddamento del nocciolo (**PCX** Passive Core Cooling System) fornisce un raffreddamento d'emergenza al nucleo in caso di incidenti previsti in fase di progetto (DBA design-basis events).

Questo sistema si compone dei seguenti elementi:

- due depositi d'acqua trattata per il nocciolo (core makeup tanks);
- due accumulatori;

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP5 - 0008	0	L	10	26

- un deposito d'acqua dentro all'edificio di contenimento per il rifornimento di combustibile (IRWST in-containment refueling water storage tank);
- uno scambiatore di calore per rimuovere in modo passivo il calore di decadimento del nocciolo (PRHR Passive Residual Heat Removal);
- un sistema per il controllo del pH;
- tubature e valvolame vario.

Il sistema di depressurizzazione automatico (**ADS** Automatic Depressurization System) che fa parte del sistema di raffreddamento del nocciolo (RCS Reactor Coolant System) espleta l'importante funzione di raffreddamento passivo del nocciolo togliendo pressione al RCS. Il sistema PXS fornisce un raffreddamento d'emergenza al nocciolo in caso di incidenti previsti in fase di progetto nel seguente modo:

1. iniettando acqua trattata e boro dai depositi nel RCS quando la fornitura in normali condizioni di funzionamento è insufficiente;
2. iniettando acqua non trattata al RCS per assicurare un raffreddamento adeguato al nucleo durante un DBA postulato;
3. rimuovendo il calore di decadimento durante transitori ed incidenti.

Il sistema di abitabilità di emergenza della sala controllo principale (MCR Main Control Room) è composto da un insieme di depositi d'aria connessi alla linea principale di distribuzione d'aria e ad una linea alternativa. Componenti comuni ad ambe linee sono una valvola d'isolamento, una valvola di regolazione di pressione e un orificio per misurare la portata dell'aria. Questo sistema è stato progettato per fornire la ventilazione e pressurizzazione necessarie per mantenere la sala controllo abitabile per 72 ore dopo un incidente DBA.

Nelle pagine successive sono riportate alcune figure per la descrizione grafica dei sistemi trattati qui sopra.

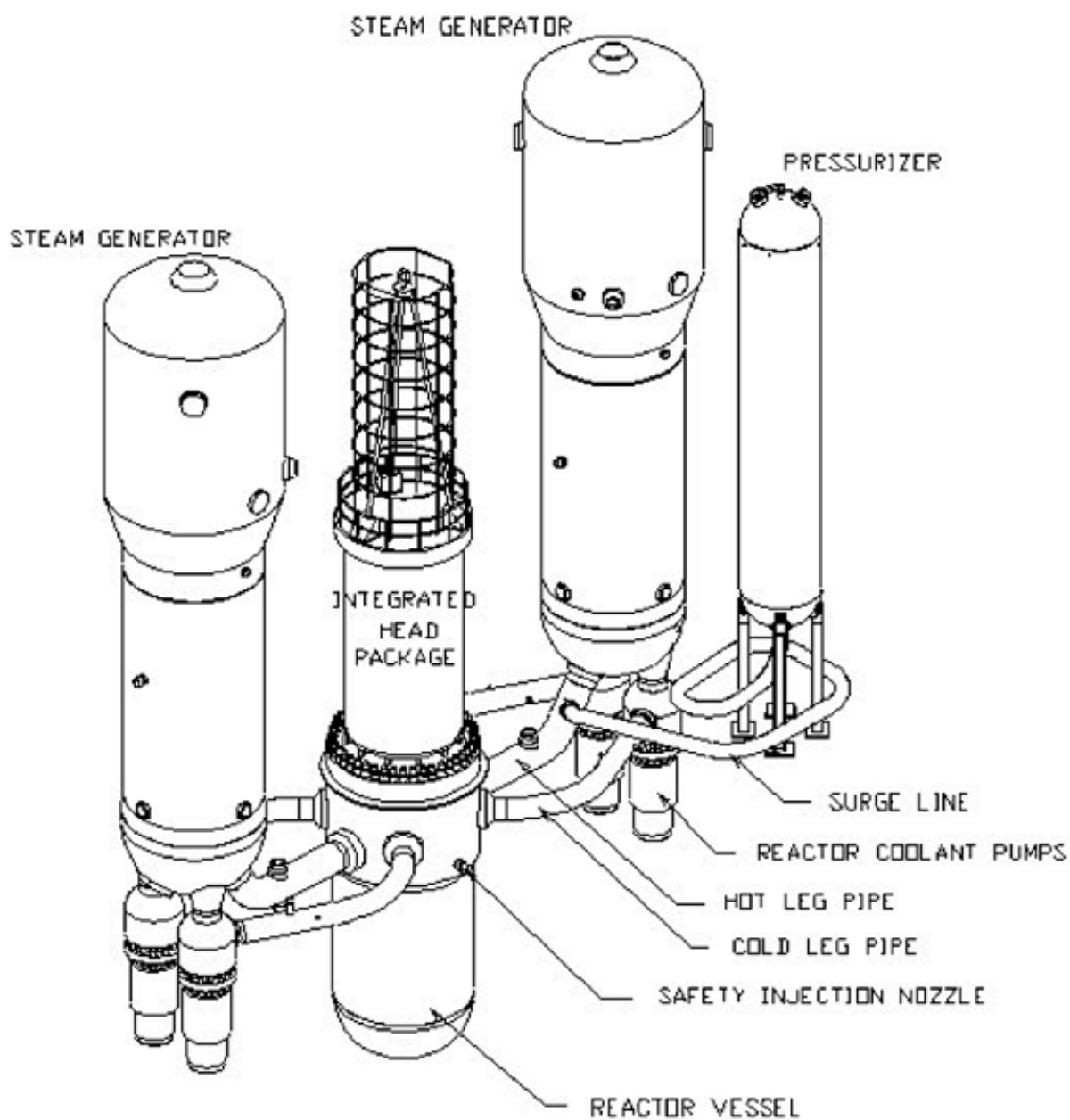


Figura 1: AP1000-Sistema di Raffreddamento del Reattore (RCS)

