



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



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Rapporto sulle attività nell'ambito della collaborazione ENEA-IRSN

M. Cappelli, C. Lombardo

RAPPORTO SULLE ATTIVITÀ NELL'AMBITO DELLA COLLABORAZIONE ENEA-IRSN

M. Cappelli, C. Lombardo – ENEA

Settembre 2011

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Governo, Gestione e sviluppo del sistema elettrico nazionale

Progetto: Nuovo nucleare da fissione: collaborazioni internazionali e sviluppo competenze in materia nucleare

Responsabile Progetto: Paride Meloni, ENEA

Titolo

Rapporto sulle attività nell'ambito della collaborazione ENEA-IRSN.

Descrittori
Tipologia del documento:
Collocazione contrattuale:

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

Argomenti trattati:
Sommario

Il presente documento descrive le attività, previste dalla Task LP1 D del PAR 2008-2009 dell'AdP MSE-ENEA, svolte nell'ambito dell'accordo di collaborazione internazionale tra ENEA e IRSN e avente come argomento l'energia nucleare. In tale contesto sono state attivate varie linee di attività di collaborazione le quali coinvolgono sia ricercatori italiani afferenti alle unità dell'ENEA con competenze sviluppate nell'ambito della fissione nucleare che ricercatori francesi dell'IRSN. In questo documento sarà descritta l'attività di sviluppo del simulatore SOFIA che ha visto in particolar modo coinvolti due ricercatori dell'Agenzia che sono stati distaccati presso l'IRSN di Fontanay-aux-Roses, Parigi, e ivi inseriti nell'*équipe* di sviluppo del simulatore SOFIA.

Note


Autori: M. Cappelli, C. Lombardo

Lavoro svolto in esecuzione della Linea Progettuale LP1 - Obiettivo D dell'AdP ENEA-MSE

Tema di ricerca: "Nuovo Nucleare da Fissione"


Copia n.
In carico a:

REV.	DESCRIZIONE	DATA	NOME			
2			NOME			
			FIRMA			
1			NOME			
			FIRMA			
0	EMISSIONE	19/09/2011	NOME	F. Pisacane	M. Sepielli	P. Meloni
			FIRMA			
				REDAZIONE	CONVALIDA	APPROVAZIONE

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 014	0	R	2	112

Indice

Accordo di collaborazione tra ENEA e IRSN. Aspetti generali	3
Accordo di collaborazione tra ENEA e IRSN. La scheda di attività di collaborazione STC3: sviluppo e validazione del simulatore ingegneristico SOFIA presso l'IRSN di Fontanay-aux-Roses, Parigi	5
Descrizione dell'equipe del Simulatore SOFIA	7
Descrizione dei Simulatori IRSN	8
Il rinnovamento del Simulatore: da SIPA a SOFIA	12
Attività di formazione ad opera dell'IRSN	15
Analisi di transitori LOCA: Confronto tra simulatore SIPA e simulatore SOFIA ..	17
Valutazione dell'autonomia dei sistemi di alimentazione di emergenza del generatore di vapore in situazione incidentale: confronto tra ambienti di sviluppo ROSE2.4 e ORCHIDME	19
Conclusioni	20
Bibliografia ed Acronimi	22
ALLEGATO 1: attività di validazione e sviluppo del simulatore SOFIA	23
ALLEGATO 2: Modélisation avec OrchidME des calculs d'autonomie des bâches ASG réalisés entre 2003 et 2007 sous ROSE2.4	75

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 014	0	R	3	112

Accordo di collaborazione tra ENEA e IRSN. Aspetti generali

L'ENEA e l'IRSN hanno stipulato un accordo di collaborazione bilaterale tecnico-scientifica che prevede uno scambio di competenze e di risorse umane in vari settori del campo della fissione nucleare.

Gli scopi principali della collaborazione sono legati a:

- formazione del personale ENEA da parte di esperti dell'IRSN nel settore della simulazione ingegneristica a fini di valutazioni di sicurezza (safety),
- partecipazione a progetti di ricerca su temi di interesse comune alle due Istituzioni o in ambito internazionale ed europeo,
- sinergia su ambiti di interesse comune per lo sviluppo di strategie congiunte in settori come la radioprotezione, la security e gli incidenti severi,
- la fornitura di expertise IRSN su tematiche come quelle della informazione e comunicazione al pubblico.

In tale contesto, sono stati firmati degli accordi di collaborazione su temi specifici (STC, Specific Topics of Collaboration), che rappresentano un punto di partenza per un rafforzamento futuro della collaborazione:


- **STC 1: ICARE/CATHARE CODE**
- **STC 2: DRACCAR CODE**
- **STC 3: VALIDATION AND DEVELOPMENT ACTIVITY OF THE SOFIA SIMULATOR**
- **STC4: MONTECARLO NEUTRONICS SIMULATIONS APPLIED TO REACTOR PHYSICS**

STC 1: ICARE/CATHARE CODE

L'accordo di collaborazione prevede che l'ENEA supporti l'IRSN nello sviluppo e validazione del codice ICARE/CATHARE V2.3. In particolare, l'ENEA supporta l'IRSN nella preparazione del programma sperimentale PEARL, che verrà condotto presso il centro di ricerche dell'IRSN sito a Cadarache, con lo scopo di investigare fenomeni di *debris bed reflooding*. Inoltre tale modello implementato nella versione V2.3 del codice ICARE/CATHARE è validato nei confronti dell'incidente TMI-2.

STC 2: DRACCAR

L'accordo di collaborazione prevede che l'ENEA supporti l'IRSN nello sviluppo e validazione del codice DRACCAR e nel suo impiego per simulare il comportamento termo-meccanico di elementi di combustibile durante incidenti di perdita del refrigerante (LOCA) in reattori ad acqua pressurizzata. L'obiettivo di questa collaborazione, oltre alla validazione del codice DRACCAR, è anche quello di svolgere calcoli su LOCA attraverso codici di sistema noti (p.e. CATHARE, ASTEC,...) e di impiegare DRACCAR per studiare in modo più accurato il comportamento termomeccanico degli "hottest" assembly.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione NNFISS – LP1 - 014	Rev. 0	Distrib. R	Pag. 4	di 112
--	---	------------------	----------------------	------------------	------------------

STC 3: VALIDATION AND DEVELOPMENT ACTIVITY OF THE SOFIA SIMULATOR

L'accordo di collaborazione prevede che l'ENEA supporti l'IRSN nello sviluppo e validazione del simulatore SOFIA. In tale contesto sono previste due attività separate benché concomitanti che prevedranno la presenza di due tecnici dell'ENEA presso l'IRSN. I dettagli di quest'accordo costituiscono lo scopo di questo documento e saranno illustrati più accuratamente nei prossimi paragrafi.

STC4: MONTECARLO NEUTRONICS SIMULATIONS APPLIED TO REACTOR PHYSICS

L'accordo di collaborazione prevede che l'ENEA supporti l'IRSN nella valutazione degli effetti del riflettore d'acciaio dell'EPR, che foderà l'interno del vessel permettendo di agire a favore dell'economia neutronica (risparmio dei neutroni liberi che si perderebbero nel vessel) e di migliorare lo sfruttamento del combustibile, sul segnale fornito dalla strumentazione ex-core.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 014	0	R	5	112

Accordo di collaborazione tra ENEA e IRSN. La scheda di attività di collaborazione STC3: sviluppo e validazione del simulatore ingegneristico SOFIA presso l'IRSN di Fontanay-aux-Roses, Parigi

Gli accordi di collaborazione in questa linea di attività comuni prevedono da parte dell'ENEA di:

- supportare l'IRSN nella preparazione di materiale utile per esercitazioni in classe da tenersi nell'ambito di corsi di addestramento (training courses) che si avvalgono del simulatore SOFIA. Infatti, oggi, tutte queste attività sono svolte attraverso materiale prodotto con il simulatore SIPA (la versione precedente di SOFIA, cfr. paragrafi successivi). Scopo di questa attività è pertanto riprodurre lo stesso materiale didattico sul nuovo simulatore;
- supportare l'IRSN nel miglioramento dei modelli di simulazione, usando le potenzialità dell'ambiente di sviluppo messo a disposizione da SOFIA
- supportare l'IRSN nella validazione della configurazione EPR Flamanville-3 del simulatore SOFIA.


Per svolgere pienamente le citate attività e consentire allo stesso tempo a personale ENEA di essere formato sulle problematiche della sicurezza nucleare (nuclear safety), due ingegneri dell'Agenzia si sono recati alla sede dell'IRSN a Fontanay-aux-Roses (Parigi) e, dopo un periodo di formazione iniziale, sono stati inseriti stabilmente all'interno del team di sviluppo del simulatore SOFIA e resi autonomi per lo svolgimento dell'attività prevista.

I due ricercatori italiani afferiscono alle due unità ENEA che si occupano di fissione nucleare: Calogera Lombardo è inserita nel team dell'UTFISSM di Bologna, Mauro Cappelli in quello dell'UTFISST di Roma Casaccia.

Per ognuno di essi è stato proposto un piano di lavoro personalizzato anche sulla base delle competenze e degli obiettivi delle singole unità. Per entrambi sono inoltre previste due fasi di attività di formazione:

1. Formazione iniziale: uso del simulatore a scopi di valutazione di sicurezza in condizioni di funzionamento normale, incidentale e accidentale. Guida all'uso del vecchio simulatore SIPA. Introduzione all'uso del nuovo simulatore SOFIA. Tale formazione è durata due settimane a tempo pieno ed è stata svolta sotto la guida di esperti dell'IRSN.
2. Formazione in itinere: corso sull'EPR (European Pressurized Reactor) nella configurazione Flamanville-3. Analisi di tutti i sistemi e i componenti che costituiscono l'impianto. Il corso è stato della durata di due settimane full-time ed è stato tenuto da esperti di AREVA, azienda costruttrice dell'EPR.

