ENEA Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP2 - 071	L	1	64

Titolo

SMR - Rassegna aggiornata di alcuni progetti di interesse e valutazioni alla luce dell'evento di Fukushima

Descrittori

Tipologia del documento:

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

Argomenti trattati:

Sicurezza, SMR, Reattori avanzati, Fukushima

Sommario

È dapprima presentata la natura dell'interesse degli operatori industriali del nucleare per i reattori SMR le cui specificità offrono un risvolto favorevole alla sicurezza. Lo stato del progetto di questi reattori tuttavia è ancora ad uno stato preliminare e di pre-licenziamento per cui le soluzioni progettuali effettive per la sicurezza necessitano di una verifica puntuale ed effettiva. Alla luce degli eventi di Fukushima questa necessità per l'avvio ad un percorso di industrializzazione di questi reattori, è ancora più necessaria e va attualizzata. In questo rapporto si riprende una rassegna dei progetti di SMR oggi attuali, analizzandoli nelle loro opzioni di sicurezza con la sensibilità oggi imposta dall'incidente di Fukushima che determina una spinta, come in passato per eventi consimili, ad un passaggio di generazione per i progetti di nuovi reattori.

Note

Documento realizzato con la collaborazione dei colleghi:

N. Davidovich
K. Voukelatou
M. Sangiorgi

Copia n. **In carico a:**

REV.	DESCRIZIONE	DATA		REDAZIONE	CONVALIDA	APPROVAZIONE
2			NOME			
			FIRMA			
1			NOME			
			FIRMA			
0	EMISSIONE	17/09/2012	NOME	P. Turroni	F. De Rosa	P. Meloni
			FIRMA	P. Turroni		

Indice

Sommario **3**

I progetti di SMR alla luce di Fukushima **5**

Introduzione *5*

Gli aspetti di sicurezza in risposta all'incidente di Fukushima come riflesso sul progetto degli SMR. *6*

Selezione di rassegna e aggiornamento di alcuni progetti SMR *8*

Sintesi del confronto su aspetti selezionati di progetto *9*

Conclusioni **18**

Riferimenti bibliografici **20**

Abbreviazioni ed acronimi **22**

Annesso **23**

Schede descrittive del progetto di alcuni reattori SMR *23*

CAREM-25, CNEA - Argentina 24

SMART, KAERI – R. Corea 27

IMR; Mitsubishi H. I. - Giappone 30

NuScale; NuScale Power Inc. - USA 35

mPower; Babcock&Wilcox, Bechtel - USA 38

W- SMR; Westinghouse - USA 41

VBER-300; JSC "Nuclear Plants", Kazakhstan - Russia 45

HTR-PM; INET; Tsinghua University - Cina 48

GT-MHR; GA – USA; OKBM, Africantov - Russia 51

SVBR-100; AKME Engineering (joint venture Rusal e Rosatom) - Russia 55

G4M; (già noto come New Hyperion Power Module) - USA 58

4S; Toshiba Corporation - Giappone 61

Sommario

Il mondo dei costruttori di impianti nucleari ed Istituzioni di promozione per l'uso pacifico di questa tecnologia hanno da qualche tempo posto la loro attenzione sulla categoria di reattori nucleari annoverati sotto l'acronimo SMR. Per indicare però come i punti di vista sui requisiti principali a cui questi reattori debbano corrispondere basta riferirsi al significato dell'acronimo: SMR per "Small Modular Reactors" o per "Small and Medium Reactors"? Infatti nel mondo delle istituzioni nucleari Americane l'acronimo è inteso nel primo significato che sottolinea l'aspetto "modulare" e piccolo (di taglia di 300 MWe), mentre nel mondo delle associazioni internazionali degli industriali del settore WNA ed IAEA è impiegato nel secondo significato che associa ai piccoli anche i reattori di taglia "media" (intendendo per come limite massimo di taglia 600 MWe estesa occasionalmente a 700). Ma quale che sia fra questi due significati la preferenza, nessuno mette in discussione come elemento discriminante la tipologia impiantistica, annoverando fra questi tutte le tipologie note (per citarne solo alcune: LWR; HTGR, FNR) e le tipologie più futuribili (Candle Reactor o Traveling Wave Reactor).

Generalmente comunque, a parte il diverso interesse che si riflette nella differenziazione sopra detta, si tende a riconoscere agli SMR alcune prerogative intrinseche legate semplicemente alla limitatezza della loro taglia di potenza, e tra queste spiccano:

- Riduzione dei rischi di investimento di realizzazione
- Riduzione dei rischi associati agli incidenti di esercizio e all'incidente severo
- Maggior disposizione all'impiego in forme complementari e aggiuntive della energia termica prodotta.

Con questo scenario di sfondo, un elemento nuovo e significativo è rappresentato dall'evento di Fukushima che con la sua "onda d'urto" lascia una forte spinta alle verifiche di "Stress Test" a cui il mondo nucleare oggi si piega cercando risposte che giustifichino il mantenimento in esercizio degli impianti esistenti. E, sulla falsariga dei precedenti eventi assimilati, tenderà ad accelerare il passaggio ancora alla successiva IV generazione nella tecnologia dei Reattori Nucleari di produzione pacifica.

I progetti di SMR, per cui, da parte stessa delle autorità di licenziamento più internazionalmente riconosciute, il processo di messa a punto delle regole particolari è partito solo da poco, non saranno esenti dalla pressione di questa onda d'urto, e quella che pure è una delle loro prerogative riconosciute legata ai bassi rischi di incidente e bassa portata dell'incidente severo, sarà oggetto di puntuale verifica rispetto le attese di una tecnologia avanzata rispetto a quella che ha visto l'evento di Fukushima.

In questo rapporto si cerca dunque di rivedere in rassegna un certo numero di progetti SMR, che già da tempo sono stati presentati in maniera più meno avanzata, e che nel frattempo possono essere evoluti verso soluzioni più realizzabili commercialmente. Nella rassegna aggiornata vengono richiamati gli aspetti dei progetti che meglio incontrano le aspettative di sicurezza che la storia degli ultimi eventi suggerisce per la prossima generazione di reattori.

Tra gli SMR in rassegna emerge la tipologia dei "PWR Integrati" come quella più contigua alla tecnologia oggi provata ma la meno pronta ad affrontare anche il requisito, questo generale dei futuri reattori, di "chiusura del ciclo combustibile". Gli SMR di tipo FNR presentano ancora

qualche gap di maturazione tecnologica ma appaiono meglio orientati alla chiusura dl ciclo combustibile, cosi come i reattori HTGR raffreddati a Elio con combustibile TRISO appaiono interessanti per la loro versatilità e semplicità tutta fondata sul successo nella qualifica di una nuova filiera di combustibile.

I progetti di SMR alla luce di Fukushima

Introduzione

Uno scenario prospettato da IAEA nel 2009 nell'ambito del suo programma INPRO si indicava in 96 come ipotesi elevata e 43 come ipotesi bassa il numero di SMRs in operazione entro il 2030 nel mondo escluso gli USA. Le molte centinaia di piccoli reattori costruiti oggi sia per scopi di propulsione navale (190 MWth) sia come sorgenti neutroniche possono costituire una base di notevole esperienza nella ingegnerizzazione dei nuovi SMR.

Nel 2011 in un rapporto della Università Americana di Chicago per conto del DOE viene affermato che lo sviluppo di SMR può rappresentare l'occasione di recuperare da parte degli USA il terreno perduto nel campo della tecnologia nucleare ad opera delle imprese di altri paesi che hanno occupato il campo degli impianti nucleari di grande taglia per scopi domestici e di esportazione. Comunque viene puntualizzato che per la maggior parte di questi SMR il progetto di dettaglio è definito solo parzialmente al 10 o 20%, sono disponibili solo limitati dati di costo, nessuna azienda di produzione fin'ora è andata oltre la fase pianificazione.

Successivamente nel Gennaio 2012 il DOE nell'ambito del suo "Small Modular Reactor Design Program" ha lanciato un "Founding Opportunity Annpuncement" FOA (DE-FOA-0000371) che tende a promuovere il licenziamento ed il dispiegamento commerciale di due progetti di SMR sul territorio nazionale entro il 2020 con la contribuzione fino a 450 Milioni US$ in 5 anni, sulla base di una compartecipazione al programma dei progettisti del 50%. Le modalità di messa in opera di questo piano però, con la formalizzazione in tappe temporali ravvicinate di fatto attribuisce una posizione di vantaggio degli SMR di tipo LWR. Le risposte al FOA ammesse fino ad Aprile 2012 saranno selezionate ad Agosto 2012 quando verranno selezionati due progetti dei tre sono che si sono candidati : NUScale, mPower e W-SMR. Anche NRC è coinvolta dedicando un suo budget di 11 Milioni US$ per istruttorie di pre-application di licenziamento di SMR con due sviluppatori: NuScale Power LLC, per NUscale che ha attivato una interazione di pre-application dal Luglio 2008; e Babcock & Wilcox Company per il progetto mPower che avendo attivato una interazione di prelicencing nel Luglio 2009 prefigura il completamento della certificazione alla fine del 2013.

L'interesse per gli SMR è dettato in modo vario da diverse caratteristiche intrinseche tra cui la fondamentale è quella di adattarsi a taglie limitate di potenza per un servizio di distribuzione tramite reti elettriche con potenze distribuite ridotte dell'ordine di 4 GWe, senza richiedere, per la messa in opera, un particolare apporto dalle infrastrutture industriali del luogo di insediamento. In generale si può riconoscere che gli SMR mentre tendono a ridurre i rischi finanziari di investimento in blocco unico come riscontrato per impianti di piena scala attestati oggi a taglie di 1000 MWe ed oltre fino a 1600 MWe dovranno compensare i fattori di economia di scala con fattori di economia di serie modulare.

Un'altra importante caratteristica mettere in atto un ciclo combustibile che riduce i rischi di diversione od uso improprio del materiale radioattivo e strategico, anche se questa non è una prerogativa adottata con pari enfasi da tutte le tipologie di progetto di questi SMR. Infine una ultima caratteristica è che la ridotta taglia di potenza rende più intrinseca la capacità naturale di smaltimento del calore residuo per cui i sistemi di sicurezza a fronte di situazioni incidentali di questi reattori appaiono in generale più semplici. Questa ultima caratteristica assume un particolare rilievo dopo l'evento di Fukushima che impone ancora una volta un esame accurato di revisione o conferma delle scelte progettuali per la sicurezza degli impianti

nucleari.
Quali fra queste caratteristiche, ed in che misura, siano di particolare interesse per il sistema energetico o industriale Italiano è per ora azzardato da prefigurare con precisione. Dal momento che il nostro sistema è caratterizzato da una rete di distribuzione capace di grandi livelli di potenza, interconnessa sempre più a livello europeo e che il dispiegamento di questi reattori vede l'utente come fruitore di un puro servizio energetico con un limitato ricorso alle infrastrutture industriali per la produzione dello stesso, e con un forte limite alla indipendenza e capacità di autoproduzione, l'interesse del nostri sistema sembra doversi focalizzare sugli aspetti di minor rischio sia per gli aspetti di sicurezza sia per gli aspetti finanziari. Qui in particolare ci soffermeremo ad esaminare appunto gli aspetti di sicurezza per come risultano enfatizzati dagli eventi di Fukushima.

Gli aspetti di sicurezza in risposta all'incidente di Fukushima come riflesso sul progetto degli SMR.

Il termine "Stress Test" almeno convenzionalmente, anche se non propriamente, evoca l'immediata reazione che gli operatori della sicurezza degli impianti nucleari di produzione hanno ricavato dalla lezione suggerita dall'incidente Fukushima. Giocando proprio su questo termine convenzionalmente consolidato ma flettendolo sul piano psicologico sembra che i progettisti e controllori di impianto siano ritornati su alcune domande richiamate dai nuovi emergenti eventi:

Cosa succede all'impianto con un Terremoto straordinario
Cosa succede all'impianto con una Inondazione/Alluvione straordinaria
Cosa succede se si perdono funzioni di sicurezza a causa di un evento comunque concepibile sull'impianto

SBO (Station Black Out) (H2 production, core melt, Containment radiation leaks?)
UHS (Loss Ultimate Heat Sink) (H2 production, core melt, Containment radiation leaks?)
SBO+UHS (H2 production, core melt, Containment radiation leaks?)

Come si può provvedere a ridurre conseguenze per

Loss of core cooling function
Loss of spent fuel pool cooling function
loss of containment integrity

Dettate dalla emergenza o meno le domande richiedono di non essere lasciate inevase con l'attenuarsi dell'effetto emozionale suscitato dalla emergenza, ma soddisfatte con lucide analisi di risposta secondo un atto formalizzato Ref. [1] delle Autorità di Controllo Europee volontariamente convenute sotto il coordinamento di ENSREG.
E chiaro che per i rattori attualmente in fase di progettazione le risposte a queste domande ribadiscono le scelte ottimali di progetto o ispirano aggiustamenti attraverso un processo di analisi che i progettisti stanno implementando nel loro lavoro e quindi per questi gli "stress test" pur mantenendo i fondamenti presentano modalità e priorità di esecuzione diversi.
In questo rapporto gli aspetti di sicurezza, espressi in quattro grossi punti richiamati con termini piuttosto "informali", su cui la lezione di Fukushima pone oggi alla attenzione per quanto riguarda la progettazione di un impianto, sono:

Difesa a Riccio o della Tartaruga - Configurazione di protezione e capacità di risposta con sicuro shut down dell'impianto ad eventi estremi, anche esterni, capaci di rappresentare un evento iniziatore di una sequenza incidentale. Potremmo appunto rappresentare questa come capacità di difesa del Riccio o della Targtaruga. Gli eventi esterni da considerare sono vari quali il sisma severo, alluvione o mareggiata, meteo particolarmente avverso come tempeste o gelo o onde di calore e siccità con insufficienza di pozzo freddo, impatto aereo, isolamento della centrale da fonti elettriche, comunicative di viabilità o di informazione, isolamento umano con perdita di capacità di controllo monitorato, virus o black-out informatico sulle logiche di controllo.

Maneggiare la "Patata Bollente" pur avendo spento il fuoco - Deve essere assicurata la capacità di gestire il calore di decadimento che, quando l'impianto è chiuso nel suo arrocco per le sue difese dall'esterno è posto in stato di shut-down, inesorabilmente emerge e va smaltito, oltre che nell'immediato, durante tutto il tempo per cui si produce in quantità significative per la sicurezza dell'impianto, verso il "pozzo freddo".

Evitare il "orlo del burrone" - La capacità di un impianto, per come è configurato, di non imporre scelte capitali e drastiche, che se dirette in senso non corretto precipitano immediatamente con dinamiche incontrollabili verso l'incidente disastroso, ma frapporre nella dinamica che segue ad ogni scelta una successiva possibilità che consenta di riconoscere e reindirizzare la direzione di governo della situazione. L'esempio in tale senso che viene dalla lezione di Fukushima è il rischio che pone la possibilità di reazione delle guaine di combustibile con acqua a formare idrogeno e la sua reazione esplosiva con ossigeno presente in altri ambienti del Blocco Reattore. Se questo rischio non viene adeguatamente contemplato e non sono presi provvedimenti di progetto che lo intercettano ne interrompono la dinamica dando la possibilità di scelta per una operazione correttiva o mitigativa, la guaina in Zircaloy di un reattore ad acqua diventa un possibile "orlo di burrone" (cliff edge).

"Non dimenticare la nonna" - Ovvero trascurare il Combustibile Esausto come possibile importante "Termine sorgente". Nella pratica corrente delle centrali di produzione Il combustibile esausto è spesso depositato, per un tempo necessario ad un primo periodo di decadimento, presso la centrale di produzione elettrica in un punto dell'edificio che non riceve le stesse attenzioni di sicurezza del nocciolo del reattore. L'accumulo ed il deposito di questo combustibile esausto, nella pratica industriale attuale del ciclo a valle del combustibile, si prolunga fino e per tutta vita operativa stessa della centrale venendo così a rappresentare un "termine sorgente" corrispondente a svariate ricariche intere di nocciolo che, pur con tempi vari di decadimento post irraggiamento, può abbondantemente superare quello stesso rappresentato dal nocciolo in operazione che tende a catturare le maggiori attenzioni. Una circostanza in cui questa diminuita attenzione rischia di risultare impropriamente sbilanciata è la incidentalità da eventi esterni eventi esterni.

Questi quattro punti possono assumere validità generale per tutti i vari tipi di impianto nucleare di produzione elettrica ma verranno qui presi in considerazione come griglia di riscontro dei diversi progetti di SMRs passati in rassegna e che per la loro caratteristica di essere di media piccola taglia si prestano in modo peculiare a far fronte alle esigenze espresse secondo questa griglia.

I progetti di SMRs presenti nello scenario delle proposte dai costruttori mondiali di impianti nucleari sono molto più numerosi di quelli che potremo passare in una ragionevole rassegna qui, e sono di vario tipo e di diverso grado di avanzamento e definizione progettuale e non

ultimo sono di diverso livello di divulgazione di conoscenza tecnica (Riff. [2]- [6]). Noi ci soffermeremo solo su un numero limitato di questi che sono già stati fra l'altro oggetto di attenzione nei lavori di rassegna precedenti che in ambiti simili a quello di presente sono stati svolti e presentati a livello nazionale (Riff. [7] - [10]).

Selezione di rassegna e aggiornamento di alcuni progetti SMR

Con l'occasione del riesame dei progetti a seguito degli eventi di Fukushima si intende anche fare un aggiornamento di quanto appare oggi attuale in uno scenario non ancora strutturato ed ancora molto mobile di proposte di tipo SMR come sviluppo nucleare futuro. Eviteremo di considerare alcuni progetti tra quelli già considerati in passato che appaiono non più perseguiti dai loro progettisti (IRIS) e che non hanno una prospettiva benché futura di incontro con un possibile produttore (MARS).

In definitiva concedendoci qualche arbitrio (per esempio non considerando gli SMR moderati ad acqua pesante o quelli, peraltro entrambi poco numericamente rappresentati, di tipo BWR) i progetti SMR che qui prendiamo in rassegna rispetto alla griglia di valutazione sono:

1. CAREM-25, CNEA - Argentina	IPWR
2. SMART, KAERI – R. Corea	
3. IMR, Mitsubishi H. I.; Giappone	
4. NuScale, NuScale Power Inc.; USA	
5. mPower; Babcock&Wilcox, Bechtel; USA	
6. W- SMR; Westinghouse; USA	
7. VBER-300; JSC "Nuclear Plants" Kazakhstan; Russia	CPWR
8. HTR-PM; INET; Tsinghua University; Cina	HTGR
9. GT-MHR; GA USA, OKBM, Africantov, Russia	
10. SVBR-100; AKME Engineering (joint venture Rusal e Rosatom), Russia	LBEFR
11. G4M; USA (già noto come New Hyperion Power Module)	
12. 4S; Toshiba Corporation; Giappone	SFR

Di questi i primi 6 sono di tipo PWR integrati, il 7° è un PWR Compatto; l'8° e 9° sono HTGR con combustibile TRISO; gli ultimi 3 sono dei LMFR di cui i primi due con lega Eutettica LBE (Lead Bismuth Eutectic) e l'ultimo a Sodio. Di tutti questi progetti faremo una rassegna sulle configurazioni e specifiche di impianto al livello in cui sono oggi note e pubblicamente dichiarate cercando di sottolineare gli aspetti che attengono a una valutazione di sicurezza secondo la sensibilità suscitata dalla esperienza di Fukushima.

In questo contesto i reattori PWR essendo quelli numericamente rappresentati sembrano avere il più spinto interesse, ed in effetti l'iniziativa USA del DOE di promozione degli SMR è proprio a questa tipologia di reattori che sembra trarre spuntoessendo la più provata e consolidata, rispetto alla tecnologia dei Reattori Veloci o degli HTGR. Tuttavia se oltre alla sicurezza di esercizio delle centrali consideriamo anche il tema della "chiusura del ciclo" che pone l'accento al combustibile oltre che come "risorsa" anche come "rifiuto" dopo che sia stato completamente utilizzato, allora si può forse riconsiderare l'interesse per i PWR, che di fronte a questo ultimo punto lasciano le cose alquanto in sospeso, e portare maggiore attenzione agli altri tipi di reattore forse meno provati ma, in lunga prospettiva, più promettenti. Per questo ultimo motivo citiamo qui semplicemente alcuni altri progetti che, pur non compresi tra quelli passati in rassegna nei paragrafi successivi, meritano una certa attenzione quali: il PRISM Rif. [11] un SFR già da tempo proposto da GE Hitachi Nuclear Energy (GE-H); EM2, HTGR di General Atomics a flusso veloce Rif. [12]; infine un HTGR sponsorizzato

dal DOE nel programma NGNP (Next Generation Nuclear Plant) a cui partecipa anche il consorzio industriale "NGNP Alliance", che da poco tempo è stato meglio qualificato avendo posto come opzione di progetto il progetto stesso ANTARES della consorziata Areva Rif. [13].
Tornando ai 12 reattori richiamati nella tabella sopra riportata, questi sono passati in rassegna secondo una serie fissa di parametri e caratteristiche che largamente ci portano comprendere lo stato ed il carattere del loro progetto cercando, nei limiti delle informazioni libere pubblicate dai proponenti/prorpietari, di tenere aggiornate e refrenziate le scelte di progetto. Si sé assunto per questo un formato fisso di scheda che compilata per ogni progetto in rassegna ha prodotto l'esito riportato in Annesso 1 a questo documento.
Ad un secondo livello di rassegna si è poi cercato rivedere le scelte di progetto presentandole nella prospettiva ristretta degli aspetti di sicureza rimessi in discussione dall'incidente di Fukushima e riportati al paragrafo precedente a questo. Quindi gli stessi progetti di SMR presesi in rassegna sono riproposti a confronto in tabelle più sintetiche qui direttamente al paragrafo successivo.

Sintesi del confronto su aspetti selezionati di progetto

Per un più pertinente e facile confronto i progetti sono presentati in modo distinto secondo la tipologia del loro progetto sostanzialmente suddiviso in tre tipi PWR; HTGR; LMFR, salvo fare un'ulteriore distinzione per quanto riguarda il tipo PWR che per gli SMR trova una certa importanza anche nella distinzione sui progetti PWR con PRC integrato IPWR o con PRC Compatto CPWR.
Per offrire una prima grossa caratterizzazione dei tre tipi di reattore si ritiene importante ricordare in premessa che l'Entalpia complessiva che risulta in carico al refrigerante in condizioni normali, e quindi quella con cui si presenta di fronte ad un eventuale incidente ha una certa importanza sulla funzione di contenimento. È anche importante portare il Vessel reattore di fronte ad un eventuale rischio di incidente severo in condizioni di bassa pressione (per evitare l'espulsione violenta fuori dal Vessel di materiale radioattivo). Ebbene incontriamo tre condizioni diverse per i tre tipi di reattori considerati: se consideriamo per ognuno un volume unitario di refrigerante confinato entro le pareti del PRC alle sue condizioni di esercizio abbiamo circa 900 MJ/m^3 per un PWR che si trova oltretutto ad una pressione elevata di circa 120 Bar, LMFR è dotato di circa 700 MJ/m^3 ad una pressione pressoché normale, un HTGR infine è dotato solo di 4 KJ/m^3 ad una pressione attorno a 70 Bar. Stante queste condizioni, contenitori concepiti come seconda barriera passiva dopo il Vessel, che sono generalmente strutturati come Opere Civili, richiedono almeno qualche x100 di volume per accogliere e contenere in modo passivo l'entalpia rilasciata dal refrigerante di un PWR, di qualche x10 per HTGR e di qualche x1 di per LM (dunque per un LMFR, fatti salvi altri fenomeni quali p.e. reazioni con fluido del circuito secondario, basterebbe anche un vessel esternamente raddoppiato con un Vessel di "salvaguardia").

Tabella 1 a) – Sintesi di confronto sugli aspetti di sicurezza dopo l'incidente di Fukushima per alcuni SMR - SMR di tipo PWR con PRC integrato

CAREM-25	SMART	IMR	NuScale	mPower	W- SMR
Controllo reattività in operazione e di shut-down					
Coefficienti di reattività negativi su tutto il ciclo Controllo operativo di reattività con barre a controllo idraulico con meccanismi interni al Vessel. Shut-down con set indipendente di barre di arresto a comando idraulico interno vessel ed a caduta per gravità. Secondo sistema di back-up con travaso per gravità (automaticamente innescato al segnale di fallimento del primo sistema di shut-down) di soluzione borata in nocciolo	Coefficienti di reattività negativi su tutto il ciclo Controllo operativo di reattività con barre a controllo con meccanismi esterni al Vessel. e controllo di Boro in soluzione nel refrigerante primario. Shut-down con set indipendente di barre di arresto a caduta per gravità a meccanismo di comando esterno vessel. Secondo sistema di back-up con travaso per gravità di soluzione borata in nocciolo	Coefficienti di reattività negativi su tutto il ciclo Controllo operativo di reattività con barre a controllo con meccanismi interni al Vessel. Shut-down con set indipendente di barre di arresto a meccanismo di comando esterno vessel ed a caduta per gravità. Secondo sistema di back-up con travaso per pressione di soluzione borata in nocciolo	Coefficienti di reattività negativi su tutto il ciclo Controllo operativo di reattività con barre a controllo con meccanismi interni al Vessel. Shut-down con set indipendente di barre ad inserzione meccanica con meccanismi interni al Vessel	Coefficienti di reattività negativi su tutto il ciclo Controllo operativo di reattività con barre a controllo con meccanismi interni al Vessel. Shut-down con set indipendente di barre ad inserzione meccanica con meccanismi interni al Vessel	Coefficienti di reattività negativi su tutto il ciclo Controllo operativo di reattività con barre a controllo con meccanismi interni al Vessel. e controllo di Boro in soluzione nel refrigerante primario.. Shut-down con set indipendente di barre ad inserzione meccanica con meccanismi interni al Vessel Secondo sistema di back-up con travaso per gravità di soluzione borata in nocciolo.
Barriere passive di difesa da esterno					
Soluzione architettonica sviluppata sostanzialmente sopra quota terreno, su una unica platea di fondazione, a protezione del cuore dell'isola nucleare racchiuso nel suo contenitore in calcestruzzo armato e dotato di liner metallico interno, contornata da edifici e locali di sicurezza, di servizio e di controllo (compresa la SFP) con elevata e unica classificazione sismica. Nessuna specifica progettazione civile per impatto aereo. (Analisi specifica per il rischio inondazione/alluvione non rilevata)	Soluzione architettonica sviluppata sopra quota terreno tramite un CPRB (Compound Reavtor Buildling) progettato ad impatto aereo, dove spicca al centro la cupola del RCB (Ractor Containment Building contornato e protetto da edifici comprendenti i locali per i sistemi di sicurezza ed ausiliari. Il RCP è in spessa singola parete in calcestruzzo con liner metallico interno. La SFP con capacità di deposito per la vita intera della centrale è prevista in edificio presso il sito, separato dal CPRB. (Analisi specifica per il rischio inondazione/alluvione non rilevata)	Un blocco compatto di Edificio Reattore, in calcestruzzo, interrato per circa meta altezza contiene appoggiato ad uno spesso basamento di fondo, entro una schiera a corona di locali di servizio e sicurezza, il contenitore metallico spesso. Questo risulta ad una quota quasi totalmente sotto il livello terra.	L'Edificio Reattore alloggia il Contenitore Principale del Blocco Reattore completamente immerso entro un pozzo di acqua ricavato a quota sotterranea e dotato alle pareti in calcestruzzo di un liner metallico interno. L'edifico sovrasta con locali di alloggiamento degli impianti di servizio e sicurezza il pozzo. Un segmento modulare comprendente il singolo pozzo reattore con il segmento di edificio autonomo per i servizi e turbina di produzione è componibile in un unico sito fino ad un numero di 12 moduli	L'Edificio Reattore di centrale comprende 6 moduli Reattore alloggiandoli a quota sotterranea sulla sua unica platea di fondazione. Coperti dall'Edificio Reattore sono mantenuti grandi contenitori metallici realizzati da un corpo cilindrico con un duomo sferico come Contenitore Principale RC (Reactor Containment) per ogni modulo, rispettivamente circondati da locali di servizio e sormontati da Hall di montaggio e manutenzione dei grandi componenti. Quest'ultimi a loro volta, racchiudono ognuno il Vessel Reattore col fondo calato all'interno di un pozzo e contornato ancora da locali di servizio, e sormontati da Hall di movimentazione combustibile. Interrata sotto l'Edificio Reattore è anche la Piscina unica e condivisa dai moduli del combustibile esausto mentre il locale turbina è posto sopra il livello terra.	• L'Edificio Reattore di superficie che comprende la costellazione dei locali di servizio attorno da una Hall centrale di manutenzione e montaggio componenti, con annesso Edificio Turbina sovrasta la struttura colonnare che si addentra nel sottosuolo e che racchiude un pozzo piscina centrale contornato da locali tecnici tra i quali si distingue la SFP sovrastata dalla Hall di manipolazione combustibile. • All'interno del pozzo/piscina è collocato in totale immersione, tenuto al basamento mediante colonne di piede un contenitore metallico come Contenitore Principale che oltre al Vessel Reattore contiene voluminosi serbatoi, componenti dei sistemi di sicurezza del Circuito Principale. • Il fondo del vessel è calato entro una struttura che connota la parte inferiore interna del Contenitore Principale come pozzo di contenimento della zona nocciolo del Reattore.
Disppsizione di impianto rispetto ai rischi di LOCA					
PRC integrato senza pompe di circolazione con CRDM idraulici interni vessel, con rami minori di PRC e serbatoi annessi (Serbatoi di shut-down con acqua Borata e serbatoi di DHR) esterni Vessel racchiusi entro il Contenitore Principale. Vasche di Soppressione interne al Contenitore principale	PRC integrato con CRDM esterni vessel, e pompe di circolazione primaria incamiciate saldate tramite bocchelli al RPV. L'insieme del Vessel sormontato dalle sue valvole di sicurezza ed asservito dalle linee di derivazione per i servizi di sicurezza ed ausiliari, seduto entro il pozzo reattore contornato da una vasca anulare costituente il IRWST è racchiuso entro il Contenitore Principale. Il sistema di Controllo Chimico-Volumetrico (Soluzione di Boro nel refrigerante principale per il controllo di reattività) CVCS si sviluppa esternamente al Contenitore Principale in un locale di Servizio compreso nel CPRB .	PRC integrato senza pompe di circolazione con CRDM esterni vessel. Il Vessel asservito dalle linee di derivazione per il sistema CVCS, che risiede esternamente all'Edificio Reattore, e la linea per il sistema Valvole di Sicurezza Principali e la linea del Sistema di Depressurizzazione Vessel sono racchiusi entro il Contenitore Principale. Il CVCS (Sistema di Controllo Chimico-Volumetrico) risiede esternamente al'Edifico Reattore.	PRC integrato senza pompe di circolazione con CRDM esterni vessel. Il Vessel con le sue sole penetrazioni per le linee del vapore e di reintegro del circuito secondario, e le linea del sistema di Valvole di Sicurezza Principale resta contenuto nel suo Contenitore Principale che e internamente posto sotto vuoto ed è a sua volta attraversato dalle tubazioni del Circuito Secondario che vanno alla Turbina.	PRC integrato con pompe di circolazione e con CRDM interni vessel. Il Vessel con le penetrazioni per le linee del vapore e di reintegro del circuito secondario, e le linee e del Passive Heat Removal Sistem col suo Condensatore resta contenuto, successivamente, nel suo RC. Questo a sua volta è attraversato dalle linee del Circuito Secondario che vanno alla Turbina, e da una linea di Water Injection e Cavity Flood che proviene dalla esternamente sovrastante RWST. Non è indicata con certezza internamente al RC la posizione delle valvole di isolamento delle linee Vapore del secondario Questo sarà provvisto infine di un canale di transito combustibile.	• PRC integrato con CRDM interni e Pompe di circolazione esterne incamiciate integrate al Vessel tramite bocchelli saldati. Il modulo anulare di GV integrato riporta esternamente al RC ed alla Piscina stessa un voluminoso Steam Drum. Non è indicato chiaramente dove si collocano le valvole di isolamento linee del secondario. • Internamente al RC sono compresi i serbatoi di Core Make-up (X4) ed i serbatoi di allagamento delle strutture del Pozzo Reattore (serbatoi ICP x2). • Il sistema ADS di Depressurizzazione del Vessel sembra articolarsi in 4 elementi innestati sulle linee connessa al CMT che scaricano internamente al RC.
Barriere di contenimento					
• Barriera Combustibile in	• Barriera Combustibile in	• Barriera Combustibile in	• Barriera Combustibile in	• Barriera Combustibile in	• Barriera Combustibile in