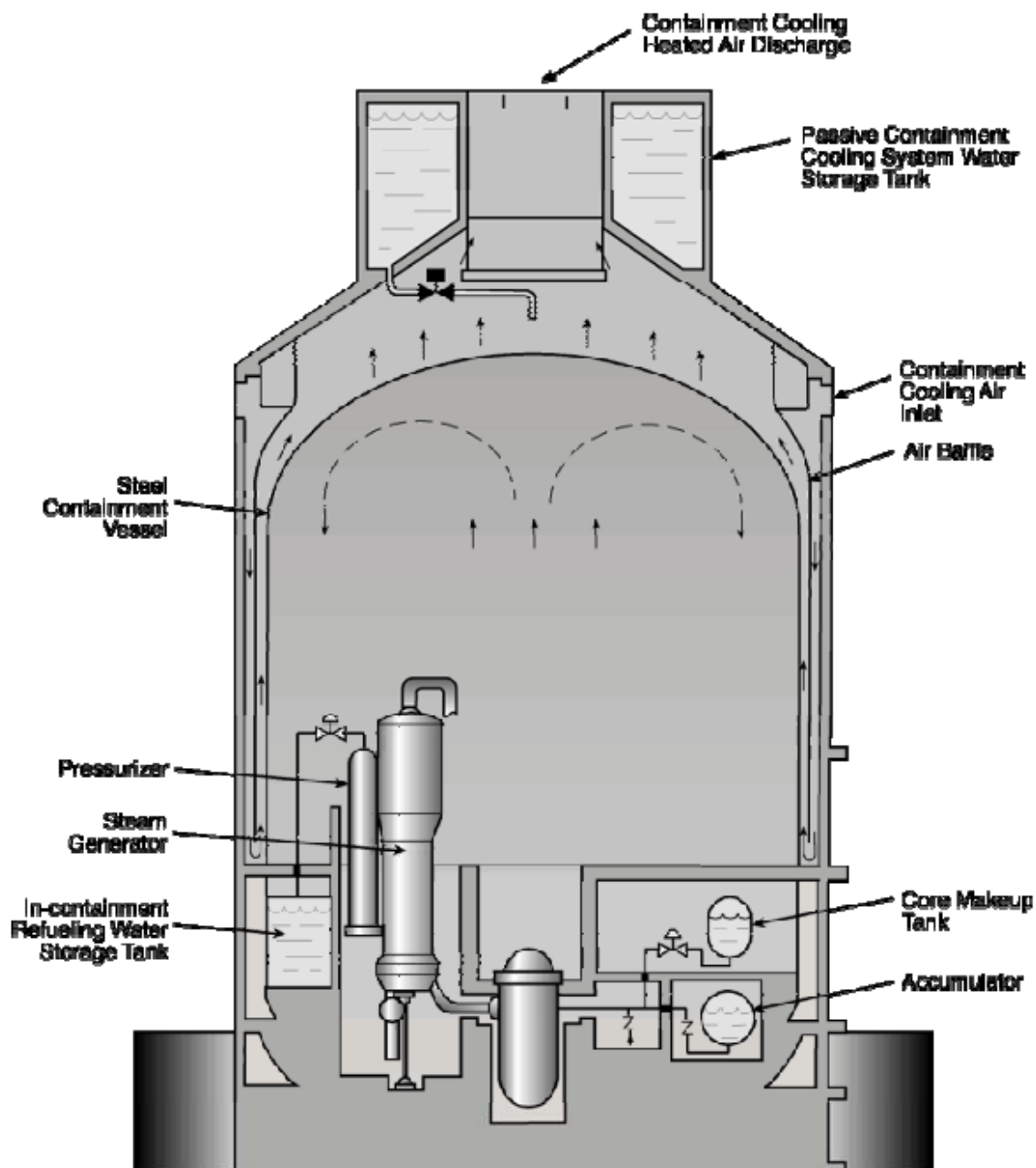


Figura 2: AP1000-Sistema di Iniezione Passivo di Sicurezza post LOCA, raffreddamento a lungo termine

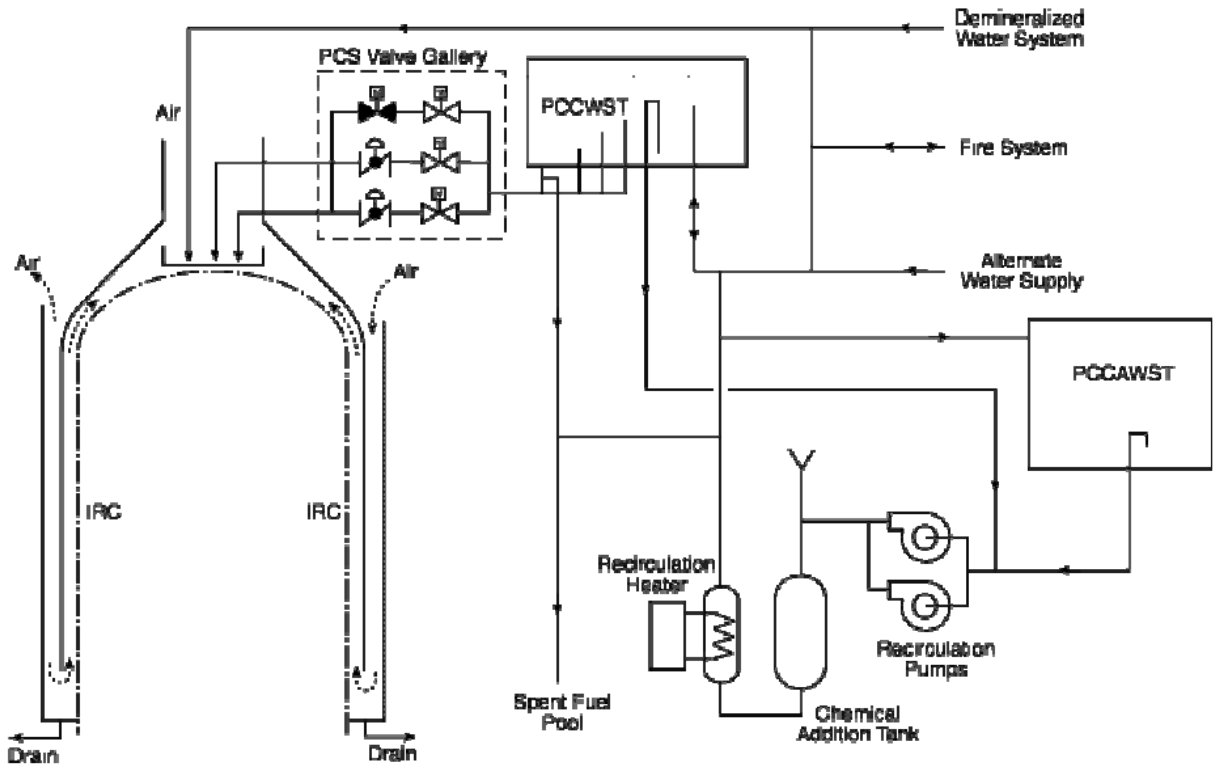


Figura 3: AP1000-Sistema Passivo di Raffreddamento del Contenimento (PCS)