I dettagli su entrambi i corsi di formazione verranno forniti in un successivo paragrafo.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 014	0	R	6	112

Il programma di massima per i due ricercatori nel periodo trascorso in IRSN diviso in due fasi, la prima delle quali di pertinenza di tale documento, così strutturate:

Prima fase:

1. Aggiornamento dei lavori utilizzati durante i corsi di formazione periodicamente tenuti in IRSN, attraverso l'esecuzione di 10 transitori del tipo LOCA sui simulatori SIPA e SOFIA e l'analisi critica del confronto dei risultati al fine di decidere se i nuovi transitori potessero essere utilizzati durante i corsi di formazione (Allegato 1).
2. Traduzione (*porting*) nell'ambiente di simulazione ORCHIDME del nuovo simulatore SOFIA di schemi circuitali già sviluppati per risolvere specifici problemi di sicurezza nell'ambiente di sviluppo ROSE 2.4 del vecchio simulatore SIPA. In particolare, il problema termoidraulico affrontato riguarda uno studio di sensibilità del sistema di alimentazione ausiliario del generatore di vapore in condizione accidentale per l'impianto (Allegato 2).

Seconda fase:

La seconda parte dell'attività di ricerca può essere raggruppata in due grossi filoni:

- sviluppo delle modifiche inerenti l'edificio di contenimento alla nodalizzazione CATHARE dell'impianto DPY. Tali modifiche dovranno poi essere validate nei confronti di alcuni incidenti di perdita di refrigerante primario (LOCA) la cui localizzazione e le cui dimensioni saranno concordate con i colleghi dell'IRSN;
- validazione della configurazione EPR Flamanville-3 installata sul simulatore SOFIA. Questa ultima parte del lavoro prevede il distacco dell'Ing. C. Lombardo presso la sede IRSN di Fontanay-aux-Roses;
- impiego del modulo neutronico ORCHIDCB per lo studio di un problema di accoppiamento termoidraulico/neutronico per analisi incidentale RTV (Rottura del Tubo Vapore) per la configurazione EPR Flamanville-3.

Maggiori dettagli sono forniti nelle due sezioni seguenti e negli annessi allegati.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 014	0	R	7	112

Descrizione dell'equipe del Simulatore SOFIA

Il Simulatore SOFIA è ospitato nella sede IRSN di Fontanay-aux-Roses, Parigi.

L'IRSN è strutturato in Divisioni (*Divisions*) e Dipartimenti (*Services*), ognuno dei quali è organizzato in laboratori (*Bureaux*).

Il Simulatore SOFIA fa parte del bureau BMGS che è uno dei laboratori del dipartimento ST3C, quest'ultimo fa capo alla divisione DSR.

Nell'equipe del Simulatore, guidata da Philippe Dufeil, lavorano stabilmente cinque persone più consulenti e stagisti occasionali.

È all'interno di tale équipe che sono stati integrati e resi autonomi i due ricercatori dell'ENEA.

Descrizione dei Simulatori IRSN

Un simulatore ingegneristico d'impianti nucleari è rappresentato da un sistema software ed hardware che, in tempo reale, consente di effettuare calcoli e di monitorare le evoluzioni temporali dei parametri fisici significativi del funzionamento di un impianto nucleare. Esso consente di simulare eventuali malfunzionamenti dei componenti e le azioni degli operatori d'impianto, inoltre permette di interrompere la simulazione per esaminare lo stato dei vari componenti dell'impianto in un dato momento e di tornare indietro per modificare lo scenario.

L'IRSN possiede sin dai primi anni novanta un simulatore in grado di riprodurre il comportamento di un reattore ad acqua in pressione (PWR) sia in condizioni normali, che incidentali o accidentali. Esso consente ad IRSN di effettuare studi nell'ambito della sua missione, di migliorare la valutazione della affidabilità degli impianti dell'attuale parco francese, di preparare esercizi di crisi e di formare i suoi dipendenti e personale esterno.

La prima versione di tale simulatore, SIPA, è operativa presso IRSN fin dal 1992 (Fig.1) ed è utilizzato per studi termoidraulici, soprattutto per PSA di livello 2, per la formazione nel campo della fisica e del controllo del reattore e la preparazione di scenari nazionali di crisi. La nuova versione del simulatore, SOFIA, che progressivamente ingloberà i differenti tipi di reattori nucleari in funzione in Francia, dovrà sostituire il vecchio simulatore SIPA. La Fig. 2 riporta le differenti configurazioni del simulatore installate in IRSN compatibilmente con gli sviluppi dei tools informatici a disposizione e con la potenza degli impianti realmente installati sul territorio francese.

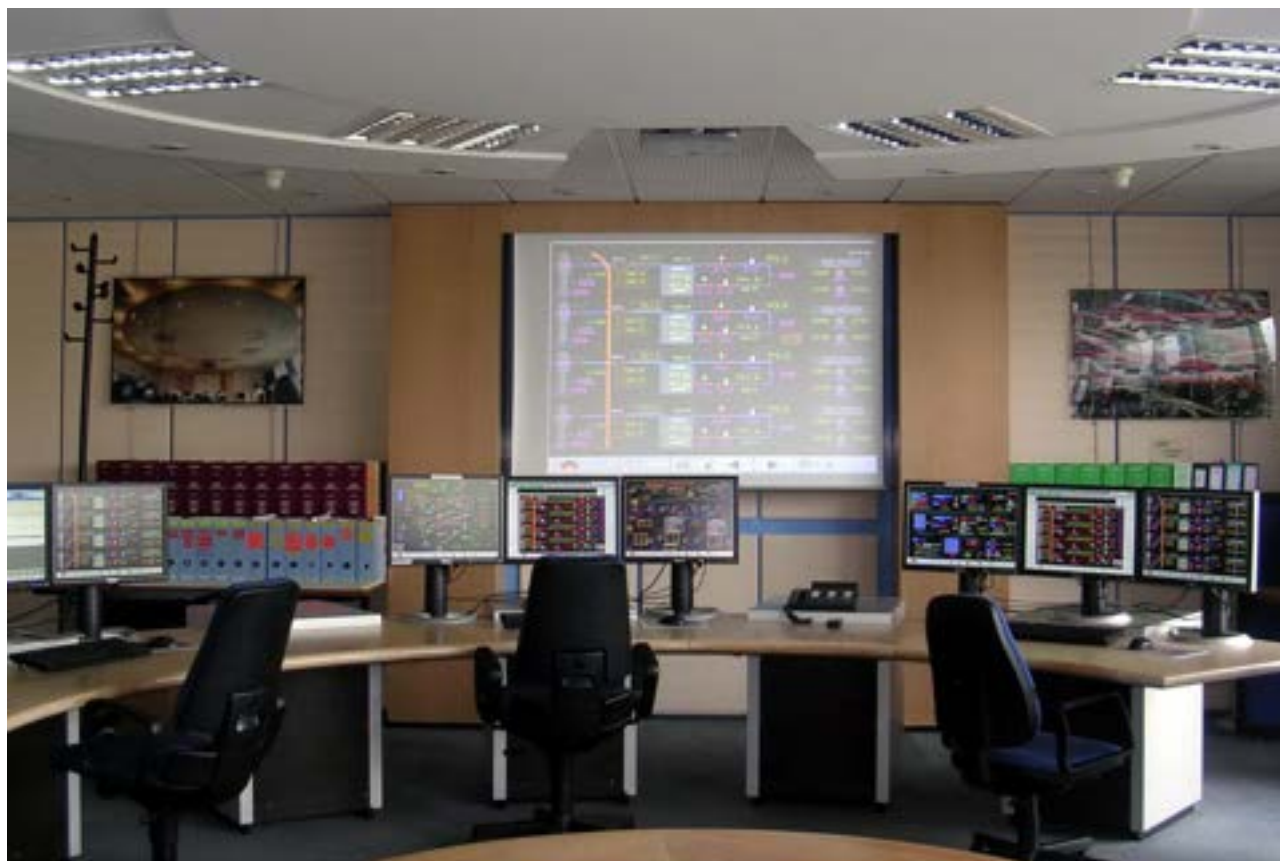


Fig. 1: Simulatore SIPA.

	SIPAZ SIMULATOR	SCAR SIMULATOR	RENOVATED SIMULATOR	
Reactor power in MWe	900 - 1300	900	900 - 1300 - 1450	
Thermal-hydraulic code	CATHARE-SIMU	CATHARE 2	TRACAS+	CATHARE 2
Simulation accuracy	about 200 meshes	870 meshes	about 300 meshes	from 800 to 1000 meshes
Real time simulation ?	yes + accelerated	yes except in case of large break on the circuit	yes + accelerated	yes except in case of large break on the circuit
Possible simulation from 100% nominal power to:	cold shutdown (closed primary circuit)	cold shutdown for maintenance (open primary circuit)	cold shutdown (closed primary circuit)	cold shutdown for maintenance (open primary circuit)
Put into service in:	1992	2002	2006-2008	2009-2010

Fig. 2: Differenti configurazioni del simulatore.

Il simulatore permette di rappresentare il funzionamento di un reattore ad acqua pressurizzata partendo da condizioni di arresto fino a piena potenza. L'ambito di simulazione comprende diversi fenomeni fisici fino a prendere in considerazione l'eventuale danneggiamento del combustibile cioè fino a temperatura di guaina di circa 1200 ° C (condizioni operative incidentali).

I circuiti primari e secondari del reattore, che permettono di rimuovere la potenza termica generata dal core, sono schematizzati tramite l'impiego di un codice di calcolo termoidraulico (CATHARE, CATHARE-SIMU, TRACAS).