guaine a base Zirconio per barrette UOx a bassa potenza (media 108 W/cm) tenute in FAs (a sez. esagonale) aperti; • Vessel di contenimento del circuito principale Integrato in parete metallica spessa. • Barriera di Contenimento Reattore RCB (Reactor Containment Building) in calcestruzzo spesso e rinforzato a tenuta stagna con liner metallico integrale interno ed aperture e penetrazioni controllate, delle sostanze di rilascio incontrollato o incidentale del Reattore, dei segmenti PRC non integrati, e della Vasca di Soppressione del vapore primario; • Edificio Reattore Esterno, RB (Reactor Building) su platea unica di fondazione, di qualità antisismica, inglobante locali di sicurezza servizio e controllo del Reattore mantenuto nel suo ai livelli più interni.	guaine a base Zirconio per barrette UOx a bassa potenza (media 120 W/cm) tenute in FAs aperti; • Vessel di contenimento del circuito principale Integrato in parete metallica spessa. • Barriera di Contenimento Reattore RCB (Reactor Containment Building) in calcestruzzo spesso e rinforzato a tenuta stagna con liner metallico integrale interno ed aperture e penetrazioni controllate, delle sostanze di rilascio incontrollato o incidentale del Reattore, dei segmenti PRC non integrati, e della Vasca di Soppressione del vapore primario. • Complesso edificato CPRB inglobante il RCB lateralmente contornato da locali di contenimento di sistemi di sicurezza ed ausiliari del circuito principale, in un unico corpo a progettazione sismica e protetto da impatto aereo. • Edificio separato di deposito del combustibile esausto con SFP per l'intero periodo di vita della centrale.	guaine a base Zirconio per barrette UOx a bassa potenza (lin. media 72 W/cm) tenute in FAs aperti. • Vessel di contenimento del circuito principale Integrato in parete metallica spessa. • Barriera di Contenimento Reattore RC (Reactor Containment) in parete metallica spessa. Nel RC, che riposa sulla soletta di fondazione dell'Edificio Reattore è gettata una nuova soletta di cemento da cui si stacca la cinta del pozzo entro cui è calata il fondo del Vessel Reattore, e si staccano a corona locali tecnici ad occupare lo spazio laterale tra il Vessel e la parete del Contenitore metallico. Entrambi, il Vessel e Contenitore metallico, terminano alle sommità con i tappi a calotta provvisti di flange di chiusura attraverso i quali si apre la via del di manipolazione combustibile con accesso al nocciolo. • Edificio Reattore esterno compatto in calcestruzzo e cemento che circonda con vani e locali di servizio il Blocco Reattore e sostiene sulla sua soletta di fondazione il Contenitore Principale col nocciolo reattore a quote sotterrane.	guaine a base Zirconio per barrette UOx a bassa potenza tenute in FAs aperti. • Vessel di contenimento del circuito principale Integrato in parete metallica spessa. • Barriera di Contenimento Reattore RC (Reactor Containment) in parete metallica spessa posta internamente sotto vuoto. • Acqua e parete di piscina sotterranea di alloggiamento del singolo modulo reattore. • Edificio Reattore di superfice comprendente i locali per servizi tecnici ausiliari di generazione elettrica con Turbina individuale.	guaine a base Zirconio per barrette UOx a bassa potenza (lin. media 115 W/cm) tenute in FAs aperti. • Vessel di contenimento del circuito principale Integrato in parete metallica spessa. • Barriera RC (Reactor Containment) in parete metallica spessa comprendente internamente per tutta altezza una corona di locali di servizio e sotto il suo duomo superiore la Hall di Manipolazione combustibile. • Edificio Reattore comune per sei moduli di Reattore che su un'unica solida base di fondazione mantiene gli RC modulari, circondati dai rispettivi locali di servizi e sormontati ognuno da un serbatoio di acqua con funzioni di RWST in moduli più estesi tutti a quota sotterranea.	guaine a base Zirconio per barrette UOx a bassa potenza tenute in FAs aperti. • Vessel di contenimento del circuito principale Integrato in parete metallica spessa. • Barriera di ampio Contenimento Reattore RC (Reactor Containment) in parete metallica spessa con zona di fondo strutturata come pozzo reattore a supporto del mantenimento corium • Acqua e parete di piscina sotterranea di alloggiamento del singolo modulo reattore.. • Edificio Reattore di superfice di copertura, comprendente i locali per servizi tecnici ausiliari di generazione elettrica con Turbina individuale.
Sistemi di Smaltimento del DH					
La convezione naturale interna al PRC sostiene la circolazione necessaria alla rimozione del Calore di Decadimento allo Shut-Down. Sistema passivo (Passivo cat. D secondo Rif. [27] caso 2.6) RHR (Residual Heat Removal) operante mediante Isolation Condenser veicolante ex-vessel il refrigerante primario. Tende ad esaurire l'acqua delle vasche di evaporazione, poste internamente al Contenitore Principale, riportando questa a condensare nella vasca di soppressione sempre interna al Contenitore Principale. Disponibilità di acqua sono date anche dalla vasche di acqua Borata poste all'interno del Contenitore e le vasche di iniezione di emergenza poste esternamente al Contenitore. Attraverso questa via esterna con pompe di spinta che superino la pressione interna del RPV si può provvedere ad iniettare acqua secondo necessità ed in quantità ammessa dalla capacità del Contenitore a contenere tutti gli ingressi di massa.	La convezione naturale interna al PRC sostiene la circolazione necessaria alla rimozione del Calore di Decadimento allo Shut-Down. Sistema attivo di Shutdown Cooling System dotato di una pompa di circolazione e di uno scambiatore intermedio che mette in circolazione ex–vessel ed ex-RCB il refrigerante primario. Sistema attivo di iniezione di acqua interna al Vessel a media pressone (< 10 MPa) prelevata dal IRWST Sistema attivo di spruzzamento all'interno del contenitore di acqua proveniente dal IRWST, con allagamento del fondo del pozzo Reattore. Sistema passivo (cat. D secondo Rif. [27] caso 2.4) PRHR (Passive Residual Heat Removal) operante mediante Isolation Condenser veicolante ex-vessel e prima delle valvole di isolamento vapore il refrigerante secondario dal GV Questo tende ad esaurire (36 ore di autonomia) e disperdere in ambiente l'acqua delle vasche di evaporazione poste esternamente al RCB. La disponibilità di acqua attraverso il CVCS non è indicata, d'altra parte questa è possibile solo in misura della possibilità concessa dalla pressione interna del Vessel rispetto la capacità di	La convezione naturale interna al PRC sostiene la circolazione necessaria alla rimozione del Calore di Decadimento allo Shut-Down. Nella evoluzione temporale del progetto i sistemi di rimozione del DH non sono bene riconoscibili nel loro dettaglio. Dagli schemi ultimi reperiti si crede di riconoscere quanto segue. • RHR - Sistema attivo di rimozione di calore residuo attraverso i GV tramite una pompa e uno scambiatore di by-pass di turbina. (Sembra sostituire il sistema SDHS che non appare più presente nel progetto. Non appare evidente l'esistenza e posizione di valvole di isolamento linee vapore da operare in caso di LOCA sul secondario o di SGTR !) Valvole di sicurezza per il Vessel ed il sistema di Decompressione passivo, che scaricano nel Contenitore, mentre decomprimono il Vessel innescano il processo di convezione del vapore alle pareti del Contenitore Principale con ricondensazione e raccolta del condensato ad attingere calore dal fondo Vessel • Sistema di iniezione di acqua dal RWST (esterno al Contenitore) sul fondo del Contenitore metallico (per gravità dopo attivazione del sistema?) Bagnamento esterno dalla	La convezione naturale interna al PRC sostiene la circolazione necessaria alla rimozione del Calore di Decadimento allo Shut-Down. Sistema attivo normale di Shutdown Cooling System mediante un by-pass di turbina invia direttamente al condensatore il vapore dove viene raffreddato e reinviato con la linea di reintegro al GV. Valvole di sicurezza per sovrapressione del Vessel con scarico nel Contenitore Principale per rimozione del Calore Residuo • Sistema Passivo (DHRS) (Passivo cat. D secondo Rif. [27] caso 2.7) in condizione incidentale con le linee vapore isolate ed il lato secondario dei GV depressurizzati ai valori normali di piscina in cui il vapore viene espulso per sola convezione naturale all'interno dall'acqua di piscina dove ricondensa ed il liquido a reintegro è ripescato sempre dalla piscina ed re-immesso nel GV • Sistema passivo (CHRS), (Passivo cat. C secondo Rif. [27]) con inondazione del fondo Vessel lato esterno per raccolta condensato del vapore di rilascio dal primario reattore raffreddatosi alle pareti del Contenitore Principale immerso in piscina.	Non è indicata con certezza la presenza sul Vessel del sistema di Valvole di Sicurezza Principale e depressurizzazione, né è affermativamente confermata la presenza di un ingresso di iniezione in vessel di acqua proveniente in caduta per gravità dal RWST • Sistema (passivo?) "Passive Heat Removal" (passivo anche il passaggio di calore dal EC al Pozzo Freddo Esterno UHS?). • "Water Injection or Cavity Flood" (Passivo cat. D secondo Rif. [27]) • "Emergency Core Cooling in connection with RCIP" (sistema attivo non meglio descritto: agente sul fluido primario?) • Auxialiary Steam Condenser" (sistema attivo non meglio descritto agisce sul fluido secondario).	• Steam Drum del GV come refrigerazione passiva a breve termine (by-pass esterno o al condensatore del vapore?) (Passivo di cat D) • Convezione naturale del Calore di Decadimento al UHS in concatenazione con circolazione naturale del tratti PRC (ridondanti x4) attraverso Scambiatori interni al CMT (Passivo di cat D). • Sistema Automatico di Depressurizzazione ADS ? (ridondante x4 attivo con dispositivo di sicurezza passivo?) • Convezione naturale di miscela aria/vapore (zona di volta superiore) e condensa (zona di volta inferiore) tra parete esterna vessel e Contenitore metallico principale, in concatenazione con convezione alla Piscina di sommersione con superficie evaporante a pressione atmosferica e reintegro del livello (Passivo di cat D).

	spinta della pompa in ingresso.	sommità del Contenitore per caduta d'acqua (dopo attivazione) da una "Raw Water Tank".			
Agibilità Pozzi freddi					
Isolate le linee di vapore ed esaurita l'acqua delle vasche del IC non sembrano esistere accessi a pozzi freddi dove indirizzare il calore di decadimento salvo l'ambiente atmosferico che circonda il Contenitore Principale con l'unica possibilità di trasporto all'esterno di energia (nessun "venting" ammesso del Driwell) attraverso conduzione alle spesse pareti in cemento del Contenitore Principale e convezione attraverso gli ambienti sul versante dell'Edifico Reattore.	Esaurita l'acqua delle vasche del IC e salvo l'azione dei sistemi attivi l'unica possibilità di smaltimento esterno di energia resta la conduzione alle spesse pareti in cemento del Contenitore Principale e convezione attraverso gli ambienti sul versante dell'Edifico Reattore.	Il CVCS è il solo sistema che può re-iniettare acqua nel nocciolo quando questa sia stata perduta per Sfiato della sovra-pressione o Depressurizzazione del RPV. RWST - Vasca di Refueling esterna all'Edificio Reattore che in emergenza consente di tenere allagato il pozzo dove siede il RPV. Raw Water Tank che serve per irrorare in emergenza la testa del Contenitore Principale Metallico. Water Tank per lo SG non è chiara la funzione nè come si correla con il serbatoio di condensazione a valle della turbina.	Feedwater Accumulators - Nessun sistema è ritenuto necessario per re-iniettare acqua in Vessel quando questa tende a ridursi per depressurizzazione. La temperatura interna vessel di equilibrio con lo scambio generale verso l'acqua della piscina esterna dovrà essere tale da assicurare la non scopertura del nocciolo, assunto che l'inventario di acqua confinata entro il contenitore metallico non muti in tutto il transitorio e l'acqua in piscina resti ad un buon livello assicurato dai Feedwater Accumulators.	RWST- Serbatoio di refueling (di capacità non definita) disposto internamente ad ogni Edificio Reattore del modulo al disopra del Duomo del contenitore metallico per poter agire per effetto di sola gravità. UHS Piscina d'acqua come UHS (Ultimate Heat Sink?) esterno all'Edificio Reattore dei moduli forse condiviso ed unico di centrale L'atmosfera esterna come pozzo freddo è impiegata anche attraverso l'azione del "Passive Containment Cooling" che avendo l'attributo "passive" si presume operi in convezione naturale. Ma questa atmosfera esterna è quella esternamente al Contenitore Principale metallico ed ancora interna all'Edificio Reattore di modulo o quella esterna addirittura al Edificio di Centrale? In questo secondo caso per sostenere il termine"passive" bisogna anche assicurarne l'efficacia in assenza di operatività del Sistema di Condizionamento Edifici.	UHS Tank di centrale, di capacità indefinita, piscina di contenimento del RC di capacità finita reintegrabile mediante UHS Tank ma non dichiarata, CMT (x4) e ICP Tanks (x2 interna al RC di ogni modulo con rispettive capacità finite ma non dichiarate. RWST non indicata distinta mente da UHS Tank e da Acqua di piscina.
Interazioni violente lato primario					
Potenzialmente il rischio di reazione del materiale di guaina a base di Zirconio, se portato per cause accidentali alla temperatura di 1000 °C in presenza di acqua o vapore, dà produzione di idrogeno nel RPV che eventualmente viene rilasciato attraverso le valvole di sicurezza e le vasche di soppressione nel Contenitore Principale sul versante del Driwell. Qui sono posti strategicamente i ricombinatori che con un incerto tasso di ricombinazione evitano l'accumulo di Idrogeno. Il rischio e tasso di produzione e rilascio di idrogeno (tenuti bassi dalla efficace disponibilità di sistemi di rimozione del calore residuo, buon rapporto volume d'acqua disponibile del Circuito principale 2,5 Mw/m^3, dalla bassa taglia di potenza del reattore 100 MW, dalla bassa potenza lineare 100 KW/cm) sono contrastati con il miglior tasso di ricombinazione ed eventuali ignitori posti negli ambienti del Contenitore Principale.	Potenzialmente il rischio di reazione del materiale di guaina a base di Zirconio, se portato per cause accidentali alla temperatura di 1000 °C in presenza di acqua o vapore, dà produzione di idrogeno nel RPV che eventualmente viene rilasciato attraverso le valvole di sicurezza nel Contenitore Principale. Qui sono posti strategicamente ignitori che con un incerto tasso di successo consumano ossidandolo l'idrogeno evitandone l'accumulo. Il rischio e tasso di produzione e rilascio di idrogeno (tenuti bassi dalla efficace disponibilità di sistemi di rimozione del calore residuo, dal buon rapporto volume d'acqua disponibile del Circuito principale 5,8 Mw/m^3, dalla bassa taglia di potenza del reattore 300 MW, dalla bassa potenza lineare 120 KW/cm) sono contrastati con la attesa efficacia di ignitori posti negli ambienti del Contenitore Principale.	Potenzialmente il rischio di reazione del materiale di guaina a base di Zirconio, se portato per cause accidentali alla temperatura di 1000 °C in presenza di acqua o vapore, dà produzione di idrogeno nel RPV che eventualmente viene rilasciato attraverso le valvole di sicurezza nel Contenitore Principale. Il rischio e tasso di produzione e rilascio di idrogeno (tenuti bassi dalla efficace disponibilità di sistemi di rimozione del calore residuo, dal buon rapporto volume d'acqua disponibile del Circuito principale 4,0 Mw/m^3, dalla bassa potenza lineare 72 KW/cm), in assenza di ricombinatori o ignitori, potrebbero eventualmente essere comunque arginati dalla presenza di atmosfera non ossidante interna al Contenitore Principale, ma di questa opzione di progetto non si registra informazione.	Potenzialmente il rischio di reazione del materiale di guaina a base di Zirconio, se portato per cause accidentali alla temperatura di 1000 °C in presenza di acqua o vapore, dà produzione di idrogeno nel RPV che eventualmente viene rilasciato attraverso le valvole di sicurezza nel Contenitore Principale. Il rischio e tasso di produzione e rilascio di idrogeno (tenuti bassi dalla efficace disponibilità di sistemi di rimozione del calore residuo, dal buon rapporto volume d'acqua disponibile del Circuito principale 3,0 Mw/m^3, dalla bassa taglia di potenza del reattore 160 MW, dalla bassa potenza lineare) vengono comunque arginati dalla presenza di ambiente scarsamente ossidante (sottovuoto iniziale) interna al Contenitore Principale.	Potenzialmente il rischio di reazione del materiale di guaina a base di Zirconio, se portato per cause accidentali alla temperatura di 1000 °C in presenza di acqua o vapore, dà produzione di idrogeno nel RPV (che eventualmente viene rilasciato attraverso le valvole di sicurezza nel Contenitore Principale o RCIP). Il rischio e tasso di produzione e rilascio di idrogeno (tenuti bassi dalla efficace disponibilità di sistemi di rimozione del calore residuo, dal buon rapporto volume d'acqua disponibile del Circuito principale 5,6 Mw/m^3, dalla bassa taglia di potenza del reattore 530 MW, dalla bassa potenza lineare 115 KW/cm). Dichiarati non necessari provvedimenti ulteriori di progetto a contrasto.	Potenzialmente il rischio di reazione del materiale di guaina a base di Zirconio, se portato per cause accidentali alla temperatura di 1000 °C in presenza di acqua o vapore, dà produzione di idrogeno nel RPV (che eventualmente viene rilasciato attraverso le valvole di sicurezza nel Contenitore Principale o RCIP). Il rischio e tasso di produzione e rilascio di idrogeno (tenuti bassi dalla efficace disponibilità di sistemi di rimozione del calore residuo, dal buon rapporto volume d'acqua disponibile del Circuito principale 1,7 MW/m^3, dalla moderata taglia di potenza del reattore 800 MW, dalla bassa potenza lineare). Dichiarati non necessari provvedimenti ulteriori di progetto a contrasto.
Interazioni Lato secondario					
Nessuna particolare essendo la pressione acqua sul secondario comunque inferiore a quella del principale (4,7 contro 12,5 MPa).	Nessuna particolare essendo la pressione acqua sul secondario comunque inferiore a quella del principale (5,2 contro 15,0 MPa).	Nessuna particolare essendo la pressione acqua sul secondario comunque inferiore a quella del principale (5,0 contro 15,5 MPa).	Nessuna particolare essendo la pressione acqua sul secondario comunque inferiore a quella del principale (n.d contro 10,7 MPa).	Nessuna particolare essendo la pressione acqua sul secondario comunque inferiore a quella del principale (5,4 contro 13,1 MPa).	Nessuna particolare essendo la pressione acqua sul secondario comunque inferiore a quella del principale (….. contro ….. MPa).
Tipo di combustibile					
Ceramico UOx in guaine zircaloy a modesto burn-up di bruciamento, tipico di un LWR attuale, da mantenere raffreddato in piscina di acqua per qualche anno dopo lo scaricamento dal nocciolo.	Ceramico UOx in guaine zircaloy a modesto burn-up di bruciamento, tipico di un LWR attuale, da mantenere raffreddato in piscina di acqua per qualche anno dopo lo scaricamento dal nocciolo, ed eventualmente	Ceramico UOx in guaine zircaloy a modesto burn-up di bruciamento, tipico di un LWR attuale, da mantenere raffreddato in piscina di acqua per qualche anno dopo lo scaricamento dal nocciolo.	Ceramico UOx in guaine zircaloy a medio (>50 MWd/Ton) burn-up di bruciamento, tipico di un LWR attuale, da mantenere raffreddato in piscina di acqua per qualche anno dopo lo scaricamento dal	Ceramico UOx in guaine zircaloy a modesto burn-up di bruciamento, tipico di un LWR attuale, da mantenere raffreddato in piscina di acqua per qualche anno dopo lo scaricamento dal nocciolo.	Ceramico UOx in guaine zircaloy a modesto burn-up di bruciamento, tipico di un LWR attuale, da mantenere raffreddato in piscina di acqua per qualche anno dopo lo scaricamento dal nocciolo.

	in contenitori in raffreddati ad aria per i periodi medio-lunghi di vita della centrale (60 anni).		nocciolo. La strategia di refueling prevede il ricambio totale del nocciolo dopo 10 anni di bruciamento.		
Strategie di ciclo combustibile					
La concezione e conduzione del reattore non implementa nessun elemento riferibile ad una strategia di ciclo combustibile diversa da quella attuale per filiere di LWR con FAs esauriti da mantenere in depositi protetti e sorvegliati presso la centrale o trasportati dopo qualche anno presso altro deposito centralizzato, o al ritrattamento.	La concezione del reattore prevede un ciclo combustibile conforme a quello attuale per filiere di LWR con FAs esauriti da mantenere in depositi protetti e sorvegliati presso la centrale nell'arco della vita di questa in apposito edificio.	La concezione del reattore prevede un ciclo combustibile conforme a quello attuale per filiere di LWR con FAs esauriti da mantenere in depositi protetti e sorvegliati presso la centrale nell'arco della vita di questa in SFP localizzate all'interno dell'Edificio.	La concezione del reattore prevede un ciclo combustibile conforme a quello attuale per filiere di LWR salvo prefigurare un servizio di gestione combustibile di fornitura del nuovo e ritiro dell'esausto che l'operatore di impianto dovrà richiedere ad un diverso operatore licenziato e specificamente autorizzato a questo a scopi di non proliferazione e anti-diversione secondo norme da convenire e consolidare livelli autorizzativi internazionali.	La concezione del reattore prevede un ciclo combustibile conforme a quello attuale per filiere di LWR con FAs esauriti da mantenere in depositi protetti e sorvegliati presso una SFP di centrale per un arco limitato della vita di questa e poi trasportati ad altro deposito autorizzato.	La concezione del reattore prevede un ciclo combustibile conforme a quello attuale per filiere di LWR con FAs esauriti da mantenere in depositi protetti e sorvegliati presso una SFP di centrale per un arco limitato della vita di questa e poi trasportati ad altro deposito autorizzato.
SFP					
La piscina di deposito di centrale è esterna al Contenitore Principale, in posizione elevata aperta verso la Hall Reattore ultimo locale in elevazione all'interno dell'Edificio Reattore come unica protezione da impatto aereo.	La SFP di deposito di medio lungo periodo è prevista in edificio separato, Nessuna indicazione è reperita sulla piscina di servizio per il ricambio di combustibile del nocciolo che deve prevedere una via di accesso a questo e di deposito temporaneo. Considerata la struttura integrale del duomo del Contenitore principale e la flangia di apertura del Vessel la hall di manipolazione del combustibile, con vasche e corridoi momentaneamente allagati tramite acqua dal RWST risiedono in zone internamente al Contenitore Principale.	La SFP appare posta all'interno dell'Edificio Reattore in locale sovrastante il Contenitore Principale e servito da una Hall dotata di impianti di sollevamento con accesso al nocciolo dall'alto attraverso le aperture sulle due barriere interposte nella via verso il nocciolo.	Una postazione ad uso SFP di centrale è prevista in una piscina completamente interrata sufficiente per contenere le cariche di 12 moduli reattori per 10 anni.	SFP localizzata interrata sotto l'Edificio di Centrale, capace di un deposito di 20 anni di ricarica della centrale.	SFP interrata sotto l'Edifico Reattore ed esterna al RC, di ogni modulo di capacità non definita.

Tabella 1 b) – Sintesi di confronto sugli aspetti di sicurezza dopo l'incidente di Fukushima per alcuni SMR - SMR di tipo PWR con PRC Compatto

VBER-300
Controllo reattività in operazione e di shut-down
Coefficienti di reattività negativi su tutto il ciclo Controllo operativo di reattività con barre a controllo elettrico con meccanismi esterni al Vessel. Shut-down con set indipendente di barre di arresto a comando elettrico con meccanismi esterni vessel ed a caduta per gravità. Secondo sistema di back-up con travaso per gravità di soluzione borata in nocciolo.
Barriere passive difesa da esterno
Soluzione architettonica sviluppata sostanzialmente sopra quota terreno, con un Edificio Reattore cilindrico con duomo sferico in cemento armato dimensionato ad impatto aereo massa 20 Ton velocita 200 m/sec.
Disppsizione di impianto rispetto ai rischi di LOCA
PRC non integrato compatto con pompe di circolazione con CRDM elettrici esterni vessel, con rami minori di PRC e serbatoi annessi (Pressurizzatore, Serbatoi di core cold-down di iniezione passiva di shut-down di soluzione Borata e serbatoi di Purificazione del PRC) connessi a rami del PRC che riportano al Vessel solo su punti di presa superiori alla testa del nocciolo e racchiusi entro il Contenitore Principale in parete metallica spessa. Sistemi di localizzazione incidenti, anche attraverso il doppio contenimento e valvole di localizzazione negli ausiliari del PRC, linee connesse dotate di limitatori di portata. Serbatoio del sistema di aggiustamento del Boro in soluzione esterno RC il locale periferico attiguo al Edificio Reattore. Valvole di isolamento linea vapore secondario interne al RC. Non è chiaramente indicata l'esistenza di valvole di sicurezza del Vessel e dove scarichi nè un sistema di depressurizzazione ADS che eviti il rischio di incidente severo ad alta pressione.
Barriere di contenimento
• Barriera Combustibile in guaine a base Zirconio per barrette UO_2 a bassa potenza (media 95 W/cm) tenute in FAs aperti; • Vessel di contenimento del circuito principale non integrato in parete metallica spessa. • Barriera di Contenimento Reattore RC in parete metallica a sviluppo cilindrico in continuità con duomo sferico e catino di appoggio alla soletta Edificio Reattore. Il RC riporta internamente una seconda gettata in cemento come soletta di supporto per i locali tecnici riportati internamente di alloggio dei componenti del PRC e per il pozzo di alloggiamento del Vessel Reattore, allagabile in caso di incidente severo. • Edificio Reattore Esterno, RB (Reactor Building) su platea unica di fondazione, di qualità antisismica, e con capacità di resistenza ad impatto aereo con locali annessi per alloggiamento del serbatoio e parti di sistema aggiustamento soluzione di Boro del PRC, e Vasca UHS del sistema di Raffreddamento di Emergenza del DH.
Sistemi di Smaltimento del DH
La convezione naturale interna al PRC sostiene la circolazione necessaria alla rimozione del Calore di Decadimento allo Shut-Down. • Passive ECCS Emergency Core Cooling System - Sistema passivo (Passivo cat. D secondo Rif. [27] caso 2.2 Core make-up tanks) operante mediante serbatoi di accumulo acqua interni al RC di primo e secondo intervento e di soluzione borata di shut-down di emergenza. • Passive EHRS Emergency Heat Removal System - Sistema passivo (Passivo cat. D secondo Rif. [27] caso 2.4 Passively cooled steam generator natural circulation) .
Agibilità Pozzi freddi
La vasca di UHS del EHRS durante la emergenza tende ad esaurirsi (72h il tempo di grazia indicato). Lo stesso UHS serve al controllo della pressione interna dal RC tramite scambiatori di raffreddamento sua atmosfera interna alimentati in convezione naturale dell'acqua del UHS. In caso di incidente severo oltre a questi scambiatori non resta che la convezione/conduzione alla parete metallica del RC, promossa dall'allagamento del pozzo reattore, e alle spesse pareti in cemento del Edificio Reattore per riversare calore anche all'atmosfera esterna. Non viene menzionato il RWST che sembra pero sopperito dal "Reactor Caisson Filling Tank" localizzato nei pressi del Sistema "Water and Boron Solution Make-up" attraverso cui si realizza anche l'annegamento del pozzo reattore in emergenza.
Interazioni violente lato primario
Potenzialmente il rischio di reazione del materiale di guaina a base di Zirconio, se portato per cause accidentali alla temperatura di 1000 °C, in presenza di acqua o vapore, dà produzione di idrogeno nel RPV che eventualmente viene rilasciato nel Contenitore Principale. Il rischio e tasso di produzione e rilascio di idrogeno (tenuti bassi dalla efficace disponibilità di sistemi di rimozione del calore residuo, buon volume d'acqua disponibile del Circuito Principale in rapporto alla potenza, dalla bassa potenza lineare 95 KW/cm) non risultano contrastati da altre soluzioni progettuali.
Interazioni Lato secondario
Nessuna particolare essendo la pressione acqua sul secondario comunque inferiore a quella del principale (6,37 contro 16,3 MPa)
Tipo di combustibile
Ceramico UOx in guaine zircaloy a modesto burn-up di bruciamento, tipico di un LWR attuale, da mantenere raffreddato in piscina di acqua per qualche anno dopo lo scaricamento dal nocciolo.
Strategie di ciclo combustibile
Piani per il riprocessamento presso la centrale del combustibile.
SFP
Lo stoccaggio previsto dei FA esauriti con piscina capace di accomodare tutta la carica del nocciolo di 6 anni.

