



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie,
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Resistenza alla proliferazione e protezione fisica: metodologie e applicazioni a sistemi innovativi in ambito GIF

F. Padoani



RESISTENZA ALLA PROLIFERAZIONE E PROTEZIONE FISICA: METODOLOGIE E APPLICAZIONI
A SISTEMI INNOVATIVI IN AMBITO GIF

F. Padoani, ENEA

Settembre 2010

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Produzione e fonti energetiche

Tema: Nuovo Nucleare da Fissione

Responsabile Tema: Stefano Monti, ENEA

Titolo

Resistenza alla proliferazione e protezione fisica: metodologie e applicazioni a sistemi innovativi in ambito GIF e IAEA

Descrittori

Tipologia del documento: Rapporto Tecnico
Collocazione contrattuale: Accordo di programma ENEA-MSE: tema di ricerca “Nuovo nucleare da fissione”
Argomenti trattati: Non proliferazione, sistemi nucleari innovativi, metodologie

Sommario

Le attività ENEA legate a resistenza alla proliferazione (PR) e protezione fisica (PP) nel periodo di riferimento si sono svolte all'interno dei due fora internazionali rilevanti su questo tema: il *Gen IV International Forum del Proliferation Resistance & Physical Protection (PR&PP) Working Group* e la IAEA, nel gruppo di lavoro su “*Options to Enhance Proliferation Resistance and Security of NPPs with Innovative SMRs and associated Fuel Cycles*”.

Nell'ambito GIF PR&PP WG è stato finalizzato e pubblicato sul sito GIF il rapporto finale sull'“*Example Sodium Fast Reactor (ESFR) Case Study*”, un ipotetico reattore veloce raffreddato a sodio e parte del ciclo associato a cui è stata applicata la metodologia sviluppata dal PR&PP WG. L'iterazione tra esperti del PR&PP WG e i progettisti del *System Steering Committees (SSCs)* sta continuando per sviluppare i *Proliferation Resistance and Physical Protection White Papers* per ognuno dei sistemi GenIV. L'ENEA in particolare ha organizzato a gennaio a Bologna la 20ma riunione plenaria del gruppo e la terza riunione congiunta PR&PP WG e SSC, oltre ad un seminario ENEA eUniversità con il PR&PP WG.

La IAEA ha iniziato a novembre 2009 il confronto con gli stati membri interessati sull'“*Options to Enhance Proliferation Resistance and Security of NPPs with Innovative Small and Medium Sized Reactors (SMRs)*”. Lo scopo di questa attività è di identificare opzioni in grado di aumentarne le caratteristiche di resistenza intrinseca alla proliferazione e protezione fisica e le metodologie di valutazione più appropriate per raggiungere questo scopo.

Note

Autori: Georgios Glinatsis, Franca Padoani

Copia n.
In carico a:

2			NOME			
			FIRMA			
1			NOME			
			FIRMA			
0	EMISSIONE	27/08/10	NOME	Franca Padoani	Renato Tinti	Stefano Monti
			FIRMA			
REV.	DESCRIZIONE	DATA		REDAZIONE	CONVALIDA	APPROVAZIONE

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 002	0	L	2	20

INDICE

1	SOMMARIO.....	3
2	ATTIVITÀ IN AMBITO GIF	4
2.1	Caso Studio ESFR	4
2.1.1	Il sistema nucleare ESFR	4
2.1.2	Scenari di riferimento.....	6
2.1.3	Applicazione della metodologia.....	7
2.1.4	La Lesson Learned	8
2.1.5	Attività future	9
2.2	Riunioni PR&PP.....	10
2.2.1	PR&PP Working Group 20th Meeting.....	10
2.2.2	PR&PPWG – SSC.....	10
2.2.3	Tavola Rotonda PR&PPWG-ENEA	11
3	ATTIVITÀ IN AMBITO IAEA.....	11
3.1	Iniziativa: “Options to Enhance Proliferation Resistance and Security of NPPs with Innovative SMRs”.....	11
3.1.1	Condizioni al Contorno	12
3.1.2	Road Map	14
3.1.3	Sviluppo delle Attività.	15
3.1.4	Contributo Italiano	16
4	RIFERIMENTI.....	18
5	APPENDICE A	19
6	APPENDICE B	20

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 002	0	L	3	20

1 SOMMARIO

Le attività ENEA legate a resistenza alla proliferazione (PR) e protezione fisica (PP) nel periodo di riferimento si sono svolte all'interno dei due fora internazionali rilevanti su questo tema: il *Gen IV International Forum del Proliferation Resistance & Physical Protection (PR&PP) Working Group* e la IAEA, nel gruppo di lavoro su "*Options to Enhance Proliferation Resistance and Security of NPPs with Innovative SMRs and associated Fuel Cycles*".

Nell'ambito GIF PR&PP WG, di cui l'ENEA fa parte come *alternate* del rappresentante EURATOM, è stato finalizzato e pubblicato sul sito GIF (<http://www.gen-4.org/Technology/horizontal/proliferation.htm>) il rapporto finale sull'"*Example Sodium Fast Reactor (ESFR) Case Study*", un ipotetico reattore veloce raffreddato a sodio e parte del ciclo associato a cui è stata applicata la metodologia sviluppata dal PR&PP WG, l'"*Evaluation Methodology for Proliferation Resistance and Physical Protection of Generation IV Nuclear Energy Systems Revision 5*". L'iterazione tra esperti del PR&PP WG e i progettisti del *System Steering Committees (SSCs)* sta continuando per sviluppare i *Proliferation Resistance and Physical Protection White Papers* per ognuno dei sistemi GenIV. L'ENEA in particolare ha organizzato a gennaio a Bologna la 20ma riunione plenaria del gruppo e la terza riunione congiunta PR&PP WG e SSC. Al termine delle due riunioni, l'ENEA ha organizzato un seminario con il PR&PP WG a cui ha partecipato anche l'Università di Bologna. La "*lesson learned*" nell'applicazione della metodologia (rev. 5) al caso test viene attualmente valutata, anche in vista di una possibile revisione di alcuni aspetti della metodologia.