Il simulatore consente inoltre di descrivere:

- le caratteristiche dei fluidi primari e secondari;
- i sistemi di controllo e la strumentazione di misura;
- i sistemi di protezione e di sicurezza, una parte della distribuzione di energia elettrica;
- il contenimento;
- il comportamento neutronico del core.

La Fig. 3 mostra una schematizzazione della nodalizzazione dei circuiti primario e secondario su cui, in ogni momento e per ogni componente, l'operatore può leggere i valori calcolati delle variabili di interesse. Durante la simulazione, l'utente conosce dunque istante per istante lo stato termoidraulico del circuito ponendo il puntatore del mouse su una maglia.

L'interfaccia user-friendly del simulatore, mostrata nelle Fig.4 - 5, permette all'utente di intervenire direttamente sullo stato di avanzamento della simulazione per generare guasti o azioni dell'operatore.

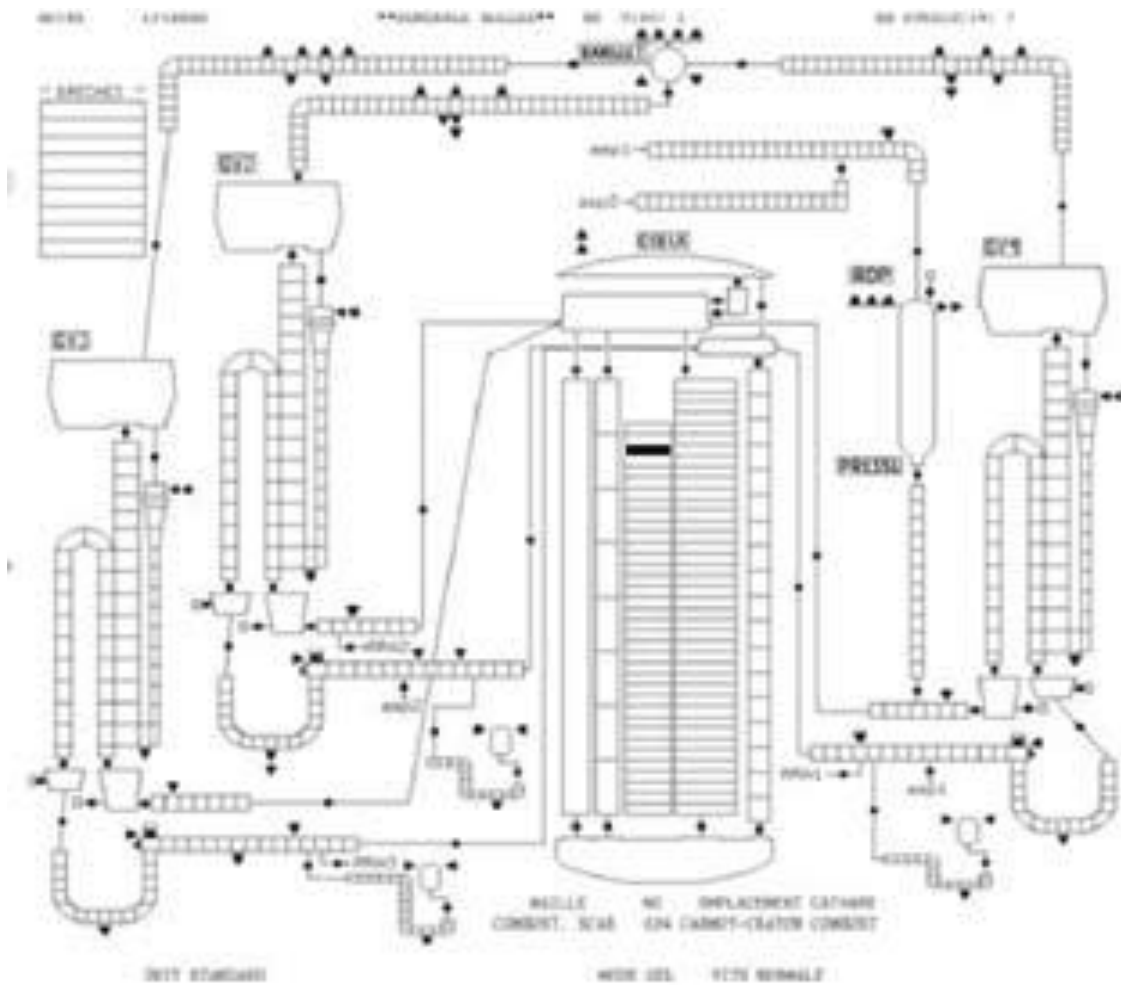


Fig.3: Nodalizzazione di un PWR da 900 MWe.



Fig.4: Postazione di lavoro del simulatore SOFIA.



Fig. 5: Rappresentazione schematica di un PWR da 900 MWe.

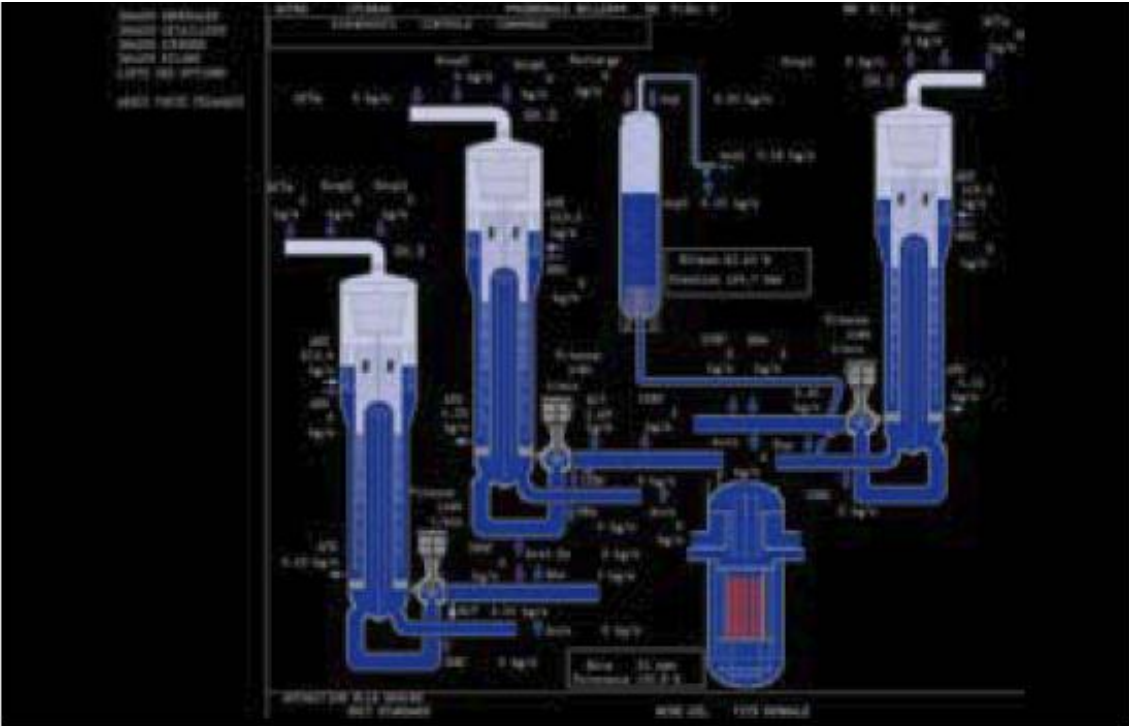



Fig. 6: Funzionamento normale di un PWR da 900 MWe.

La Fig. 6 mostra un'immagine di insieme di un PWR da 3 loop da 900 MWe: in essa possono distinguersi in blu scuro il liquido in condizioni sotto raffreddate e in grigio il vapore.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 014	0	R	12	112

Il rinnovamento del simulatore: da SIPA a SOFIA

Al fine di ridurre i costi di manutenzione del vecchio simulatore SIPA e di adeguarlo alla nuova tecnologia informatica, IRSN e AREVA NP nel 2005 hanno siglato un accordo di cooperazione con lo scopo di rinnovare interamente i simulatori in loro possesso. La prima parte di questo progetto è stata realizzata in tre stadi successivi: nell'agosto del 2006 gli impianti PWR da 900 MWe sono stati integrati nel SOFIA, nel settembre del 2007 sono stati integrati gli impianti da 1300 MWe e nel settembre del 2008 sono stati integrati gli impianti da 1450 MWe. La seconda parte del progetto prevede l'integrazione del codice di calcolo termoidraulico CATHARE ed ha preso avvio nella seconda metà del 2008. La sua conclusione è prevista per la fine del 2011.

Tale integrazione ha come obiettivo il miglioramento dei modelli fisici implementati all'interno del simulatore per la risoluzione dei processi che riguardano la termo-idraulica. In particolare, l'introduzione del codice di sistema CATHARE porterebbe un miglioramento notevole in termini di affidabilità dei modelli.

CATHARE (Code for Analysis of THERmalhydraulics during an Accident of Reactor and safety Evaluation) è un codice di sistema messo a punto per le analisi di sicurezza dei reattori PWR ed è utilizzato per supportare il processo di "licensing" degli impianti nucleari della filiera francese (N4, EPR). In particolare, il codice CATHARE2, nato nel 1979 [1], è il risultato di una collaborazione tra il CEA (Commissariat à l'Énergie Atomique), l'IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire), EDF (Électricité de France) e AREVA NP.

Lo sviluppo e la manutenzione del codice sono sotto la responsabilità del CEA. Contrariamente alla versione originale che era eseguibile solo in modalità batch, la versione aggiornata può essere impiegata in simulatori in tempo reale. Per ottenere ciò, sono state modificate le interfacce di connessione per la strumentazione e controllo e per i sottosistemi termoidraulici e neutronici, ed è stata implementata la parallelizzazione su multiprocessore con possibilità di recupero delle condizioni iniziali.