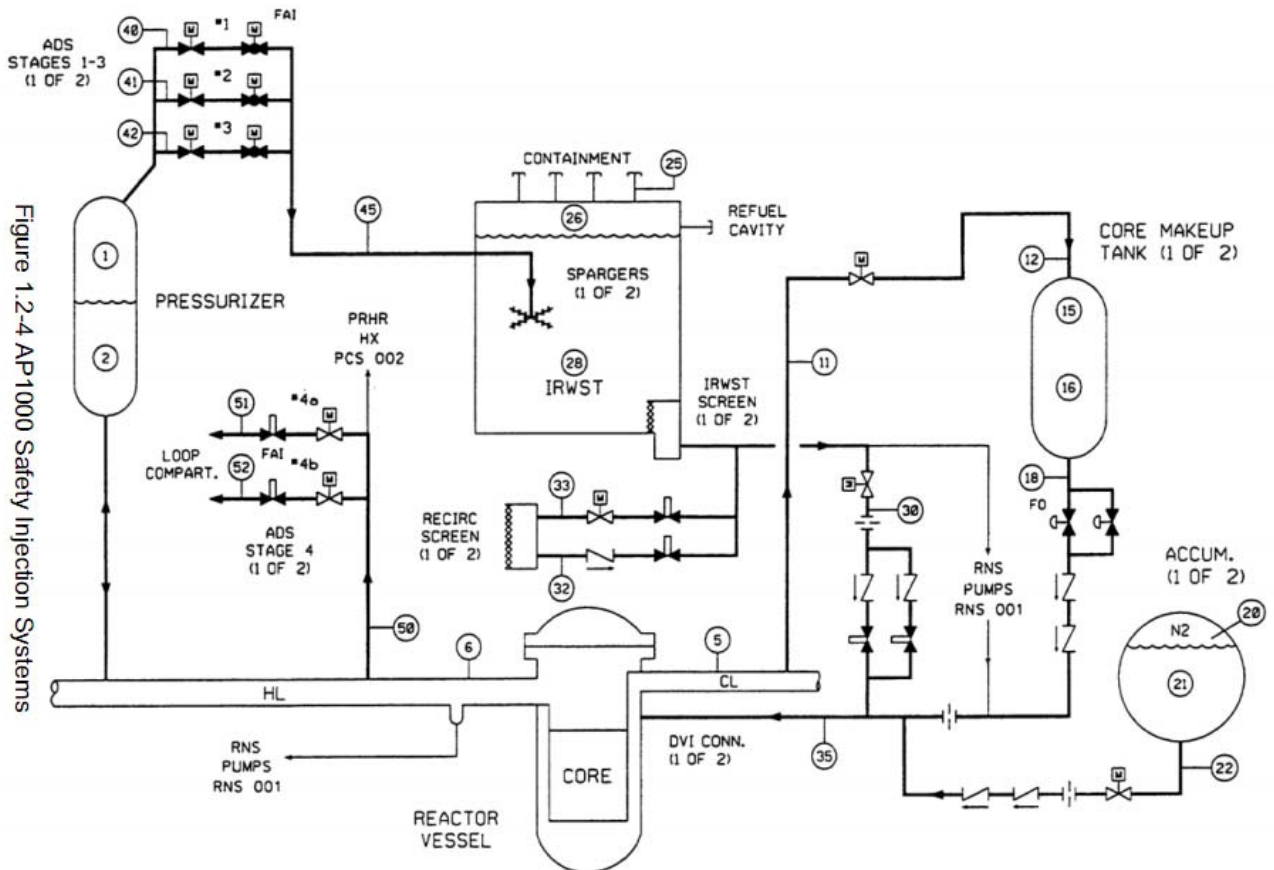
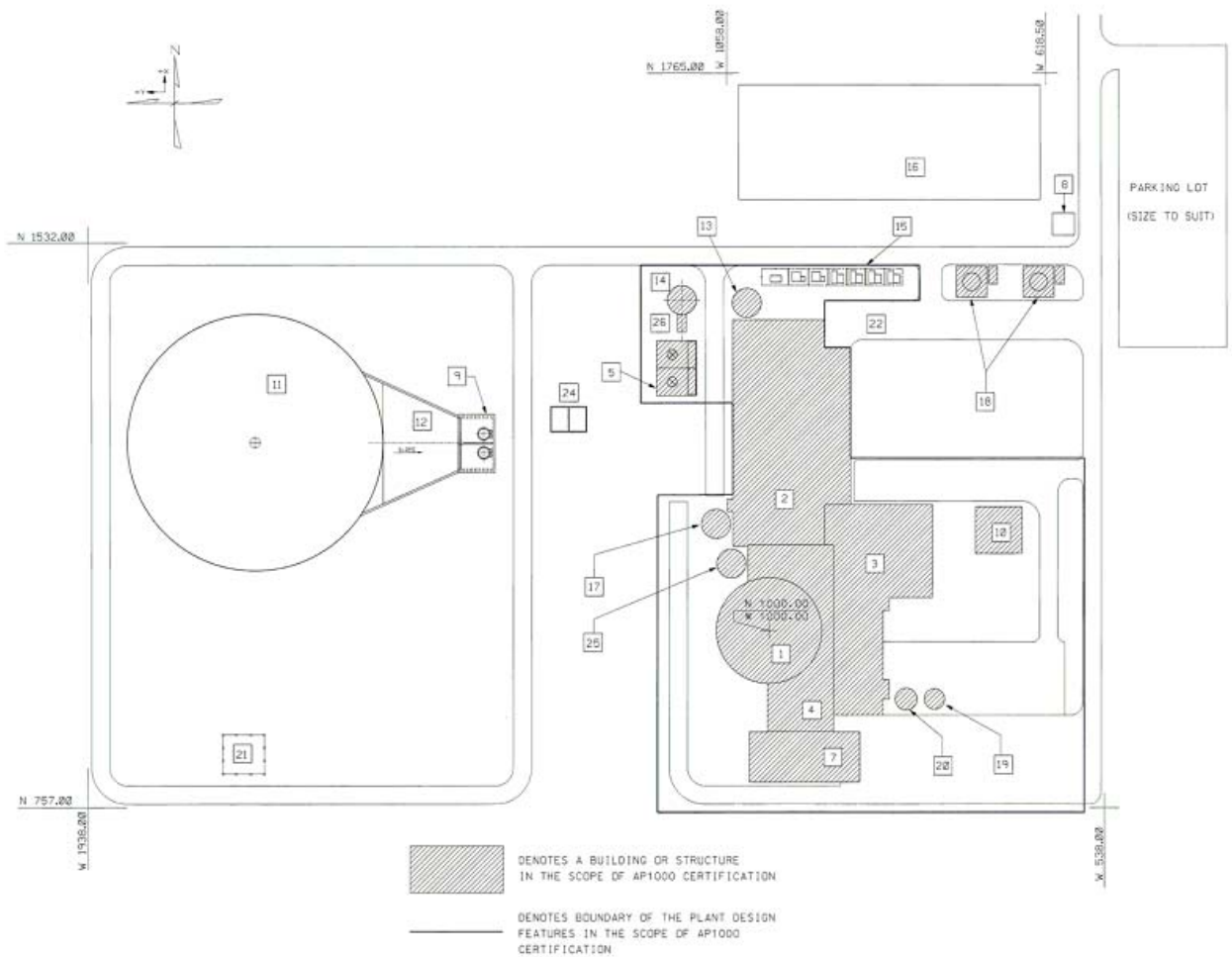