La IAEA ha iniziato a novembre 2009, sotto l'egida della *Nuclear Power Technology Development Section, Division of Nuclear Power*, il confronto con gli stati membri interessati sull'"*Options to Enhance Proliferation Resistance and Security of NPPs with Innovative Small and Medium Sized Reactors (SMRs)*". Lo sviluppo ed utilizzazione sostenibile dell'energia nucleare da fissione nei paesi sviluppati e/o in via di sviluppo, si esprime anche attraverso la proposta di diverse dozzine di progetti innovativi di reattori di piccola e media taglia (SMR), ovvero fino a circa 700 MWe, con una previsione di installazione nel periodo 2012 – 2030. Lo scopo di questa attività è di identificare opzioni in grado di aumentarne le caratteristiche di resistenza intrinseca alla proliferazione e protezione fisica e le metodologie di valutazione più appropriate per raggiungere questo scopo. Si sono già svolti due *Technical Meetings (TM)* a novembre 2009 e giugno 2010. Il contributo ENEA ha posto l'accento sulla necessità di una stretta interazione tra progettisti e esperti di non proliferazione nucleare fin dalle prime fasi di progetto. In questo ambito è in corso l'elaborazione di un documento comune che dovrebbe essere completato a fine 2011, dopo un terzo TM a maggio 2011.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 002	0	L	4	20

2 ATTIVITÀ IN AMBITO GIF

Il PR&PP WG, di cui l'ENEA fa parte come *alternate* del rappresentante EURATOM, ha finalizzato e pubblicato il rapporto dell'*Example Sodium Fast Reactor (ESFR) Case Study* [1], un ipotetico reattore veloce raffreddato a sodio e parte del ciclo associato su cui è stata applicata la metodologia sviluppata dal gruppo [2], metodologia su cui si è ampiamente riferito in un documento precedente [3]. Nel paragrafo seguente si descrivono gli elementi salienti dello studio.

Parallelamente è continuato il lavoro congiunto del PR&PP WG e dei *System Steering Committees* (SSCs) sui *Proliferation Resistance and Physical Protection White Papers* sviluppati per ognuno dei sistemi GenIV.

L'ENEA in particolare ha organizzato a gennaio a Bologna la 20ma riunione plenaria del gruppo e la terza riunione congiunta PR&PP WG e SSC. Al termine delle due riunioni, l'ENEA ha organizzato un seminario con il PR&PP WG a cui ha partecipato anche l'Università di Bologna.

2.1 Caso Studio ESFR

Con l'emissione del rapporto finale si è concluso uno studio che ha impegnato il PR&PP WG per più di due anni e ha permesso una rivisitazione critica della metodologia che potrebbe essere alla base della revisione di alcuni elementi della stessa. La metodologia è stata applicata inizialmente (2005-2006), come parte dello sviluppo della rev.5, ad una parte limitata del ciclo del combustibile dell'ESFR, in particolare l'impianto pirometallurgico, e considerando un limitato numero di scenari. Successivamente, a partire dal 2007, è iniziato lo studio di tutto il sistema, incluso il reattore veloce, e un ampio ventaglio di minacce e scenari.

2.1.1 Il sistema nucleare ESFR

Il caso studio si basa su un ipotetico reattore veloce raffreddato a sodio, denominato *Example Sodium Fast Reactor* – ESFR che consiste di quattro unità di taglia media (300MWe l'una). Le unità sono co-locate con alcuni impianti del ciclo del combustibile, tra cui un impianto di riprocessamento pirochimico, come mostrato nelle due figure seguenti tratte dal rapporto GIF.

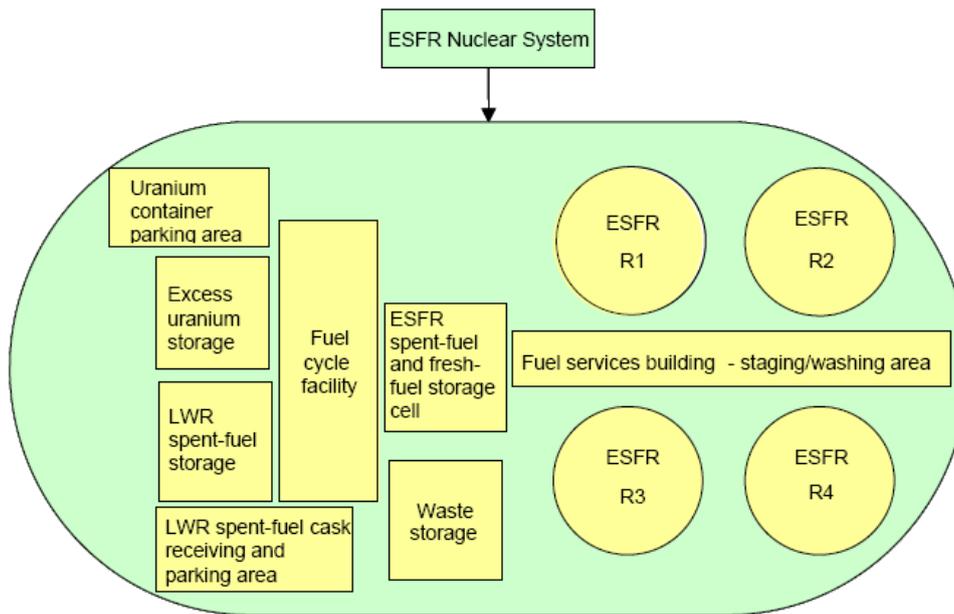


Figura A1: Il complesso del sistema nucleare ESFR diviso in elementi [1].

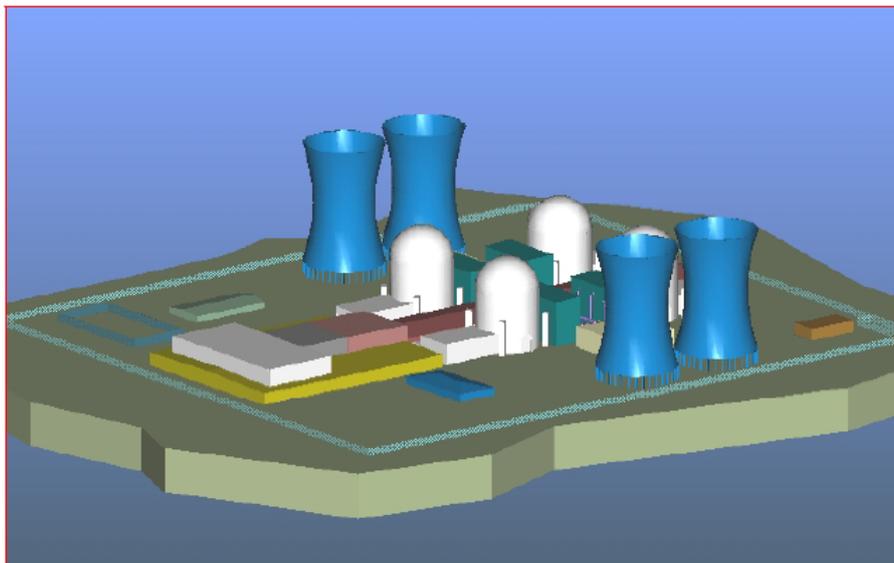


Figura A2: Visualizzazione semplificata (artist's view) del sito dell'ESFR [1].

Come versione di riferimento iniziale si è assunto che i reattori operassero come bruciatori di attinidi. Tra le possibili opzioni per la sorgente esterna di attinidi si è scelta quella di uranio e plutonio recuperato dal combustibile esausto (irraggiato) proveniente da reattori ad acqua leggera (LWR), riprocessato e fabbricato sul sito.