Il codice CATHARE è in continuo sviluppo: ogni insieme di modelli fisici che viene di volta in volta implementato è detto *revisione*. La versione più recente V2.5_2 del codice CATHARE 2 è anche provvista di nuovi moduli adatti per i reattori a gas (High Temperature Reactor HTR, Gas Turbine Modular Helium Reactor "GT MHR"), per la simulazione di turbine a gas o compressori, per la rappresentazione dell'edificio di contenimento e della sua interazione con il circuito primario, etc.

Il primo simulatore di IRSN del 1992 era basato sul codice di sistema CATHARE-SIMU. Tale simulatore, detto SIPA2, era in grado di simulare i reattori del parco nucleare francese di 900 e 1300 MWe con una precisione di circa 200 meshes in real-time (con possibilità di simulare in tempo accelerato). Esso è in grado di simulare un vasto range di stati, dal 100% della potenza nominale al cold shutdown. Nel 2002, è stato introdotto un nuovo codice di sistema, il CATHARE 2, per modellizzare la configurazione 900 MW. Il nuovo simulatore, chiamato SCAR, raggiunge un'accuratezza di 870 meshes in condizioni real-time (tranne nel caso di large break). Anche in tal caso la simulazione consente di passare dallo stato al 100% di potenza nominale fino al cold shutdown per manutenzione.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 014	0	R	13	112

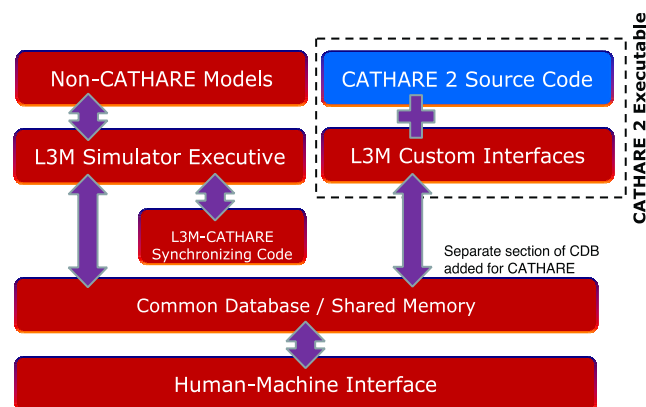
Il simulatore attuale SOFIA è stato progressivamente implementato per i differenti tipi di reattore operativi in Francia (900, 1300 e 1450 MWe), mentre si sta ultimando l'implementazione della configurazione dell'EPR, il nuovo reattore francese di AREVA in fase di costruzione a Flamanville.

Tale progetto di rinnovamento, la cui ultimazione è prevista per la fine del 2011, è stata divisa in due fasi: nella prima fase, come codice di sistema è stato impiegato TRACAS+ (circa 300 meshes). La simulazione è possibile in modalità tempo-reale e tempo-accelerato. È possibile effettuare simulazioni dallo stato di massima potenza nominale al cold shutdown. A partire dal 2009, TRACAS+ è stato sostituito da CATHARE 2, che ha consentito un miglioramento dell'accuratezza di simulazione da 800 a 1000 meshes, con la possibilità di modellizzare i sistemi di raffreddamento primario e secondario, tre tipi di gas non condensabili (H₂, O₂, N₂), l'attività di Boro, Iodio-131 e Azoto-16.

Dal punto di vista software, SOFIA è stato sviluppato in collaborazione con L-3 COMMUNICATIONS MAPPS, una *software company* canadese che ha operato la migrazione delle configurazioni e dei modelli di simulazione relativi ai reattori dell'attuale parco francese CP2 (900 MWe, 3-loop), DPY (1,300 MWe, 4-loop) e N4 (1,450 MWe, 4-loop), già sviluppati su tecnologia UNIX, nella nuova piattaforma WINDOWS che sfrutta l'ambiente di simulazione OrchidME [2].

Integrando il codice di sistema CATHARE nell'ambiente di simulazione OrchidME è possibile generare un programma eseguibile che si collega al database comune, permettendo così di connettere le interfacce con i modelli del simulatore, sincronizzare l'esecuzione di ogni interazione e la gestione di funzioni specifiche (e.g. load/unload, freeze/unfreeze, store/restore). Ad ogni time step, il programma di controllo gestisce la chiamata alle funzioni specifiche (subroutine) e al codice CATHARE. Per consentire una gestione efficace del database comune e l'implementazione del CATHARE all'interno dell'ambiente di simulazione di L-3 MAPPS, sono state necessarie delle lievi modifiche software al codice CATHARE standard. La versione del codice sviluppata per il simulatore SOFIA è la 9.1, implementata in CATHARE 2 V2.5_1 [2], disponibile alla distribuzione per i soli partner francesi. (Fig. 7).

Il simulatore SOFIA impiega un sistema hardware di 8-CPU: 6 dedicate alla simulazione CATHARE, 1 per gli eseguibili L-3 MAPPS e 1 per lo Human-Machine Interface. Questo set-up consente di gestire tutti i transitori in tempo reale.





 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 014	0	R	14	112

Fig. 7. Descrizione del simulatore (integrazione di CATHARE 2)

SOFIA può svolgere simulazioni in condizioni normali di funzionamento e in condizioni incidentali/accidentali: start-up & shutdown, load following, house load, loss of power, loss of heat sink, loss of feedwater systems, primary & secondary circuit breaks, 100% power to cold shutdown states for maintenance (primary circuit opened), accident up to cladding temperature ~2200°F (~1200°C).

È inoltre possibile simulare, oltre a tutti i sistemi dell'isola nucleare, anche quelli dell'isola convenzionale: integrazione tra neutronica e processi termoidraulici, strumentazione e controllo per l'operatività e la sicurezza, distribuzione elettrica, edificio di contenimento.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 014	0	R	15	112

Attività di formazione ad opera dell'IRSN

1. Formazione SIPA

Il simulatore SIPA è operativo in IRSN fin dal 1992 ed è stato utilizzato fino ad oggi per lo studio del comportamento termoidraulico dei PWR da 900 MWe e da 1300 MWe in condizioni di normale esercizio e di funzionamento accidentale ed incidentale. Esso lavora in ambiente Linux. Il codice termoidraulico integrato al suo interno CATHARE-SIMU. Questo ultimo è un codice di calcolo termoidraulico direttamente derivato da CATHARE 1 caratterizzato da due fluidi e 6 equazioni per i circuiti primario e secondario. La nodalizzazione del reattore contenuta dentro al SIPA è costituita da circa 200 meshes. Attualmente su esso vengono realizzati, da parte del personale IRSN, gli esercizi pratici da utilizzare per i periodi di training che periodicamente vengono tenuti. Questi periodi di formazione prevedono la realizzazione degli esercizi di normale funzionamento dell'impianto nucleare (SP0) e di funzionamento accidentale (SP1).

Il gruppo SP0 è costituito da 7 differenti esercitazioni, che riguardano il normale funzionamento dell'impianto nucleare, che vengono elencate di seguito:

- Salita in pressione e temperatura
- Formazione della bolla
- Deconnessione del sistema RRA
- Passaggio in condizioni di arresto a caldo
- Divergenza
- Piena potenza
- Raffreddamento e depressurizzazione.


Il gruppo SP1 è costituito da una serie di esercitazioni che servono a mettere in luce il comportamento dell'impianto nucleare in caso di deviazione dal suo normale funzionamento. In esso sono quindi raggruppati gli incidenti per famiglia, tra esse ricordiamo:

- Incidenti di perdita di refrigerante primario (LOCA)
- Incidente di perdita di refrigerante attraverso i tubi dei generatori di vapore (SGTR)
- Incidente di rottura della linea principale di vapore (MSLB).

Vale la pena di sottolineare che così come previsto dall'STC stipulato tra ENEA ed IRSN il lavoro svolto ha riguardato l'esecuzione delle sole esercitazioni di LOCA.

2. Formazione SOFIA

SOFIA, la nuova versione del simulatore installata in IRSN fin dal 2006, simula il comportamento termofluidodinamico di un impianto PWR da 900 MWe (CP2, 3 loop), da 1300 MWe (DPY, 4 loop), da 1450 MWe (N4, 4 loop) e da 1600 MWe (EPR, 4 loop) in condizioni sia di normale esercizio che incidentale. Esso è sviluppato per lavorare in ambiente Windows.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 014	0	R	16	112

Il simulatore SOFIA utilizza la versione 2.5_1 del codice termoidraulico CATHARE e una nodalizzazione dell'impianto nucleare che contiene circa un numero di meshes compreso tra 800 e 1000.

Questa nuova versione del simulatore, che verrà utilizzata negli anni a seguire per condurre gli esercizi pratici dei periodi di training (SP0 e SP1), necessita quindi di un lavoro di validazione, nell'ambito del quale si colloca l'attività svolta i cui principali risultati vengono riportati nell'allegato LP1_D1A .

3. Formazione EPR

Al fine di affrontare al meglio la seconda parte del programma di lavoro che prevede per entrambi i ricercatori di affrontare la configurazione EPR, è stata offerta loro la possibilità di partecipare al corso di formazione intensivo che annualmente AREVA (azienda che produce l'EPR) tiene per gli esperti dell'IRSN. Il corso, della durata di due settimane full immersion, affronta tutti i temi del nuovo reattore francese, offrendo anche la possibilità di svolgere raffronti e comparazioni con i modelli precedenti e con analoghi prodotti concorrenti.

Qui di seguito, a scopo di esempio, viene riportata una sintesi del programma che ha visto alternarsi una decina di docenti davanti a una dozzina di corsisti.