Figure 1.2-4 AP1000 Safety Injection Systems

Figura 4: AP1000-Sistemi di iniezione di sicurezza



1. Containment/Shield Building
2. Turbine Building
3. Annex Building
4. Auxiliary Building
5. Service Water System Cooling Towers
7. Radwaste Building
8. Plant Entrance
9. Circulating Water Pump Intake Structure
10. Diesel Generator Building
11. Circulating Water System Cooling Tower
12. Circulating Water System Intake Canal
13. Fire Water/Clearwell Storage Tank
14. Fire Water Storage Tank
15. Transformer Area
16. Switchyard
17. Condensate Storage Tank
18. Diesel Generator Fuel Oil Storage Tank
19. Demineralized Water Storage Tank
20. Boric Acid Storage Tank
21. Hydrogen Storage Tank Area
22. Turbine Building Laydown Area
24. Waste Water Retention Basin
25. Passive Containment Cooling Ancillary Water Storage Tank
26. Diesel-Driven Fire Pump/Enclosure

Figura 5: AP1000-Disposizione in pianta della centrale

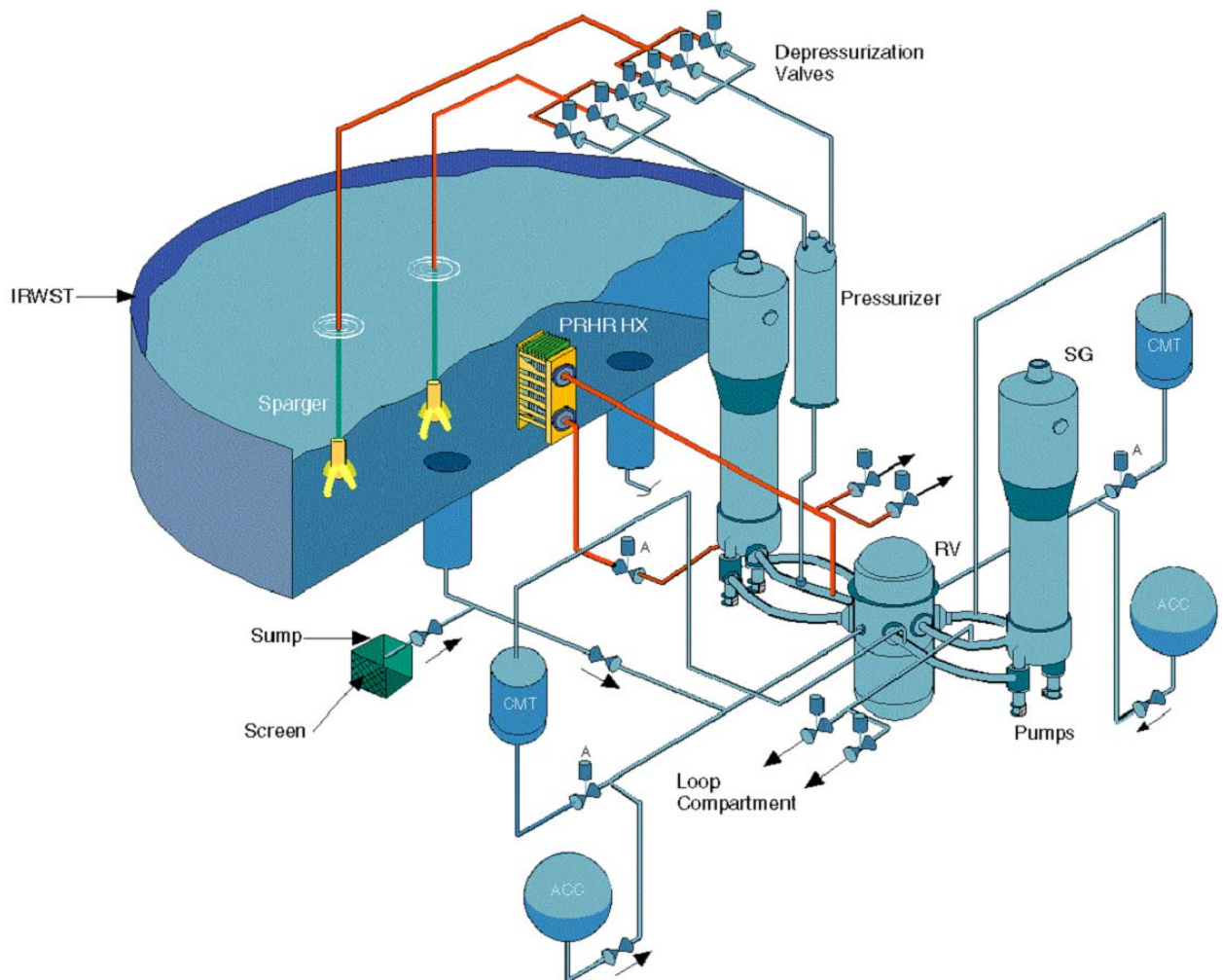



Figura 6: AP1000-Sistema di raffreddamento passivo del nucleo (PXS)

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP5 - 0008	0	L	16	26

5 DESCRIZIONE DEI SISTEMI DI SICUREZZA NELL'EPR

La disposizione dei sistemi di sicurezza e la progettazione delle strutture civili minimizza il rischio causato da eventi come terremoti, inondazioni, incendi, disastri aerei. I sistemi di sicurezza sono stati progettati sulla base della quadruplica ridondanza, meccanicamente ed elettricamente. Ciò significa che ogni sistema è in realtà composto da quattro sistemi (detti a volte “treni”) ognuno dei quali è in grado di per sé di svolgere la sua funzione di sicurezza. Ogni treno è separato fisicamente dagli altri e situato in quattro edifici indipendenti (detti a volte “divisioni”).

Ogni divisione include un treno per:

- iniezione di sicurezza di acqua borata dentro al vessel del reattore in caso di LOCA. Ciò è possibile grazie a un sistema di iniezione a bassa pressione e il suo laccio di raffreddamento e un sistema di iniezione a media pressione;
- un sistema di alimentazione di emergenza di acqua al generatore di vapore;
- sistemi elettrici e di controllo che supportano la funzione dei citati sistemi di sicurezza.