Il fattore di conversione di transuranici considerato per la versione di riferimento è pari a 0,64. Successivamente sono state considerate variazioni del fattore di conversione rispetto al reattore di riferimento, includendo un *burner* spinto (TRU CR 0,22), un *breeder* (TRU CR 1,12) e un reattore (*break-even*) a bilancio nullo di attinidi (TRU CR 1,0).

Le misure di salvaguardie ipotizzate si basano sulle misure esistenti. La Figura C mostra indicativamente dove vengono effettuati i bilanci di massa e le misure.

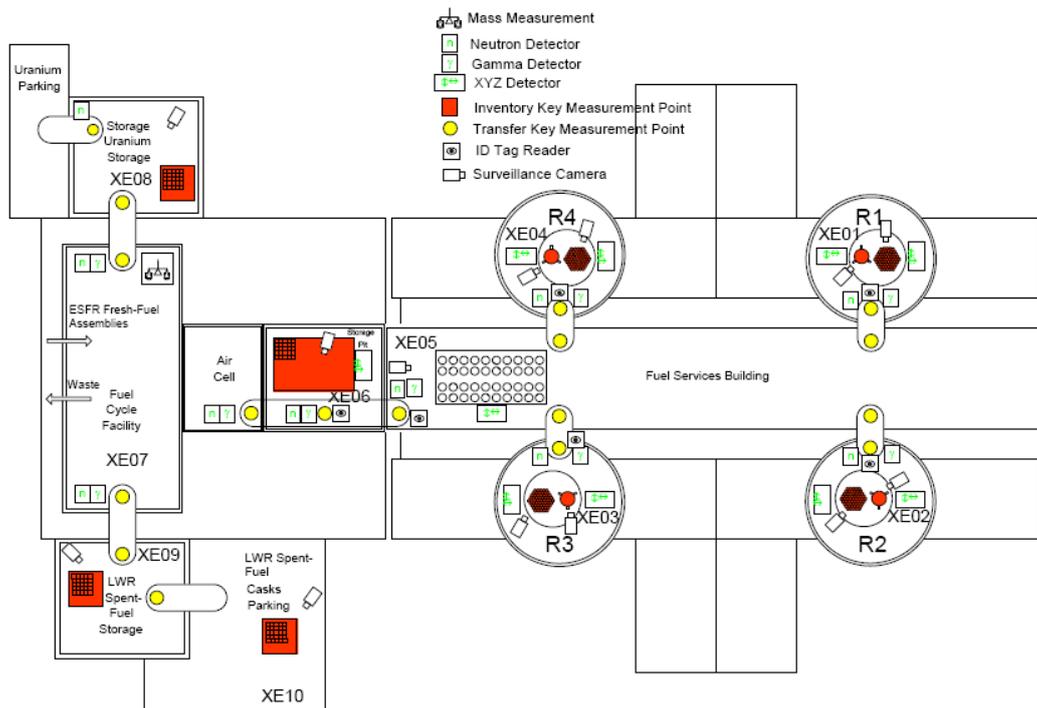


Figura A3: Schema dell'approccio alle salvaguardie [1].

2.1.2 Scenari di riferimento

Per valutazioni PR&PP è essenziale considerare il quadro di riferimento istituzionale dello stato in materia di salvaguardie e security nucleare. Per gli aspetti PR si valuterà la capacità della IAEA di applicare le misure di salvaguardie a impianti dichiarati e materiali, l'efficacia del regime delle esportazioni per il controllo dei beni dual-use e il quadro internazionale di non proliferazione in cui si muove lo stato. In questo contesto, va considerata la possibilità dello stato di acquisire clandestinamente materiale da un impianto dichiarato o clandestino (opzione non considerata dallo Studio) oppure di utilizzare apertamente materiale e impianti, in aperto contrasto con il regime di non proliferazione.

In sintesi, per quanto riguarda la valutazione PR, si è considerato uno stato con infrastrutture tipiche di uno stato industriale, con un programma nucleare che includeva reattori innovativi veloci raffreddati a sodio e impianti di fine ciclo di nuova generazione e disponeva di risorse adeguate all'obiettivo. L'obiettivo era l'ottenimento di una Quantità Significativa¹ di plutonio per costruire almeno un ordigno nucleare, di qualunque potenza e relativamente affidabile (>50%). Lo stato era aderente al TNP e con il protocollo Aggiuntivo già in vigore. Le strategie che sono state considerate per l'acquisizione del materiale necessario all'ottenimento di questo obiettivo sono state:

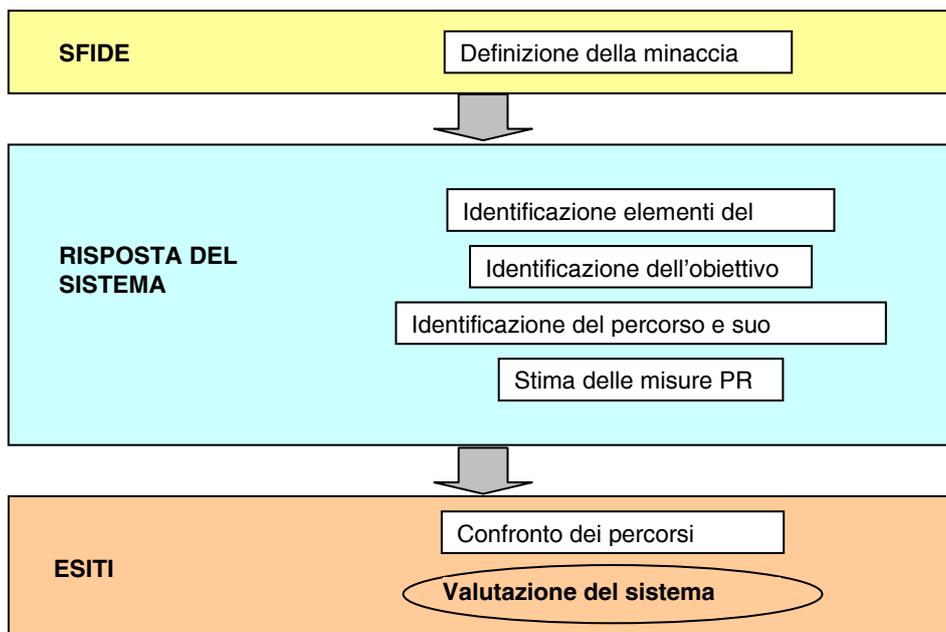
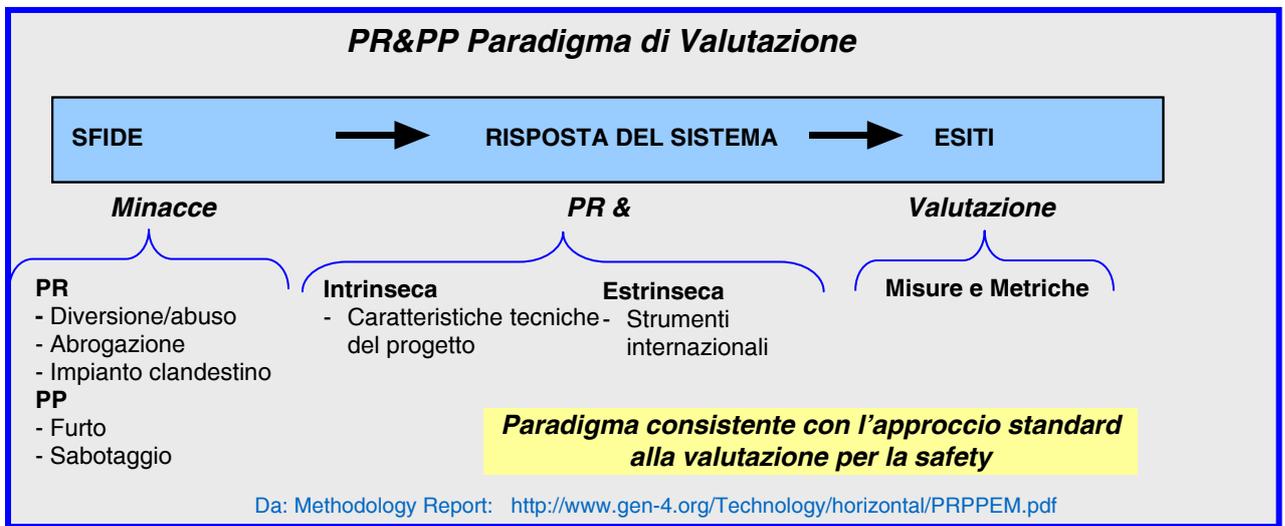
1. trafugamento di materiale nucleare (*diversion*)
2. utilizzo illegale di impianti (sotto salvaguardia) per produzione illegale di materiale nucleare (*misuse*)
3. uscita dal regime di non proliferazione e aperta ammissione di trafugamento di materiale e uso illecito di impianti (*break out*).