Programma del corso

- Descrizione generale del reattore
- Descrizione dei sottosistemi
- Principi di sicurezza impiegati nel progetto
- Descrizione tecnica dei sistemi funzionali del primario
- Descrizione tecnica dei sistemi funzionali del secondario
- Descrizione tecnica funzionale del sistema di distribuzione elettrica
- Descrizione tecnica funzionale del sistema di controllo e comando
- Descrizione tecnica della strumentazione in core
- Funzionamento dell'EPR in condizioni normali
- Funzionamento dell'EPR in condizioni incidentali e accidentali

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 014	0	R	17	112

Analisi di transitori LOCA: Confronto tra simulatore SIPA e simulatore SOFIA

Il programma di lavoro definito ha riguardato la riproduzione sul simulatore SOFIA delle esercitazioni usate per il periodo di training precedentemente condotte sul vecchio simulatore SIPA. In particolare si è concordato di riprodurre i transitori incidentali identificati con la sigla SP1. Tali transitori ,del tipo LOCA (Loss Of Coolant Accident), sono stati simulati prima sul vecchio simulatore SIPA e poi riprodotti sul SOFIA. La nodalizzazione CATHARE 2 di impianto utilizzata sul SOFIA è quella di un impianto nucleare del tipo PWR a 4 loop e con potenza nominale di 1300 MWe mentre per il SIPA si è scelto a riferimento una nodalizzazione di impianto SIMU- CATHARE di un tipico PWR da 1300 MWe.

Si è deciso di riprodurre 10 differenti transitori di LOCA (S120 - S129) prima in SIPA, inizialmente con una configurazione di impianto chiamata PQYEPS2 e poi con una configurazione di impianto denominata PQYTMOY2, e poi in SOFIA, con una configurazione di impianto detta DPY, al fine di mettere in luce gli effetti:

- della differente localizzazione della rottura (gamba calda, gamba fredda, pressurizzatore, fondo vessel),
- delle dimensioni della rottura (2, 3, 6 or 12 inches),
- differenti ipotesi di evoluzione dei transitori (differenti tempi di stop delle pompe del circuito primario, disponibilità o meno dei sistemi di refrigerazione di emergenza).

In allegato 1 vengono riportati i principali passi fatti per arrivare alla conclusione del lavoro, nonché le motivazioni di varie scelte effettuate durante lo svolgimento dello stesso e i principali risultati di tale attività di ricerca.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 014	0	R	18	112

Valutazione dell'autonomia dei sistemi di alimentazione di emergenza del generatore di vapore in situazione accidentale: confronto tra ambienti di sviluppo ROSE2.4 e ORCHIDME

Il programma di lavoro svolto dall'Ing. Mauro Cappelli ha riguardato, dopo una rapida ma completa formazione tecnica sul funzionamento dei due simulatori SIPA e SOFIA, prevalentemente, in una prima fase, lo studio e l'impiego dell'ambiente di modellazione OrchidME (alla base del simulatore SOFIA) per l'aggiornamento di modelli di termoidraulica già sviluppati nel vecchio ambiente di modellazione ROSE2.4 (alla base del simulatore SIPA).

Tale ambiente di modellazione Orchid® ME (Orchid® Modeling Environment) è sviluppato e utilizzato dalla società di simulazione canadese L3 COMMUNICATIONS MAPPS per la realizzazione di simulatori in numerosi domini industriali: energia nucleare e termodinamica, aviazione, marina, etc.

Tale ambiente software *general purpose* permette la creazione di circuiti termoidraulici, elettrici e logici a partire da librerie che contengono modelli o blocchi di base (p.e. pompe, valvole, porte logiche, interruttori,...). La connessione di tali blocchi elementari all'interno di uno schema circuitale permette d'assemblare il codice sorgente di ciascun blocco, di compilarlo e eseguirlo (integrando se necessario anche software esterno, caratteristica molto utile per personalizzare i modelli e renderli più modulari).

Notiamo che è proprio tale azienda di sviluppo, L3 COMMUNICATIONS MAPPS (L3MAPPS), ad aver sviluppato il nuovo simulatore SOFIA insieme a IRSN e AREVA. Pertanto, una grandissima parte dei modelli nel nuovo simulatore SOFIA sono stati sviluppati proprio con l'ambiente OrchidME.


Al fine di acquisire conoscenze e competenze, nella prima fase è stato necessario studiare il funzionamento base e avanzato dell'ambiente di simulazione OrchidME. Nel far questo, un supporto operativo è stato offerto da alcuni membri dell'équipe di simulazione che avevano esperienza su ROSE2.4 e dall'équipe di sviluppo L3MAPPS presente in Canada.

Una volta acquisita le necessarie conoscenze per consentire di modificare le librerie del sistema attraverso routine di calcolo in linguaggio C o FORTRAN allo scopo di customizzare i modelli di simulazione, è stato possibile affrontare il problema fisico specifico.

Il problema affrontato ha riguardato lo sviluppo di un modello di simulazione già impiegato nel simulatore SIPA e sviluppato attraverso l'ambiente di sviluppo relativo ROSE2.4 (basato su piattaforma UNIX), oggi ritenuto obsoleto sia da un punto di vista hardware sia da un punto di vista software, motivo per il quale ne è stato deciso l'ammodernamento nel momento in cui è stato progettato il nuovo simulatore SOFIA (basato su piattaforma Windows).

Tale modello simula il comportamento dei sistemi ausiliari di alimentazione del Generatore di Vapore in condizioni di mancanza di elettricità a causa di alluvione degli spazi del secondario.

Il problema è stato affrontato simulando i componenti idraulici, elettrici e logici necessari a descrivere in modo rigoroso e completo la situazione fisica (tubature, pompe, riserve d'acqua,

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione NNFISS – LP1 - 014	Rev. 0	Distrib. R	Pag. 19	di 112
--	---	------------------	----------------------	-------------------	------------------

sistemi di controllo,...) e osservando l'autonomia garantita da tali sistemi ausiliari (sostanzialmente dei contenitori d'acqua che agiscono in assenza di liquido immesso attraverso il sistema condensatore del secondario).

Le simulazioni hanno riguardato i vari tipi di impianto presenti nell'attuale parco francese (reattori ad acqua pressurizzata con potenze di 900, 1300 e 1450 MWe) e sono state fatte simulazioni al variare delle condizioni d'impianto e studiando la sensibilità ai parametri in gioco.

In allegato sono riportati i risultati completi relativi all'impianto N4 (1450 MWe) con una descrizione sia del modello fisico sia delle procedure software necessarie alla simulazione.

Occorre notare che per motivi di riservatezza, molti dei dati sugli impianti non sono disponibili in allegato in quanto proprietà intellettuale dell'IRSN.


 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 014	0	R	20	112

Conclusioni


I principali risultati dell'attività di validazione del simulatore SOFIA condotta nell'ambito della collaborazione internazionale tra ENEA e IRSN sono contenuti negli allegati a questo documento. Tale attività ha consentito a due ricercatori dell'ENEA di formarsi in modo professionale e tecnologicamente avanzato su gran parte delle problematiche legate allo sviluppo e uso di un simulatore ingegneristico, specialmente per quanto riguarda le tematiche legate alla sicurezza. Grazie alla disponibilità degli esperti e delle strutture dell'IRSN, il periodo di un anno che i due ricercatori dell'ENEA hanno trascorso alla sede dell'Istituto della Sicurezza Nucleare francese ha loro consentito di acquisire molte delle competenze necessarie a gestire lo sviluppo e l'impiego di un simulatore ingegneristico. Tali competenze potrebbero rivelarsi fondamentali nel caso in cui l'Agenzia intenda dotarsi di un tale tipo di simulatori. I due ricercatori hanno lavorato unicamente su configurazioni relative a reattori dell'attuale parco francese e di quello futuro previsto. Ciò non rappresenta una limitazione dal punto di vista conoscitivo, in quanto l'acquisizione delle competenze sia tecniche sia metodologiche ha seguito un percorso di tipo generale e, in quanto tale, applicabile a qualsiasi tipologia di reattore o di centrale (con minime modifiche implementative, qualora se ne presenti la necessità). L'attività svolta ha coperto vari ambiti sia dal punto di vista tecnologico (impiego di software diversi) sia da quello scientifico (studio di transitori in condizioni normali e incidentali, studio di processi fisici di termoidraulica e neutronica). In particolare, l'attività svolta dall'Ing. Lombardo è stata sviluppata con l'obiettivo di riprodurre, tramite l'impiego del simulatore SOFIA, gli esercizi utilizzati dai colleghi dell'IRSN per i corsi di formazione: esercizi fino ad oggi condotti tramite l'impiego del vecchio simulatore SIPA. Più precisamente sono stati simulati i transitori incidentali inglobati nell'unità SP1: in particolare i transitori di LOCA. Il lavoro condotto è consistito nel riprodurre i 10 transitori di LOCA tramite l'impiego dei simulatori SIPA e SOFIA e nel confrontare i risultati ottenuti, consentendo ai colleghi dell'IRSN di decidere se i transitori riprodotti dal SOFIA risultassero o meno soddisfacenti. I principali risultati di tale attività, ci consentono di mettere in luce i differenti comportamenti dei due simulatori di seguito riportati ed inerenti:

- i modelli dei SGs in essi inglobati ;
- le differenti elevazioni del punto di iniezione dei sistemi ASG ;
- le portate attraverso la rottura;
- gli aspetti termici, in particolare alle temperature della guaina;
- le linee di scarico degli accumulatori.