Tabella 1 c) – Sintesi di confronto sugli aspetti di sicurezza dopo l'incidente di Fukushima per alcuni SMR - SMR di tipo HTGR

HTR-PM	GT-MHR
Controllo reattività in operazione e di shut-down	
• Coefficienti di reattività negativi per temperatura e potenza • Inserzione di barra di controllo mossa per gravità in caduta entro sottocanali predisposti • Inserzione di sfere di controllo mosse per gravità in caduta entro sottocanali predisposti • Sistema ad azione elettromeccanica di inserimento di barre di controllo in normale operazione entro sottocanali predisposti in zona riflettente. • Basso swing di reattività per il ricambio in linea del combustibile	• Coefficienti di reattività negativi per temperatura e potenza • Sistema passivo di shut down per inserzione per gravità di barre di controllo, • Secondo sistema passivo di shut down per gravità di inserzione di sfere assorbenti in sottocanali predisposti. • Sistema attivo elettromeccanico di normale operazione capace di intervenire come shut-down reattore
Barriere passive difesa da esterno	
• Soluzione architettonica Edificio Reattore definito in "Double Citadel" come difesa da impatto aereo. • Collocazione interne all'Edificio Reattore dei Vessels in pressione gas in assetto verticale nelle rispettive cavità, a parziali a quote sotterranee	• Edificio Reattore in struttura ferrocemento di Contenimento in depressurizzazione rispetto ambiente esterno e controllo tenuta comportante locali di superficie e di protezione rafforzata interrati. Progettato a carico sismico (max acc. suolo 0,2 g) ed a impatto aereo (massa di impatto 20 Ton a velocità 200 m/sec su area di impatto di 7 m^2). • Cavità sotterranea di alloggiamento dei Vessels combinati Reattore e CPU in pressione di Elio.
Disposizione di impianto rispetto ai rischi di LOCA	
• Vessel Reattore cilindrico accoppiato con doppia manica coassiale orizzontale al Mantello cilindrico GV con Elio in pressione 7,0 MPa. • Meccanismi barre di controllo esterni al duomo superiore e tubo di scarico in linea del combustibile esausto in asse al fondo Vessel. • Soffiante di Elio in circolazione forzata in testa al Mantello GV e Fascio interno once-trough di tubi d'acqua/vapore a pressione 14,1 MPa. • Pannelli laterali d'acqua circolante passiva alle pareti laterali della cavità nocciolo per raffreddamento per scambio complessivo radiale del nocciolo cilindrico compatto (hxØ=11x3 m) in caso di depressurizzazione Elio in caso di LOCA	• Vessel Reattore cilindrico accoppiato, con doppia manica coassiale orizzontale, al Vessel PCU, comprendente il gruppo trubo-compressore ad asse verticale con ciclo e scambiatori recuperatori e di raffreddamento in compressione diretto ed elettrogeneratore, con Elio di circuito principale interno alla pressione 7,1 MPa. • Meccanismi barre di controllo esterni al duomo superiore del Vesel Reattore. • Pannelli d'acqua circolante passiva alle pareti della cavità Reattore di compartimentazione attorno al nocciolo cilindrico cavo ($hx\emptyset_e x\emptyset_i$=7,9x4,8x3,0 m) per il suo raffreddamento per scambio complessivo radiale in caso incidentale. • Porta di accesso al Vessel Reattore dal duomo superiore per la via del combustibile in manipolazione.
Barriere di contenimento	
• Impiego di combustibile TRISO composto ulteriormente in aggregati sferici (Ø 6 cm) come efficace barriera prima di contenimento dei pp.ff. efficace per le alte temperature e burn-up. • Pressure Vessel Reattore a parete metallica a sviluppo cilindrico con stratificazioni interne a mezzo di elementi di grafite neutronicamente schermante/riflettente e termicamente di scambio radiale. • Elio circolante esente da attivazione neutronica radioattiva. • Assenza di tubi di grande diametro di veicolazione del fluido principale all'esterno deli Vessels • Collegamenti a tenuta dei componenti del Primary Pressure Boundary • Cavità specifica di alloggiamento del Vessel Reattore all'interno dell'Edificio Reattore con pannelli alle pareti laterali d'acqua circolante passiva di rimozione del DH.	• Impiego di combustibile TRISO inglobato in barre di grafite come efficace barriera prima di contenimento efficace per le alte temperature e burn-up • Vessel Reattore metallico a sviluppo cilindrico con nocciolo a sezione anulare entro stratificazioni concentriche a mezzo di elementi di grafite neutronicamente schermante/riflettente e favorente lo scambio termico esterno. • Elio circolante esente da attivazione neutronica radioattiva. • Assenza di tubi di grande diametro di veicolazione del fluido principale all'esterno deli Vessels • Collegamenti a tenuta dei componenti del Primary Pressure Boundary • Cavità compartimento alloggiamento del Vessel Reattore nella cavità reattore con linee d'acqua circolante passiva di rimozione del DH.
Sistemi di Smaltimento del DH	
• Bassa densità di potenza del nocciolo associato a grande rapporto volumetrico di presenza grafite nel Vessel reattore con contributo di inerzia termica e capacità di scambio termico pur in caso di perdita di Elio refrigerante • Sistema attivo di rimozione tramite la normale soffiante di Elio e raffreddamento (per by-pass diretto o by-pass del vapore dall'apparato di produzione). • Sistema passivo di scarico di Elio attraverso il sistema di protezione di sovrapressione del Vessel in ogni categoria di incidente (non meglio specificato). • Scarico di acqua dal secondario in caso di incidente SGTR. • Rimozione per condizioni passive naturali di scambio convettivo conduttivo e radiante verso le pareti della cavità del reattore raffreddate da pannelli di acqua	• Bassa densità di potenza del nocciolo associato a grande rapporto volumetrico di presenza grafite nel Vessel reattore con contributo di inerzia termica e capacità di scambio termico pur in caso di perdita di Elio refrigerante. • Normale sistema attivo di rimozione di Reactor Shut-down Cooling System dotato di una sua specifica soffiante e scambiatore connesso al Vessel Reattore. • Sistema passivo di scarico di Elio attraverso il sistema di protezione di sovrapressione del Vessel in ogni categoria di incidente che da luogo alla rimozione per condizioni passive naturali di scambio convettivo conduttivo e radiante verso le pareti della cavità del reattore raffreddate da circolazione di acqua.
Agibilità Pozzi freddi	
Ammessa la capacità del combustibile TRISO nelle opportune configurazioni di nocciolo di tollerare calore di decadimento dopo alti burn-up senza cedimento della sua capacità di ritenzione dei ppff e di tenuta strutturale è perentorio non irrorare di acqua ne ventilare con aria ossidante il combustibile. Non risulta necessario provvedere a ventilare forzatamente il refrigerante a diretto contatto. Il calore viene veicolato, per altri meccanismi passivi di scambio, ad un vettore che lo riporta ad un pozzo freddo che se umido, data la potenza di taglia (5 MW il DH assunto per le prime ore di shut-down) implicherebbe il consumo di 8 m^3/h di acqua per evaporazione nelle prime ore di shut-down.	Ammessa la capacità del combustibile TRISO nelle opportune configurazioni di nocciolo di tollerare calore di decadimento dopo alti burn-up senza cedimento della sua capacità di ritenzione dei ppff e di tenuta strutturale è perentorio non irrorare di acqua ne ventilare con aria ossidante il combustibile. Non risulta necessario provvedere a ventilare forzatamente il refrigerante a diretto contatto. Il calore viene veicolato, per altri meccanismi passivi di scambio, ad un vettore che lo riporta a vasche che con Tubi di Calore riportano poi all'atmosfera come pozzo freddo il DH (data la potenza di taglia valutabile in 15-12 MW per le prime ore di shut down.
Interazioni violente lato primario	
Pare controverso se la grafite "nuclear grade" come riflettente o moderatore nocciolo in elementi a sestanti o come componente dell'elemento TRISO se portata in ambiente ossidante oltre determinate temperature e tenda ad ossidarsi violentemente (Rif.[26]). Non controverso invece la reazione con acqua a produrre idrogeno e CO ("gas d'acqua"). Va comunque eliminato il rischio di ingresso significativo di ossigeno nel Vessel Reattore e certamente di acqua dal secondario anche in caso di SGTR.	Pare controverso se la grafite "nuclear grade" come riflettente o moderatore nocciolo in elementi a sestanti o come componente dell'elemento TRISO se portata in ambiente ossidante oltre determinate temperature e tenda ad ossidarsi violentemente (Rif.[26]), non controverso invece la reazione con acqua a produrre idrogeno e CO ("gas d'acqua"). Va comunque eliminato il rischio di ingresso significativo di ossigeno nel Vessel Reattore non sussiste particolare da parte del Vessel PCU.
Interazioni Lato secondario	
Il fluido secondario è costituito da acqua liquida o vapore ad alta temperatura e pressione superiore a quella del primario costituito in Elio, nessuna reazione è da temere sul lato secondario se non il flashing violento in caso di rottura del suo contenimento, o l'ingresso di acqua nel primario che va prevenuto con automatismo certo e pronto tramite uno scarico diversivo del secondario su altro versante sicuro, opzione in effetti indicata presente nel progetto.	Non pertinente
Tipo di combustibile	
TRISO a base di UOx ricomposto in elementi sferici Ø 6 cm refueling in linea.	TRISO a base di UOx ricomposto in elementi assiali inglobati in elementi strutturali in grafite con manipolazione periodica con accesso al nocciolo dall'alto da Hall predisposta appositamente attrezzata sopra la cavità del reattore
Strategie di ciclo combustibile	
La concezione e conduzione del reattore prefigura strategie di ciclo implementabili con TRISO in una ottica di miglioramento del ciclo combustibile chiuso, non ancora peraltro industrialmente risolte e praticate in modo estensivo.	La concezione e conduzione del reattore prefigura strategie di ciclo implementabili con TRISO in un'ottica di ampliamento del ciclo combustibile chiuso attraverso processi di ritrattamenti e riciclo scorie di transuranici, non ancora industrialmente consolidate.
SFP	
Nessuna informazione	

Tabella 1 d) – Sintesi di confronto sugli aspetti di sicurezza dopo l'incidente di Fukushima per alcuni SMR - SMR di tipo LMFR

SVBR-100	G4M	4S
Controllo reattività in operazione e di shut-down		
• Coefficienti di reattività negativi su tutto il ciclo • Shut-down con set di barre di controllo in caduta per gravità allo sgancio per interruzione di energia • Secondo sistema di back-up barre di controllo spinte da molle precaricate.	• Coefficienti di reattività negativi su tutto il ciclo • Shut-down con set di barre assorbenti in caduta per gravità allo sgancio. • Secondo sistema di shut-down di back-up con rilascio di sfere assorbenti allo blocco, in caduta in speciale canale centrale nocciolo	• Shut- down autodeterminato per effetti di reattività negativa in temperatura senza danno al combustibile o rilascio di reattività. Ampio coefficiente di reattività negativo di spettro veloce e di espansione radiale coefficiente di reattività negativo di vuoto globale • Sistema attivo di sgancio ed inserzione a caduta delle barre nelle zone di riflettore radiale • Sistema attivo di sgancio ed inserzione a caduta delle barre di shut-down
Barriere passive difesa da esterno		
Edificio Reattore con controllo di tenuta in leggera depressurizzazione concepito per moduli multipli in cemento rinforzato comprende e copre Cavità singole per Moduli con pareti strutturate a difesa sismica del Reattore, alloggiate a quote di limitato interramento, ed allagate nella loro parte inferiore.	Edificio rattore di superficie comprendente i sistemi di generazione e sistemi non nucleari che ricopre i pozzi di alloggiamento delle capsule di contenimento dei singoli moduli di reattore. Le Pareti dei singoli Pozzi "Hardened Containment Vault" oltre che provvedere ad una costituiscono la Barriera di Contenimento per eventuali rilasci interni forniscono protezione da eventi esterni estremi naturali (terremoti ed alluvioni) e da attività umana (esplosioni o impatto aereo. A quota sotterranea e coperta dall'edificio di superficie sono anche posti locali per impianti e parti del circuito secondario che afferiscono ai vari Moduli Reattore quali la pompa di circolazione e controllo Ossigeno del PbBi del Secondario vaporizzatori e surriscaldatori.	Catino di Contenimento interrato delle Opere Civili interne supportate tramite isolatori sismici con estensione a pozzo di alloggiamento del Blocco del Modulo Reattore. Opere civili interne suddivise in locali facenti corona al vano centrale di alloggiamento del duomo metallico di chiusura del superiore del Blocco Modulo Reattore. Tappo di chiusura superiore del vano di testa del pozzo reattore a livello terreno. Edifici di superfice di servizio tecnico ed amministrazione di sicurezza e sorveglianza
Disposizione di impianto rispetto ai rischi di LOCA		
Vessel Reattore formante la piscina di LM del PRC mediante Eutettico PbBi fuso in circolazione forzata, con piastra di chiusura superiore a mantenere un gas di copertura a bassa pressione sul pelo libero di piscina, ed attraversata dai meccanismi di controllo barre, dalle maniche di penetrazione degli alberi delle pompe con motori incamiciati esterni, dalle teste dei moduli GV col fascio tubiero interno vessel e tamburi esterni di separazione liquido/vapore. Vessel di Salvaguardia avvolgente il mantello del vessel principale con intercapedine disposta ad evitare LOCA totale del Vessel Principale, e passivamente allo scambio termico radiale in caso di emergenza.	Il sistema PRC di un modulo reattore appare di tipo integrato, interno al Vessel a circolazione naturale con Scambiatore Interno tra PRC e SRC entrambi con Lega fusa di PbBi Il SRC esterno al Vessel attraversa la pompa di circolazione lo stadio di purificazione e di Generazione Vapore. Il PRC che, non è sottoposto a pressione interna significativa, è comunque realizzato a tenuta in singola parete metallica. I meccanismi di azionamento barre non appaiono emergere dal profilo della volta della Capsula Reattore o Vessel.	Il sistema PRC è integrato internamente al Vessel Principale con la pompa di circolazione e lo Scambiatore Intermedio, chiuso superiormente dal Duomo di testa che comprende i CRDM. Il Vessel Principale sotto il Duomo superiore è doppiato dal Vessel di Salvaguardia che assicura il mantenimento del livello di sodio sopra la testa del nocciolo evitandone lo spandimento nel pozzo Reattore, anche in caso di perdita del Vessel Principale. Parete del pozzo reattore capace di contenere acqua di raffreddamento in emergenza tramite lo scambio radiale delle pareti ed intercapedine dei Vessels. Il sistema secondario SRC sempre in Sodio esce dalla testa del pozzo e si addentra con liee a doppia parete controllata, nei locali ad esso dedicati interni all'Edificio Reattore verso il GV. I tubi stessi di scambio del GV sono a doppia parete.
Barriere di contenimento		
• Barriera Combustibile in guaine in acciaio per barrette UOx o MOx tenute in FAs (a sez. esagonale) aperti; • Vessel Principale di contenimento piscina del circuito principale a metallo liquido pesante in parete metallica con flangia superiore per piastra di chiusura e ancoraggio per corona di supporto. • Attraversamenti della barriera del Vessel Principale tutti a tenuta sulla piastra superiore dei CRDM, dalle maniche degli alberi delle, dalle teste dei moduli GV. • Vessel metallico di Salvaguardia che doppia il mantello del Vessel Principale, e tenuto esternamente immerso in acqua nella zona inferiore della Cavità Reattore. • Intercapedine dei vessel raffreddabile con sistema attivo di circolazione o attraverso processo naturale di scambio globale dall'interno del Vessel principale verso l'acqua esterna della cavità in libera evaporazione. • Disco di rottura a protezione della sovra-pressione del Vessel Principale in caso di SGTR . • Parete di Contenimento in cemento rinforzato della Cavità del Reattore con dimensionamento sismico al valore PGA 0,25 g. • Edificio Reattore Esterno con zona di controllo atmosfera in leggera depressurizzazione.	• Barriera Combustibile in tubi in acciaio HT9 per barrette UN • Nocciolo incapsulato e sigillato entro il suo Vessel metallico (integrale senza flangia di apertura) con innesti ai segmenti esterni di circuito PRC, manipolabile come unità unica e chiusa dopo il bruciamento. • Pozzo di secondo Contenimento dalla Capsula reattore, sotterraneo "Hardened Containment Vault". • Intercapedine tra Pozzo e Capsula del Vessel capace di ricevere acqua in caduta per il raffreddamento diretto del Vessel in caso di emergenza in evaporazione libera (Non specificato il processo di avvio al pozzo freddo se per evacuazione di acqua vaporizzata o attraverso la sua ricondensazione all'interno del pozzo per scambio alle pareti)	• Combustibile metallico a base di UZr in forma di barrette con guaina metallica con intercapedine di sodio, sostenute in Assemblaggi esagonali con scatola. • Vessel Principale metallico con Duomo superiore apribile tramite Flangia di chiusura che racchiude a tenuta la parte integrale del PRC. • Vessel di Salvaguardia del Principale intestato alla stessa flangia di chiusura del Duomo: • Parete del pozzo reattore con circolazione d'aria in convezione naturale per il rimozione in emergenza del DH. • Parete di contenimento del Catino di interramento dell'Edificio Reattore, e del solaio chiusura superiore degli edifici interni poggianti su isolatori sismici.
• Sistemi di Smaltimento del DH		
• Sistema normale attivo basato sul "Autonomus Cold-down Condenser" • Disposizione favorevole ad alto grado di circolazione naturale sufficiente a rimuove il calore di decadimento dal nocciolo • Vessel di salvaguardia mantenuto in una piscina d'acqua tale da assicurare il congelamento del LBE fuoriuscente da una fessura eventuale. • Sistema di protezione da sovrapressione del Vessel tramite Disco di Rottura e sistema di rivelazione di rottura tubi del GV. • Sistema di raffreddamento attivo (RBM) con prelievo del DH nell'intercapedine tra Vessel principale e vessel secondario. • Sistema passivo di emergenza in caso di black-out (cat. D secondo Rif. [27] ???), o fallimento del sistema attivo RBM, con scambio globale conduzione/convezione tra Vessel principale, intercapedine e vessel secondario, con riscaldamento ed evaporazione della vasca d'acqua esterna (3 giorni di autonomia)	• Sistema normale basato su circolazione naturale interna del PRC concatenala a circolazione attiva al SRC ed al circuito vapore con by-pass di questo ad escludere la turbina e controllato verso il condensatore. • Sistema passivo di emergenza con scambio globale conduzione/convezione tra Vessel principale, intercapedine e vessel secondario, con immissione a spruzzo di acqua sulla superficie Vessel versante al Pozzo (con autonomia di 14 giorni) • A lungo termine la capsula reattore irraggiato (ed incidentato) può essere rimossa e rilocata in luogo più sicuro e utile alla migliore evacuazione del DH e condizionamento per la destinazione finale.	• Sistema ausiliario di raffreddamento IRACS (Intermediate Reactor Auxiliary Cooling System) che opera attivamente in condizioni normale e passivamente in convezione naturale nei tre circuiti che lo compongono (principale e secondario a sodio concatenati dal HX, e tiraggio di aria attraverso uno scambio col Sodio secondario) che usano lo scarico di aria in atmosfera come pozzo freddo finale • Sistema ausiliario passivo RVACS (Reactor Vessel Air Cooling System) che ammette aria in convezione naturale nel pozzo, in tutte le condizioni con sodio caldo in Vessel, a raffreddare la parete esterna del Vessel di Salvaguardia, ed a convogliarla allo scarico in ciminiera rimuovendo per scambio radiale il DH del nocciolo.

Agibilità Pozzi freddi		
Isolate le linee di vapore Il pozzo freddo deve essere accessibile al Autonomus Cold-down Condenser ed in seconda istanza al Sistema attivo di Raffreddamento intercapedine RBM. L'acqua di allagamento della Cavità che offre un tempo di grazia in caso di incidente dichiarato di 3 giorni (800-1000 m^3 ?), oltre che offrire opportunità di ripristino a mitigazione dell'incidente, deve essere attivamente assicurata al livello nominale in quanto è prevedibile che un normale scambio termico avvenga durante le normali operazioni tendete a consumare per evaporazione l'acqua. Oltretutto bisogna assicurarsi che questo non avvenga ad eccessivo discapito della efficienza termica del sistema ed a rischio di congelamento indebito del PbBi in Vessel.	• Torri di condensazione ad aria esterna • Vasche per rimozione del DH del HPM con immersione a spruzzo dei pozzi	• Torri di condensazione ad aria esterna • Ciminiera di scarico aria dei sistemi ACS (IRACS ed RVACS)
Interazioni violente lato primario		
Non iscrivendosi fra le reazioni violente i meccanismi di corrosione dei materiali strutturali in PbBi, nè la possibilità attivazione del refrigerante che deve essere posta sotto controllo coi sistemi di purificazione sia della lega fusa che del gas di copertura resta solo da citare come rischio di reazione lato primario solo il caso di SGTR dove si può prefigurare una dinamica situazione flashing ed espansione di vapore in lega fusa che spinge versante del primario. Per questo caso nel progetto è stato provveduto con una particolare configurazione tendente ad evitare il trascinamento di bolle di vapore verso il nocciolo. Nessuna particolare reazione violenta attesa dalla reazione con il materiale di guaina o direttamente con il materiale combustibile (UOx) Per quanto attiene alla possibile dinamica di fusione combustibile, l'alto punto di ebollizione del refrigerante tende a escludere il rischio di fusione generalizzata del combustibile per vaporizzazione del refrigerante come invece è ipotizzabile nei LWR.	Nessuna particolare reazione violenta attesa dalla reazione con il materiale di guaina o direttamente con il materiale combustibile (UN). L'alto punto di ebollizione del refrigerante tende a escludere il rischio di fusione generalizzata del combustibile per vaporizzazione del refrigerante.	Sodio già presente interno guaina a promuovere lo scambio esterno del combustibile (UZr) nessuna reazione violenta attesa. Temperatura di sicurezza contro ebollizione sodio < 900 °C per escludere il rischio di fusione generalizzata del combustibile per vaporizzazione del refrigerante.
Interazioni Lato secondario		
La pressione elevata e prevalente di acqua nel secondario sposta il problema eventuale sul primario e quindi si rimanda a quanto detto nella casella che precede qui sopra.		Protezione da sovrapressione per SGTR mediante tubi di scambio in doppia parete e Valvola di Sicurezza con scarico in serbatoio dedicato
Tipo di combustibile		
Ceramico UOx con arricchimenti importanti 16% in guaine in acciaio resistente a corrosione il PbBi, ma sono anche ipotizzati combustibili in MOx o con Pu aggiunto, autofertilizzanti sia come ossidi che come Nitruri.	Ceramico UN con arricchimenti importanti 19% in guaine in acciaio HT9	Metallico in UZr arricchito <20 % entro guaina riempita a Sodio con Burn-up finali modesti e tempi di bruciamento elevati di 30 anni. Opzioni per impiego di altri nuclei fissionabili
Strategie di ciclo combustibile		
Le informazioni sulle strategie di combustibile sono largamente generiche con elementi ancora non assestati tese all'uso efficiente del combustibile all'esaurimento dello stock di Pu alla riduzione degli attinidi		Le strategie di impiego combustibile da finalizzare alla chiusura del ciclo combustibile o non proliferante dopo la messa a punto di tecniche di riprocessamento
SFP		
Il nocciolo è scaricato in una unica batteria dopo un periodo di bruciamento di 8 anni. Tempi e modalità di "raffreddamento" presso la centrale prima del suo trasporto di rilocazione non definito.	Il combustibile irraggiato viene sostituito in una unica soluzione con l'itero nocciolo incapsulato nel Vessel dopo 10 anni di bruciamento. Tempi e modalità di "raffreddamento" presso la centrale prima del suo trasporto di rilocazione non definito.	Il nocciolo viene scaricato dopo il bruciamento di 30 anni in una unica soluzione con la rimozione integrale del Vessel in centrale e trasportato in altra sede attrezzata. Tempi e modalità di "raffreddamento" presso la centrale prima del suo trasporto di rilocazione non definito.

Conclusioni

Scenari ed auspici di futuro sviluppo del nucleare prevedono l'impiego di reattori riferiti internazionalmente come SMR. Il quadro è tuttavia ancora molto mobile al punto che è difficile riferire quando si debba riferire il significato del acrinmo SMR, se debba esssere riferito all "piccola e media taglia" dei reattori o alla "piccola e modulare taglia" essendo entrambi possibili di fronte interlocutori dei due diversi "partiti".

Sarebbe esecizio inutile fare il conto di quanti reattori, come progetto finito o addirittura in esercizio o in costruzione, rientrerebbero in queste categorie per taglia di potenza contando di vedere riconosciuta la propensione alla sicurezza che si ritiene debbano avere per effetto del basso potenziale energetico e radiogeno che si presenta ad un ipotetico incidente.

E neanche si vuole qui prendere parte su quali debbano essere i veri limiti della categoria dei reattori SMR.

Si prende semplicemente atto che perdura l'interesse tra gli operatori per gli SMR, principalmente per frazionamento del costo di investimento di realizzazione che questi prospettano, che a questa categoria si accredita genericamente il favore di una propensione alla sicurezza per il ridotto potenziale energetico e radiogeno esposto al rischio di incidente, e losviluppo di diversi e svariati progetti si produce a diversi livelli, sia quelli prepatatori alla licenziabilità per la costruzione sia quelli per passaggio dalla fase concettuale a quella progettuale.

D'altra parte non si può ignorare il fatto significativo occorso nel 2011 rappresentato dall'incidente di Fukushima che, come impatta oggi la tutela della sicurezza nell'esercizio delle centrali in operazione atttraverso gli "stress test", non mancherà focalizzare l'attenzione sugli aspetti di sicurezza messi a nudo dall'icidente per nuovi progetti di reattore e quindi anche per gli SMR.

In questo quadro viene presentata una rassegna aggiornata di un selezionato numero, fra progetti attribuiti alle categorie attuali di SMR con qualche posizione pregiudiziale (non abbiamo considerato SMR di tipo ad acqua pesante o di tipo BWR), cercando di enucleare quegli elementi del progetto che danno legittimità al pregiudizio che li vede favoriti di fronte alla sicurezza.

I progetti in rassegna sono poi ripresi con i loro dati e caratteristiche allineati per una valutazione di confronto coi principi di sicurezza che vengono posti alla attenzione dall'incidente di Fukushima.

La rassegna di aggiornamento di progetti di SMR ed il loro confronto ripsetto i criteri di sicurezza ispirati da Fukushima, consentirà eventualmente la natura e il posizionanemento dell'interesse per il sistema Nazionale per questa tipologia di reattori. E fin qui il giudizio su una prima selezione offre alla attenzione un discreto numero di SMR di tipo PWR.