¹ Quantità Significativa: quantitativo di materiale nucleare disponendo del quale, tenendo conto di processi conversione, non si può escludere la realizzazione di un ordigno nucleare esplosivo.

Per la protezione fisica, è stata considerata una minaccia costituita dal furto di elementi/materiale dell’ESFR sufficienti ad ottenere una Quantità Significativa di materiale nucleare direttamente utilizzabile in un ordigno, tramite un attacco all’impianto ESFR. L’azione ipotizzata era opera di un gruppo di terroristi addestrati militarmente, con sufficienti conoscenze dell’impianto e di tecniche di intrusione, sufficientemente numerosi (con un complice interno) e ben equipaggiato.

2.1.3 Applicazione della metodologia

La metodologia PR&PP è stata applicata seguendo lo schema descritto in [2] e [3] e schematizzata di seguito.



Dove le misure sono:

RESISTENZA ALLA PROLIFERAZIONE – PR	
<i>Caratteristiche Intrinseche</i>	<i>Caratteristiche Estrinseche</i>
Difficoltà tecniche (DT) Costo (PC) Tempo (PT) Tipo di materiale fissile (MT)	Probabilità di rilevamento (DP) Efficienza nel rilevamento (DE)
PROTEZIONE FISICA – PP	
Probabilità di successo dell'avversario (PAS) Conseguenze (C) Risorse per la protezione fisica (PPR)	

Il gruppo PR&PP è stato suddiviso in quattro sottogruppi, uno per ciascuna delle strategie individuate: *diversion*, *misuse*, *break out* e infine furto/sabotaggio. I quattro sottogruppi hanno lavorato in modo indipendente, ma seguendo la metodologia come descritto.

- Il primo passo nell'applicazione della metodologia è stata l'individuazione di obiettivi credibili, sulla base della divisione in elementi mostrati nella Figura X1.
- Il passo successivo è stata l'individuazione dei possibili percorsi per arrivare all'obiettivo (*pathways*) che, nel caso dello Studio, è l'acquisizione del materiale.
- Infine vi è stata la stima delle misure per i diversi percorsi.
- Lo stesso processo è stato seguito per le diverse versioni di riferimento descritte in 2.1.1.

2.1.4 *La Lesson Learned*

In termini di *Lesson learned*, i punti salienti identificati dallo Studio sono stati i seguenti:

- le valutazioni PR&PP dovrebbero sempre partire con una analisi qualitativa
- la metodologia dovrebbe includere una guida su come effettuare l'analisi qualitativa
- la valutazione PR&PP è imprescindibile dalla conoscenza tecnica dell'intero sistema, inteso come: reattore, impianti, infrastrutture e ciclo di combustibile, salvaguardie e misure di protezione fisica
- l'utilizzo di tecniche adeguate può garantire una valutazione degli esperti strutturata, sistematica e coerente
- l'analisi qualitativa dà risultati significativi anche nelle fasi di progetto preliminari
- si raccomanda una maggiore standardizzazione della metodologia e sua applicazione.

La conclusione dei quattro sottogruppi è che l'elemento forse più significativo, sia per gli esperti di PR&PP e progettisti di sistema, sia a livello istituzionale, è l'analisi dei percorsi (*pathways*).

- *Diversion* Dall'analisi dei percorsi per il trafugamento di materiale nucleare da impianti dichiarati si possono trarre le informazioni che metteranno (esperti,

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 002	0	L	9	20

progettisti, istituzioni, ecc.) in grado di definire la combinazione ottimale di misure PR&PP intrinseche e estrinseche.

- *Misuse* L'ottenimento di materiale da uso improprio di un impianto nucleare dichiarato può avvenire in una molteplicità di modi, ma dall'analisi dei percorsi è possibile identificare le misure che con più probabilità hanno un effetto determinante.
- *Break out* L'uscita dal regime di non proliferazione è anche una combinazione di *diversion* e *misuse* e può assumere forme molto diverse a seconda delle intenzioni dello stato.
- *Theft/Sabotage* A differenza dei casi precedenti, esistono molteplici strumenti per l'analisi dei *pathways* per furto e sabotaggio che sono stati considerati dallo Studio per verificarne l'adeguatezza nell'ambito della metodologia PR&PP. Lo Studio ha mostrato che vi è un numero ridotto di aree potenziale interesse ai fini del furto.

Lo Studio fa anche notare il ruolo importante che potrebbero giocare le assunzioni fatte nelle varie fasi di progetto: se opportunamente documentate, queste potrebbero trasformarsi in requisiti funzionali PR&PP. In conclusione, la metodologia ha mostrato il potenziale per essere uno strumento potente, applicabile alla fase di progetto concettuale di un sistema nucleare per generare le basi di progetto del progetto dettagliato.