Tutti i punti sopra riportati saranno argomento di studio da parte dei colleghi dell'IRSN, al fine di comprenderne perfettamente le ragioni (differenti nodalizzazioni, differenti modelli fisici inglobati in CATHARE...). L'attività svolta dall'Ing. Cappelli si è invece rivolta allo studio di un nuovo ambiente di sviluppo per la modellazione termoidraulica, elettrica e di confinamento di una centrale nucleare. Tale ambiente costituisce il software di base per lo sviluppo di modelli nel nuovo simulatore SOFIA. Essendo tale simulatore in fase di sviluppo, l'Ing. Cappelli è stato praticamente il primo tecnico del gruppo di sviluppo dell'IRSN a lavorare direttamente sul nuovo programma. Ciò se da un lato ha portato a qualche difficoltà iniziale nella risoluzione di problemi non previsti dal programma di lavoro, d'altro lato ha portato nel tempo ad acquisire una buona padronanza nella creazione in autonomia di modelli in grado di riprodurre fenomeni fisici complessi che avvengono all'interno di una centrale. Il modello studiato -analisi dell'autonomia dei sistemi di alimentazione ausiliaria del generatore

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione NNFISS – LP1 - 014	Rev. 0	Distrib. R	Pag. 21	di 112
--	---	------------------	----------------------	-------------------	------------------

di vapore in condizioni incidentali-, ha evidenziato un'ottima rispondenza del nuovo ambiente di simulazione rispetto al vecchio, con scarti percentuali trascurabili o comunque accettabili in virtù dei diversi modelli numerici impiegati nei due ambienti. Il modello così sviluppato, descritto nell'allegato in appendice, servirà ai colleghi dell'IRSN per future analisi di sicurezza. La procedura seguita, inoltre, essendo il frutto di una serie di problematiche tecniche e scientifiche affrontate e risolte per la prima volta, servirà come guida di base per lo sviluppo di ogni successiva modellazione da parte dei colleghi francesi, che potranno consultarla a mo' di manuale operativo per la customizzazione di modelli di libreria.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 014	0	R	22	112

Bibliografia

[1] <http://www-cathare.cea.fr/>

[2] Cappon H., Dufeil Ph., Veilleux L., Integration of the CATHARE 2 Safety Analysis Code on the SOFIA Engineering Simulators, *Proceedings of 2010 PowerPlantSim Conference*, San Diego (USA), 21-26 February 2010

[3] ENEA; IRSN: STC Agreement n 03, VALIDATION AND DEVELOPMENT ACTIVITY OF THE SOFIA SIMULATOR

Acronimi

BMGS	Bureau de développement de Méthodes et Group Simulateur
DSR	Division de Sûreté du Reacteur (IRSN)
MSLB	Main Steam Line Break
PSA	Probabilistic Safety Assessment
PWR	Pressurized Water Reactor
SIPA	Simulateur Post-Accidentel
SOFIA	Simulator for Observation of Functioning during Incident and Accident
STGR	Steam Generator Tube Rupture
ST3C	Service de Thermohydraulique, Contrôle, Coeur, Combustible

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 014	0	R	23	112

ALLEGATO 1

ATTIVITA DI VALIDAZIONE E SVILUPPO DEL SIMULATORE SOFIA


Nella progettazione di centrali nucleari, è necessario che vari eventi operativi siano presi in considerazione e che le conseguenze di tali eventi vengano analizzate in modo da potere progettare adeguati sistemi di mitigazione [3]. Il normale funzionamento dell'impianto può essere considerato come un insieme di operazioni che devono essere condotte all'interno di determinati limiti e nel rispetto di fissate condizioni operative. Le condizioni incidentali possono invece essere divise in incidenti base di progetto (DBA) e incidenti severi. Nel caso in cui l'impianto venga a trovarsi in condizioni incidentali sono previsti dei criteri di accettazione che devono essere soddisfatti.

Uno degli incidenti base della progettazione per i reattori raffreddati ad acqua è la perdita di refrigerante causata da una rottura di grandi dimensioni di un tubo del circuito primario. In particolare, per il reattore ad acqua pressurizzata l'evento iniziatore dell'incidente base di progetto (LOCA) è la rottura a ghigliottina di uno dei tubi del primario nel tratto compreso tra il vessel e la pompa di circolazione principale. Al fine di mitigare le conseguenze di questo tipo di incidente, è necessario che il reattore è necessario equipaggiare il reattore con diversi sistemi di refrigerazione di emergenza. Al momento della definizione dei DBAs, alla fine degli anni sessanta inizio anni settanta, è stato generalmente accettato che al fine di minimizzare le conseguenze radiologiche al pubblico fosse necessario impedire la fusione del combustibile evitandone un'eccessiva dispersione. E' stato quindi necessario progettare i sistemi di di emergenza del core in modo che il combustibile potesse essere raffreddato in modo efficiente durante tutte le fasi incidentali di ogni DBAs. Questa esigenza ha portato naturalmente alla definizione di un criterio secondo il quale il combustibile debba mantenere una geometria "coolable" durante l'intera sequenza del LOCA ma non necessariamente una integrità strutturale. Per questi motivi è di fondamentale importanza comprendere, in modo esaustivo, tutte le fenomenologie tipiche di questo incidente e gli effetti dovuti alla localizzazione delle perdite, alla dimensione della rottura, ecc

A.1 ANALISI CONDOTTE

Come accennato, il programma di lavoro definito ha riguardato la riproduzione sul simulatore SOFIA delle esercitazioni usate per il periodo di training precedentemente condotte sul vecchio simulatore SIPA. In particolare si è concordato di riprodurre i transitori incidentali identificati con la sigla SP1. Tali transitori, del tipo LOCA (Loss Of Coolant Accident), sono stati simulati prima sul vecchio simulatore SIPA e poi riprodotti sul SOFIA. La nodalizzazione CATHARE 2 di impianto utilizzata sul SOFIA è quella di un impianto nucleare del tipo PWR a 4 loop e con potenza nominale di 1300 MWe mentre per il SIPA si è scelto a riferimento una nodalizzazione di impianto SIMU- CATHARE di un tipico PWR da 1300 MWe.

Si è deciso di riprodurre 10 differenti transitori di LOCA (S120 - S129) prima in SIPA, inizialmente con una configurazione di impianto chiamata PQYEPS2, e poi in SOFIA, con una configurazione di impianto detta DPY, al fine di mettere in luce gli effetti:

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 014	0	R	24	112

- della differente localizzazione della rottura (gamba calda, gamba fredda, pressurizzatore, fondo vessel),
- delle dimensioni della rottura (2, 3, 6 or 12 inches),
- differenti ipotesi di evoluzione dei transitori (differenti tempi di stop delle pompe del circuito primario, disponibilità o meno dei sistemi di refrigerazione di emergenza).

Vale la pena di sottolineare che la configurazione di impianto denotata con PQYEPS2 è tipica di un impianto nucleare a 4 loop da 1300 MWe della serie P4 (appartenente quindi all'attuale parco francese). In tale tipo di impianto la regolazione viene eseguita sulla base del punto di lavoro del pressurizzatore caratterizzato da valori di $T_{moymax} = 310.7^{\circ}\text{C}$ e di livello pari al 57.5% , vedi Fig. 6.

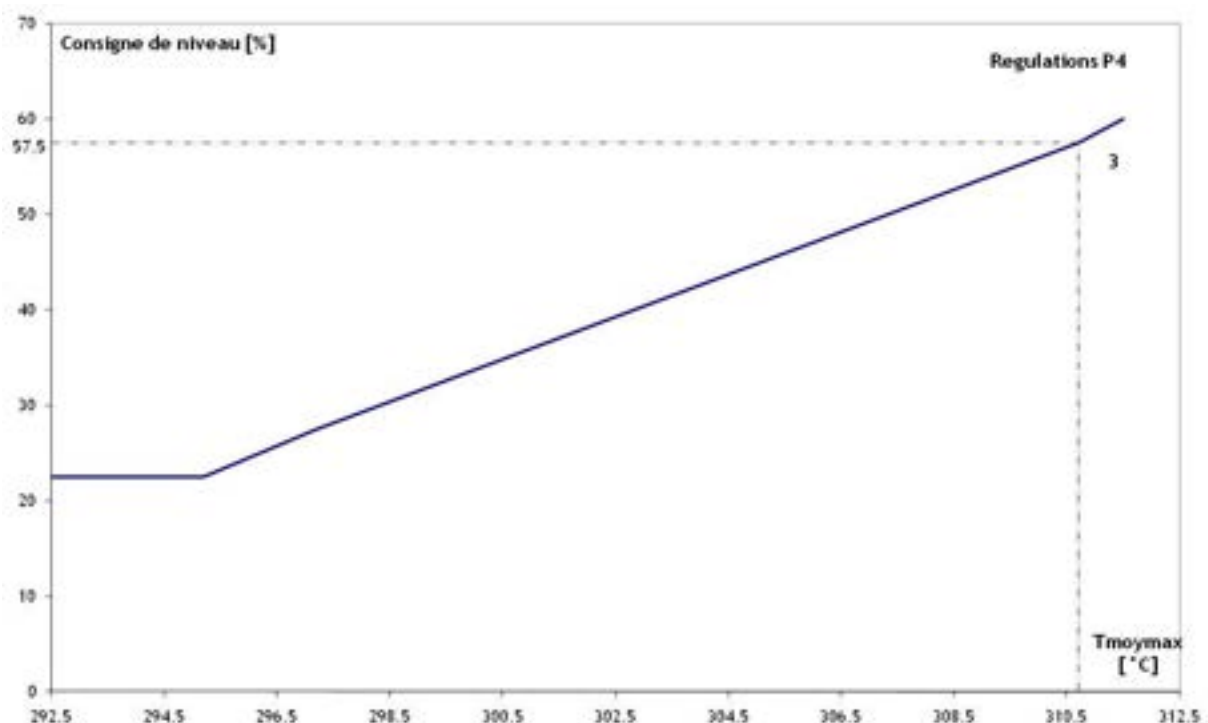


Fig.6: Livello del pressurizzatore in funzione della Tmoymax per PQYEPS2.