Quando poi si volessero anche far valere i principi che in senso largo sono legati alla opzione di "chiusura del ciclo combustibile", come è attualmente richiesto per la nova generazione di reattori Gen. IV sintetizzabili con i termini: "uso efficiente del combustibile"; "non proliferazione o diversione"; "riduzione delle scorie di lunga vita", l'interesse si sposta su progetti con tecnologia più avanzata. Tra i reattori che abbiamo selezionato per la rassegna, le due altre categorie i reattori veloci a metallo liquido (LMFR), a sodio ed a LBE, ed i reattori ad Elio ad alta temperatura (HTGR) appaiono più interessanti anche se per la loro industrializzazione si avverte la necessità di procedere alla fase prototipale ed acquisire la capacità di convincimento del mercato attraverso la costruzione del "primo della serie".

Di questi reattori avanzati quelli di tipo Veloce al Sodio debbono convincere sulla sicurezza ed economicità dell'impiego del sodio come refrigerante. Quelli Veloci a LBE debbono convincere sulla compatibilità del materiale strutturale a contatto con LBE nel tempo a fronte dei fenomeni di corrosione ed usura che sono specifici per questo refrigerante e che richiedono il controllo stretto del contenuto di ossigeno disciolto e che comunque limitano fortemente il loro impiego verso le alte temperature. Infine quelli di tipo HTGR mostrano un loro fondamentale punto di forza sul combustibile TRISO la cui qualifica per bruciamento ad alta temperatura e ad alti burn-up appare importante da affermare ed acquisire ed altrettanto la agibilità industriale del "ciclo combustibile". Se il combustibile TRISO poi sia più prestante nel suo impiego in configurazione di "letto fluido" o in forma "Prismatica solida" inglobato in elementi di grafite sarà la competizione fra i vari progetti HTGR che ne darà conto, e nella lista qui considerata le due opzioni sono rappresentate.

Riferimenti bibliografici

[1.] European Nuclear Safety Regulators Group: Stress tests specification March 2011
[2.] "Current status, Thechnical Feasibility and Economics of Small Nuclear Reactors" Nuclear Development 2011, AEN NEA
[3.] IAEA-TECDOC 1485 "Status of innovative small and medium sized reactor- designs 2005 - Reactors with conventional refuelling schemes"; Marzo 2006
[4.] IAEA-TECDOC 1536 "Status of Small Reactor Designs Without On-Site Refuelling", Genaio 2007
[5.] "Status of Small and MediumSized ReactorDesigns A Supplement to the IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS)"; Settembre 2011; http://aris.iaea.org/ARIS/reactors.cgi
[6.] www.world-nuclear.org/info/inf33.html
[7.] Report RdS/2011/37 "Rapporto di review sullo stato di sviluppo dei reattori di piccola media taglia di tipo modulare", G. Abbate, M. Ciotti, M. Olivetti
[8.] Report RdS/2011/166 "World status of the SMR projects"; L. Paparusso, M.E. Ricotti, M. Sumini
[9.] Rapporto RSE 2009/140 "Modello per la valutazione economico-finanziaria di reattori nucleari di taglia medio/piccola e sue applicazioni", P. Trucco, P. Garrone, M. Mancini, A. Trianni, G. Locatelli, M. Ricotti, S. Boarin
[10.] Report RDS 2010/133 "Analisi critica di concetti di reattori evolutivi PWR di piccola taglia ed identificazione di aree di potenziale miglioramento"; Doc. CIRTEN-UNIROMA1 RL 1160/2010; R. Genovese, L. Gramiccia, A. Naviglio, D. Vitale Di Maio
[11.] www.ge-energy.com/products_and_services/products/nuclear_energy/
[12.] www.ga.com/energy/em2/
[13.] www.ngnpalliance.org/images/general_files/HTGR%204%20page%20individual%20040611.pdf
[14.] 4th Annuall Asian-Pacific Nuclear Energy Forum, June 2010, "The SMART Reactor", Won Jae Lee(KAERI)
[15.] IAEA-TECDOC-1451 "Innovative small and medium sized reactors: Design features, safety approaches and R&D trends"; 2004
[16.] OECD-NEA "Current status, Technicsl feasibility and Economics of Small Nuclear Reactors" Nuclear Development Giugno 2011
[17.] B&W mPower™ Program IAEA SMR Technology Workshop Vienna, Austria December 6, 2011, Doug Lee The Babcock & Wilcox Company
[18.] B&W mPower™ Program IAEA SMR Technology Workshop Vienna, Austria December 6, 2011, Michael Anness Westinghouse Electric Company LLC
[19.] "HTR PM Project status and Test Program"; Sun Yuliang, INET; Tsinghua University; IAEA TWG-GCR-22;March 28- April 1, 2011
[20.] IAEA Nuclear Energy Series No. NP-T-2.2 - "Design Features to Achieve Defence In Depth In Small and Medium Sized Reactors"; pp 185-212 Annex VII - Safety design features of the GT MHR
[21.] "SVBR-100 Module-Type Reactor of the IV Generation for Regional Power Industry" IAEA-CN-176-FR09P1132, 7-11 December 2009 Kyoto, Japan (Presented by Georgy Toshinsky)

[22.] "SVBR-100: New Generation Power Plants for SMR" T. Antysheva, Head of Strategic Growth Group, S. Borovitskiy, Chief specialist, Reactor Unit Design Group; AKME; 8 July 2011

[23.] Hyperion Power Generation ,presentation at American Nuclear Society November 2009 by M.S. Campagna

[24.] www.gen4energy.com

[25.] www.toshiba.co.jp/nuclearenergy/english/business/4s/features.htm

[26.] "COMBUSTIBILITY OF HIGH-PURITY, NUCLEAR-GRADE GRAPHITE"; M.B. Richards; General Atomics, Proceedings of the 22nd Biennial Conference on Carbon, pp. 598–599, San Diego, Calif, USA, 1995.

[27.] "Passive Safety Systems and Natural Circulation in Water Cooled Nuclear Power Plants"; IAEA-TECDOC-1624, Printed by the IAEA in Austria November 2009; www-pub.iaea.org/books/

Abbreviazioni ed acronimi

ADS	Authomatic Depressurization System
CCWS	Component Cooling Water system
CMT	Core Make-up Tank
CRDM	Control Rod Drive Mechanism
CSBO	Complete Station Black-Out
CVCS	Chemical Volumetric Control Sistem
DH	Decay Heat
DHRS	Decay Heat Removal System
ESWS	Essential Service Water System
FA	Fuel Assembly
FNR	Fast Neutron Reactor
IRWST	Internal Refueling Water Storage Tank
LOCA	Loss Of Coolant Accident
MDBE	Maximum Design Basis Earthquake
OBE	Operatin Basis Earthquake
PGA	Peak Ground Acceleration
PRC	Primary Reactor Cooling system
RC	Reactoe Containment
RCB	Reactor Containment Building
RHR	Residual Heat Removal
RVACS	Reactor Vessel Air Cooling System
RWST	Refueling Water Storage Tank
SRC	Secondary Reactor Cooling system
SSE	Safe Shut-down Earthquake
STGR	Steam Generator Tube Rupture
UHS	Ultimate Heat Sink

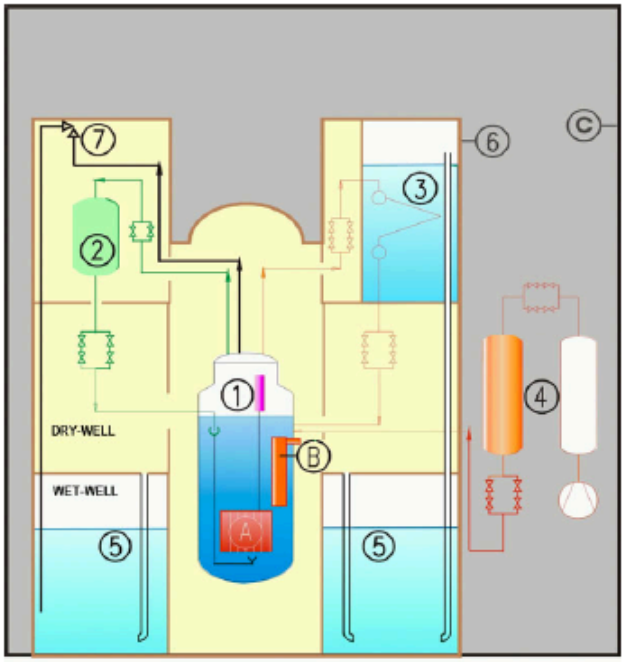
Annesso

Schede descrittive del progetto di alcuni reattori SMR

1. CAREM-25, CNEA - Argentina
2. SMART, KAERI – R. - Corea
3. IMR, Mitsubishi H. I. - Giappone
4. NuScale, NuScale Power Inc. - USA
5. mPower; Babcock&Wilcox, Bechtel - USA
6. W- SMR; Westinghouse - USA
7. VBER-300; JSC “Nuclear Plants” Kazakhstan - Russia
8. HTR-PM; INET; Tsinghua University - Cina
9. GT-MHR; GA USA, OKBM, Africantov - Russia
10. SVBR-100; AKME Engineering (joint venture Rusal e Rosatom) - Russia
11. G4M; (già noto come New Hyperion Power Module) - USA
12. 4S; Toshiba Corporation - Giappone

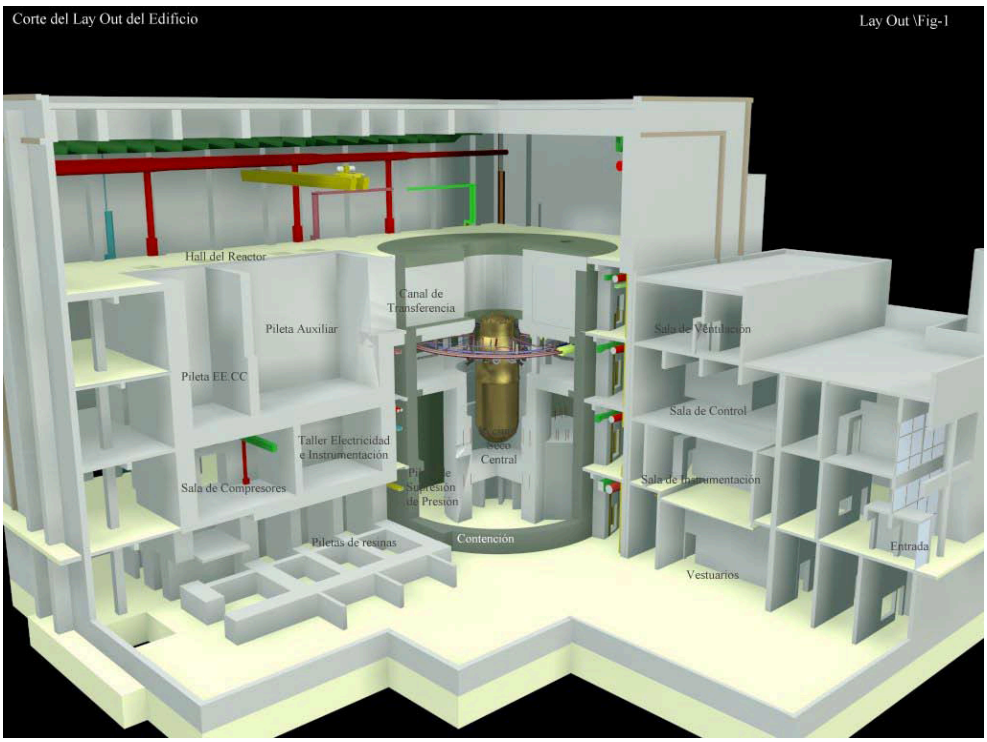
Denominazione del reattore e costruttore o progettista	CAREM-25, CNEA - Argentina
Tipologia di reattore e taglia di potenza termica/elettrica MWth/MWe	PWR, 100/27
Tipo di installazione	Modulo singolo su sito terrestre
Stato del progetto	Fase di licenziamento nel corso del 2011, prototipo atteso per il 2015 presso Atucha in Argentina
Specifiche di impianto	[2], [7]
Vita operativa dell'impianto	40 anni
Refrigerante primario e modo di circolazione	Acqua leggera in circolazione naturale
Pressione del primario [MPa]	12,25
Temperatura ingresso-uscita del nocciolo [°C]	284-326
Altezza*diametro nocciolo [m]	1,4*nd
Potenza lineare media/massima nel combustibile [W/cm)	108/290
Massa totale di combustibile [Ton]	3,8 (61 FA*108 FR*1,4 m AZ* 9 mm Ørod)
Potenza nominale in rapporto al volume interno di acqua del PRC [MW/m^3]	2,56
Capacità aggiuntive di pozzo freddo rese pronto- disponibili come soluzioni di impianto.	Serbatoio con acqua borata di shut-down connesso al PRC internamente al Contenitore Principale, ulteriori serbatoi di iniezione in Vessel da esterno al Contenitore Principale in associazione con piscine di soppressione. (v. figura 1a)
Tipo di combustibile ed arricchimento iniziale	UOx arricchito al 3,5% in 61 FAs esagonali*108 barrette in guaine di Zircaloy
Durata del ciclo di bruciamento in [gg equiv. p. p.]	330
Burn-up medio del combusti-bile scaricato in [MWd/Kg]	35
Modalità di controllo reattività in operazione	Barre di controllo con meccanismo di movimentazione interno; assenza di Boro in soluzione
Altezza*Diametro del Vessel Reattore in [m]	11*3,43
Pressione del secondario [MPa] e temperatura in-out [°C]	4,7 200-290
Quota di elevazione del Reattore e del BOP	Sopra il livello terra
Tipologia di Edificio di Contenimento e dimensioni	Contenitore con Piscina di Soppressione di vapore dal Vessel con singola parete in calcestruzzo rinforzato e rivestita con liner di acciaio. Edifico Reattore come secondo Contenitore.
Opzioni di cogenerazione	El.+Potabilizzazione acqua
Applicazione non elettrica	Osmosi inversa
Area di pianta edificata nel sito	Dato non specificato
Soluzioni progettuali di sicurezza	
Funzioni di sicurezza passive e intrinseche	• Coefficiente di reattività negativo su tutto il ciclo. • Inventario relativamente elevato di refrigerante ed alta capacità termica del circuito principale o delle capacità pronto-disponibili come soluzioni di impianto • Disposizione della circolazione naturale a livello sufficiente a rimuovere il calore di decadimento dal reattore in shut-down. • Disegno integrato del circuito primario col refrigerante secondario (a pressione minore) circolante internamente ai tubi dei GVs • Circuito Primario di raffreddamento Reattore a circolazione naturale

	• Dispositivi idraulici di azionamento barre di controllo interni al Vessel • Assenza di regolazione del Boro per il controllo del rattore in operazione. • Basso valore di potenza lineare del nocciolo • Moduli GVs progettati per una pressione pari a quella massima del PRC
Sistemi di shut–down del reattore	• Inserzione delle Barre di controllo e arresto per gravità • Inserzione per gravità di acqua Borata ad alta pressione.
Sistemi di depressurizzazione e di rimozione del calore di decadimento	• Sistemi passivi e ridondanti di rimozione del calore residuo spinti da gravità. • Valvole di sicurezza per il Vessel • Sistemi di iniezione di emergenza di acqua borata per evitare lo scoprimento del nocciolo
Sistemi di raffreddamento del Vessel Reattore e della Barriera di Contenimento	• Contenimento principale con Piscina di Soppressione • Raffreddamento della Piscina di Soppressione • Iniezione di acqua nella cavità del Pozzo Reattore
Progetto sismico	0,4 g di Massima Accelerazione al Suolo, in accordo con guide IAEA
Progetto di impatto Aereo	Non considerato nel progetto, affidato a norme amministrative e caratteristiche del sito.
Frequenza di "Core Damage"/frequnza di "Grande Fuga Radioattiva" [1/Y]	$10^{-6}/5{,}6*10^{-8}$
Eventi speciali considerati nel progetto di Sicurezza	Rischio di esplosione Idrogeno legato alla presenza di Zircaloy nel reattore ridotto per la bassa densità di potenza del combustibile e con disposizione di ricombinatori catalitici nell'Edificio Reattore, eventualmente accompagnabili da ignitori in punti particolari
Esito da "stress test" dopo Fukushima	Nessuna pubblica informazione
Norme regolatorie assunte nel progetto	Norme regolatorie nazionali Argentine
Strategia di gestione del combustibile esausto	
Disposizione della piscina di decadimento	Disposte una piscina principale ed una ausiliaria per i FAs irraggiati ed esausti in posizione contigua al Contenitore Principale e sul piano superiore interno all'Edifico Reattore (v. figura 1b).
Disposizione della piscina di deposito del combustibile esausto e del combustibile fresco	
Impatto sul sito in operazione e dopo smantellamento	
Raggio di Intervento del Piano di Emergenza	



1: First shutdown system
2: Second shutdown system
3: Residual heat removal system
4: Emergency injection system
5: Pressure suppression pool
6: Containment
7: Safety valves
A: Core
B: Steam generators
C: Reactor building

a) Schema del contenimento e sistemi di sicurezza

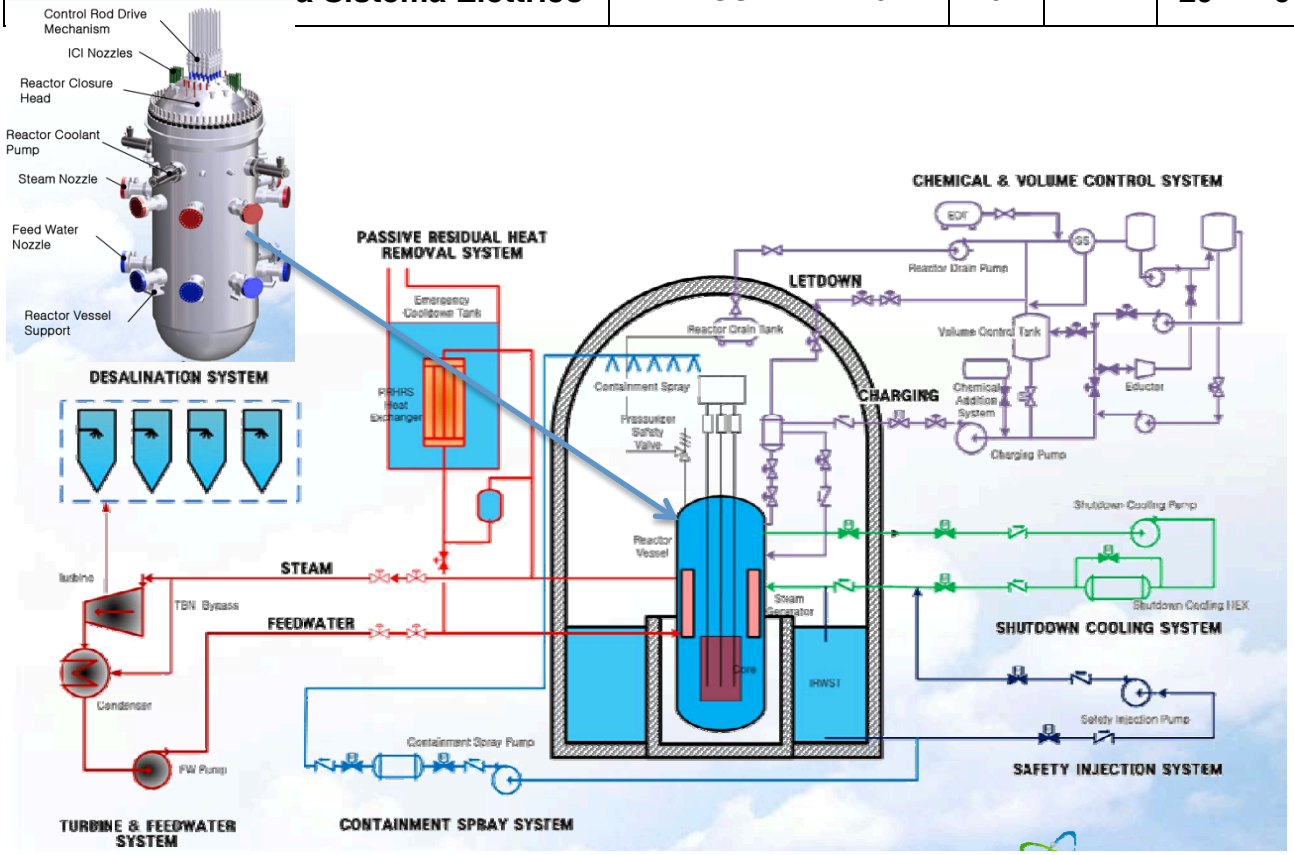


b) Spaccato dell'Edificio Reattore

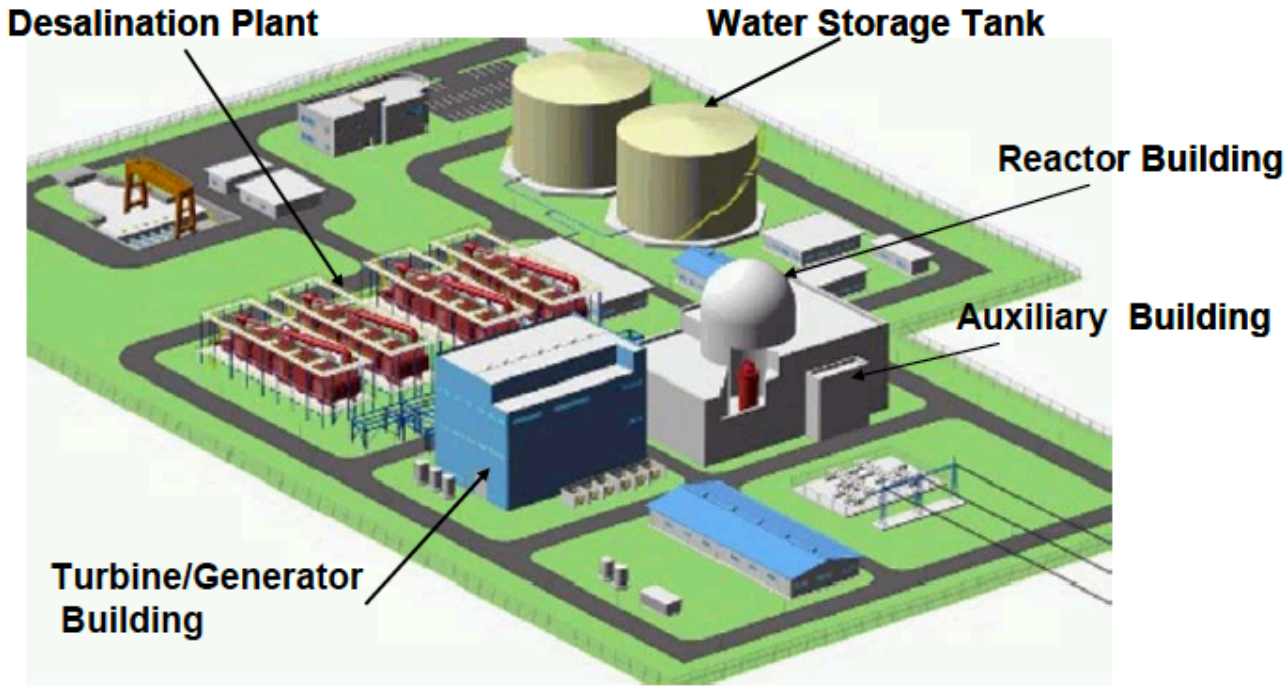
Figura 1 – Schemi ed illustrazioni relative al CAREM estratte da Rif . [3]

Denominazione del reattore e costruttore o progettista	SMART, KAERI – R. Corea
Tipologia di reattore e taglia di potenza termica/elettrica MWth/MWe	PWR, 330/100
Tipo di installazione	Modulo singolo su sito terrestre
Stato del progetto	Progetto di dettaglio in corso; licenziamento in corso al 2011; dispiegamento atteso per il 2015
Specifiche di impianto	[2], [7], [8]
Vita operativa dell'impianto	60 anni
Refrigerante primario e modo di circolazione	Acqua leggera in circolazione forzata
Pressione del primario [MPa]	15
Temperatura ingresso-uscita del nocciolo [°C]	296-323
Altezza*diametro nocciolo [m]	2,0*1,83
Potenza lineare media/ massima nel combustibile [W/cm)	120/395
Massa totale di combustibile [Ton]	12,5
Potenza nominale in rapporto al volume interno di acqua del PRC [MW/m^3]	5,86
Capacità aggiuntive di pozzo freddo rese pronto- disponibili come soluzioni di impianto.	Vasche del sistema IRWST interne al Contenitore Principale
Tipo di combustibile ed arricchimento iniziale	UOx arricchito al 4,8% in 57 FAs, convenzionali 17*17 per PWR con guaine di Zircaloy
Durata del ciclo di bruciamento in [gg equiv. p. p.]	864
Burn-up medio del combusti-bile scaricato in [MWd/Kg]	36
Modalità di controllo reattività in operazione	• Barre di controllo con meccanismo di movimentazione esterno; • Regolazione di Boro in soluzione
Altezza*Diametro del Vessel Reattore in [m]	16,16*6,0 Rif. [2] (18,5*6,5 in Rif. [14])
Pressione del secondario [MPa] e temperatura in-out [°C]	5,2 200-298
Quota di elevazione del Reattore e del BOP	Sopra il livello terra
Tipologia di Edificio di Contenimento e dimensioni	Edifico Reattore Contenitore a singola parete in calcestruzzo rivestita con liner di acciaio con Piscina di Soppressione di vapore dal Vessel.
Opzioni di cogenerazione	• El.+Potabilizzazione acqua; • El.+Calore
Applicazione non elettrica	Distillazione a multistadio con compressore termico di vapore
Area di pianta edificata nel sito	300*330 m (solo per la parte elettronucleare)
Soluzioni progettuali di sicurezza	
Funzioni di sicurezza passive e intrinseche	• Coefficiente di reattività negativo su tutto il ciclo. • Inventario relativamente elevato di refrigerante ed alta capacità termica del circuito principale o delle capacità pronto-disponibili come soluzioni di impianto • Disposizione della circolazione naturale a livello sufficiente a rimuovere il calore di decadimento dal reattore in shut-down. • Disegno integrato del circuito primario col refrigerante secondario (a pressione minore) circolante internamente ai tubi dei GVs • Basso valore di potenza lineare del nocciolo

	• Moduli GVs progettati per una pressione pari a quella massima del PRC. • Pompe di circolazione primarie con incamiciatura integrata tramite bocchelli al RPV • Relativamente bassa perdita di carico del nocciolo, moduli GV "once through", posizionamento degli stessi ad altezza elevata per mantenere una buona quota di circolazione naturale nel RCP • Eliminazione da progetto della instabilità per oscillazioni di Xeno
Sistemi di shut–down del reattore	• Inserzione delle Barre di controllo con sgancio per de-energizzazione e caduta per gravità • Sistema ridondante di ingresso per caduta di acqua borata come arresto di sicurezza
Sistemi di depressurizzazione e di rimozione del calore di decadimento	• Sistemi diversificati e ridondanti attivi e passivi di rimozione del calore residuo. • Valvole di sicurezza per il Vessel
Sistemi di raffreddamento del Vessel Reattore e della Barriera di Contenimento	• Sistema passivo di raffreddamento innestato sul lato vapore dei GVs, prima delle valvole di isolamento delle linee del secondario (36 ore di autonomia). • Sistema attivo di iniezione di acqua interno al Vessel a media pressone (< 10 MPa) • Sistema attivo di spruzzamento all'interno del contenitore di acqua proveniente dal IRWST, con allagamento del fondo del pozzo Reattore • (v. figura 2b).
Progetto sismico	0,3 g di Massima Accelerazione al Suolo per il SSE
Progetto di impatto Aereo	Zonizzazione degli edifici che vede il RCB (Reactor Containment Building), parte di CPB (Compound Building) e AB (Auxiliary Building) unitamente da assoggettare a condizioni di progetto specifiche del sito in relazione, fra l'altro, ad impatto aereo.
Frequenza di "Core Damage" o di "importante Fuga Radioattiva"	$10^{-7}/10^{-8}$
Raggio di Intervento del Piano di Emergenza	Nessuna pubblica informazione
Eventi speciali considerati nel progetto di Sicurezza	Il rischio di esplosione Idrogeno legato alla presenza di Zircaloy nel reattore in caso di incidente severo è risolto con disposizione di ignitori in punti particolari nell'Edificio Reattore
Adesione a correnti norme regolatorie	Nessuna pubblica informazione
Strategia di gestione del combustibile esausto	
Disposizione della piscina di decadimento	È previsto la implementazione in centrale di un edificio deposito di combustibile esausto (non compreso nella illustrazione di figura 2b) con le opportune protezioni che assicuri la capacità di deposito di combustibile esausto per 60 anni di vita della centrale.
Disposizione della piscina di deposito del combustibile esausto e del combustibile fresco	
Impatto sul sito in operazione e dopo smantellamento	
Raggio di Intervento del Piano di Emergenza	Nessuna pubblica informazione



a) Schema del contenimento e dei sistemi fluidi e di sicurezza



b) Vista generale della sistemazione degli edifici

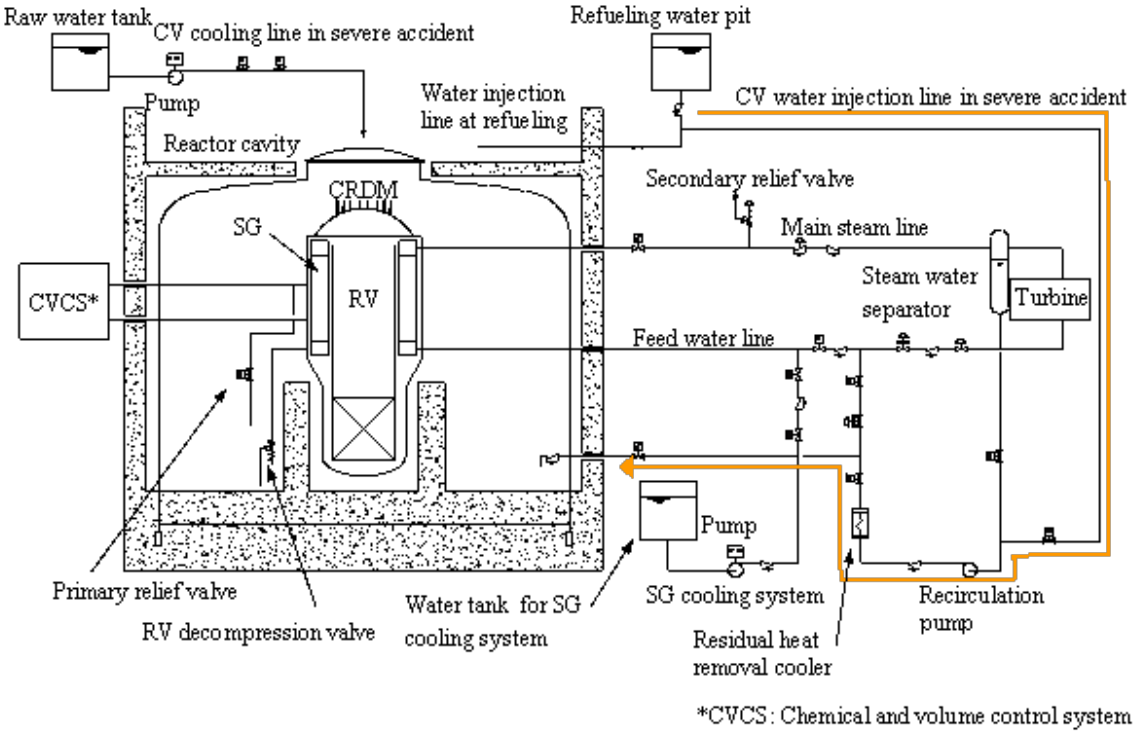
Figura 2 – Schemi ed illustrazioni relative al SMART estratte da Rif . [14]