2.1.5 Attività future

La metodologia è suscettibile di miglioramenti e lo Studio ha individuato per PR e PP alcuni punti per attività future:

PR

- Applicazione delle misure ad una serie più vasta di obiettivi (*targets*) e percorsi (*pathways*).
- Alcune metriche sono difficili da applicare.
- Non è ancora chiaro come utilizzare al meglio le misure “Tipo di materiale fissile (MT)” e “Efficienza nel rilevamento (DE)”. Una ipotesi è di includere MT nella descrizione del *target* e considerare DE come una caratteristica dell'impianto anziché del *pathway*.
- Studiare ulteriormente la forma delle metriche, in particolare quelle per le misure “costo (PC)”, “Probabilità di rilevamento (DP)” e DE.

PP

- Esame attento dei metodi qualitativi e raggruppamento
- Considerazioni più sistematiche sulla strategia di dispiegamento delle unità di risposta
- Considerazioni più sistematiche sul potenziale ruolo attivo dei complici interni
- Esame più dettagliato sul legame tra numero di obiettivi (per furto e sabotaggio) e capacità di prevedere le mosse degli attaccanti da parte delle unità di risposta.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 002	0	L	10	20

2.2 Riunioni PR&PP

A fine gennaio 2010 si sono tenute a Bologna una serie di riunioni del PR&PP WG organizzate dall'ENEA.

2.2.1 PR&PP Working Group 20th Meeting

Il 20th Meeting del PR&PP Working Group si è tenuto a Bologna il 26-27 gennaio 2010. L'evento si è tenuto il 26 negli spazi dell'Hotel i Portici e, il 27, nella Sala degli Anziani del Comune di Bologna. Alla riunione hanno partecipato 21 membri del Gruppo.

Il programma, definito dall'Executive Group del PR&PP WG, ha incluso:

- relazioni dai paesi GIF, EURATOM e IAEA su aspetti rilevanti alla PR/PP
- rapporto sulle attività di armonizzazione delle metodologie INPRO e GIF PR&PP attualmente in corso tra i due gruppi di lavoro. Si noti che alcuni partecipanti sono membri di entrambi
- le problematiche legate alla valutazione degli esperti (*expert elicitation*) nelle analisi PR&PP. In questo ambito è stato annunciato un "pacchetto", relativo ad un caso specifico di *misuse*, che dovrebbe portare ad un approccio strutturato nella valutazione degli esperti. Il pacchetto è stato distribuito recentemente ad un gruppo di partecipanti, tra cui l'ENEA, che si sono dichiarati disponibili a fare da test sulla sua efficacia;
- le misure PR e PP e relative metriche che, come già indicato nelle conclusioni dell'*ESFR Case Study*, non sono sempre facilmente applicabili o adeguate
- la collaborazione con i Gen IV System Steering Committee (SSC), sulla base della riunione congiunta PR&PP WG-SSC del 25 gennaio sempre a Bologna.
- lo stato del rapporto finale sul Caso Studio ESFR

La prossima (21st meeting) riunione del PR&PP WG si terrà in Giappone probabilmente il 23-24 febbraio 2011.

2.2.2 PR&PPWG – SSC

La terza riunione congiunta del PR&PP WG e SSC si è svolta il 25 gennaio con la partecipazione di 28 tra membri del PR&PP WG, SSC e osservatori. Tutti e sei i sistemi Gen IV erano rappresentati.

Il programma ha incluso:

- un rapporto sullo stato dei White Papers per i sei *Gen IV Design Concepts*
- la presentazione sui sei sistemi
 1. MSR - *Molten Salt Reactor*
 2. SCWR - *Super-Critical Water Reactor*
 3. VHTR - *Very High Temperature Reactor*
 4. LFR - *Lead Fast Reactor*
 5. GFR - *Gas Fast Reactor*
 6. SFR - *Sodium Fast Reactor*
- Una discussione su possibili temi trasversali.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 002	0	L	11	20

I *White Papers* sono intesi come “*living document*” che continueranno ad evolvere (con il progetto e la metodologia). Allo stato attuale forniscono già tuttavia un set completo di informazioni ad alto livello sulle caratteristiche dei sistemi GIF.

2.2.3 Tavola Rotonda PR&PPWG-ENEA

Il 28 gennaio, presso la Sala degli Anziani del Comune di Bologna, l'ENEA ha organizzato una tavola rotonda GIF PRPPWG – ENEA a cui ha invitato la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna. I partecipanti sono stati 26.

Il programma (Allegato A) ha previsto due presentazioni dell'ENEA: una con lo scopo di mostrare il recente quadro di riferimento nazionale emerso dalla nuova politica energetica italiana; l'altra per sottolineare alcuni aspetti originali della R&D in ambito ENEA su reattori GenIV, in particolare il *Lead Fast Reactor*.

Uno dei co-Chair del PR&PP WG ha fornito una rassegna sul mandato e scopo delle attività del GIF PR&PP WG, sottolineando i principali risultati conseguiti fino a quel momento, in particolare: il documento sulla metodologia (rev.5), il rapporto sull'*ESFR Case Study Report* e la continua collaborazione con i teams che si occupano di R&D dei sistemi GIF.

3 ATTIVITÀ IN AMBITO IAEA

La IAEA ha iniziato a novembre 2010, sotto l'egida della *Nuclear Power Technology Development Section, Division of Nuclear Power*, il confronto con gli stati membri interessati sull'*Options to Enhance Proliferation Resistance and Security of NPPs with Innovative Small and Medium Sized Reactors (SMRs)*. L'ENEA fa parte dei paesi coinvolti in questo esercizio che è complementare alle attività INPRO.

3.1 Iniziativa: “Options to Enhance Proliferation Resistance and Security of NPPs with Innovative SMRs”.

Lo sviluppo e l'utilizzazione sostenibile dell'energia nucleare da fissione nei paesi sviluppati e/o in via di sviluppo, si esprime anche attraverso la proposta di diverse dozzine di progetti innovativi di reattori di piccola e media taglia: SMR (*Small and Medium sized Reactors*), ovvero fino a circa 700 MWe di potenza installata, con una previsione di installazione nel periodo di tempo 2012 – 2030. Queste proposte sono rivolte soprattutto a clienti non in grado di “gestire” grandi impianti, ovvero con limitate capacità di rete elettrica, od anche in posizioni geografiche off-grid.

Vi è un continuo interesse allo sviluppo e applicazione di tali sistemi poiché rappresentano una allettante opzione di approvvigionamento energetico, per via nucleare, per tutti i Paesi (non soltanto di limitate capacità di rete elettrica, ma anche) con insufficienti infrastrutture e/o di limitate capacità di investimento. Ulteriore attrazione costituisce il fatto che i SMRs possono essere utilizzati anche per attività differenti dalla produzione di energia elettrica, ovvero co-generazione, desalinizzazione, processi avanzati di applicazione del calore, etc. Molti dei progetti SMRs offrono indubbio vantaggio anche dal punto di vista della flessibilità

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 002	0	L	12	20

alla produzione di energia, che la deregolamentazione del mercato di energia stesso potrebbe richiedere in un futuro prossimo.