La configurazione di impianto denotata con DPY ed installata sul SOFIA è tipica di un impianto nucleare a 4 loop da 1300 MWe della serie P'4 (appartenente anche esso all'attuale parco francese). La sua regolazione è eseguita sulla base del punto di lavoro del pressurizzatore caratterizzato da valori di $T_{moymax} = 308.5^{\circ}\text{C}$ e di livello pari al 44.5% (vedi Fig. 7).

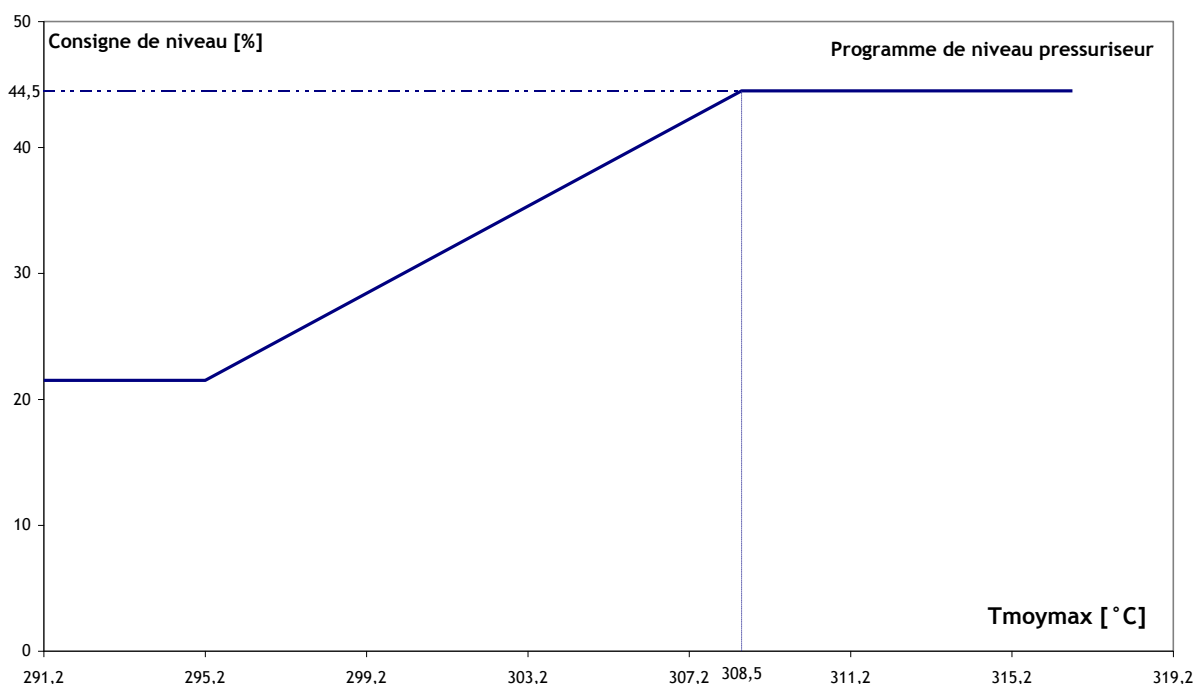


Fig. 7: Livello del pressurizzatore in funzione della Tmoymax per DPY.

Questa prima differenza tra le configurazioni PQYEPS2 e DPY ci ha condotti a riprodurre tutti e dieci i transitori su un'altra configurazione di impianto installata sul SIPA chiamata PQYTMOY2: quest'ultima caratterizzata da valori di Tmoymax = 306.7°C e di livello pari al 40.9 %. Tale configurazione, installata sul SIPA, non era mai stata utilizzata per preparare i corsi di training che periodicamente vengono tenuti dal personale IRSN.

La lista dei transitori simulati è riportata nella Tab.1.

Transitory name	
S 120	LOCA 1" IN CL 1 WITH ASG NOT AVAILABLE
S 121	LOCA 1" IN CL 1 WITH ASG AVAILABLE
S 122	LOCA 3" IN CL 1 WITH ASG NOT AVAILABLE AND MCPs STOP
S 123	LOCA 4" IN CL 1 WITH ASG NOT AVAILABLE
S 124	LOCA 4" IN CL 1 WITH ASG NOT AVAILABLE AND MCPs STOP
S 125	LOCA 6" IN CL 1 WITH RIS AND IS1 NOT AVAILABLE AND MCPs STOP
S 126:	LOCA 6" IN CL 1 WITH RIS AND IS1 NOT AVAILABLE
S 127	LOCA 3" IN HL 1 WITH ASG NOT AVAILABLE AND MCPs STOP
S 128	LOCA 3" IN PRZ WITH ASG NOT AVAILABLE AND MCPs STOP
S 129	LOCA 3" IN LRV WITH ASG NOT AVAILABLE AND MCPs STOP

Le condizioni iniziali per i transitori S 120 – S 124 e S 127 - S 129, per tutte le configurazioni di impianti, sono riportate in Tab 2.

Condizioni iniziali	PQYEPS2 - SIPA	PQYTMOY – SIPA	DPY - SOFIA
Power [MWe]	3875	3876	3880
Neutron Power [%]	102	102	102
Tmoy max	310.1	306.6	308.17
P _{PRZ} [bar]	154.0	153.8	155.5
P _{VVP} [bar]	71.0	66.9	69.4
C _b [ppm]	103.9	155	1158

Le condizioni iniziali per i transitori S 125 e S 126, per tutte le configurazioni di impianti, sono riportate in Tab 3.

Condizioni iniziali	PQYEPS2 - SIPA	PQYTMOY – SIPA	DPY - SOFIA
Power [MWe]	3779	3797	3818
Neutron Power [%]	100	99.9	100.37
Axial offset [%]	17.2	-1.1	-1.52
P _{PRZ} [bar]	154.0	154	154.8
P _{VVP} [bar]	69.8	67.9	71.7
C _b [ppm]	161.8	155	1158

La Fig.8 mostra la localizzazione della rottura per tutti i transitori simulati.

Il primo fondamentale aspetto del lavoro condotto è consistito nell'individuazione dei parametri necessari per la piena comprensione delle fenomenologie tipiche del LOCA. Per questa ragione sono stati individuati tali parametri, sia il SIPA che per il SOFIA, che vengono riportati in Tab 4.

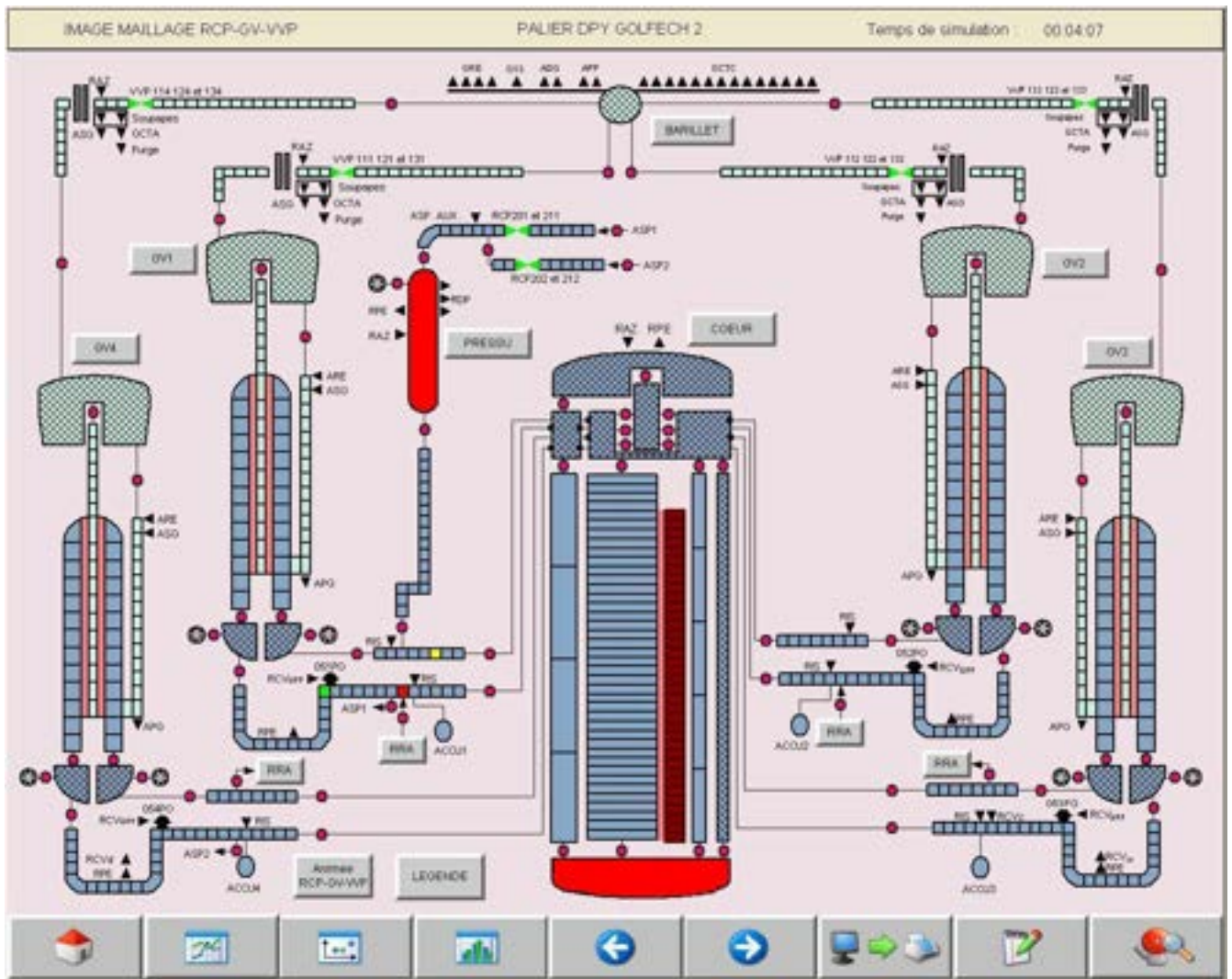


Fig.8: Localizzazione della rottura per tutti i transitori.