Denominazione del reattore e costruttore o progettista	IMR; Mitsubishi H. I. - Giappone
Tipologia di reattore e taglia di potenza termica/elettrica MWth/MWe	PWR, 1000/350
Tipo di installazione	Modulo singolo su sito terrestre
Stato del progetto	Progetto di dettaglio in corso; licenziamento in corso al 2011; dispiegamento atteso per il 2015
Specifiche di impianto [2], [7]	
Vita operativa dell'impianto	60 anni
Refrigerante primario e modo di circolazione	Acqua leggera in circolazione naturale incrementata dall'insorgenza di zone in bifase per formazione di vapore (20% frazione di vuoto in uscita nocciolo)
Pressione del primario [Bar]	15,51
Temperatura ingresso uscita del nocciolo [°C]	330/345
Altezza*diametro nocciolo [m]	3,65*2,95
Potenza lineare media/ massima nel combustibile [W/cm)	72/-
Massa totale di combustibile [Ton]	51,8 (97 square **21x**21 FA *3,65 m AZ* 9 mm Ørod)
Potenza nominale in rapporto al volume interno di acqua del PRC [MW/m^3]	4,0
Capacità aggiuntive di pozzo freddo rese pronto- disponibili come soluzioni di impianto.	Nessun polmone aggiuntivo per PRC: se per depressurizzazione del vessel in caso di CSBO si possono perdere 60 m^3 di acqua per sfiato verso il contenitore nella prima mezzora per il calore di decadimento (assunto pari a 4% PN) e poi continua al ritmo di 30 m^3/ora (su un totale nel PRC di 250 m^3) solo il CVCS può ripristinare il livello ma riesce a funzionare ?). Polmoni esterni al Contenitore alimentano solo i locali esterno vessel ma senza garanzia che riescano efficaci a evitare il suo sfondamento per incidente severo (capaci di tenere allagato il pozzo reattore?).
Tipo di combustibile ed arricchimento iniziale	UOx arricchito al 4,6% in 97 FAs quadrati*21x21 barrette in guaine di Zircaloy
Durata del ciclo di bruciamento in [gg equiv. p. p.]	793
Burn-up medio del combusti-bile scaricato in [MWd/Kg]	46
Modalità di controllo reattività in operazione	Barre di controllo con meccanismo di movimentazione interno; assenza di Boro in soluzione
Altezza*Diametro del Vessel Reattore in [m]	17,26*4,37-6,55
Pressione del secondario [MPa] e temperatura in-out [°C]	5,0 220-296
Quota di elevazione del Reattore e del BOP	Isola Nucleare interrata con testa del Contenitore Principale a parete metallica spessa emergente a 1,3 m dal piano terra, BOP sopra piano terra (v. fig. 3b)
Tipologia di Edificio di Contenimento e dimensioni	Contenitore cilindrico metallico altezza/diametro 22,8/14,8 m, contenuto all'interno di edifico compatto in calcestruzzo come difesa esterna, senza tenuta particolare della atmosfera interna.
Opzioni di cogenerazione	El.+altri diversi
Applicazione non elettrica	
Area di pianta edificata nel sito	4900 (???)
Soluzioni progettuali di sicurezza	

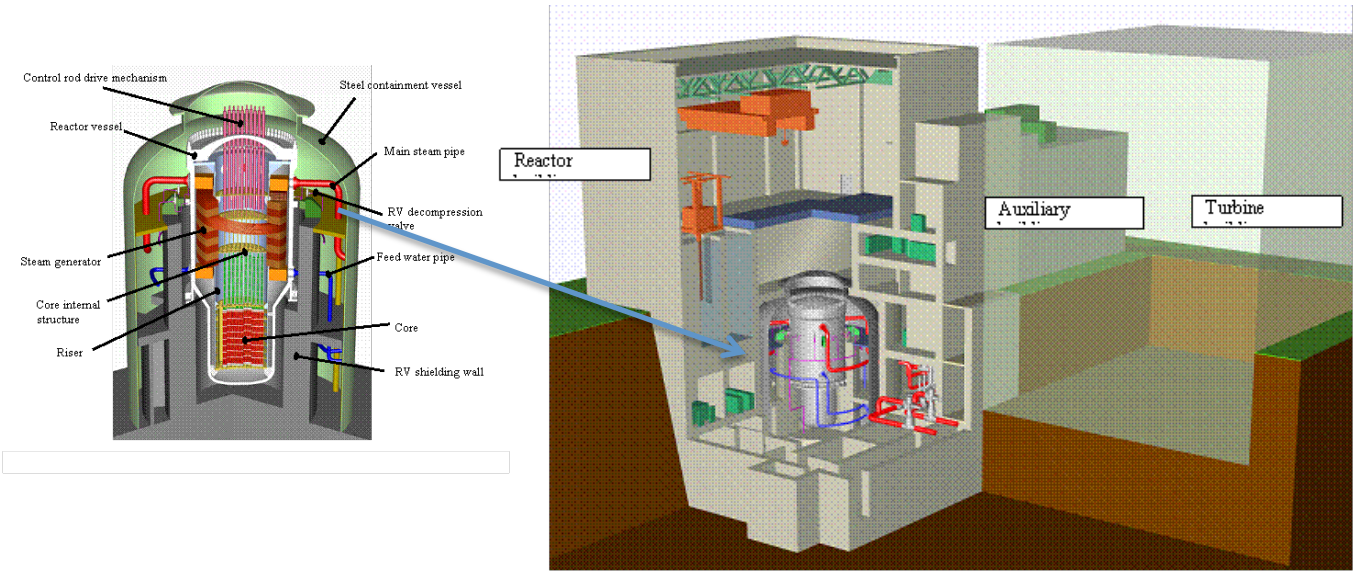
Funzioni di sicurezza passive e intrinseche	• Coefficiente di reattività negativo su tutto il ciclo. • Inventario relativamente elevato di refrigerante ed alta capacità termica del circuito principale • Disegno integrato del circuito primario col refrigerante secondario (a pressione minore) circolante internamente ai tubi dei GVs • Moduli GVs progettati per una pressione pari a quella massima del PRC • Circuito Primario di raffreddamento Reattore a circolazione naturale in tutti gli stati operativi, stimolata da tratto bifase con formazione di vapore in uscita nocciolo (HHTS:Hybrid Heat Transport Sistem) • Dispositivi di azionamento barre di controllo interni al Vessel • Assenza di controllo del rattore in operazione mediante regolazione del Boro disciolto. • Basso valore di potenza lineare del nocciolo • stand-alone diesel generator per le pompe di ricircolo dei moduli GV e conseguente semplificazione con declassificazione di alcuni sistemi ausiliari quali i servizi di acqua CCWS, ESWS e Potenza AC Emergency (Rif . [5])[1]
Sistemi di shut–down del reattore	• Inserzione delle Barre di controllo e arresto reattore per gravità • Inserzione per effetto di pressione di acqua Borata.
Sistemi di depressurizzazione e di rimozione del calore di decadimento	• Sistemi attivo di rimozione di calore residuo attraverso i GV in sostituzione del sistema SDHS che appare più presente nel progetto (non appare evidente l'esistenza e posizione di valvole di isolamento linee vapore da operare in caso di LOCA sul secondario o di SGTR !) • Valvole di sicurezza per il Vessel come sistema di decompressione passivo che scaricano nel Contenitore
Sistemi di raffreddamento del Vessel Reattore e della Barriera di Contenimento	• Sistema di iniezione di acqua dal RWST (esterno al Contenitore) sul fondo del Contenitore metallico (per gravità dopo attivazione del sistema?) • Bagnamento esterno della testa del Contenitore per caduta d'acqua (dopo attivazione) da una "Raw Water Tank"
Progetto sismico	0,18 g per OBE, e 0,31* 1,8 g per SSE come Massima Accelerazione al Suolo
Progetto di impatto Aereo	Edificio compatto di calcestruzzo in superficie che copre il Contenitore Principale quasi completamente interrato.
Frequenza di "Core Damage"/frequnza di "Grande Fuga Radioattiva" [1/Y]	0,6-2,9 *10^{-7}/non specificato
Eventi speciali considerati nel progetto di Sicurezza	Rischio di esplosione Idrogeno legato alla presenza di Zircaloy nel reattore ridotto da riferire comunque ad una bassa densità di potenza del combustibile non è menzionato nei dati pubblicati.
Esito da "stress test" dopo Fukushima	Nessuna pubblica informazione
Norme regolatorie assunte nel progetto	Nessuna specifica informazione
Strategia di gestione del combustibile esausto	

[1] Quanto riportato risulta da Rif. [5] aggiornato al 21-07-2011. Nel precedente riferimento Rif. [3] queste scelte di semplificazione erano giustificate diversamente "The safety design is greatly simplified because the Safety Injection System (SIS), Containment Spray System (CSS) and safety grade support systems such as the Component Cooling Water System (CCWS), Essential Service Water System (ESWS) and Emergency AC power system are not required." Tutti rimpiazzati dal SDHS (Stand-alone Direct Heat Removal System) che sembra configurarsi come un Isolation Condenser agente sul secondario ovvero le linee vapore dei moduli GVs (v. fig. 3 c). Il SDHS, sistema passivo, non è più considerato nell'aggiornamento di Rif. [5] ed dove è invece citato il sistema di raffreddamento dei GV (2 sistemi sui 4 moduli GV) spinti da pompe, quindi sistemi attivi, alimentate da diesels stand-alone. Non è ben documentato come operi il Sistema di refrigerazione del GV che ha il massimo grado di "sicurezza"

Disposizione della piscina di decadimento	Una piscina per i FA esausti è disposta in locali dell'edificio reattore serviti dal Carroponte, come si può intravvedere in figura 3b) in quota sopraelevate rispetto il piano terra.
Disposizione della piscina di deposito del combustibile esausto e del combustibile fresco	
Impatto sul sito in operazione e dopo smantellamento	
Raggio di Intervento del Piano di Emergenza	Nessuna pubblica informazione



a) Schema del contenimento e dei sistemi fluidi e di sicurezza



b) Spaccato dell'Edificio Reattore

Figura 3 - Schemi ed illustrazioni relative al IMR estratte da Riff . [3] e [5]

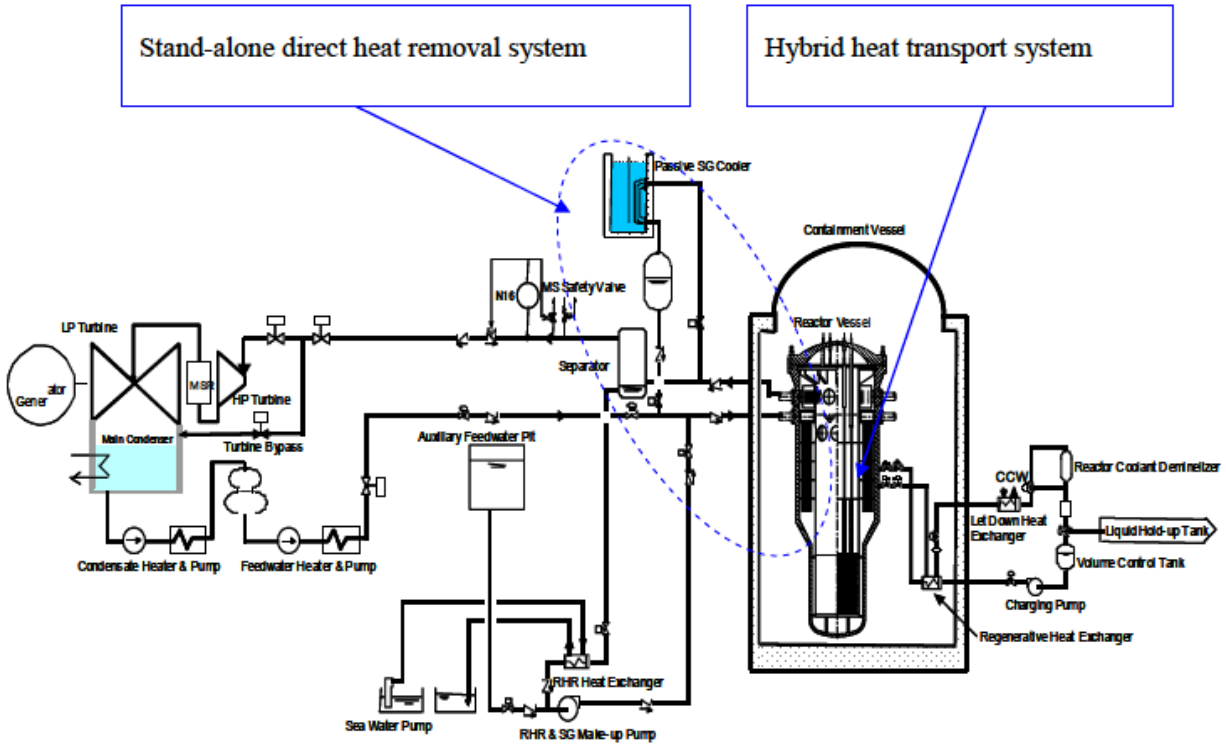
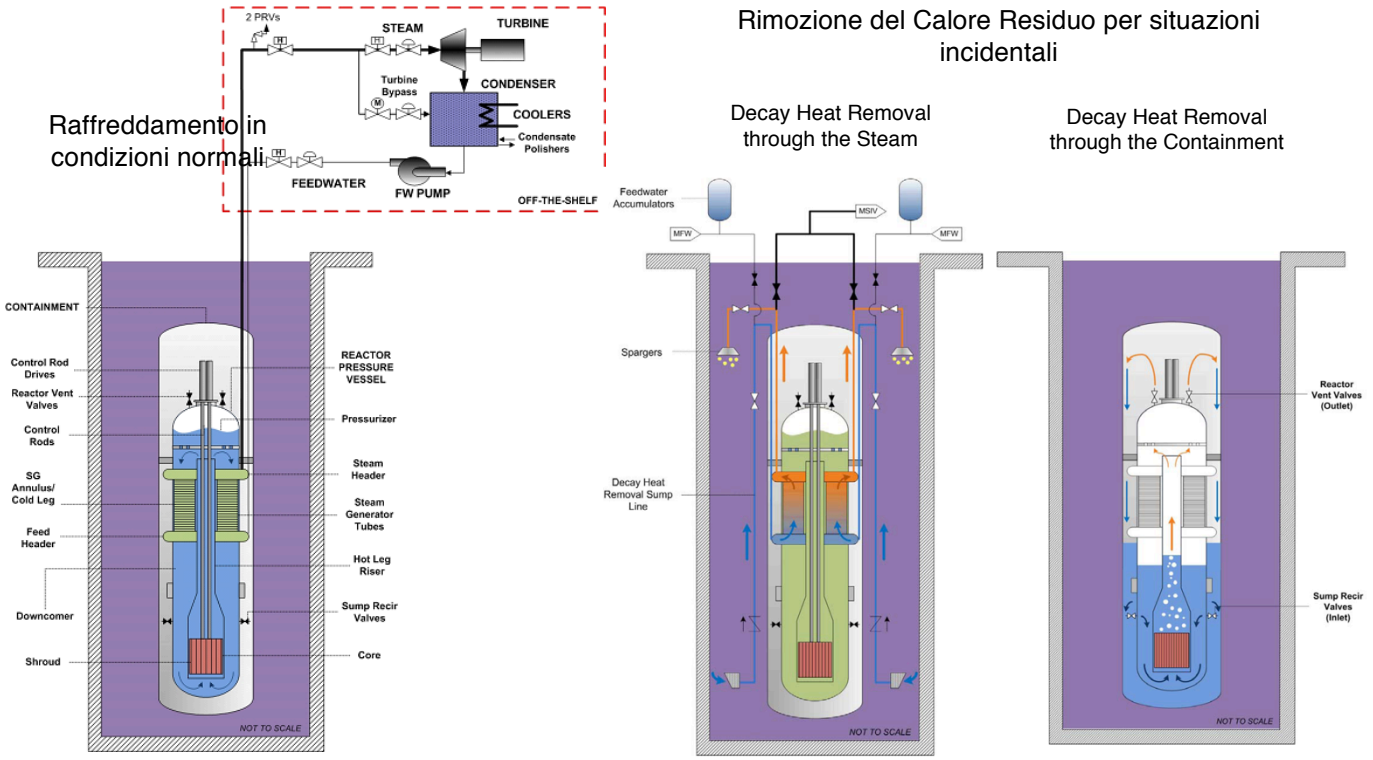


FIG. VI-2 Schematic diagram of IMR.

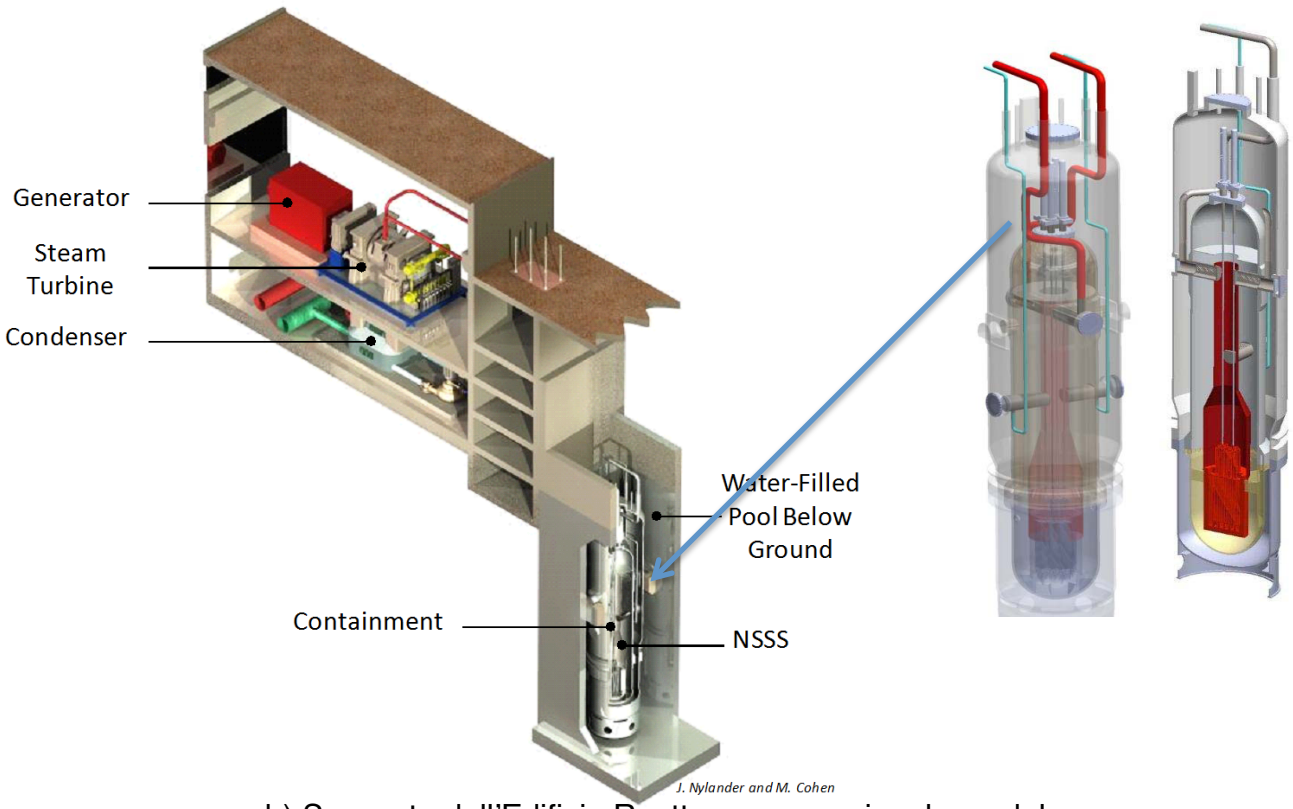
Figura 3 c) Schema semplificato del SDHS sistema considerato nella versione precedente del IMR di Rif. [3] e non compreso in Rif. [5]

Denominazione del reattore e costruttore o progettista	NuScale; NuScale Power Inc. - USA
Tipologia di reattore e taglia di potenza termica/elettrica MWth/MWe	PWR, 160/48
Tipo di installazione	Moduli componibili fino a 12 su sito terrestre
Stato del progetto	Istruttoria preliminare in corso con avvio pratica di licenziamento attesa nel 2011ma al giugno 2012 non ancora avviata presso NRC; FOAK (First Of A Kind) atteso nel 2018
Specifiche di impianto [7], [8]	
Vita operativa dell'impianto	60 anni
Refrigerante primario e modo di circolazione	Acqua leggera in circolazione naturale
Pressione del primario [MPa]	10,7
Temperatura ingresso-uscita del nocciolo [°C]	247,9-288,9
Altezza*diametro nocciolo [m]	2,0*n.d.
Potenza lineare media/ massima nel combustibile [W/cm)	n.d./n.d.
Massa totale di combustibile [Ton]	n.d.
Potenza nominale in rapporto al volume interno di acqua del PRC [MW/m3]	3,0
Capacità aggiuntive di pozzo freddo rese pronto- disponibili come soluzioni di impianto.	Piscina interrata di alloggiamento del Contenitore che a sua volta contiene il Vessel
Tipo di combustibile ed arricchimento iniziale	UOx arricchito al 4,95% in 17x17 FAs con barrette in guaine di Zircaloy
Durata del ciclo di bruciamento in [gg equiv. p. p.]	732
Burn-up medio del combusti-bile scaricato in [MWd/Kg]	62
Modalità di controllo reattività in operazione	Barre di controllo con meccanismo di movimentazione esterno; assenza di Boro in soluzione
Altezza*Diametro del Vessel Reattore in [m]	15*3
Pressione del secondario [MPa] e temperatura in-out [°C]	n.d. n.d. - n.d.
Quota di elevazione del Reattore e del BOP	Il Reattore all'interno del suo Contenitore e posto in piscina allagata sotterranea con il fondo a -18 m. Sotterrati anche la Camera di controllo e la piscina di deposito dei FA esausti. BOP sopra il livello terra
Tipologia di Edificio di Contenimento e dimensioni	Contenitore metallico (20,5 xØ4,5 m) immerso in piscina sotterranea, internamente sotto vuoto con pressione interna di progetto di 3,5 MPa contenente strettamente il Vessel. Piscina sotterranea di sommersione come barriera supplementare oltre il sistema classico rappresentato dal Vessel +Contenitore principale + Edificio reattore
Opzioni di cogenerazione	El.+Vapore di processo o acqua potabile, Load follow con variabilità della potabilizzazione
Applicazione non elettrica	Osmosi inversa per potabilizzazione acqua marina
Area di pianta edificata nel sito	156300 m2 per impianto a 12 moduli
Soluzioni progettuali di sicurezza	
Funzioni di sicurezza passive e intrinseche	• Coefficiente di reattività negativo su tutto il ciclo. • Inventario relativamente elevato di refrigerante ed alta capacità termica del circuito principale o delle capacità pronto-disponibili come soluzioni di impianto • Basso valore di potenza lineare del nocciolo

	• Disposizione della circolazione naturale sufficiente a rimuovere il calore in tutte le condizioni operative. • Disegno integrato del pressurizzatore e del circuito primario col refrigerante secondario (a pressione minore) circolante internamente ai tubi dei GVs • Assenza di regolazione del Boro per il controllo del rattore in operazione. • Contenitore metallico sotto vuoto e ad alta resistenza a pressione che mantiene ogni singola unità modulare di reattore sotto il battente idraulico della piscina interrata a disposizione come pozzo freddo in caso incidentale.
Sistemi di shut–down del reattore	• Inserzione meccanica delle Barre di controllo
Sistemi di depressurizzazione e di rimozione del calore di decadimento	• Attivo in normale operazione. Passivo (DHRS) in condizione incidentale • Valvole di sicurezza per sovrapressione del Vessel con scarico nel Contenitore Principale per rimozione del Calore Residuo.
Sistemi di raffreddamento del Vessel Reattore e della Barriera di Contenimento	• Sistema passivo di tipo D (CHRS), con inondazione del fondo Vessel per raccolta condensato del vapore di rilascio dal primario reattore.
Progetto sismico	0,7 Massima Accelerazione al Suolo per SSE
Progetto di impatto Aereo	Posizionamento interrato del Contenitore del Reattore della sala di controllo e della Piscina unica di FA esauriti
Frequenza di "Core Damage"/frequnza di "Grande Fuga Radioattiva" [1/Y]	10-8/non specificato
Eventi speciali considerati nel progetto di Sicurezza	Contenitore Principale posto sotto vuoto per evitare comburente ed eventuale idrogeno rilasciato per incidente severo
Esito da "stress test" dopo Fukushima	Nessuna pubblica informazione
Norme regolatorie assunte nel progetto	
Strategia di gestione del combustibile esausto	
Disposizione della piscina di decadimento	Piscina unica di centrale con 12 moduli reattori capace di contenere a bagno FA esauriti per 10 anni di vita operativa di centrale.
Disposizione della piscina di deposito del combustibile esausto e del combustibile fresco	
Impatto sul sito in operazione e dopo smantellamento	
Raggio di Intervento del Piano di Emergenza	Considerati solo provvedimenti minori di Emergenza da assumere in zona circostante il sito.



a) Schemi semplificati dei sistemi e modi di raffreddamento

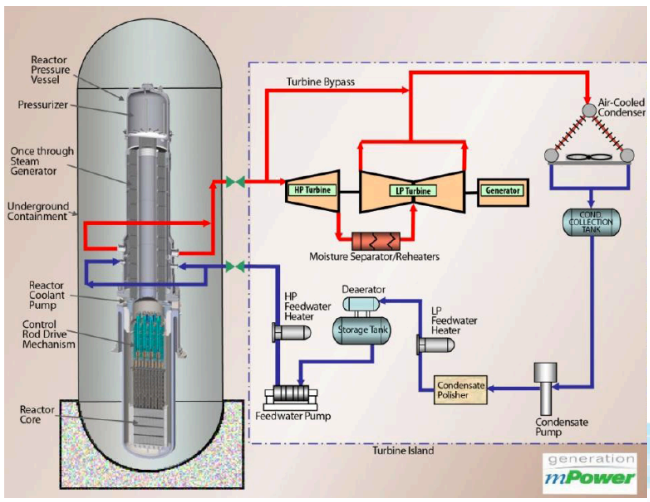


b) Spaccato dell'Edificio Reattore con un singolo modulo

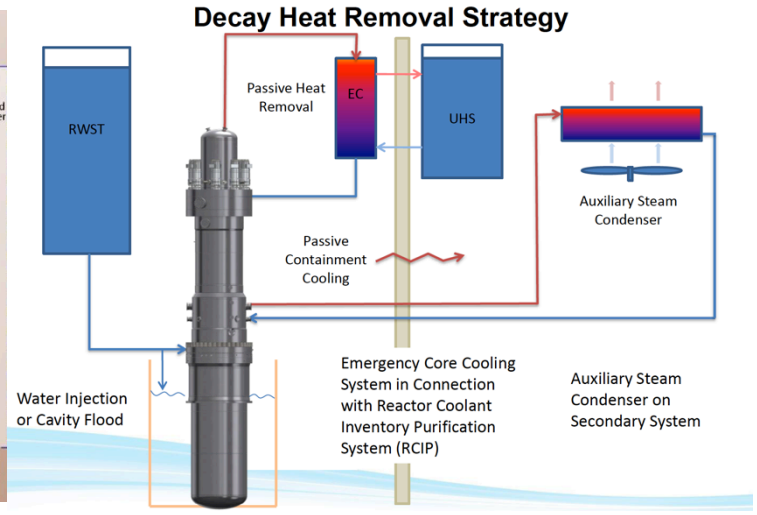
Figura 4 - Schemi ed illustrazioni relative al NuScale estratte da Riff . [3] e [5]