Secondo i dati forniti dalla IAEA relativi ai SMRs esistenti, a novembre 2009 si contano 133 impianti in funzione e 12 in costruzione distribuiti in 28 Stati, per una potenza totale installata di 60.3 GWe, [4]. Questi numeri sono giustificati dall'ampio spettro di potenza che caratterizza questa "famiglia" di reattori: da qualche MWe fino a circa 700 MWe di potenza installata, indipendentemente dalla tipologia del reattore. Naturalmente la molteplicità dei progetti, insieme al ciclo di combustibile associato, moltiplica le problematiche legate ad aspetti di proliferazione e protezione fisica. Infatti taluni progetti SMR, per il ciclo di combustibile associato e il lungo periodo di funzionamento senza ricarica in-sito, sembrano in grado di offrire, agli (Stati) Utenti, ridotti "obblighi" per la gestione del combustibile esausto e scorie radioattive, offrendo così maggiori garanzie di resistenza alla proliferazione e sicurezza.

Vista l'indubbia importanza degli SMRs nel far fronte al fabbisogno energetico nei paesi sviluppati e/o in via di sviluppo, l'Agenzia è stata chiamata a coordinare gli sforzi dei Stati Membri, tramite il progetto 1.1.5.4 "*Common Technologies and Issues for SMRs*" regolarmente finanziato, per agevolare lo sviluppo degli SMRs, di vario tipo, attraverso un approccio sistematico per l'identificazione e lo sviluppo delle tecnologie fondamentali ed abilitanti per raggiungere competitività ed affidabilità delle prestazioni di tali reattori, individuando anche le questioni comuni relative alle infrastrutture che potrebbero facilitare la loro diffusione.

La risoluzione GC(53)/RES/13/Tab. B.3, Set. 2009 della Conferenza Generale dell'IAEA ha incoraggiato la Segreteria a continuare le attività del progetto "*Common Technologies and Issues for SMRs*", complementare a INPRO e finanziato dal bilancio regolare, relative a:

- sviluppo di tecnologie fondamentali e abilitanti,
- individuazione delle infrastrutture basilari per gli SMRs innovativi di vario tipo.

Secondo la citata risoluzione, il Direttore Generale continui a riferire sui progressi compiuti sia al Board of Governors che durante la Conferenza Generale.

L'iniziativa: "*Options to Enhance Proliferation Resistance and Security of NPPs with Innovative SMRs*" si inquadra in questo contesto.

3.1.1 Condizioni al Contorno

Tenuto conto dell'importanza di una terminologia comune e in accordo con l'IAEA Safeguards Glossary, il "Documento di Como" [5], e la metodologia INPRO [6], sono state assunte le seguenti definizioni che sono anche alla base della metodologia GIF [3]:

- Resistenza alla Proliferazione (Proliferation Resistance): è l'insieme delle caratteristiche di un sistema energetico nucleare che impedisce la deviazione o la produzione non dichiarata di materiale nucleare, o cattivo uso della tecnologia dagli Stati al fine di procurarsi armamenti nucleari o altri dispositivi di esplosivo nucleare.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 002	0	L	13	20

- Protezione Fisica (Physical Protection): termine che indica la protezione di un bene materiale (e non una protezione informatica o cibernetica). Si noti che nel contesto di questa Iniziativa il termine “Security” è equivalente a “Protezione Fisica”.

Allo stato attuale sono disponibili molti progetti di SMRs, pronti per essere realizzati: dai PHWR da 500 – 700 MWe dell’India e Canada, ai PWR da 600 MWe della Cina, ai ABV da 11 MWe e SBVR da 100 MWe della Russia, dai 45 MWe dei *Small Integral* PWR della NuScale all’IRIS da 335 MWe della Westinghouse, passando dagli *Integral* PWR da 125MWe delle Babcock and Wilcox (USA). Naturalmente sono inclusi i progetti del CAREM Argentino: PWR da 27 MWe, il 4S della Toshiba Corporation raffreddato a Na liquido da 10 MWe, il PWR da 36 MWth per propulsione navale proposto dalla Hokkaido University, lo SMART della Repubblica della Korea (PWR da 330 MWth), l’HTR-PM Cinese da 100 MWe, e altri ancora. Inoltre, il Dipartimento di Energia degli USA, DOE, ritiene che esista una necessità oltre che un mercato per i SMRs anche negli Stati Uniti.

Questa moltitudine di proposte deve soddisfare alle condizioni al contorno conseguenti le definizioni precedentemente date. In effetti, il grado di Resistenza alla Proliferazione sarà, *inter alia*, il risultato di una combinazione delle caratteristiche tecniche del progetto, delle condizioni operative, delle misure di Salvaguardia, degli accordi internazionali, etc., ovvero il risultato della combinazione tra Resistenza alla Proliferazione Intrinseca e Resistenza alla Proliferazione Estrinseca, ove si intende per:

- Resistenza alla Proliferazione Intrinseca: l’insieme delle caratteristiche derivanti dalle tecniche e vincoli di progettazione dei sistemi nucleari, inclusi tutti quelli che permetterebbero la realizzazione delle misure estrinseche,
- Resistenza alla Proliferazione Estrinseca: l’insieme dei provvedimenti derivanti da decisioni ed iniziative dello Stato relativamente ai sistemi di l’energia nucleare.

Per quanto riguarda la Protezione Fisica, bisogna distinguere tra:

- Sistema di Protezione Fisica (PPS, *Physical Protection System*): costituito dall’insieme integrato e bilanciato di dispositivi di sicurezza (“hardware”), dal personale, dalle procedure (organizzazione e vigilanza) e le caratteristiche di progetto delle strutture di protezione fisica;
- Regime di Protezione Fisica (PPR, *Physical Protection Regime*) costituito dall’insieme delle attività di Protezione Fisica messe in atto dallo Stato per la protezione fisica dei materiali e impianti nucleari (incluso il trasporto), ovvero l’insieme legislativo, normativo, di autorità competenti, provvedimenti tecnico-amministrativi, etc. che definiscono le competenze tra Stato e Proprietario/Gestore riguardo alla Protezione Fisica, allo scopo di impedire rimozione non autorizzata di materiale nucleare e sabotaggio di installazioni nucleari, nonché le misure predisposte per attenuare le conseguenze di simili eventi, ove accadano.