L'edificio che ospita il reattore, l'edificio in cui il combustibile esaurito è immagazzinato a titolo provvisorio, e i quattro edifici corrispondenti alle quattro divisioni del sistema di sicurezza sono dotati di una protezione speciale contro rischi esterni, come terremoti ed esplosioni. La protezione contro la caduta di aerei è stata ulteriormente rafforzata. L'edificio del reattore è protetto da un doppio schermo in cemento armato: un guscio esterno di grosso spessore in cemento armato e una spessa calotta interna realizzata in cemento precompresso che è internamente ricoperta da un rivestimento metallico di grosso spessore. Lo spessore e il rafforzamento del guscio esterno forniscono resistenza sufficiente per assorbire l'impatto di un grosso aereo commerciale. Il doppio muro di cemento è esteso all'edificio del combustibile e a due dei quattro edifici di salvaguardia che contengono la Main Control Room e la stazione di arresto remoto che verrebbe utilizzata in caso di condizioni d'emergenza. Gli altri due edifici di salvaguardia, che non sono protetti dalla doppia parete, sono comunque lontani l'uno dall'altro e separati dall'edificio del reattore, impedendo loro di essere danneggiati contemporaneamente. In questo modo, se un incidente aereo dovesse verificarsi, almeno tre dei quattro treni dei sistemi di sicurezza sarebbero disponibili.

Il Sistema di Iniezione di sicurezza (**SIS Safety Injection System**) e il Sistema di Rimozione del Calore Residuo (**RHR Residual Heat Removal System**) si compongono di:

- sistema di iniezione di sicurezza a media pressione (**MHSI Medium Head Safety Injection**);
- accumulatori;
- sistema di iniezione di sicurezza a bassa pressione (**LHSI Low Head Safety Injection**);
- deposito d'acqua per rifornimento dentro all'edificio di contenimento (**IRWST In-Containment Refuelling Water Storage Tank**)

Il sistema svolge una doppia funzione, essendo usato sia durante la normale operazione RHR, sia in caso di incidente. Il sistema è stato progettato sulla base di una quadruplica ridondanza, viene cioè replicato in quattro sistemi indipendenti tra loro, soddisfacendo così il concetto “N+2”.

Il concetto N+2 significa avere la capacità di poter svolgere la propria funzione nonostante un sistema guasto, un sistema non disponibile per manutenzione. Ogni sistema è in grado di iniettare acqua dentro al circuito di raffreddamento del nocciolo attraverso un accumulatore, una pompa di media pressione e una pompa di bassa pressione, evacuando calore attraverso uno scambiatore di calore.


Durante le normali condizioni operative, cioè operando in RHR (rimozione calore residuo) questo sistema:

- scambia calore fra il RCS e il sistema di raffreddamento (**CCWS Component Cooling Water System**) quando la temperatura del RCS è inferiore a 120° C;
- scambia calore in continuazione fra il RCS o la piscina di rifornimento combustibile e il CCWS durante uno spegnimento “a freddo” e uno spegnimento per rifornimento fino a quando un fascio di barre combustibili resta dentro al reattore.

In caso di un incidente previsto in fase di progetto, il SIS operando in modo RHR insieme al CCWS e il sistema essenziale di acqua di servizio (**ESWS Essential Service Water System**) mantiene la temperatura dell’acqua in uscita dal vessel (gamba calda) sotto i 180° C dopo lo spegnimento del reattore.

I quattro sistemi SIS/RHR ridondanti e indipendenti sono disposti in compartimenti separati negli edifici di salvaguardia. Ogni sistema è connesso a un laccio del RCS dedicato ed è progettato per fornire la capacità di iniezione necessaria per mitigare la situazione incidentale.

Il deposito d’acqua per rifornimento combustibile dentro all’edificio di contenimento (**IRWST In-Containment Refuelling Water Storage Tank**) contiene un gran volume di acqua borata ed ha la capacità di raccogliere l’acqua scaricata dentro l’edificio di contenimento in caso d’incidente. La sua funzione principale è quella di fornire acqua al SIS, al sistema di rimozione del calore dall’edificio di contenimento (CHRS Containment Heat Removal System) e alle pompe del sistema di controllo del volume e della chimica (CVCS Chemical and Volume Control System). Infine serve ad inondare la zona di raccolta del corium fuso in caso di un incidente con fuoriuscita di materiale fuso dal vessel. L’IRWST è posizionato nella parte inferiore dell’edificio di contenimento, sotto il piano di operazione, fra la cavità del reattore e lo schermo radiologico. In caso di incidente, l’IRWST viene raffreddato dal sistema di iniezione a bassa pressione LHSI. Vengono previsti degli schermi per proteggere il SIS, CHRS e le pompe del CVCS dai detriti che potrebbero entrare in contatto con l’acqua dell’IRWST durante un incidente.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP5 - 0008	0	L	18	26

Il sistema di emergenza di acqua d'alimentazione (**EFWS Emergency Feedwater System**) è progettato per assicurare acqua ai generatori di vapore quando l'acqua prevista durante il normale funzionamento della centrale viene a mancare.

Le sue principali funzioni di sicurezza sono:

- trasferire calore dal RCS al secondario attraverso i generatori di vapore durante il periodo precedente la connessione del RHRS in seguito a un incidente;
- assicurare acqua a sufficienza ai generatori di vapore in caso di LOCA o rottura di tubature nel generatore stesso;
- raffreddare rapidamente la centrale fino a raggiungere le condizioni operative del LHSI a seguito di un piccolo LOCA e un guasto al MHSI, congiuntamente a un rilascio di vapore al condensatore principale (se disponibile) o attraverso le valvole di sfogo (Main Steam Relief Valves) o di sicurezza (Safety Valves).

Il sistema consiste in quattro sistemi uguali separati e indipendenti tra loro, ognuno di essi capace di fornire iniezione d'acqua attraverso una pompa di alimentazione di emergenza che prende acqua da un EFWS.

Il sistema essenziale di acqua di servizio (**ESWS Essential Service Water System**) è composto da quattro sistemi uguali separati e indipendenti tra loro che raffreddano gli scambiatori di calore CCWS usando acqua dal dissipatore di calore durante la normale operazione della centrale e in caso di incidente.

Il sistema di acqua di raffreddamento ultimo (UCWS Ultimate Cooling Water System) è un sistema distinto dagli altri e consente ai sistemi di raffreddamento dedicati, associati alla mitigazione dell'incidente postulato, di essere a loro volta raffreddati, o di agire come riserva finale per raffreddare la piscina di combustibile.

Il sistema di Extra-Borazione (EBS Extra Borating System) assicura sufficiente borazione al RCS per consentire lo spegnimento "a freddo" del reattore. Questo sistema è composto da due sistemi uguali separati e indipendenti tra loro che sono in grado di iniettare l'acido borico necessario per lo spegnimento a freddo partendo da qualunque stato operativo del reattore.

Il sistema di vapore principale (MSS Main Steam System) posto a monte delle Valvole di Isolamento del vapore principale è classificato anch'esso come sistema di sicurezza. Consiste di quattro sistemi uguali separati e indipendenti tra loro, ognuno dei quali include una valvola d'isolamento del vapore, una valvola di sfiato, una valvola di sfiato d'isolamento e due valvole a molla di sicurezza.

Il sistema di acqua di alimentazione principale (MFS Main Feedwater System) posto a monte delle Valvole di Isolamento dell'acqua di alimentazione principale è classificato anch'esso come sistema di sicurezza. Consiste di quattro sistemi uguali separati e indipendenti tra loro, ognuno dei quali include una valvola d'isolamento e controllo dell'acqua di alimentazione.