Denominazione del reattore e costruttore o progettista	mPower; Babcock&Wilcox, Bechtel - USA
Tipologia di reattore e taglia di potenza termica/elettrica MWth/MWe	PWR, 530/155 * *(condensatore raffreddato ad aria)
Tipo di installazione	Moduli componibili su sito terrestre
Stato del progetto	Istruttoria preliminare in corso con avvio pratica di licenziamento attesa alla fine del 2013; Realizzazione di un primo modulo attesa nel 2020 come 1° di 6 per TVA presso il sito a Clinch River in Roane County, Tennessee
Specifiche di impianto [7]	
Vita operativa dell'impianto	60 anni
Refrigerante primario e modo di circolazione	Acqua leggera in circolazione forzata
Pressione del primario [MPa]	13,1
Temperatura ingresso-uscita del nocciolo [°C]	297-321
Altezza*diametro nocciolo [m]	2,03*2,0
Potenza lineare media/ massima nel combustibile [W/cm)	115/n.d.
Massa totale di combustibile [Ton]	< 20,0
Potenza nominale in rapporto al volume interno di acqua del PRC [MW/m3]	5,6
Capacità aggiuntive di pozzo freddo rese pronto- disponibili come soluzioni di impianto.	
Tipo di combustibile ed arricchimento iniziale	UOx arricchito al 5% in 69 standard FA 17x17
Durata del ciclo di bruciamento in [gg equiv. p. p.]	1644
Burn-up medio del combusti-bile scaricato in [MWd/Kg]	40
Modalità di controllo reattività in operazione	Barre di controllo con meccanismo di movimentazione interno; assenza di Boro in soluzione
Altezza*Diametro del Vessel Reattore in [m]	22,0*3,6
Pressione del secondario [MPa] e temperatura in-out [°C]	5,4 300 - 163
Quota di elevazione del Reattore e del BOP	Il Reattore è nel suo pozzo all'interno del Contenitore principale resta interrato circondato e sormontato da strutture di Edificio reattore con fondazione a – 47 m, come contenitore secondario. Interrata resta anche la Piscina del combustibile esausto mentre il locale turbina è posto sopra il livello terra
Tipologia di Edificio di Contenimento e dimensioni	Vessel e componenti di sicurezza del PRC non integrati racchiusi entro una Grande Contenitore cilindrico in metallo con duomo sferico, posto nella porzione interrata dell'edificio rettore, contenente sopra il vessel le strutture di manipolazione dei componenti PRC ed internals, vasche e vie di transito FA. Edificio reattore in cemento unico per più moduli di reattore contenente anche a quota sotto terra la piscina unica dei FAs esauriti. Locali Turbine sopra quota terreno con condensatori raffreddati ad aria
Opzioni di cogenerazione	n. d.
Applicazione non elettrica	n. d.
Area di pianta edificata nel sito	160000 m2 per impianto a 2 moduli
Soluzioni progettuali di sicurezza	

Funzioni di sicurezza passive e intrinseche	• Coefficiente di reattività negativo su tutto il ciclo. • Inventario relativamente elevato di refrigerante ed alta capacità termica del circuito principale o delle capacità pronto-disponibili come soluzioni di impianto • Basso valore di potenza lineare del nocciolo • Disegno integrato del pressurizzatore e del circuito primario col refrigerante secondario (a pressione minore) circolante internamente ai tubi dei GVs • Assenza di regolazione del Boro per il controllo del rattore in operazione. • Alto rapporto altezza/diametro del Vessel che riduce il rischio di scoprimento nocciolo (se la rimozione del calore di decadimento è agevolata dall'esterno laterale del vessel !)
Sistemi di shut–down del reattore	• Inserzione meccanica delle Barre di controllo
Sistemi di depressurizzazione e di rimozione del calore di decadimento	• Sistema attivo agente sul fluido secondario "Auxiliary Steam condenser". • Clean-up valve (valvola attiva passiva di depressurizzazione?) "Emergency Core Cooling in connection with RCIP". • Sistema passivo di rimozione in emergenza del calore residuo agente sul fluido primario per effetto di gravità (Veicola il fluido primario in un EC che resta interno al Contenitore metallico v. fig. 5 a, e poi con un circuito ulteriore passa il calore al Ultimo Pozzo Freddo tutto esterno e tutto in modo passivo ?) "Passive Heat Removal" • Inondamento del pozzo reattore da parte del RWST e scambio in convezione naturale con bifase vapore tra Vessel e Contenitore metallico "Water Injection or Cavity Flood" (capace di iniettare acqua internamente al Vessel? per sola gravità?).
Sistemi di raffreddamento del Vessel Reattore e della Barriera di Contenimento	• Sistema passivo (Cat. D) "Water Injection or Cavity Flood"
Progetto sismico	n. d.
Progetto di impatto Aereo	Posizionamento interrato dell'Edificio Reattore per tutta la parte con funzione di contenitore secondario comprendente le piscine di deposito FA esausti
Frequenza di "Core Damage"/frequnza di "Grande Fuga Radioattiva" [1/Y]	non specificato /non specificato
Eventi speciali considerati nel progetto di Sicurezza	Nessuna considerazione sulla mitigazione del rischio di esplosione idrogeno che pare attenuato dall'alto rapporto altezza/diametro del vessel quando allontana il rischio di scoprimento nocciolo
Esito da "stress test" dopo Fukushima	Nessuna pubblica informazione
Norme regolatorie assunte nel progetto	Secondo regole stabilite da NRC per GEN III+
Strategia di gestione del combustibile esausto	
Disposizione della piscina di decadimento	Piscina unica di centrale capace di contenere noccioli esauriti per 20 anni di vita operativa di impianto.
Disposizione della piscina di deposito del combustibile esausto e del combustibile fresco	
Impatto sul sito in operazione e dopo smantellamento	
Raggio di Intervento del Piano di Emergenza	Concepito per installazione presso il luogo di utilizzo

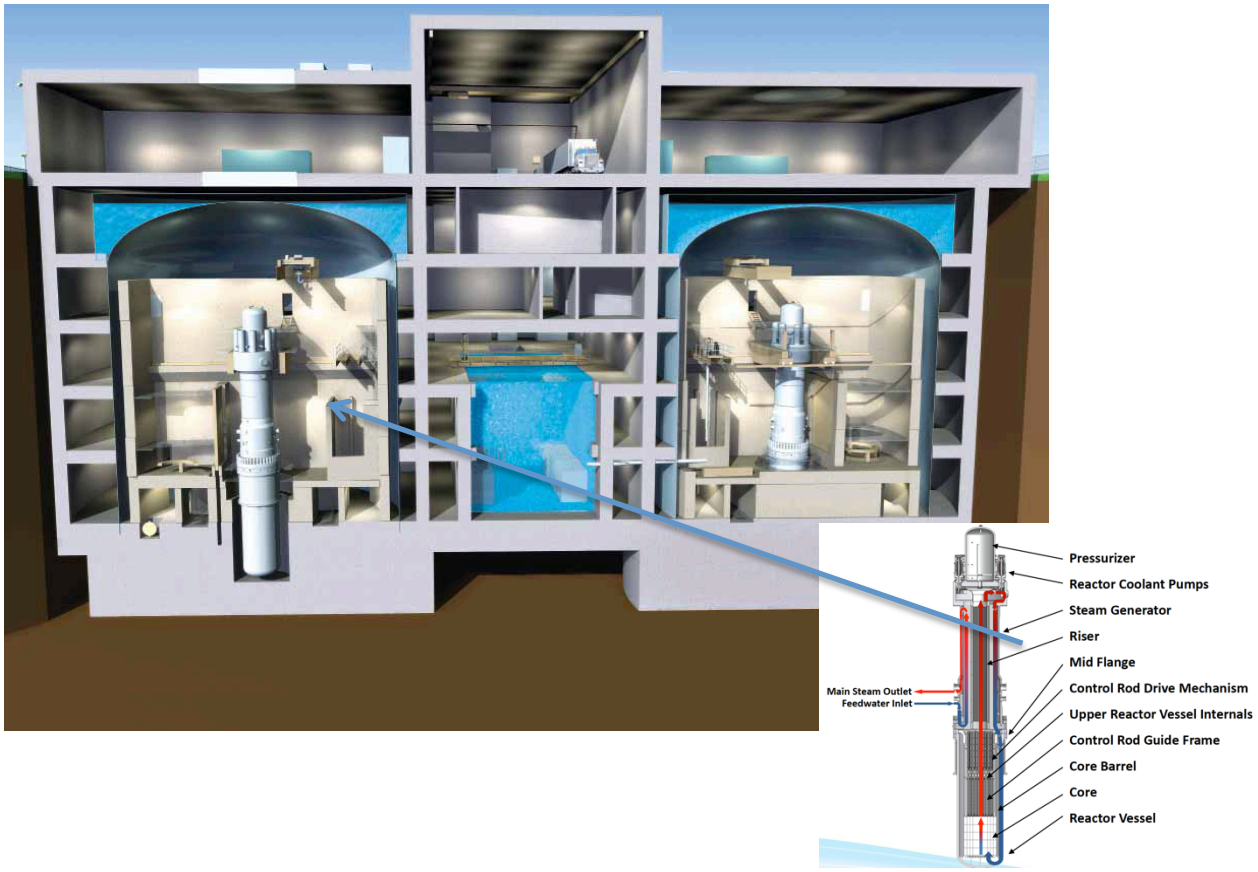


Normal Operation Power generation and Heat Removal



Decay Heat Removal for Accidental or Emergency condition

a) Schemi semplificati dei sistemi e modi di raffreddamento



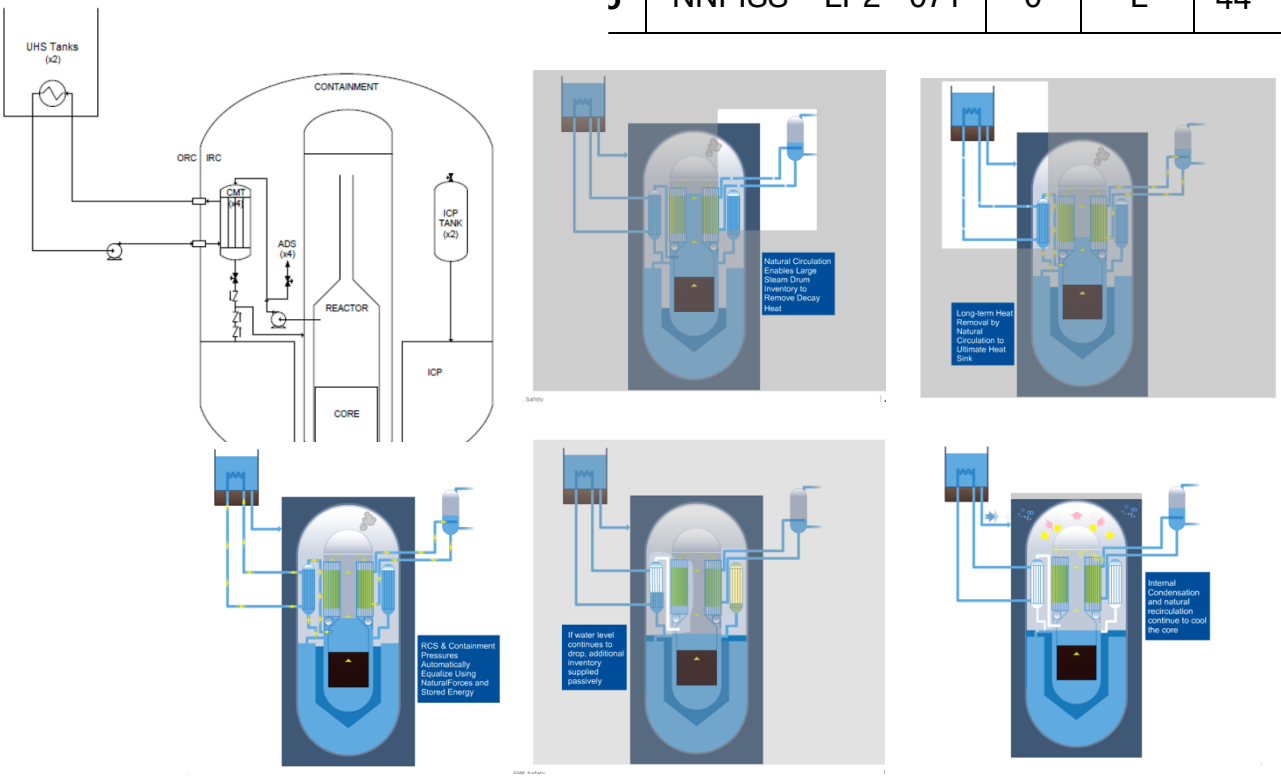
b) Spaccato dell'Edificio Reattore con una coppia di moduli

Figura 5 - Schemi ed illustrazioni relative al mPower estratte da Riff . [5] e [17]

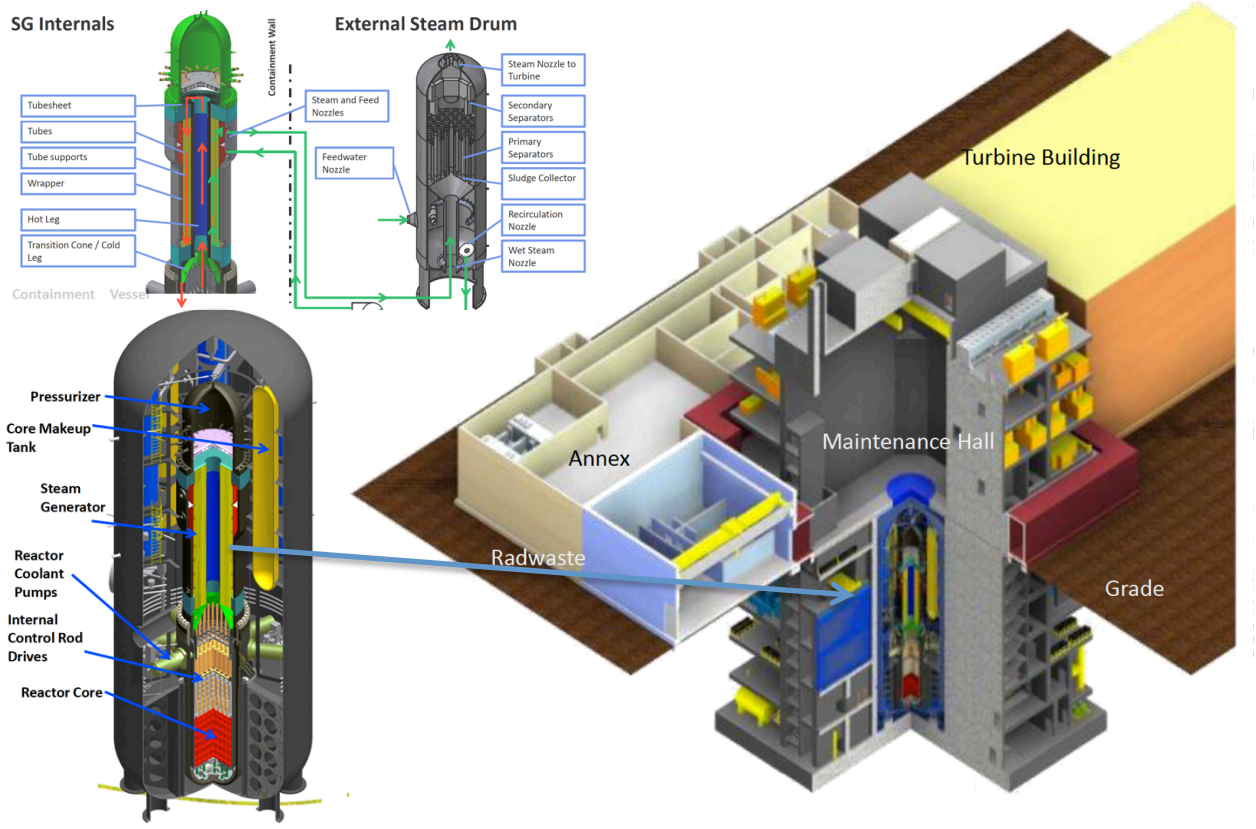
Denominazione del reattore e costruttore o progettista	W- SMR; Westinghouse - USA
Tipologia di reattore e taglia di potenza termica/elettrica MWth/MWe	PWR, 800/>225
Tipo di installazione	Modulo singolo su sito terrestre
Stato del progetto	Progetto di dettaglio in corso fa seguito alla sospensione del progetto IRIS; Avanzata richiesta di finanziamento al DOE in Aprile 2012 per lo sviluppo del progetto e licenziamento presso il sito Callaway di Amren Missouri
Specifiche di impianto	
Vita operativa dell'impianto	Non definito
Refrigerante primario e modo di circolazione	Acqua leggera in circolazione forzata
Pressione del primario [MPa]	n. d.
Temperatura ingresso-uscita del nocciolo [°C]	n. d.- n. d.
Altezza*diametro nocciolo [m]	2,4*n. d.
Potenza lineare media/ massima nel combustibile [W/cm)	n. d./n. d.
Massa totale di combustibile [Ton]	n. d.
Potenza nominale in rapporto al volume interno di acqua del PRC [MW/m3]	1,7
Capacità aggiuntive di pozzo freddo rese pronto- disponibili come soluzioni di impianto.	
Tipo di combustibile ed arricchimento iniziale	UOx arricchito al 5% in 89 FA 17x17
Durata del ciclo di bruciamento in [gg equiv. p. p.]	650
Burn-up medio del combusti-bile scaricato in [MWd/Kg]	n. d.
Modalità di controllo reattività in operazione	Barre di controllo con meccanismo di movimentazione interno; Regolazione di Boro in soluzione
Altezza*Diametro del Vessel Reattore in [m]	24,7*3,5
Pressione del secondario [MPa] e temperatura in-out [°C]	n. d. n. d. - n. d.
Quota di elevazione del Reattore e del BOP	Il Vessel Reattore è all'interno del Contenitore di pressione metallico a immerso in piscina interrata e sormontato da strutture di Edificio reattore come contenitore secondario con fondazione a – 32 m. il locale turbina è posto sopra il livello terra
Tipologia di Edificio di Contenimento e dimensioni	Vessel e componenti di sicurezza non integrati del PRC compresi in un Contenitore Metallico Sommerso cilindrico di misura, con duomo sferico. Il Contenitore Metallico mantiene l'inventario di acqua eventualmente spillata dal Vessel ed è immerso in piscina interrata. Edificio reattore in cemento indipendente per ogni singolo modulo contenente anche a quota sotto terra la piscina unica dei FAs esauriti. L'interspazio tra Vessel e contenitore metallico consente scambi convettivi di miscele aria vapore in condensazione nella parte a volta superiore e convettivi di acqua primaria condensata nella volta inferiore
Opzioni di cogenerazione	n. d.
Applicazione non elettrica	n. d.
Area di pianta edificata nel sito	64000 m^2 per impianto a singolo modulo
Soluzioni progettuali di sicurezza	
Funzioni di sicurezza	• Coefficiente di reattività negativo su tutto il ciclo ?

passive e intrinseche	• Inventario relativamente elevato di refrigerante ed alta capacità termica del circuito principale o delle capacità pronto-disponibili come soluzioni di impianto • Basso valore di potenza lineare del nocciolo ? • Disegno integrato del pressurizzatore e del circuito primario col refrigerante secondario (a pressione minore) circolante internamente ai tubi dei GVs • Steam Drum del GV esterno al contenitore con refrigerazione passiva a breve termine? • Accumulatore di iniezione per gravità acqua borata • Accumulatore di iniezione a bassa pressione per gravità
Sistemi di shut–down del reattore	• Inserzione meccanica delle Barre di controllo • Regolazione del Boro per il controllo del rattore in operazione.
Sistemi di depressurizzazione e di rimozione del calore di decadimento	• Sistema passivo di rimozione in emergenza del calore residuo due circuiti concatenati mossi per circolazione naturale coinvolgenti il fluido principale in scambio con un secondario mediante un HX interno all'accumulatore di acqua borata (CMT Core Make-up Tank ridondante x4 ?) all'interno del Contenitore Principale metallico. • Sistema Automatico di Depressurizzazione ADS ? (ridondante x4 attivo con dispositivo di sicurezza passivo?)
Sistemi di raffreddamento del Vessel Reattore e della Barriera di Contenimento	• Steam Drum del GV esterno al contenitore con refrigerazione passiva a breve termine? • Vasca di rimozione in convezione naturale del Calore di Decadimento di medio termine tramite circolazione naturale dei tratti PRC (ridondanti x4) attraverso Scambiatori interni al CMT • Convezione naturale di miscela aria/vapore (nella parte verso la volta superiore) e condensa (nella parte di volta inferiore) tra parete esterna Vessel e Contenitore metallico Principale. • Piscina di sommersione del Contenitore Principale metallico, a livello sotterraneo con superficie evaporante a pressione atmosferica e reintegro del livello.
Progetto sismico	n. d.
Progetto di impatto Aereo	Posizionamento interrato dell'Edificio Reattore per tutta la parte con funzione di contenitore secondario comprendente le piscine di deposito FA esausti
Frequenza di "Core Damage"/frequnza di "Grande Fuga Radioattiva" [1/Y]	non specificato /non specificato
Eventi speciali considerati nel progetto di Sicurezza	Nessuna considerazione sulla mitigazione del rischio di esplosione idrogeno che peraltro può essere mitigato con atmosfera inerte nel Contenitore metallico principale
Esito da "stress test" dopo Fukushima	Nessuna pubblica informazione
Norme regolatorie assunte nel progetto	Nessuna pubblica informazione
Strategia di gestione del combustibile esausto	
Disposizione della piscina di decadimento	Piscina interrata per ogni singolo modulo di reattore
Disposizione della piscina di deposito del combustibile esausto e del combustibile fresco	
Impatto sul sito in operazione e dopo smantellamento	
Raggio di Intervento del Piano di	Nessuna pubblica informazione

Emergenza	



a) – Schema semplificato del sistema di rimozione del Calore Residuo e sequenze di funzionamento in corso di incidente

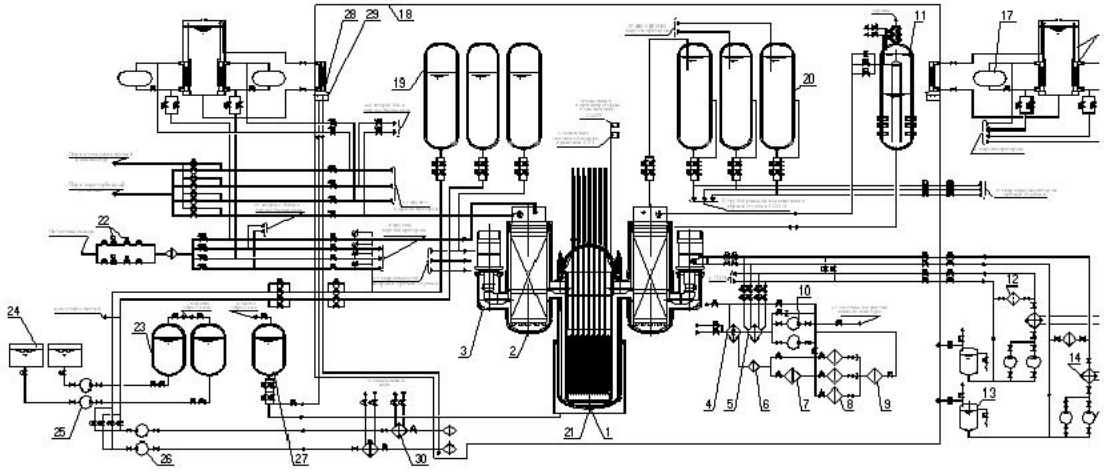


b) – Spaccato Edificio Reattore e barriere di contenimento

Figura 6 - Schemi ed illustrazioni relative al SMR Westinghouse estratte da Riff . [5] e [18]

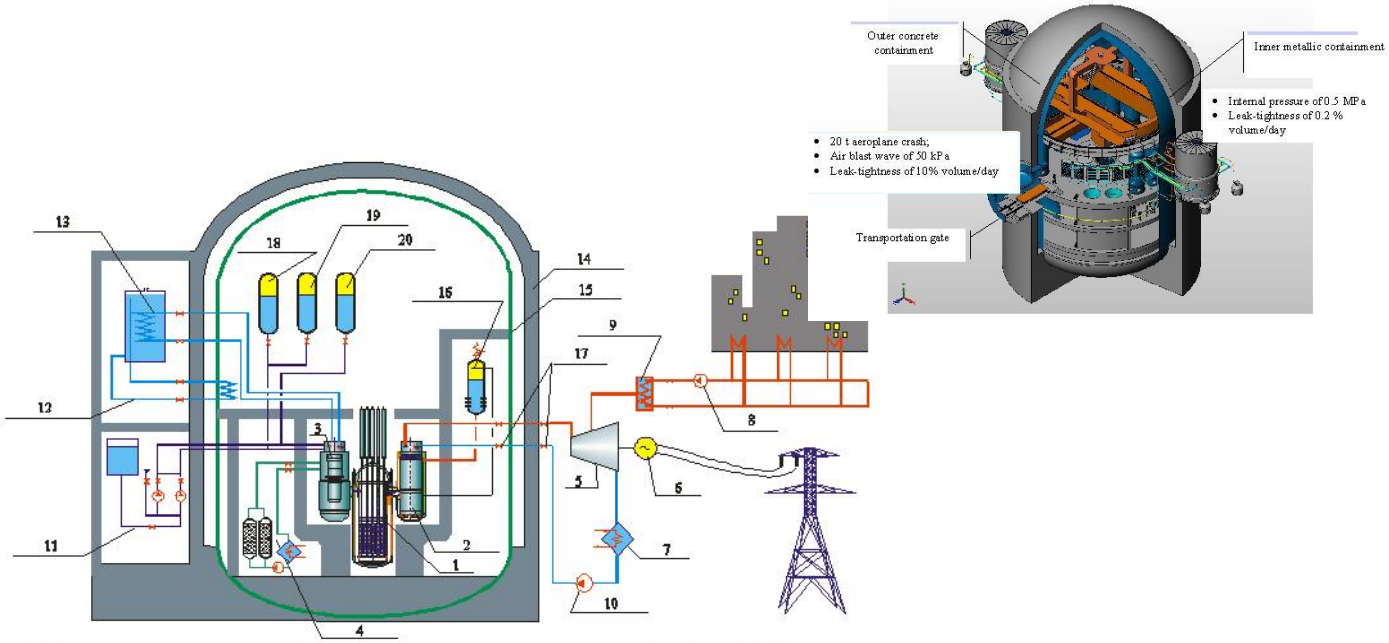
Denominazione del reattore e costruttore o progettista	VBER-300; JSC "Nuclear Plants", Kazakhstan - Russia
Tipologia di reattore e taglia di potenza termica/elettrica MWth/MWe	PWR; 917/325
Tipo di installazione	Modulo singolo o in coppia su sito terrestre o zattera galleggiante
Stato del progetto	Progetto di dettaglio completo e licenziato per stazione galleggiante in fase di rielaborazione per la base terrestre. Dispiegamento atteso nel 2015
Specifiche di impianto	[5], [7], [8]
Vita operativa dell'impianto	60 anni
Refrigerante primario e modo di circolazione	Componenti PRC non integrati in circuito compatto a circolazione forzata
Pressione del primario [Bar]	163
Temperatura ingresso uscita del nocciolo [°C]	292-327,5
Altezza*diametro nocciolo [m]	3,53*2,285
Potenza lineare media/ massima nel combustibile [W/cm)	95/n. d.
Massa totale di combustibile [Ton]	1332
Potenza nominale in rapporto al volume interno di acqua del PRC [MW/m3]	n. d.
Tipo di combustibile ed arricchimento iniziale	UO_2 arr. 4,95% in 85 FA esagonali (senza scatola) TVSA con guaine Zircaloy-4
Durata del ciclo di bruciamen-to in [gg equiv. p. p.]	732
Burn-up medio del combusti-bile scaricato in [MWd/Kg]	47
Modalità di controllo reattività in operazione	Barre di controllo meccaniche con CRDM esterni Controllo del boro in diluizione
Altezza/Diametro del Vessel Reattore in [m]	8,675/3,81
Pressione del secondario [Bar] e temperatura in/out [°C]	63,7 220/305
Quota di elevazione del Reattore e del BOP	Installabile su zattera galleggiante o su base terrestre sopra quota suolo in unità singola o doppia
Tipologia di Edificio di Contenimento e dimensioni	Contenitore Principale di acciaio Øe=34 m alto 48,9 m in Contenitore Secondario cilindrico in calcestruzzo armato Øe=37 m alto 55 m
Opzioni di cogenerazione	Elettr.+ Calore; Elettr.+ Desalinizzazione
Applicazione non elettrica	
Area di pianta edificata nel sito	300000 m^2 per centrale con una coppia di unità
Soluzioni progettuali di sicurezza	
Funzioni di sicurezza passive e intrinseche	• Coefficiente di reattività negativo su tutto il ciclo (?) • Inventario relativamente elevato di refrigerante ed alta capacità termica del circuito principale o delle capacità pronto-disponibili come soluzioni di impianto • Livello di circolazione naturale sufficiente alla rimozione del calore di decadimento direttamente allo shut down • Manicotti di innesto dei circuiti minori del PRC ai rami caldi (leakage eventuale di vapore e non di liquido) e comunque sopra le testa del nocciolo) • Corto sviluppo di tubazione del PRC • Limitatori di portata a basso diametro sulle tubazioni connesse al PRC