Considerata la complessità della questione e la molteplicità degli attori nazionali e/o internazionali potenzialmente coinvolti, risulta evidente l’interesse della IAEA per una attività coordinata con funzione di “piattaforma” per lo sviluppo dei SMRs in un’ottica di Resistenza alla Proliferazione & Protezione Fisica.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 002	0	L	14	20

3.1.2 Road Map

Nel periodo 2006-2007 l’Agenzia ha pubblicato gli *Status Reports* su progetti innovativi SMR nell’intento di fornire caratteristiche tecniche (di tali reattori e cicli di combustibile associati) che potrebbero contribuire ad accrescere la resistenza alla proliferazione e la protezione fisica: [7], [8]. Nel 2008 IAEA/INPRO ha iniziato una attività relativa alle infrastrutture per i reattori nucleari trasportabili che evidentemente è strettamente connessa alle salvaguardie e security associate a questi piccoli reattori, che costituiscono un particolare sottogruppo del concetto innovativo degli SMRs.

Parallelamente allo sviluppo della metodologia GIF, l’IAEA/INPRO ha sviluppato una metodologia per la valutazione della resistenza alla proliferazione e protezione fisica dei sistemi innovativi di energia nucleare che possono includere i SMRs. L’applicazione delle metodologie INPRO e GIF fin dalle prime fasi di progettazione sarebbe un aiuto concreto per i progettisti di SMR per definire strategie auto-consistenti e coerenti riguardo all’inclusione di caratteristiche e funzionalità di resistenza intrinseca alla proliferazione e di sicurezza, ottimizzando in tal modo (anche dal punto di vista dei costi) l’applicazione di misure estrinseche.

L’iniziativa IAEA si inserisce in questo contesto allo scopo di individuare le opzioni tecnologiche e metodologie atte ad accrescere la resistenza alla proliferazione e a migliorare le caratteristiche di sicurezza dei SMRs, valutare la loro validità e formulare raccomandazioni per le rilevanti normative nazionali e internazionali. Ciò si tradurrà nell’emissione di un documento della serie Energia Nucleare/IAEA-TECDOC (prevista per l’autunno del 2011) atto a fornire:

- un quadro generale della resistenza alla proliferazione e valutazione di protezione fisica in tutte le fasi di progettazione di un SMR innovativo e del ciclo del combustibile associato;
- una sintesi e confronto delle metodologie INPRO e GIF per la valutazione della resistenza alla proliferazione e protezione fisica, e raccomandazioni su come possano essere progressivamente applicate durante l’evoluzione del progetto;
- esempi di applicazione delle metodologie con particolare attenzione ad eventuali nuove questioni che una tale applicazione può produrre;
- richieste/dati, per il progettista, sulla resistenza alla proliferazione e sulle funzionalità per la protezione fisica di rappresentativi SMRs e relativi cicli del combustibile, elaborati secondo un modello comune;
- i risultati di valutazioni dettagliate, condotte con le metodologie INPRO e GIF per alcuni tipici concetti di SMR, includendo rilevanti cicli del combustibile.

Infine, per fornire una sintesi di ciò che è stato appreso e raccomandazioni con particolare riguardo alle sinergie tra Resistenza alla Proliferazione & Protezione Fisica e Safety, nonché raccomandazioni per il miglioramento della metodologia di valutazione INPRO.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 002	0	L	15	20

3.1.3 Sviluppo delle Attività.

È stato deciso di procedere per via di *Technical Meetings* (TM) coordinati dalla IAEA e con cadenza annuale, per gli seguenti obiettivi:

- presentare e discutere progetti di reattori innovativi della famiglia SMR, e associato ciclo di combustibile, con funzionalità di potenziale contributo di accrescimento della resistenza alla proliferazione e della sicurezza, in connessione sia alle condizioni di applicazione mirata su tali reattori che su come tali funzionalità possono semplificare l'implementazione e verifica delle necessarie misure di sicurezza, a costo accettabile;
- selezionare le funzionalità tecniche più promettenti e proporre metodi per la loro valutazione e validazione;
- proporre e raccogliere suggerimenti per la preparazione ed emissione del summenzionato documento della serie IAEA/Energia Nucleare che dovrà riassumere le conclusioni più importanti di questa attività;
- definire ulteriori iniziative per l'attuazione di questa attività.

Inoltre è previsto che questi meetings includano presentazione da parte di ogni partecipante e sessioni di “*brainstorming/writing*” per il raggiungimento degli obiettivi dei meetings. Al giorno d'oggi hanno avuto luogo, in sede IAEA, due meetings annuali (di durata dei 3-4 giorni/meeting). In Appendice B sono riportati gli Stati/Organizzazioni partecipanti.

Le diverse presentazioni, le differenti proposte, i suggerimenti e le discussioni hanno consentito di approfondire e delineare i contorni netti della questione, puntualizzare e definire concetti, metodologie e procedure. Risultato rilevante di questo processo di elaborazione è il riconoscimento della forte interazione tra resistenza alla proliferazione e protezione fisica. Poiché quest'ultima coinvolge pesantemente questioni tecnico amministrative, che richiedono competenze specifiche non presenti in questa fase delle attività, e coinvolge anche istituzioni nazionali e internazionali è stato riconosciuto e deciso che in questa fase l'Iniziativa svilupperà soltanto aspetti e tematiche relative alla resistenza alla proliferazione riservandosi di sviluppare in un secondo tempo le tematiche inerenti alla protezione fisica dei sistemi innovativi della famiglia SMR.

Analogamente, poiché il progetto di un reattore viene concepito e sviluppato indipendentemente dal ciclo del combustibile (tipicamente preso in considerazione molto più tardi nella tempistica del progetto) e poiché *front- e back- end* del ciclo del combustibile includono specificità e politiche nazionali spesso molto diverse fra Stato e Stato, è stato deciso che, pur riconoscendo l'importanza del ciclo del combustibile per la valutazione globale e dettagliata della resistenza alla proliferazione, tale contributo verrà approfondito in un secondo tempo, successivamente alla conclusione del rapporto citato.

Sforzo considerevole è stato dedicato all'analisi e confronto tra metodologie INPRO e GIF e ai progressi raggiunti riguardo allo sviluppo di un format per la raccolta dei dati/requisiti necessari ai progettisti di reattore per l'aumento della resistenza alla proliferazione.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 002	0	L	16	20

Ugualmente, è stata discussa dettagliatamente la stesura preliminare di un capitolo dedicato alla sintesi e confronto tra i metodi di valutazione disponibili e le raccomandazioni sulla loro progressiva applicazione in base all'evoluzione del progetto. Sono state evidenziate e discusse alcune "contraddizioni" nelle due metodologie conseguenti alla differente concezione delle sequenze progettuali, adottate dagli esperti di non-proliferazione.

3.1.4 Contributo Italiano

In seno all'Iniziativa IAEA, il contributo Italiano sia in termini di presentazioni ([9], [10]) che di proposizioni si è sviluppato fundamentalmente in tre direzioni:

- Rivisitazione e analisi critica dei requisiti per accrescere la resistenza alla proliferazione e relazione con i vincoli di progetto;
- Interazione tra progettisti di reattore ed esperti di non proliferazione nucleare;
- Istruzione e addestramento (*Training and Education*) a livello sia nazionale che internazionale.