Il sistema di acqua di raffreddamento dei componenti (CCWS Component Cooling Water System) trasferisce calore dai sistemi di sicurezza, dai sistemi ausiliari di operazione e da altri componenti al dissipatore di calore attraverso il sistema ESWS durante le normali condizioni di operazione della centrale. Consiste di quattro sistemi uguali separati e indipendenti tra loro, disposti in una delle quattro divisioni degli edifici di salvaguardia. Come fatto per l'AP1000, seguono alcune figure per la descrizione grafica di quanto fin qui trattato.

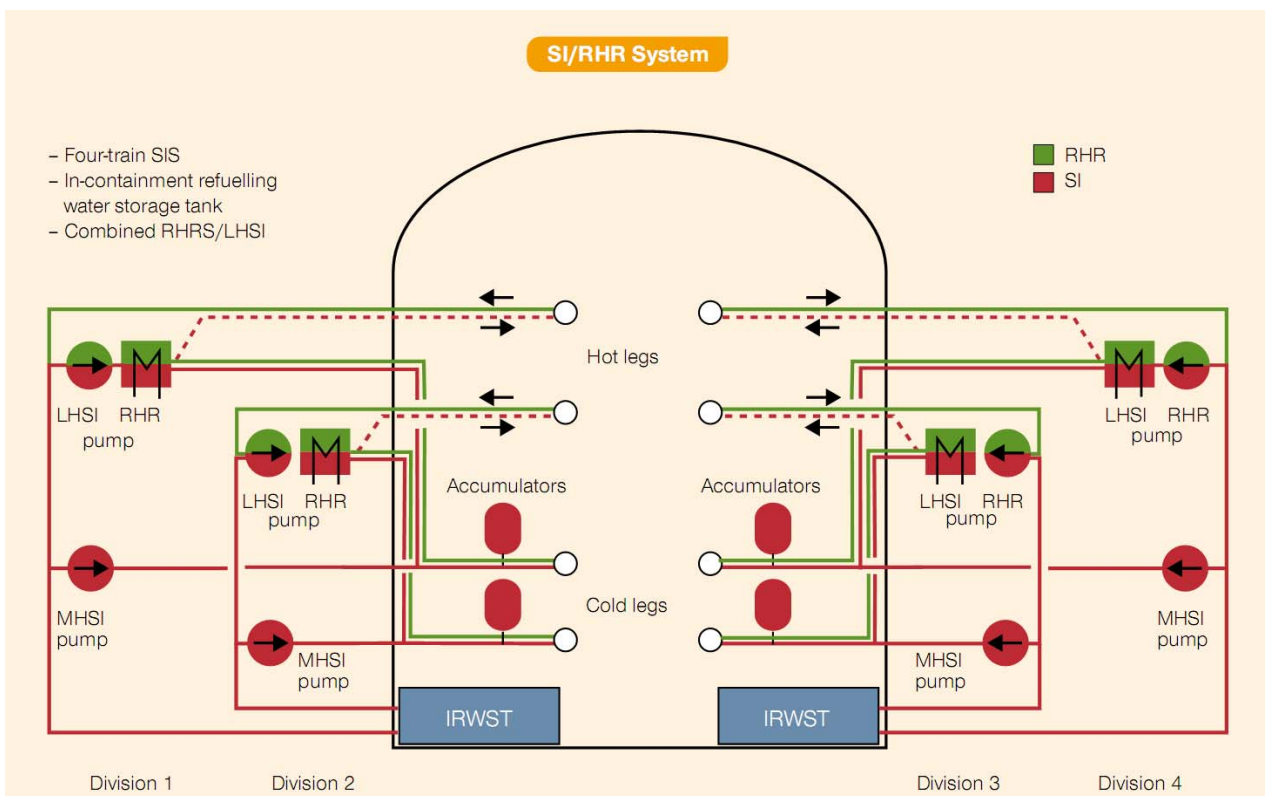


Figura 7: EPR- Sistema SI/RHR

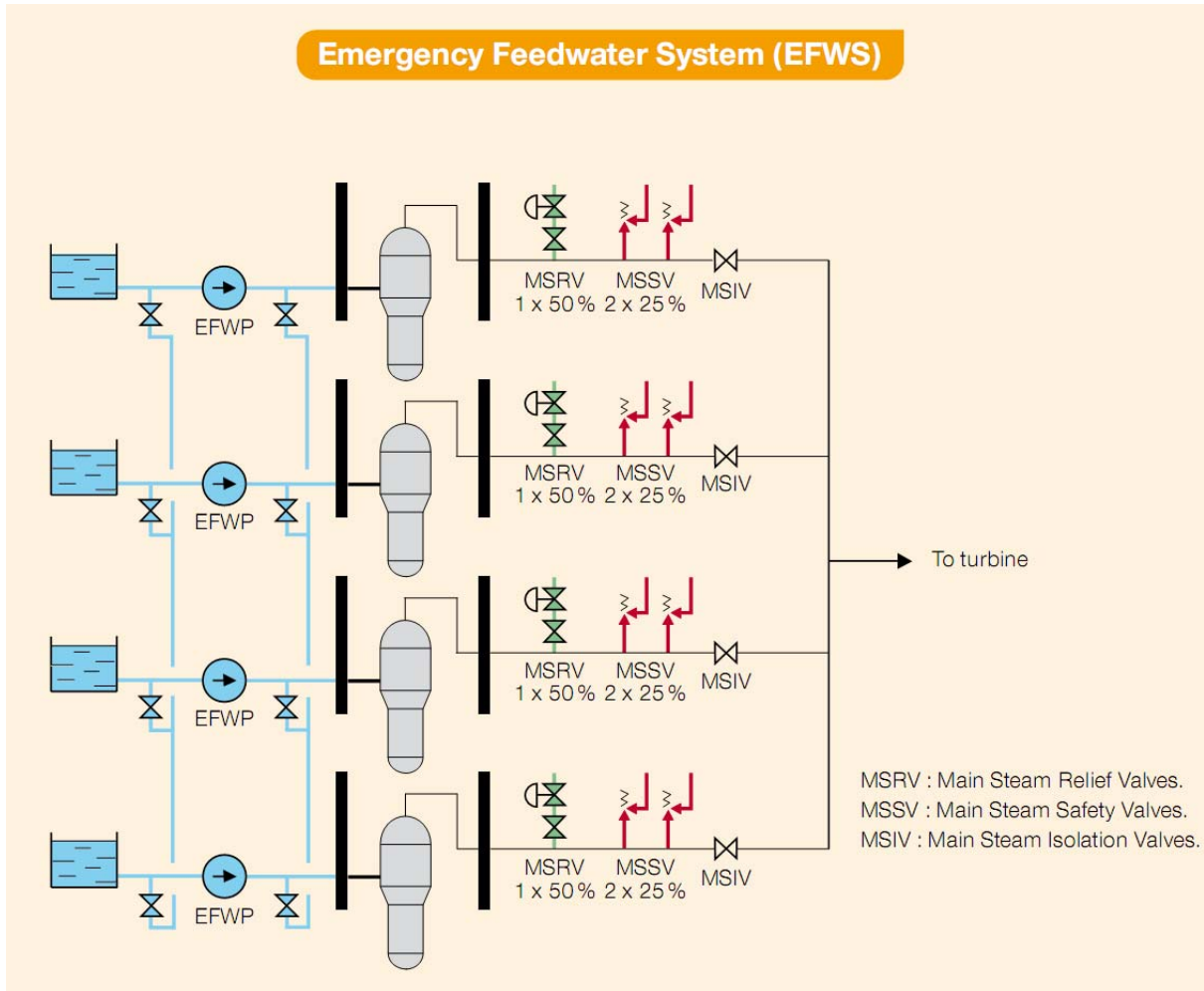


Figura 8: EPR-Sistema di emergenza di alimentazione d'acqua

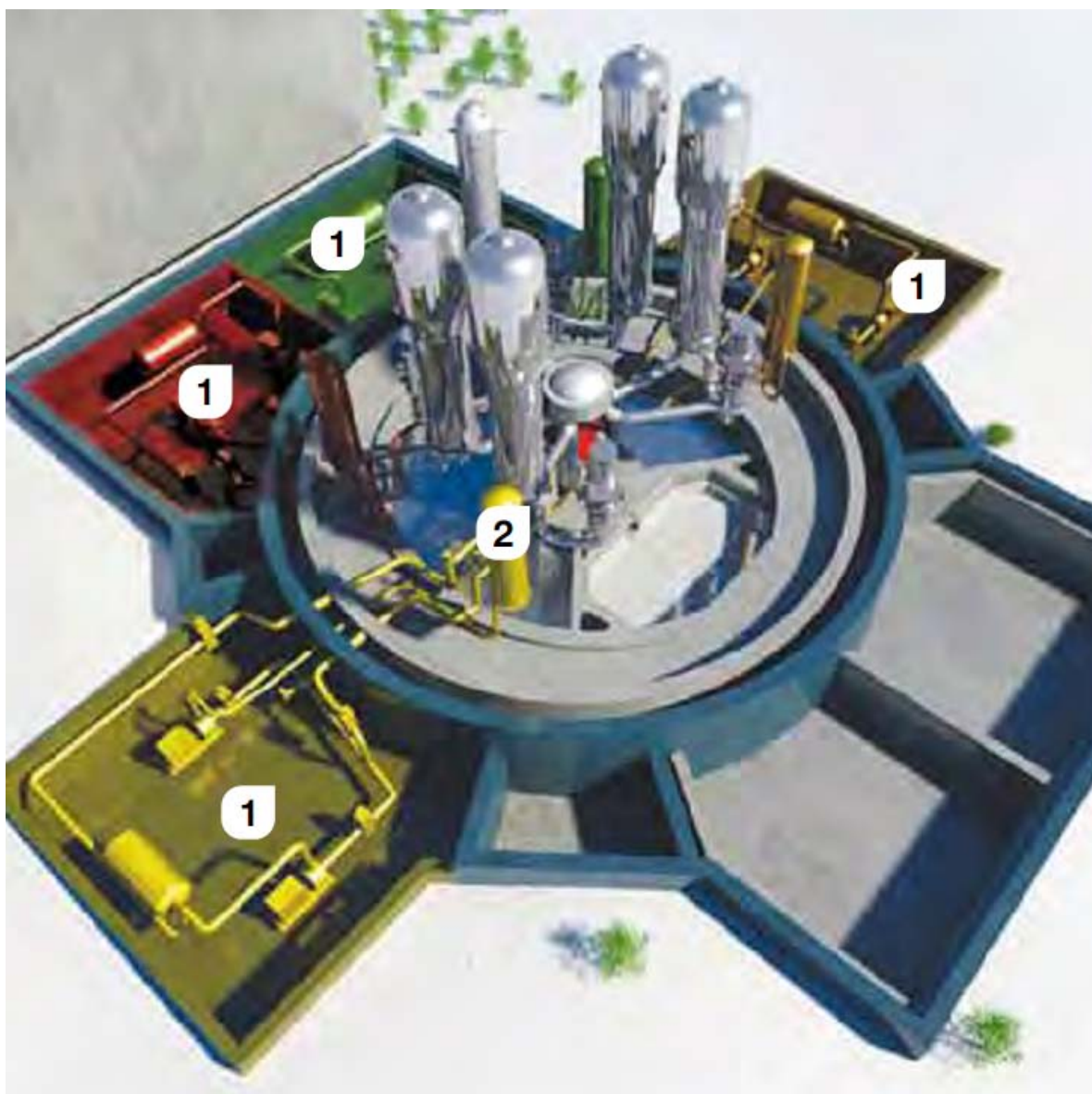


Figura 9: I principali sistemi di sicurezza dell'EPR si compongono di quattro sottosistemi (detti treni), ognuno dei quali in grado di svolgere completamente la richiesta funzione di sicurezza. C'è un treno in ogni edificio di salvaguardia (1) circondante l'edificio del reattore (2) per prevenire un guasto simultaneo dei treni.