	• Pompe di circolazione forzata inscatolate • Sistemi di localizzazione incidenti, anche attraverso il doppio contenimento e valvole di localizzazione negli ausiliari del PRC
Sistemi di shut–down del reattore	• Inserzione di barre di controllo con motori elettrici • Inserzione barre di controllo per effetto gravità • Iniezione di boro diluito per gravità
Sistemi di depressurizzazione e di rimozione del calore di decadimento	Passive Emergency Heat Removal System Passive Emergency Core Cooling System
Sistemi di raffreddamento del Vessel Reattore e della Barriera di Contenimento	Pozzo reattore progettato per inondamento e scambio per libera ebollizione dell'acqua a contatto col fondo Vessel e recupero del condensato. Progettato come impedimento allo spandimento del corium fuori dal Vessel in caso di incidente severo. Evacuazione attraverso scambiatore del Containment Pressure Control System??? intercapedine del contenitore principale e Secondario per convezione naturale??? **72h Tempo di grazia**
Progetto sismico	• 0,3 g
Progetto di impatto Aereo	• Contenitore Secondario specificamente dimensionato: Parametri di impatto aereo 20 Ton a velocità di impatto 200 m/sec
Frequenza di "Core Damage"/frequnza di "Grande Fuga Radioattiva" [1/Y]	• 10^{-6} / 10^{-7}
Raggio di Intervento del Piano di Emergenza	• nessuno
Eventi speciali considerati nel progetto di Sicurezza	• Nessuna considerazione rilevata sul rischio esplosione di idrogeno per presenza di guaine in Zircaloy
Adesione a correnti norme regolatorie	
Strategia di gestione del combustibile esausto	
Disposizione della piscina di decadimento **Disposizione della piscina di deposito del combustibile esausto e del combustibile fresco**	Piscina di transito di FA nuovi e scaricati e piscina di stoccaggio disposte entro il RC. Lo stoccaggio previsto dei FA esauriti con piscina capace di accomodare tutta la carica del nocciolo di 6 anni. Piani per il riprocessamento presso la centrale del combustibile.
Impatto sul sito in operazione e dopo smantellamento	



1-Reactor
2-SG
3-MCP
4-Recuperator
5-Cooldown HX
6-Filter trap
7-Filter based on a combined operation principle
8-Anion exchange filter
9-Cation exchange filter
10-Purification and cooldown system pump
11-Pressurizer
12-Intermediate circuit filter
13-Intermediate circuit tank
14-Intermediate HX
15-Intermediate circuit pump
16-HX unit
17-Water storage tank
18-Containment
19-Hydraulic accumulator
20-Secondary stage ECCS tank
21-Reactor vessel cooling tank
22-Feedwater complex
23-Soluble poison tank
24-Water supply tank
25-Primary circuit make-up pump
26-Recircurlating pump
27-Reactor caisson filling tank
28- HX of containment pressure supp system
29-Condensate tank
30-HX of recirculation system

a) – Schema semplificato dei sistemi fluidi di sicurezza



1-Reactor
2-Steam generator
3-Main circulation pump
4-Primary circuit purification system
5-Turbine
6-Generator
7-Condenser
8-Network pump
9- Network heat exchanger
10-Feedwater pump
11-Water and boron solution makeup system
12-Containment pressure control system
13-Emergency heat removal system
14-Outer concrete containment
15-Inner steel containment
16-Steam pressurizer
17-Localizing shutoff valves
18-Emergency core cooldown system first-stage accumulator
19-Emergency core cooldown system second-stage accumulator
20- Passive boron solution supply system

b) – Schema semplificato dei sistemi principali attorno al Blocco Reattore e spaccato

Figura 7 - Schemi ed illustrazioni relative al VBER 300 estratte da Rif . [5]

Denominazione del reattore e costruttore o progettista	HTR-PM; INET; Tsinghua University - Cina
Tipologia di reattore e taglia di potenza termica/elettrica MWth/MWe	HTGR; 250/105
Tipo di installazione	Modulo di una coppia su sito terrestre
Stato del progetto	In fase di licenziamento, primo impianto della serie atteso al 2013
Specifiche di impianto	[7], [8], [19]
Vita operativa dell'impianto	40 anni
Refrigerante primario e modo di circolazione	Elio a circolazione forzata verso un Generatore di Vapore come fluido di processo in turbina
Pressione del primario [Bar]	70
Temperatura ingresso-uscita del nocciolo [°C]	250-750
Altezza*diametro nocciolo [m]	11*3,0
Potenza lineare media/ massima nel combustibile [W/cm)	Non applicabile (Densità di Potenza media/massima in zona Fuel: 3.2/6.6 MW/m3 Potenza media/massima generata da una sfera combustibile: 0.6/1.8 kW)
Massa totale di combustibile [Ton]	2,94 in 420000 sfere di Ø 6 cm a base di sferule TRISO
Potenza nominale in rapporto al volume interno di acqua del PRC [MW/m^3]	Non applicabile
Capacità aggiuntive di pozzo freddo rese pronto- disponibili come soluzioni di impianto.	Non specificate
Tipo di combustibile ed arricchimento iniziale	Sfere a base di TRISO con UOx arricchito al 8,77%
Durata del ciclo di bruciamento in [gg equiv. p. p.]	1057 Inteso come tempo di residenza per ricarica combustibile in-linea
Burn-up medio del combusti-bile scaricato in [MWd/Kg]	80
Modalità di controllo reattività in operazione	Inserzione meccanica di barre di controllo in zona riflettente
Altezza*Diametro del Vessel Reattore in [m]	23,8*7,0
Pressione del secondario [MPa] e temperatura in-out [°C]	141 570
Quota di elevazione del Reattore e del BOP	Sopra il livello terra
Tipologia di Edificio di Contenimento e dimensioni	
Opzioni di cogenerazione	• nessuna
Applicazione non elettrica	
Area di pianta edificata nel sito	
Soluzioni progettuali di sicurezza	
Funzioni di sicurezza passive e intrinseche	• Coefficienti di reattività negativi per temperatura e potenza • Impiego di combustibile TRISO come efficace barriera prima di contenimento efficace per le alte temperature e burn-up • Impiego di Elio come fluido refrigerante primario chimicamente inerte e neutronicamente neutro • Relativamente bassa densità di potenza • Grande inventario di grafite nel vessel reattore come elemento di alta inerzia termica ed alta capacità di scambio conduttivo e radiante del calore, capace di tollerare la perdita di Elio come refrigerante interno senza danno al nocciolo e rilascio di reattività • Ampia superficie esterna del Vessel

	• Assenza di tubi di grande diametro di veicolazione del fluido principale • Collegamenti a tenuta dei componenti del Primary Pressure Boundary • Ridotto swing di reattività per il ricambio di combustibile in-linea
Sistemi di shut–down del reattore	Due diversi e indipendenti sistemi passivi di shut down uno per inserzione per gravità di barre di controllo, un secondo sempre per gravità di inserzione di sfere assorbenti in sottocanali predisposti.
Sistemi di depressurizzazione e di rimozione del calore di decadimento	• Sistema attivo di rimozione (tramite la normale soffiante di Elio e raffreddamento (per by-pass diretto o by-pass del vapore dall'apparato di produzione). • Sistema passivo di scarico di Elio attraverso il sistema di protezione di sovrapressione del Vessel in ogni categoria di incidente (non specificato). • Scarico di acqua dal secondario in caso di incidente SGTR.
Sistemi di raffreddamento del Vessel Reattore e della Barriera di Contenimento	Sistema passivo di raffreddamento con pannelli ad acqua nelle pareti dalla cavità reattore.
Progetto sismico	Non specificato
Progetto di impatto Aereo	Soluzione architettonica Edificio Reattore definito in "Double Citadel"
Frequenza di "Core Damage" o di "importante Fuga Radioattiva"	Non specificato
Raggio di Intervento del Piano di Emergenza	Piano di evacuazione parziale o totale
Eventi speciali considerati nel progetto di Sicurezza	Cosa esclude o mitiga l'incidente di invasione del nocciolo da parte del Vapore a seguito di rottura di tubi del GV (visto che la pressione del primario in elio è molto più bassa della pressione del GV lato secondario)? Un rapido automatismo e un veloce scarico del GV in apposito serbatoio di soppressione riduce l'invasione di vapore nel PRC ma come coda finale porta anche lo scarico del gas del PRC.
Adesione a correnti norme regolatorie	
Strategia di gestione del combustibile esausto	
Disposizione della piscina di decadimento	
Disposizione della piscina di deposito del combustibile esausto e del combustibile fresco	Stoccaggio temporaneo presso la centrale del combustibile esausto per un tempo determinato prima di trasferirlo ad un deposito centrale
Impatto sul sito in operazione e dopo smantellamento	

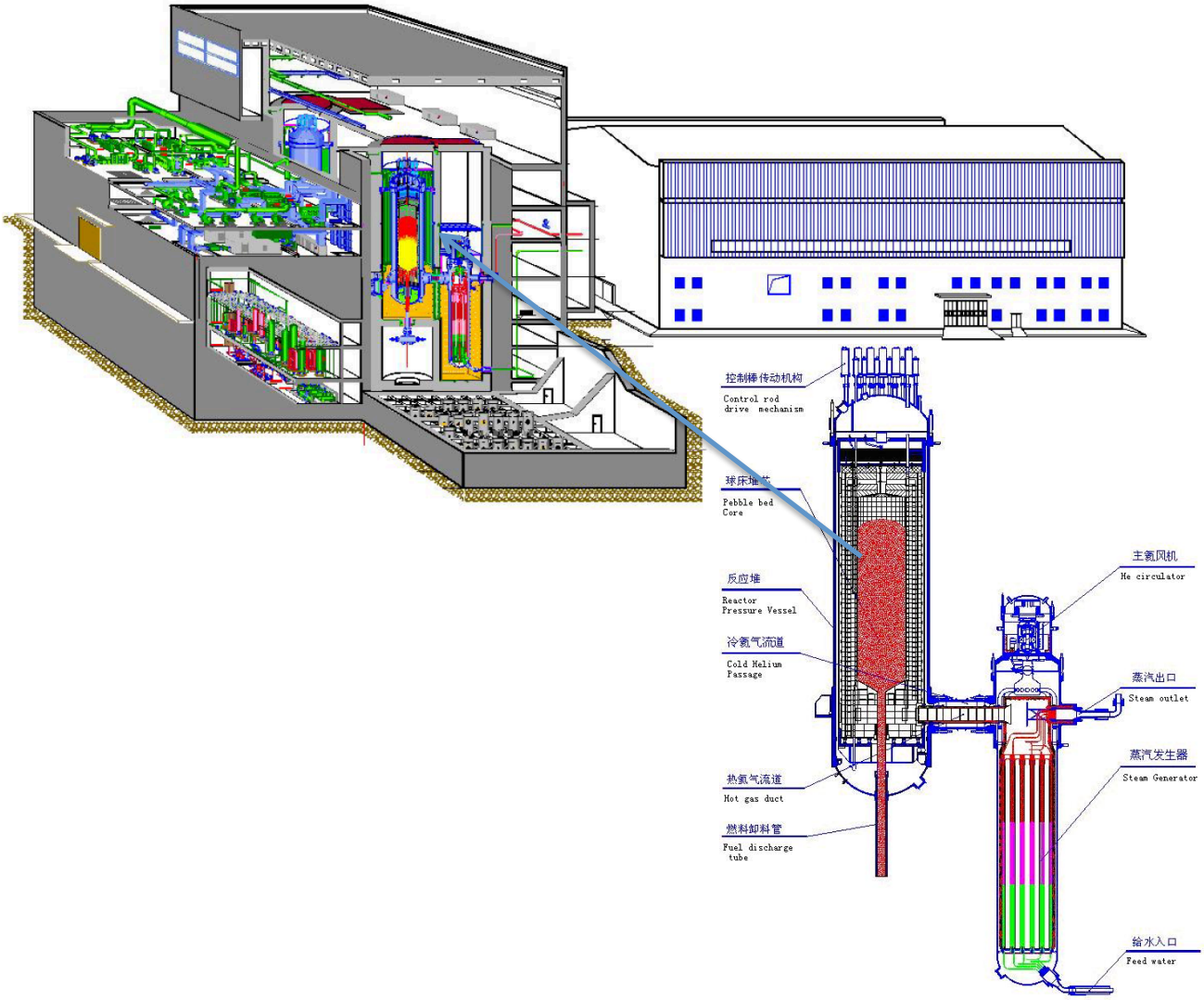
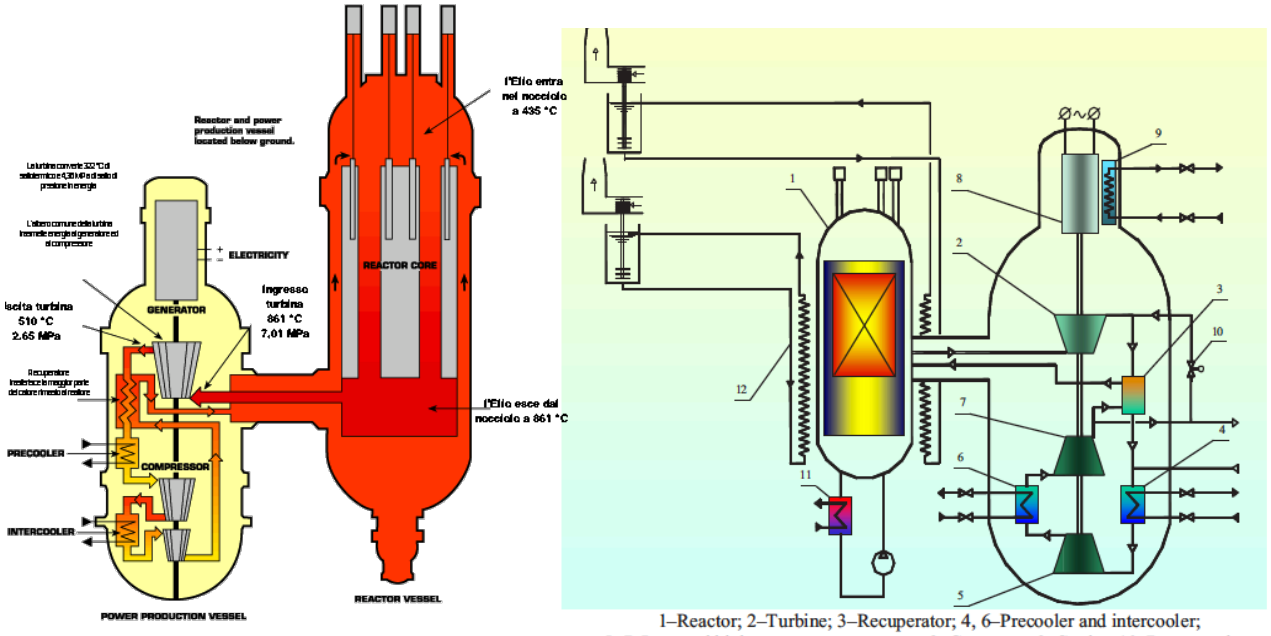


Figura 8 - Schemi ed illustrazioni relative al HTR-PM estratte da Rif . [5]

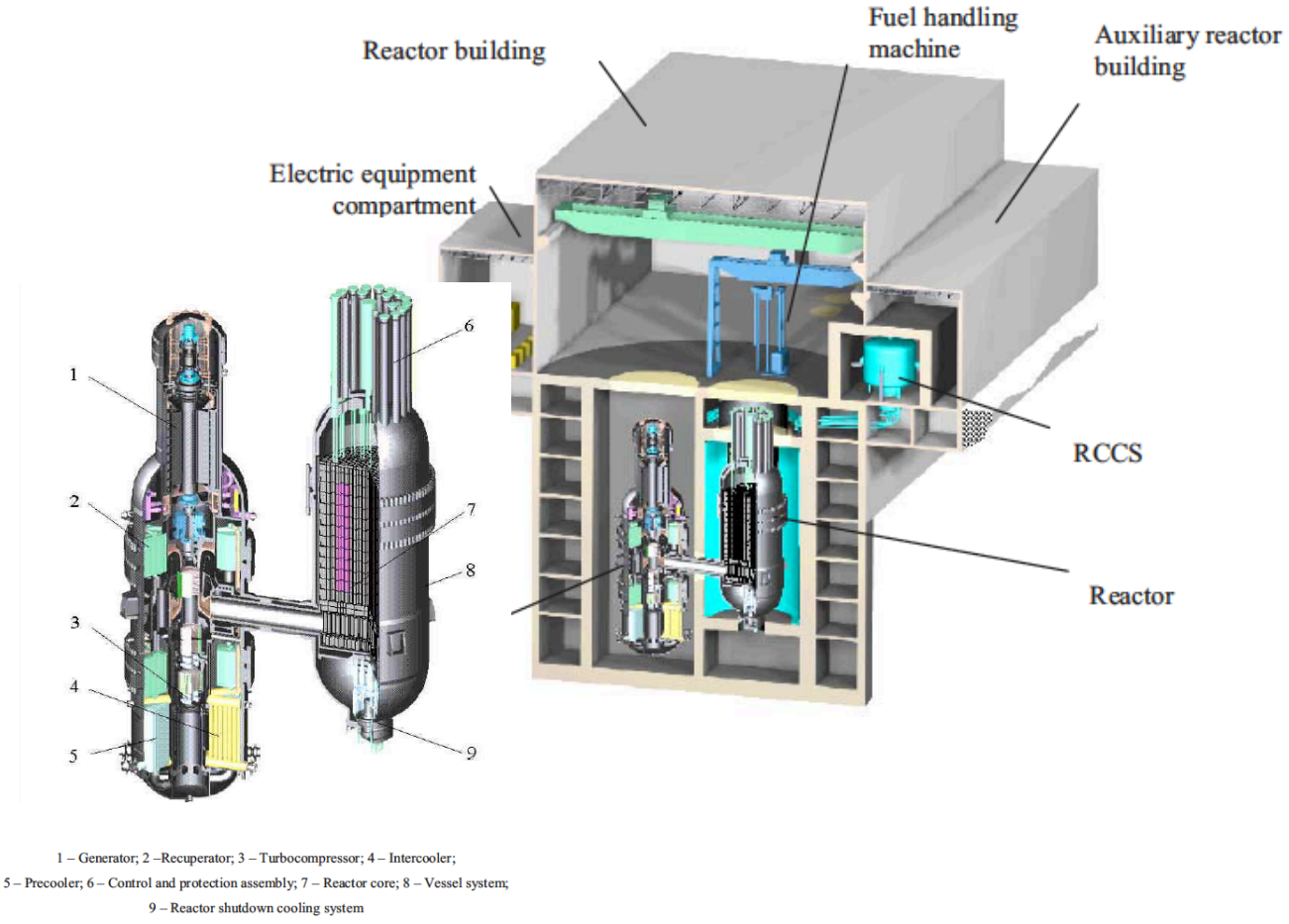
Denominazione del reattore e costruttore o progettista	GT-MHR; GA – USA; OKBM, Africantov - Russia	
Tipologia di reattore e taglia di potenza termica/elettrica MWth/MWe	HTGR; 600/280	
Tipo di installazione		
Stato del progetto		
Specifiche di impianto	[7], [20]	
Vita operativa dell'impianto	60 anni	
Refrigerante primario e modo di circolazione	Elio in circolazione forzata direttamente in turbina a ciclo Brayton 48%	
Pressione del primario [Bar]	70,7	
Temperatura ingresso - uscita del nocciolo [°C]	500-870	
Altezza*diametro nocciolo [m]	7,9 m * sez. anulare 3,0-4,8 m Sferule di TRISO con rivestimento ceramico caricarti in 102 blocchi prismatici esagonali in grafite con canali per raffreddamento Elio, barre di controllo (barre di controllo anche nella corona riflettente)	
Potenza lineare media/ massima nel combustibile [W/cm)	Non applicabile	
Massa totale di combustibile [Ton]		
Potenza nominale in rapporto al volume interno di acqua del PRC [MW/m^3]	Non applicabile	
Capacità aggiuntive di pozzo freddo rese pronto- disponibili come soluzioni di impianto.	Non specificate	
Tipo di combustibile ed arricchimento iniziale	Sfere a base di TRISO UCO con arricchimento fissile 19,7% - Oppure nel concetto 'Deep Burn' GA afferma che lo spettro reattore è compatibile e il combustibile TRISO stabile tale da ammettere comb. Transuranico come "waste" dai LWR. Elementi fertili con attinidi consentono un controllo di reattività con burn-up molto alti - fino a 500 GWd/t- Più di 95% di Pu-239 e 60% di altri attinidi possono essere bruciati in un solo ciclo di bruciamento	
Durata del ciclo di bruciamento in [gg equiv. p. p.]	2x 460	
Burn-up medio del combusti-bile scaricato in [MWd/Kg]	117 up to 220 MWd/kg	
Modalità di controllo reattività in operazione	Barre di Controllo con CB meccaniche localizzate in zona riflettente per il normale controllo operativo e per hot shut-down. • Sistema di controllo di sicurezza aggiuntivo a base di inserzione di sfere di CB.	
Altezza*Diametro del Vessel Reattore in [m]	29,0*8,2 (a livello flange)	
Pressione del secondario [MPa] e temperatura in-out [°C]	Non applicabile	
Quota di elevazione del Reattore e del BOP	Vessel Reattore direttamente connesso a secondo Vessel contenitore della CPU (Unità di Conversione di Potenza con gruppo trubo-compressore ad asse verticale con ciclo diretto sull'Elio primario ed elettrogeneratore) calati in cavità sotterranea dell'Edificio Reattore. Il BOP sopra quota terreno con provvedimenti per "pressure relief route"	
Tipologia di Edificio di Contenimento e dimensioni	Edificio Reattore in struttura ferrocemento di Contenimento in depressurizzazione rispetto ambiente esterno e controllo	

	tenuta aperture
Opzioni di cogenerazione	• nessuna
Applicazione non elettrica	Elterr. + Idrogeno con processo a solfuro di Iodio
Area di pianta edificata nel sito	Configurazione standard a 4 moduli
Soluzioni progettuali di sicurezza	
Funzioni di sicurezza passive e intrinseche	• Coefficienti di reattività negativi per temperatura e potenza • Impiego di combustibile TRISO come efficace barriera prima di contenimento efficace per le alte temperature e burn-up • Impiego di Elio come fluido refrigerante primario chimicamente inerte e neutronicamente neutro • Relativamente bassa densità di potenza • Grande inventario di grafite nel vessel reattore come elemento di alta inerzia termica ed alta capacita di scambio conduttivo e radiante del calore, capace di tollerare la perdita di Elio come refrigerante interno senza danno al nocciolo e rilascio di reattività • Ampia superficie esterna del Vessel • Assenza di tubi di grande diametro di veicolazione del fluido principale • Collegamenti a tenuta dei componenti del Primary Pressure Boundary.
Sistemi di shut–down del reattore	Due diversi e indipendenti sistemi passivi di shut down uno per inserzione per gravità di barre di controllo, un secondo sempre per gravità di inserzione di sfere assorbenti in sottocanali predisposti. Un ulteriore sistema attivo elettromeccanico di normale operazione capace di intervenire come shut-down reattore
Sistemi di depressurizzazione e di rimozione del calore di decadimento	• Sistema attivo di rimozione (tramite la normale soffiante di Elio ed il suo raffreddamento se con vapore che by-passa la turbina o altro). • Sistema passivo di scarico di Elio attraverso il sistema di protezione di sovrapressione del Vessel in ogni categoria di incidente (non specificato)
Sistemi di raffreddamento del Vessel Reattore e della Barriera di Contenimento	Sistema ridondante passivo di raffreddamento con acqua di immersione nella cavità reattore
Progetto sismico	MDBE: 0,2 g PGA 8 MSK orizzontale e x2/3 verticale, OBE pari a 0,5 MDBE
Progetto di impatto Aereo	Massa di impatto 20 Ton a velocità 200 m/sec su area di impatto di 7 m^2 Barriere di contenimento nucleare poste sotterrate
Frequenza di "Core Damage" o di "importante Fuga Radioattiva"	$10^{-5}/10^{-7}$
Raggio di Intervento del Piano di Emergenza	Non richieste misure di emergenza fuori sito
Eventi speciali considerati nel progetto di Sicurezza	Onda d'urto orizzontale con un fronte di presssione di 30 KPa per la durata di 1 sec
Adesione a correnti norme regolatorie	
Strategia di gestione del combustibile esausto	
Disposizione della piscina di decadimento	Nessuna specifica informazione sul deposito di combustibile esausto in centrale salvo i generali benefici del combustibile TRISO come stabile barriera di contenimento dei prodotti di fissione della sua
Disposizione della piscina di deposito del	

combustibile esausto e del combustibile fresco	bassa densità di potenza residua della capacità di bruciamento dei reattori a base di TRISO con ridotti livelli di attivazione e volumi wastes per il deposito geologico
Impatto sul sito in operazione e dopo smantellamento	



a) – Schema semplificato dei Sistemi di Raffreddamento Principale e di Emergenza



b) – Spaccato del Blocco Reattore e dell'Edificio Reattore

Figura 9 - Schemi ed illustrazioni relative al GT MHR estratte da Rif . [5]

Denominazione del reattore e costruttore o progettista	SVBR-100; AKME Engineering (joint venture Rusal e Rosatom) - Russia	
Tipologia di reattore e taglia di potenza termica/elettrica MWth/MWe	LBEFR; 280/101	
Tipo di installazione	Modulo singolo o multiplo su sito terrestre o zattera galleggiante	
Stato del progetto	Derivazione da reattori per sottomarini. Prototipo atteso al 2017	
Specifiche di impianto [7], [8]		
Vita operativa dell'impianto	60 anni	
Refrigerante primario e modo di circolazione	LBE in circolazione forzata. Secondario Vapore con ciclo in turbina Rankine	
Pressione del primario [Bar]	0,1	
Temperatura ingresso - uscita del nocciolo [°C]	320-482	
Altezza*diametro nocciolo [m]	0,9 * 1,645	
Potenza lineare media/ massima nel combustibile [W/cm)	300/Non specificato	
Massa totale di combustibile [Ton]	9,1 in 61 FAs esagonali senza scatola	
Potenza nominale in rapporto al volume interno di acqua del PRC [MW/m^3]	Non applicabile	
Capacità aggiuntive di pozzo freddo rese pronto- disponibili come soluzioni di impianto.	Non specificate	
Tipo di combustibile ed arricchimento iniziale	UOx arricchito al 16,1 %. In prospettiva può impiegare MOx con fattore di fertilizzazione >1 o anche U o U+Pu Nitruro	
Durata del ciclo di bruciamento in [gg equiv. p. p.]	2500-3000	
Burn-up medio del combusti-bile scaricato in [MWd/Kg]	67 MWd/kg	
Modalità di controllo reattività in operazione	Barre di Controllo Meccaniche	
Altezza*Diametro del Vessel Reattore in [m]	6,92*4,53	
Pressione del secondario [MPa] e temperatura in-out [°C]	95,0 241-307	
Quota di elevazione del Reattore e del BOP	Il Pozzo Reattore col suo blocco edificato risulta solo parzialmente sotto quote terreno.	
Tipologia di Edificio di Contenimento e dimensioni	Contenimento in struttura ferrocemento in depressurizzazione rispetto ambiente esterno e controllo tenuta aperture	
Opzioni di cogenerazione	• Non specificato	
Applicazione non elettrica	Calore (70 GCal/h) e Desalinizzazione (200000 Ton/g)	
Area di pianta edificata nel sito	Non specificato	
Soluzioni progettuali di sicurezza		
Funzioni di sicurezza passive e intrinseche	• Coefficienti ottimali di reattività negativi • Circuito principale a bassa pressione • Lega eutettica di Pb Bi chimicamente inerte con aria od acqua • Circuito principale configurato a piscina con ampia capacità termica • Disposizione favorevole ad alto grado di circolazione naturale sufficiente a rimuove il calore di decadimento dal nocciolo • LOCA escluso "by design" (refrigerante ad alto punto di ebollizione, e presenza del vessel di salvaguardia)	