I nostri contributi e rilievi sono stati accolti molto positivamente.

Abbiamo constatato che ai fini di un miglioramento della resistenza alla proliferazione e delle caratteristiche di protezione fisica a livello di progettazione di nocciolo, vi è la necessità di un'analisi critica e sistematica tra la fisica del sistema, le esigenze/requisiti di non proliferazione e protezione fisica e i vincoli specifici di progetto.

Il coinvolgimento dei progettisti di reattore nelle problematiche PR&PP fin dalle fasi preliminari del progetto è uno degli aspetti per noi essenziale. Ciò però richiede che i concetti alla base della resistenza alla proliferazione e protezione fisica siano più "accessibili" ai progettisti anche attraverso l'uso di una terminologia comune e si sviluppa tramite una interazione continua, in tutte le fasi progettuali, tra progettisti ed esperti PR&PP. Fondamentale è infatti l'abilità di "trasformare" concetti, spesso qualitativi e non completi (nel senso matematico del termine), in grandezze "osservabili" in senso fisico.

Questione importante è il rapporto tra requisiti/esigenze per la valutazione di non-proliferazione e i dati/assunzioni del progetto di reattore disponibili. È un dato di fatto che alcuni parametri importanti per la valutazione di non-proliferazione, ad es. legati al complesso dell'impianto nucleare, non siano ancora stati definiti nelle fasi più preliminari del progetto. Ciò significa che a seconda della fase del progetto la valutazione della resistenza alla proliferazione dovrà essere indirizzata alla componente intrinseca oppure estrinseca ed essere tipo qualitativo più che quantitativo. Soltanto in una fase avanzata del progetto dell'intero impianto nucleare (progetto costruttivo) si può, e si devono, avere tutti gli elementi per una valutazione globale della resistenza alla proliferazione.

E' evidente quindi la complessità della questione se si considera un'intera classe di reattori, gli SMR innovativi, a causa delle differenze nella fisica, architettura, tipologia del combustibile, condizioni operative e di ciclo di combustibile. È stato quindi proposto e successivamente deciso di considerare un approccio specifico e distinto per ogni tipologia di

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 002	0	L	17	20

reattore (reattore raffreddato: ad acqua, a metallo liquido e a gas). Questo approccio, che si basa sulla fisica di reattori specifici, ha un impatto sulla resistenza alla proliferazione intrinseca. Per accrescere la estrinseca resistenza alla proliferazione, è stato proposto di tenere in conto in modo appropriato delle specificità geo-politiche dei siti nucleari ospitanti.

Data la complessità delle questioni, le loro mutue interazioni e la difficoltà di intendersi sul significato di termini e concetti dei progettisti e esperti di non-proliferazione, la IAEA sta considerando di organizzare attività di *training and education* su queste tematiche. L'idea è appoggiata da tutti i partecipanti dei TM.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 002	0	L	18	20

4 RIFERIMENTI

1. GenIV Proliferation Resistance and Physical Protection Working Group, “*PR&PP Evaluation: ESFR Full System Case Study. Final Report*”, GIF/PRPPWG/2009/02
2. GenIV Proliferation Resistance and Physical Protection Working Group, “*Evaluation Methodology for Proliferation Resistance and Physical Protection of Generation IV Nuclear Energy Systems- Revision 5*”, GIF/PRPPWG/2006/005, (30 novembre 2006)
3. F. Padoani, “*Metodologie per la valutazione della resistenza alla proliferazione di sistemi innovativi: sviluppo e applicazione*”, Report RSE/2009/138
4. “*Status and Near-Term Prospect of Small and Medium sized Reactors*”, IAEA Report, (ultima revisione aprile 2010)
5. “*Proliferation Resistance Fundamentals for Future Nuclear Energy Systems*”, IAEA – STR - 332, Vienna (dicembre 2002)
6. “*Guidance for the Application of an Assessment Methodology for Innovative Nuclear Energy Systems. INPRO Manual — Overview of the Methodology*”, IAEA-TECDOC-1575 -Rev. 1, vol. 5 & vol. 6, Vienna (novembre 2008)
7. “*Status of Innovative Small and Medium sized Reactor Designs 2005: Reactors with conventional refuelling scheme*”, IAEA-TECDOC-1485, Vienna (marzo 2006)
8. “*Status of Small Reactor Designs without On-site Refuelling*”, IAEA-TECDOC-1536, Vienna (marzo 2007)
9. G. Glinatsis, F. Padoani, “*Remote Monitoring: A Key Characteristic Common to All Systems*”, *TM on: Options to Enhance Proliferation Resistance and Security of NPPs with Innovative Small and Medium-Sized Reactors*”, IAEA, Vienna (03-06 novembre 2009)
10. G. Glinatsis, F. Padoani, “*Comments and Expectations from Core Designer point of view*”, *TM on: Options to Enhance Proliferation Resistance and Security of NPPs with Innovative Small and Medium-Sized Reactors*”, IAEA, Vienna (08-11 giugno 2010)

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 002	0	L	19	20

5 APPENDICE A



**Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile**

Round Table: GIF PR&PP-ENEA

Sala degli Anziani, Piazza Maggiore

Bologna, January 28 2010

- | | | |
|--------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 09:30 | <i>Opening</i> | <i>Franca Padoani</i> |
| 09:45 | <i>ENEA presentation</i> | <i>Francesco Troiani</i>
<i>New Italian legislative framework for Nuclear Energy and ENEA
R&D Activities on Nuclear Fission</i> |
| | | <i>Carlo Artioli</i>
<i>Innovative Reactor Core Design: Business as usual?</i> |
| 11:00 | <i>PR&PP WG presentation</i> | <i>Robert Bari</i>
<i>Proliferation Resistance and Physical Protection Evaluation
Methodology Development and Applications</i> |
| 11:30 | <i>Discussion</i> | |
| 12:30 | <i>Lunch</i> | |

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 002	0	L	20	20

6 APPENDICE B

Stati/Organizzazioni Partecipanti alla Iniziativa: “Options to Enhance Proliferation Resistance and Security of NPPs with Innovative SMRs”.

Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA)	Argentina
Federal University of Rio Grande do Sul	Brasile
Atomic Energy Canadian Limited (AECL)	Canada
Bhabha Atomic Research Centre (BARC)	India
National Nuclear Energy Agency (BATAN)	Indonesia
Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l’energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA)	Italia
Kurchatov Institute RNC	Federazione Russa
AEM - Technology JSC	Federazione Russa
Africantov OKB Mechanical Engineering (OKBM)	Federazione Russa
Research Institute of Atomic Reactors (RIAR)	Federazione Russa
Brookhaven National Laboratory (BNL)	USA
DOE - NNSA	USA
Pacific Northwest National Laboratory (PNNL)	USA
IAEA	
IAEA/NENP	