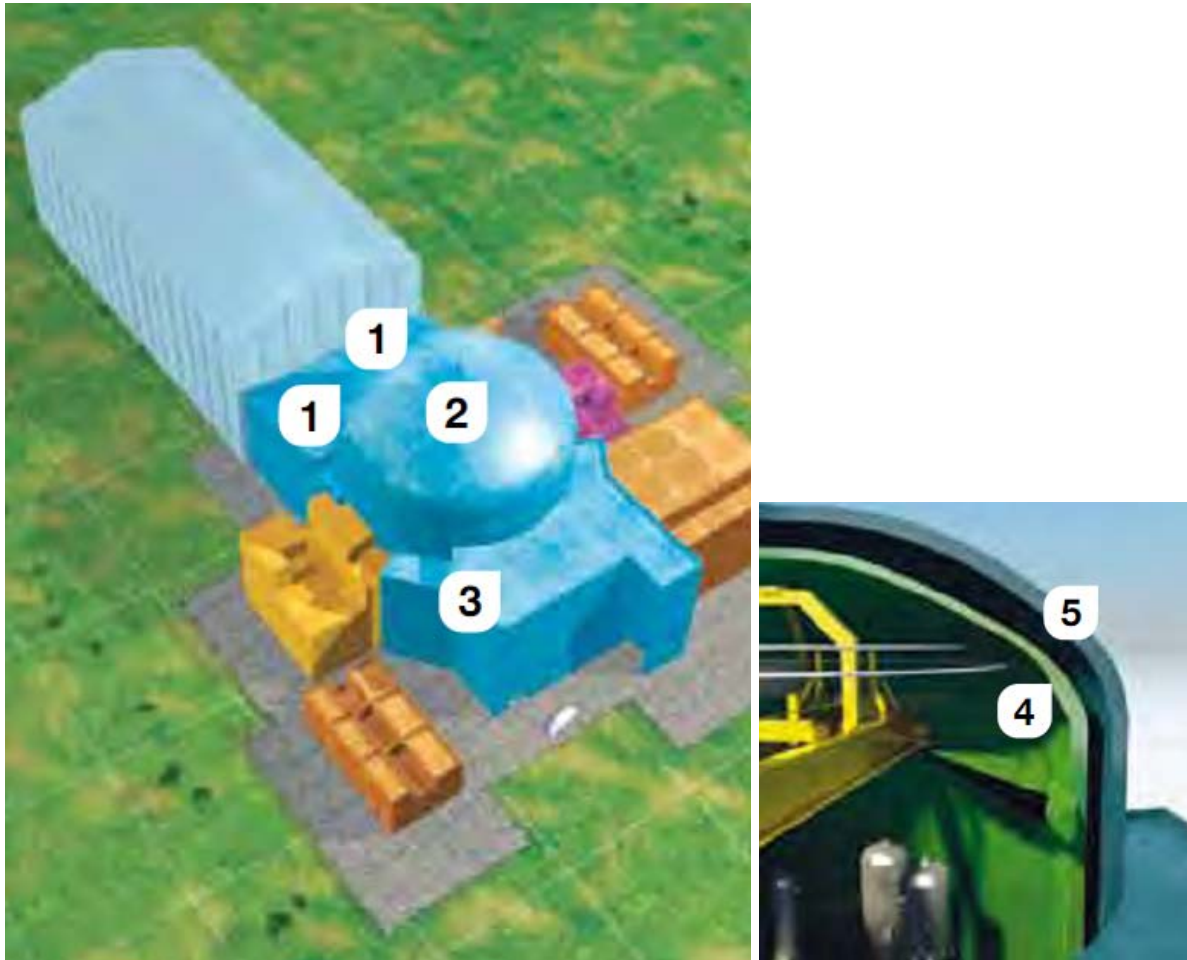


Figura 10: Lo schermo esterno (5) nell'EPR protegge l'edificio del reattore (2), l'edificio del combustibile usato (3) e due dei quattro edifici di salvaguardia (1). Gli altri due edifici di salvaguardia sono separati geograficamente. L'edificio di contenimento del reattore ha due pareti: una parete interna di cemento armato pre-tensionato (4) ricoperto internamente di un rivestimento metallico e uno schermo esterno di cemento armato rinforzato (5).

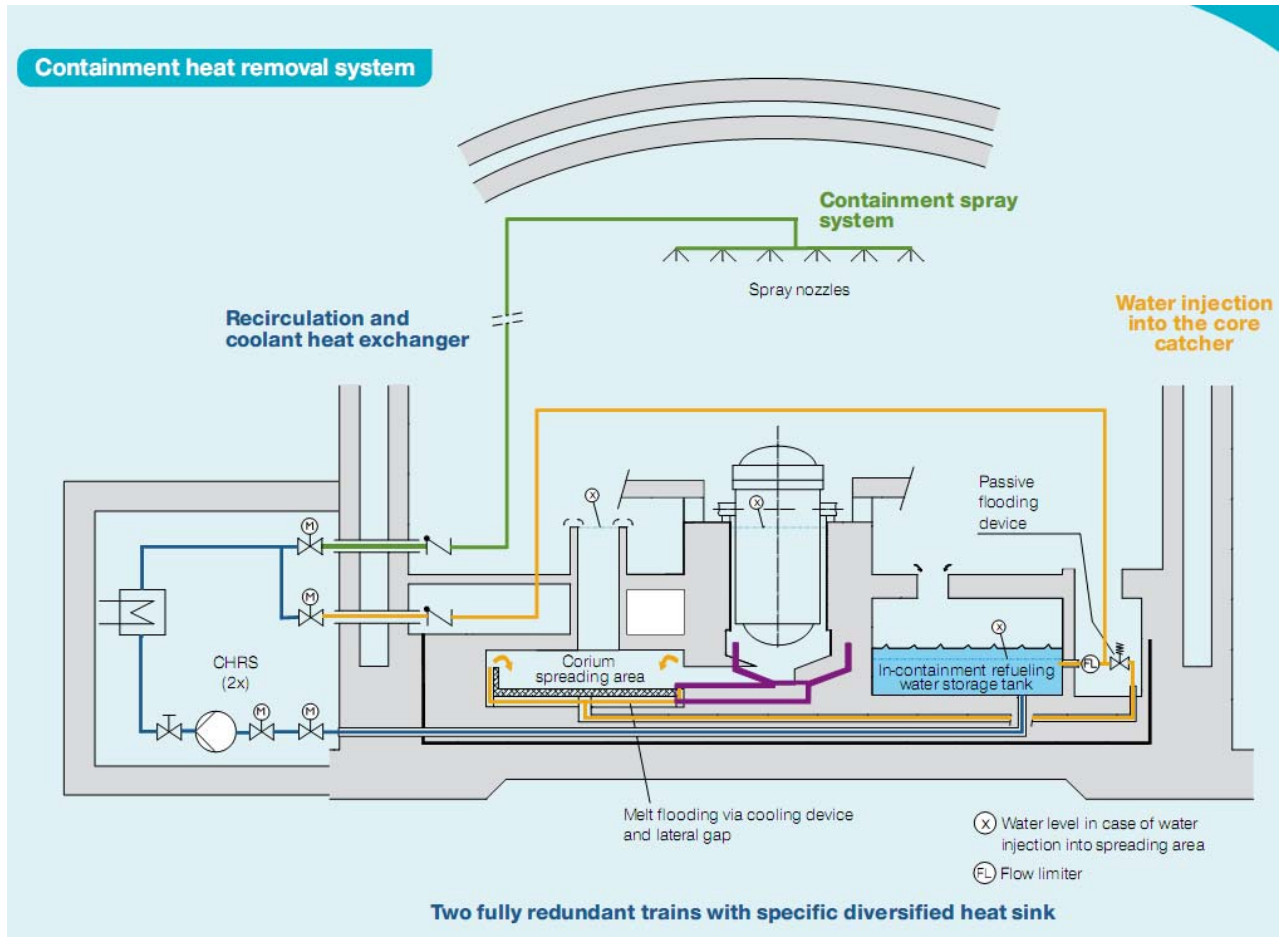


Figura 11: EPR-Sistema di rimozione del calore dal contenimento, compresa la linea di iniezione d'acqua che interessa il core-catcher.



Figura 12: In caso di fusione del nocciolo, nell'EPR il materiale fuso che fuoriesce dal vessel del reattore sarà passivamente raccolto, contenuto e raffreddato in una specifica zona chiamata "core-catcher"