	• Margine molto basso di reattività per il burn-up del Fuel per alte conversione del materiale fissile • Vessel di salvaguardia contenuto in una piscina d'acqua tale da assicurare il congelamento del LBE fuoriuscente da una fessura del vessel di salvaguardia • Configurazione del percorso del circuito primario integrato tale da non rendere credibile l'ingresso di bolle di vapore da una rottura di tubo dei GV verso il nocciolo
Sistemi di shut–down del reattore	Due diversi e indipendenti sistemi passivi di shut-down uno per inserzione per gravità di un sistema a barre di controllo a seguito di de-energizzazione un secondo a molla per fusione del la chiave di blocco in caso di surriscaldamento per difetto del primo sistema.
Sistemi di depressurizzazione e di rimozione del calore di decadimento	• Sistema autonomo principale di cold-down operante tramite il vapore dai GV • Sistema di protezione da sovrapressione del Vessel tramite Disco di Rottura e sistema di rivelazione di rottura tubi del GV. • Sistema di raffreddamento attivo (RBM) attraverso l'intercapedine tra Vessel principale e vessel secondario
Sistemi di raffreddamento del Vessel Reattore e della Barriera di Contenimento	Sistema passivo di emergenza in caso di black-out, o fallimento del sistema attivo RBM, con scambio globale conduzione/convezione tra Vessel principale, intercapedine e vessel secondario, con riscaldamento ed evaporazione della vasca d'acqua esterna (3 giorni di autonomia)
Progetto sismico	Monoblocco reattore in vasca d'acqua come blocco unico sisma-resistente SSE orizzontale a 0,25 g di PGA (SSE orizzontale PGA=0,12 g per strutture e impianti extra monoblocco)
Progetto di impatto Aereo	Non specificato
Frequenza di "Core Damage" o di "importante Fuga Radioattiva"	Non specificato
Raggio di Intervento del Piano di Emergenza	Il livello attuale di autorizzazione prevede l'installazione dell'impianto lontano (25 Km) da insediamenti urbani. Sono in atto istanze e certificazioni per ammettere l'insediamento ravvicinato nella fascia di 1-3 Km.
Eventi speciali considerati nel progetto di Sicurezza	
Adesione a correnti norme regolatorie	Progetto secondo vigenti norme nazionali
Strategia di gestione del combustibile esausto	
Disposizione della piscina di decadimento	Il nocciolo il cui ciclo di vita è di circa 8 anni viene scaricato in una unica batteria. Nessuna specifica informazione sul deposito di combustibile esausto. Per noccioli più avanzati di MOx o Nitruri con un risparmio di risorsa uranifera naturale il ciclo di bruciamento si avvicina ai 15 anni
Disposizione della piscina di deposito del combustibile esausto e del combustibile fresco	
Impatto sul sito in operazione e dopo smantellamento	

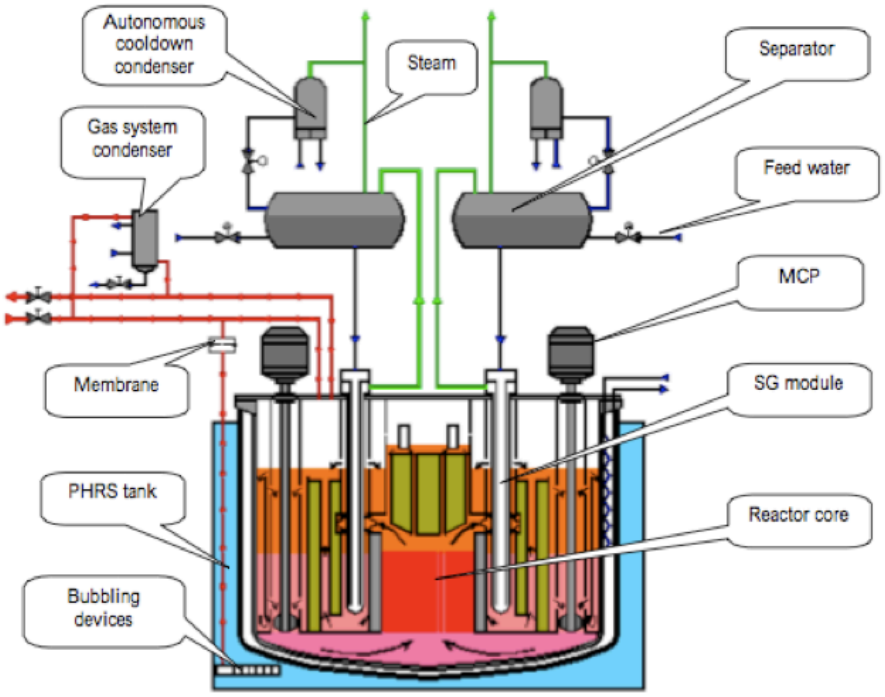
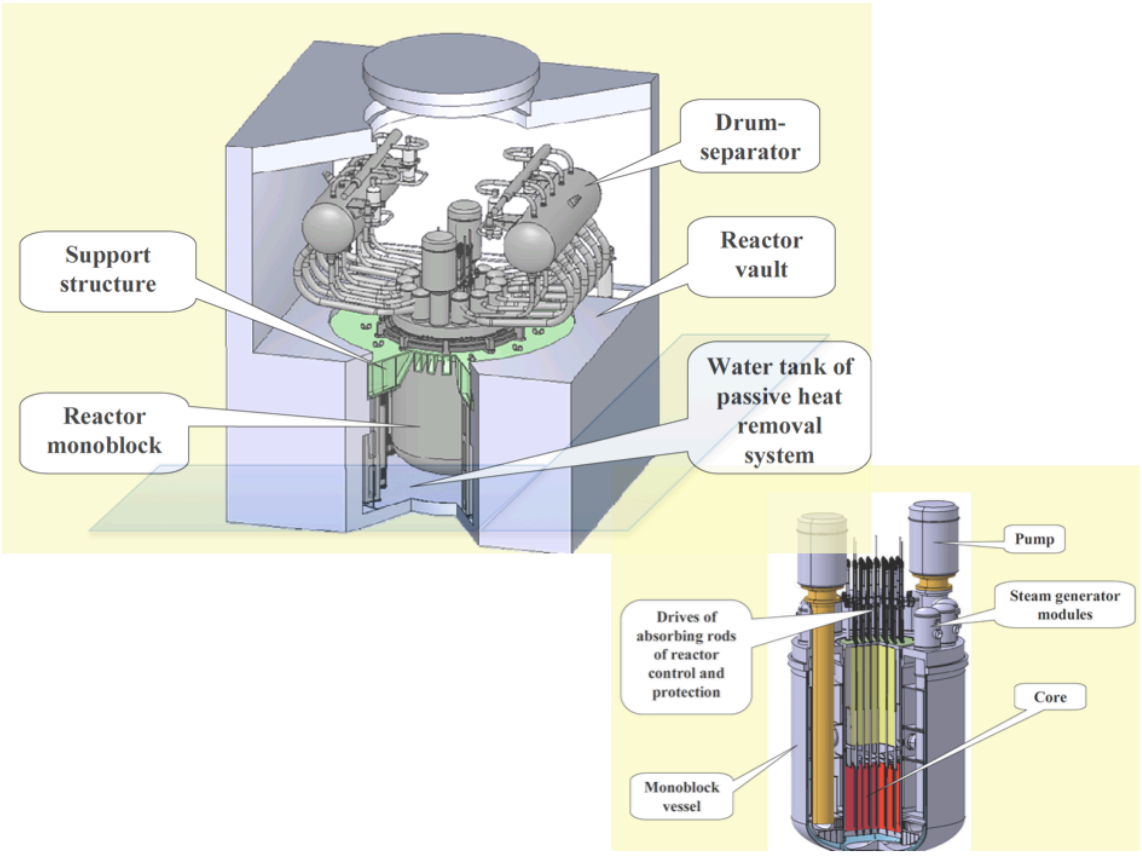


FIG. 1. The principal hydraulic scheme of SVBR-75/100.

a) – Schema semplificato dei Sistemi di Raffreddamento Principale e di Emergenza



b – Spaccato del Edificio pozzo reattore Reattore e del Monoblocco

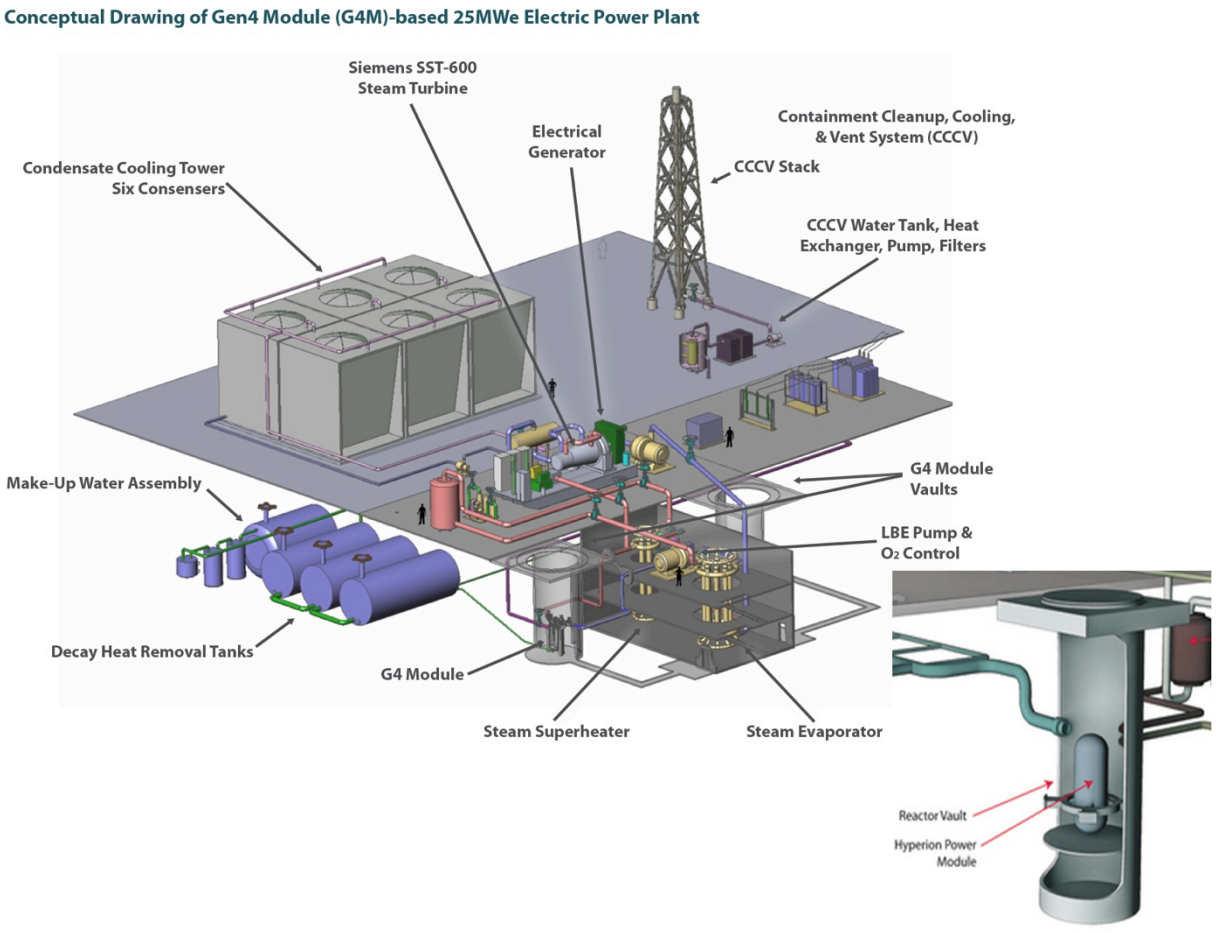
Figura 10 - Schemi ed illustrazioni relative al SVBR-100 estratte da Riff . [21], [22]

Denominazione del reattore e costruttore o progettista	G4M; (già noto come New Hyperion Power Module) - USA
Tipologia di reattore e taglia di potenza termica/elettrica MWth/MWe	LBEFR; 70/25
Tipo di installazione	Modulo singolo o multiplo su sito terrestre
Stato del progetto	FOAK atteso al 2018
Specifiche di impianto [7], [8]	
Vita operativa dell'impianto	10 anni (modulo reattore)
Refrigerante primario e modo di circolazione	LBE in circolazione naturale. Ciclo a Vapore soprasaturo Rankine dopo circolazione secondaria forzata intermedia di LBE.
Pressione del primario [Bar]	Non specificato
Temperatura ingresso - uscita del nocciolo [°C]	Non specificato-500
Altezza*diametro nocciolo [m]	Nocciolo a sezione anulare di dimensioni non specificate (Øi=0,26, Øe=0,90 h=2,0 ?) con 24 sub-assemblati di barrette di UN in scatole di forma varia
Potenza lineare media/ massima nel combustibile [W/cm)	Non specificato /Non specificato
Massa totale di combustibile [Ton]	Non specificato
Potenza nominale in rapporto al volume interno di acqua del PRC [MW/m^3]	Non applicabile
Capacità aggiuntive di pozzo freddo rese pronto- disponibili come soluzioni di impianto.	Non specificate
Tipo di combustibile ed arricchimento iniziale	UN arricchito <20 %.
Durata del ciclo di bruciamento in [gg equiv. p. p.]	3650
Burn-up medio del combusti-bile scaricato in [MWd/Kg]	Non specificato
Modalità di controllo reattività in operazione	Barre di Controllo Meccaniche
Altezza*Diametro del Vessel Reattore in [m]	Non specificato (vessel principale e vessel di salvaguardia)
Pressione del secondario [MPa] e temperatura in-out [°C]	Non specificato
Quota di elevazione del Reattore e del BOP	Pozzo reattore e GV in posizione sotterranea. Locale turbina sopra quota terreno
Tipologia di Edificio di Contenimento e dimensioni	Doppio contenimento
Opzioni di cogenerazione	• Varie non specificato
Applicazione non elettrica	Non specificato
Area di pianta edificata nel sito	Non specificato
Soluzioni progettuali di sicurezza	
Funzioni di sicurezza passive e intrinseche	• Coefficienti ottimali di reattività negativi • Circuito principale a bassa pressione • Lega eutettica di Pb Bi chimicamente inerte con aria od acqua • Circuito principale configurato a piscina con ampia capacità termica • Circolazione naturale in tutte le condizioni di operazione, sufficiente anche rimuove il calore di decadimento • LOCA escluso "by design" (refrigerante ad alto punto di ebollizione; presenza del vessel di salvaguardia ??? non affermativamente confermata) • Capacità di Shut-down passivo

	• Barriere multiple di contenimento • Barre/biglie assorbitrici di controllo isolate dal LBE • Controllo con fase solida di contenuto ossigeno in LBE (anti corrosione)
Sistemi di shut–down del reattore	• Sistema attivo per azionamento meccanico barre di controllo • Sistema shut-down di inserzione barre con caduta per gravità allo sgancio • Sistema shut-down di inserzione biglie assorbenti in cavità centrale dedicata del nocciolo spinto da gravità allo sblocco.
Sistemi di depressurizzazione e di rimozione del calore di decadimento	• Nessuna esigenza di depressurizzazione in quanto il fluido interno al Vessel (esclusivamente PbBi) presenta un alto punto di Ebollizione • Sistema di rimozione del DH per via normale attiva (per controllare il raffreddamento eccessivo) attraverso il circuito secondario ed il GV con By-pass diretto al condensatore del vapore.
Sistemi di raffreddamento del Vessel Reattore e della Barriera di Contenimento	•Sistema passivo di raffreddamento attraverso l'intercapedine dopo il principale Vessel verso l'acqua che circonda il Vessel secondario di salvaguardia dopo ingesso di acqua nel pozzo e sua evaporazione (non specificato il processo di avvio al pozzo freddo finale se per rimozione del vapore o attraverso la sua ricondensazione all'interno del pozzo per scambio alle pareti).
Progetto sismico	Non specificato
Progetto di impatto Aereo	Non specificato
Frequenza di "Core Damage" o di "importante Fuga Radioattiva"	Molto bassa
Raggio di Intervento del Piano di Emergenza	Localizzazione prevista nei pressi del luogo di utenza elettrica
Eventi speciali considerati nel progetto di Sicurezza	
Adesione a correnti norme regolatorie	Progetto secondo vigenti norme nazionali
Strategia di gestione del combustibile esausto	
Disposizione della piscina di decadimento	Il modulo reattore viene caricato e scaricato del suo combustibile in officina e trasportato o rimosso dal luogo di utilizzo
Disposizione della piscina di deposito del combustibile esausto e del combustibile fresco	
Impatto sul sito in operazione e dopo smantellamento	

Non disponibile

a) – Schema semplificato dei Sistemi di Raffreddamento Principale e di Emergenza



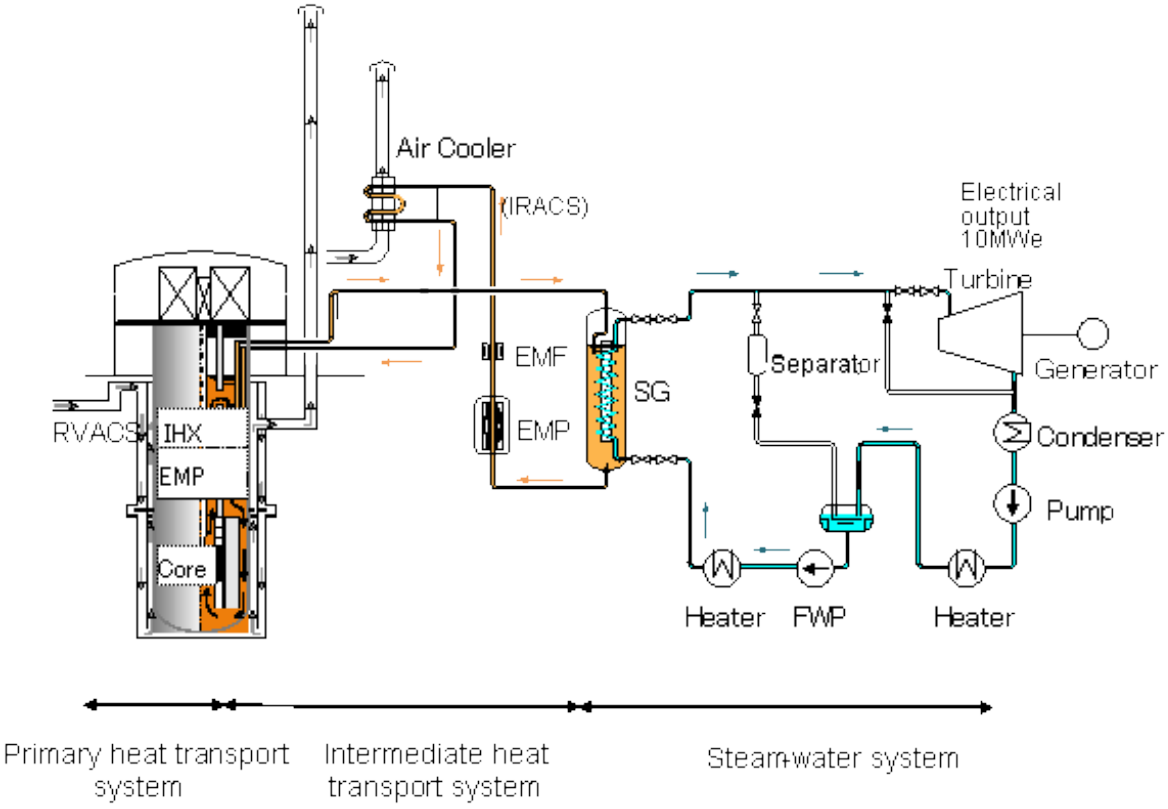
b – Sistemazione del sito a due moduli e spaccato del singolo Modulo di Blocco Reattore

Figura 11 - Schemi ed illustrazioni relative al G4m - New Hyperion Power Module da Rif . [23], [24]

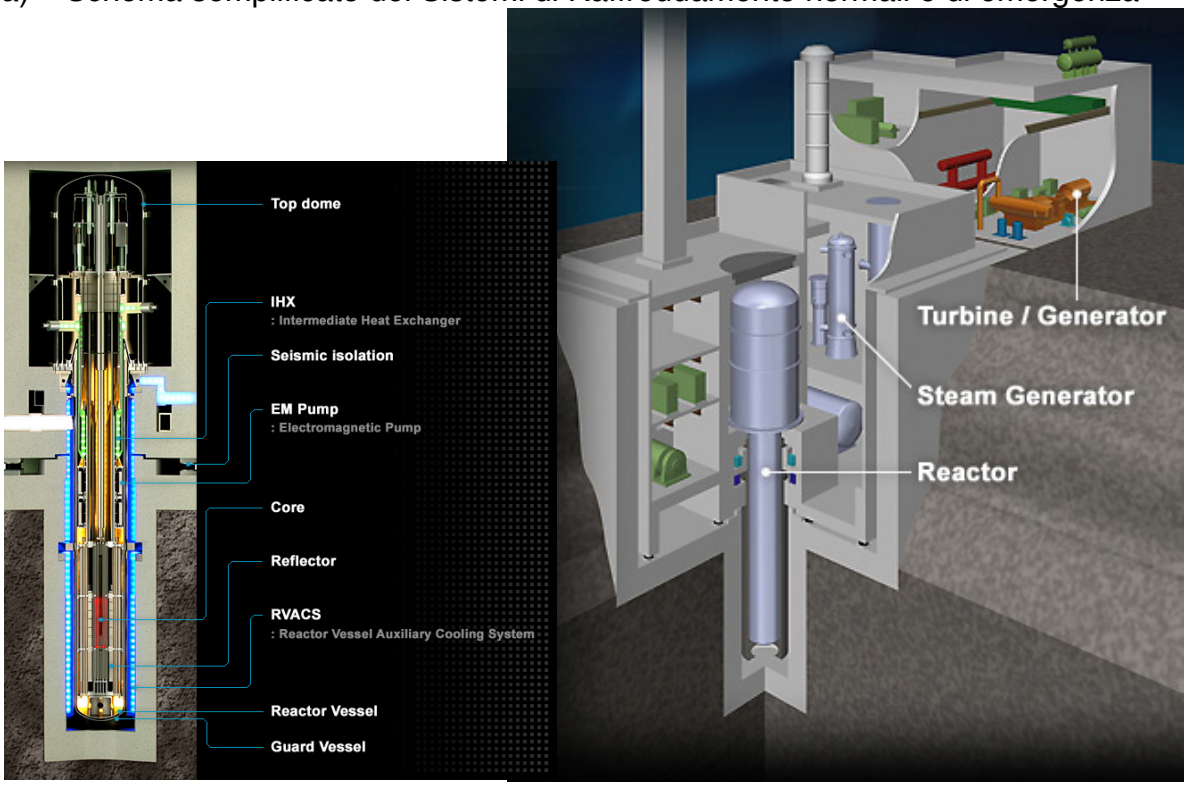
Denominazione del reattore e costruttore o progettista	4S; Toshiba Corporation - Giappone
Tipologia di reattore e taglia di potenza termica/elettrica MWth/MWe	SFR; 30/10
Tipo di installazione	Modulo singolo su sito terrestre o zattera galleggiante
Stato del progetto	Avvio istruttoria di licenziamento 2012, prototipo al 2014
Specifiche di impianto [7], [8]	
Vita operativa dell'impianto	30 anni
Refrigerante primario e modo di circolazione	Sodio primario in circolazione forzata con IHX integrato per un Circuito Secondario Sodio verso il GV. Ciclo in turbina Rankine con Vapore soprasaturo
Pressione del primario [Bar]	3,0
Temperatura ingresso - uscita del nocciolo [°C]	310-355
Altezza*diametro nocciolo [m]	0,95*2,0 con 18 FA esagonali con scatola, e barrette con guaina con intercapedine di sodio
Potenza lineare media/ massima nel combustibile [W/cm)	40.0/ Non specificato
Massa totale di combustibile [Ton]	8,9
Potenza nominale in rapporto al volume interno di Sodio del PRC [MW/m^3]	Bassa
Capacità aggiuntive di pozzo freddo rese pronto- disponibili come soluzioni di impianto.	Non specificate
Tipo di combustibile ed arricchimento iniziale	UZr arricchito 17% e 19 %.
Durata del ciclo di bruciamento in [gg equiv. p. p.]	10958
Burn-up medio del combusti-bile scaricato in [MWd/Kg]	34
Modalità di controllo reattività in operazione	Spostamento assiale dei blocchi di riflettore radiale a base di cabonio Regolazione della portata di acqua di reintegro nel circuito secondario
Altezza*Diametro del Vessel Reattore in [m]	Vessel Principale 24,05-3,55 doppiato dal Vessel di salvaguardia attestati su una unica flangia superiore chiusa da un unico duomo di contenimento superiore 3,65 m diametro
Pressione del circuito vapore [MPa] e temperatura in-out [°C]	105,0 210-453
Quota di elevazione del Reattore e del BOP	Catino Squadrato ricavato da scavo di superficie con pareti in cemento con funzioni di contenimento in continuità con la soletta di fondo che risulta al centro compenetrata dai muri del pozzo reattore prolungantesi a quote ulteriormente ribassate. Il Catino di fondazione è poi riempito da strutture civili organizzate in locali di alloggiamento del modulo reattore e dei componenti del suo circuito secondario e GV. Le strutture interne risultano tutte appiedate sulla soletta del catino di fondazione attraverso un sistema di isolatori sismici, organizzate a corona attorno ad uno zoccolo spesso forato attestantesi sul foro di fondazione

	e sovrastato da un più ampio vano cilindrico. Sono tutte sovrastate da una lastra solaio di copertura in cemento a livello di superficie terreno con poche strutture sovrastanti. Edifici attigui affioranti sono rappresentati dai Locali Turbina, aerotermi di raffreddamento, logistici amministrativi e di servizio.
Tipologia di Edificio di Contenimento e dimensioni	Catino di Contenimento interrato ed incastonato al terreno in cemento con prolungamento sotterraneo del pozzo reattore. Opere civili interne sismicamente isolate e chiuse superiormente da una soletta al livello terreno, con foro e tappo in corrispondenza della cava del pozzo reattore
Opzioni di cogenerazione	• El.+ potabilizzazione acqua • El.+ produzione Idrogeno
Applicazione non elettrica	Osmosi inversa a due stadi Elettrolisi ad alta temperatura
Area di pianta edificata nel sito	Non specificato
Soluzioni progettuali di sicurezza	
Funzioni di sicurezza passive e intrinseche	• Circuito principale a bassa pressione • Circuito intermedio di evacuazione di calore • Ampio coefficiente di reattività negativo di spettro veloce e di espansione radiale coefficiente di reattività negativo di vuoto globale • Circuito principale configurato a piscina con IHX integrato • Combustibile metallico ad alta conducibilità termica verso esterno guaina • Baso livello di potenza lineare ed alta inerzia termica dello stock di refrigerante principale e strutture di contorno nocciolo • Rischio di LOCA ridotto per la presenza del vessel di salvaguardia • Uso di contenimento in doppia parete del refrigerante del secondario con doppia parete (monitorata) anche per i Tubi del GV • Buona capacità di ritenzione dei prodotti di fissione del combustibile in caso di rottura guaina
Sistemi di shut–down del reattore	• Sistema attivo di sgancio ed inserzione a caduta delle barre di riflettore radiale • Sistema attivo di sgancio ed inserzione a caduta delle barre di effettivo e sicuro shut-down • Shut- down autodeterminato per effetti di reattività negativa in temperatura senza danno al combustibile o rilascio di reattività
Sistemi di depressurizzazione e di rimozione del calore di decadimento	Sistema di depressurizzazione sul PRC non necessario, dispositivo di valvola di sicurezza sul secondario con scarico in apposito serbatoio, in caso di perdita di vapore sul GV verso il circuito Sodio. Sistema Ausiliario di Raffreddamento del DH allo shut-down basato su due diversi sistemi di raffreddamento: IRACS (Intermediate Reactor Auxiliary Cooling System) che in condizioni normali opera in modo attivo con azione delle pompe sodio dei circuiti principale e secondario e con aria in convezione naturale scaricata in atmosfera come UHS, in condizioni incidentali il sistema può essere regolato ad operare tutto in convezione naturale;

	RVACS sistema di convezione naturale sempre attivo ammette aria a raffreddare la parete esterna del Vessel di Salvaguardia nel suo pozzo guidandola poi allo scarico allo stack.
Sistemi di raffreddamento del Vessel Reattore e della Barriera di Contenimento	Sistemi IRACS e RVACS come sopra detto
Progetto sismico	Isolamento sismico orizzontale del blocco reattore a forma allungata e sottile presenta alte caratteristiche di frequenza (con ripartizione di energia vibratoria ai modi superiori?)/protezione agli shock verticali (non ulteriormente specificati)
Progetto di impatto Aereo	Reattore in alloggio sotterraneo ricoperto con edificio in Cemento armato
Frequenza di "Core Damage" o di "importante Fuga Radioattiva"	10^{-6}/ Non specificato
Raggio di Intervento del Piano di Emergenza	Non prevista l'evacuazione in zona circostante
Eventi speciali considerati nel progetto di Sicurezza	
Adesione a correnti norme regolatorie	Progetto secondo vigenti norme in US
Strategia di gestione del combustibile esausto	
Disposizione della piscina di decadimento	Non si prevede refueling nel corso di vita operativa presso il sito di impiego energetico (in fase iniziale il ciclo del combustibile è di tipo "once through") con primo deposito controllato e raffreddato del combustibile estratto dal nocciolo e successivo deposito di medio lungo periodo. In seconda fase si pensa al riprocessamento con processo pirometallurgico in corso di sviluppo presso ANL (USA) e CREIPI (J) in impianto centralizzato. Il combustibile metallico in 4S può essere impiegato anche per bruciare TRU. Si può in prospettiva usare materiale inerte per evitare l'estrazione di materiale proliferante.
Disposizione della piscina di deposito del combustibile esausto e del combustibile fresco	
Impatto sul sito in operazione e dopo smantellamento	



a) – Schema semplificato dei Sistemi di Raffreddamento normali e di emergenza



b) – Spaccato del singolo Modulo di Blocco Reattore

Figura 12 - Schemi ed illustrazioni relative al 4S da Riff . [5], [25]