SOFIA		SIPA	
RIS011MN	[M ³]	RIS011MN	[M]
RIS012MN	[M ³]	RIS012MN	[M]
RCP104MT	[°C]	RCP104MT	[°C]
RCP204MT	[°C]	RCP204MT	[°C]
RCP304MT	[°C]	RCP304MT	[°C]
RCP404MT	[°C]	RCP404MT	[°C]
RCP100MT	[°C]	RCP100MT	[°C]
RCP200MT	[°C]	RCP200MT	[°C]

RCP300MT	[°C]	RCP300MT	[°C]
RCP400MT	[°C]	RCP400MT	[°C]
EAS001MD	[M ³ /h]	EAS001MD	[M ³ /h]
EAS002MD	[M ³ /h]	EAS002MD	[M ³ /h]
RIC122KM	[°C]	TRICMAX	[°C]
RIC121KM	[°C]	TRICMAX	[°C]
RIC112KM	[°C]	BCHTSAT1	[°C]
RIC111KM	[°C]	BCHTSAT1	[°C]
RIC102KM	[°C]	BCHTSAT2	[°C]
RIC101KM	[°C]	BCHTSAT2	[°C]
RICCUVAN	[%]	RCP039MN:NMES	[%]
RICCUVBN	[%]	RCP039MN:NMES	[%]
VVP104MP	[Bar]	VVP104MP	[Bar]
VVP204MP	[Bar]	VVP204MP	[Bar]
VVP304MP	[Bar]	VVP304MP	[Bar]
VVP404MP	[Bar]	VVP404MP	[Bar]
ARE104MN	[%]	ARE104MN	[%]
ARE204MN	[%]	ARE204MN	[%]
ARE304MN	[%]	ARE304MN	[%]
ARE404MN	[%]	ARE404MN	[%]
RPN014MA	[C/S]	RPN014MA3_VA/S	[C/S]
RPN024MA	[C/S]	RPN024MA3_VA/S	[C/S]
RPN034MA	[C/S]	RPN034MA3_VA/S	[C/S]
RPN044MA	[C/S]	RPN044MA3_VA/S	[C/S]
RPN013MA	[A]	RPN013MA3_VA/S	[A]
RPN023MA	[A]	RPN023MA3_VA/S	[A]
RPN033MA	[A]	RPN033MA3_VA/S	[A]
RPN043MA	[A]	RPN043MA3_VA/S	[A]
ASG101MD	[M ³ /h]	ASG101MD	[M ³ /h]
ASG201MD	[M ³ /h]	ASG201MD	[M ³ /h]
ASG301MD	[M ³ /h]	ASG301MD	[M ³ /h]
ASG401MD	[M ³ /h]	ASG401MD	[M ³ /h]
ASG001MN	[M ³]	ASG001MN	[M ³]

PTR013MN	[M ³]	PTR013MN	[M ³ /h]
RCV048MD	[M ³ /h]	RCV048MD	[M ³ /h]
RCV009MD	[M ³ /h]	RCV009MD	[M ³ /h]
RCV130MD	[L/h]	RCV130MD	[M ³ /h]
RCV230MD	[L/h]	RCV230MD	[M ³ /h]
RCV330MD	[L/h]	RCV330MD	[M ³ /h]
RCV430MD	[L/h]	RCV430MD	[M ³ /h]
FRACORAQ	[MW]	BCHPU:PUISSANCE	[MW]
RCV102MD	[L/h]	RCV102MD	[L/h]
RCV202MD	[L/h]	RCV202MD	[L/h]
RCV302MD	[L/h]	RCV302MD	[L/h]
RCV402MD	[L/h]	RCV402MD	[L/h]
RIS001MP	[Bar]	RIS001MP8_VA:S	[Bar]
KRT001MA	[Mg/H]	KRT061MA_VS:S	[RD/H]
KRT101MA	[Mg/H]	KRT061MA_VS:S	[RD/H]
KRT102MA	[Mg/H]	KRT061MA_VS:S	[RD/H]
KRT201MA	[B/kg]	KRT011MA_VS:S	[C/S]
KRT202MA	[B/kg]	KRT012MA_VS:S	[C/S]
KRT203MA	[B/kg]	KRT013MA_VS:S	[C/S]
KRT204MA	[B/kg]	KRT014MA_VS:S	[C/S]
KRT401MA	[B/ M ³]	KRT037/39MA_VS:S	[C/S]
MPCAT_ACCU1_LIQMASS	[Kg]	BCHCNX16	[Kg]
MPCAT_ACCU2_LIQMASS	[Kg]	BCHCNX17	[Kg]
MPCAT_ACCU3_LIQMASS	[Kg]	BCHCNX18	[Kg]
MPCAT_ACCU4_LIQMASS	[Kg]	BCHCNX19	[Kg]
MPCAT_GV1_LIQMASS		BCHCNX24	[Kg]
MPCAT_GV1_STEAMASS			
MPCAT_GV1_TOTPOWET	[W]	GENVAP1	[W]
MPCAT_GV2_LIQMASS	[Kg]	BCHCNX25	[Kg]
MPCAT_GV2_STEAMASS			
MPCAT_GV2_TOTPOWET	[W]	GENVAP2	[W]
MPCAT_GV3_LIQMASS	[Kg]	BCHCNX26	[Kg]
MPCAT_GV3_TOTFLOW			

MPCAT_GV3_TOTPOWET	[W]	GENVAP3	[W]
MPCAT_GV4_LIQMASS	[Kg]	BCHCNX27	[Kg]
MPCAT_GV4_TOTFLOW			
MPCAT_GV4_TOTPOWET		GENVAP4	[W]
MPCAT_CCOEURM_CLADTMAX		TPTGAINEMAX	[°C]
MPCAT_CCOEURM_CORAQ			
MPCAT_CCOEURM_UO2CMAX		TPT UO2 MAX	[°C]
MPCAT_BREFROI1_ALFA			
MPCAT_BREFROI1_GASFLOW			
MPCAT_BREFROI1_GASH			
MPCAT_BREFROI1_LIQFLOW			
MPCAT_BREFROI1_LIQH			
MPCAT_BRECFOND_ALFA			
MPCAT_BRECFOND_GASFLOW			
MPCAT_BRECFOND_GASH			
MPCAT_BRECFOND_LIQFLOW			
MPCAT_BRECFOND_LIQH			
MPCAT_BRECHAU1_ALFA			
MPCAT_BRECHAU1_GASFLOW			
MPCAT_BRECHAU1_GASH			
MPCAT_BRECHAU1_LIQFLOW			
MPCAT_BRECHAU1_LIQH			
MPCAT_BRECHAU1_TOTFLOW		CAT1BBTU:W	[Kg/s]
MPCAT_BREFROI1_TOTFLOW		CAT1BBTU:W	[Kg/s]
MPCAT_BRECFOND_TOTFLOW		CAT0BFCTU:W	[Kg/s]
MPCAT_BRECPRES_ALFA			
MPCAT_BRECPRES_GASFLOW			
MPCAT_BRECPRES_GASH			
MPCAT_BRECPRES_LIQFLOW			
MPCAT_BRECPRES_LIQH			
MPCAT_BRECPRES_TOTFLOW		CAT0PBRTU:W	[Kg/s]
RIS047DA		RIS047DA	
RIS048DA		RIS048DA	

RIS027DA		RIS027DA	
RIS028DA		RIS028DA	
RISIF1AW		RIS1BFTU	[kg/s]
RISIF2AW		RIS2BFTU	[kg/s]
RISIF3AW		RIS3BFTU	[kg/s]
RISIF4AW		RIS4BFTU	[kg/s]
RIS005TA		RIS005MT	
MPCAT_ARE108MN_NIVEAU		ARE108MN	
MPCAT_ARE208MN_NIVEAU		ARE208MN	
MPCAT_ARE308MN_NIVEAU		ARE308MN	
MPCAT_ARE408MN_NIVEAU		ARE408MN	
MPCAT_CIRCPRIM_LIQMASS		BCHNX28	
MPCAT_CIRCPRIM_STEAMASS		BCHNX28	
RCPGRTMM	[°C/H]	RCP005DR	[°C/H]
MPCAT_CAT005_TOTFLOW		CAT005TU	
MPCAT_CAT006_TOTFLOW		CAT006TU	
MPCAT_CAT007_TOTFLOW		CAT007TU	

Tab 3: Lista delle variabili per SIPA e SOFIA.

5. RISULTATI

Nel presente paragrafo vengono riportati, per ciascuno dei transitori realizzati, il confronto delle principali variabili ottenute applicando SIPA (PQYEPS2 e PQYTMOY2) e SOFIA (DPY).

5.1 TRANSITORIO S 120

Il transitorio S 120 è un LOCA di 1”in gamba fredda, localizzato tra MCP e RV (vedi Fig.4.2), partendo dalle condizioni iniziali riportate in Tab.4. 2. L’ipotesi di base di tale transitorio è l’indisponibilità del sistema ASG. Il periodo di blowdown (0 – 440 s per SIPA e 0 – 530 s per SOFIA) (Fig.5.1.1) si verifica immediatamente come conseguenza della rottura attraverso la quale del fluido refrigerante in condizioni liquide viene espulso dal circuito primario. Dopo lo spegnimento del reattore è necessario rimuovere, dal circuito primario, solamente la potenza residua di decadimento, come conseguenza la temperatura del fluido primario (Tmoymax) decresce molto rapidamente e rimane costante (Fig. 5.1.2).

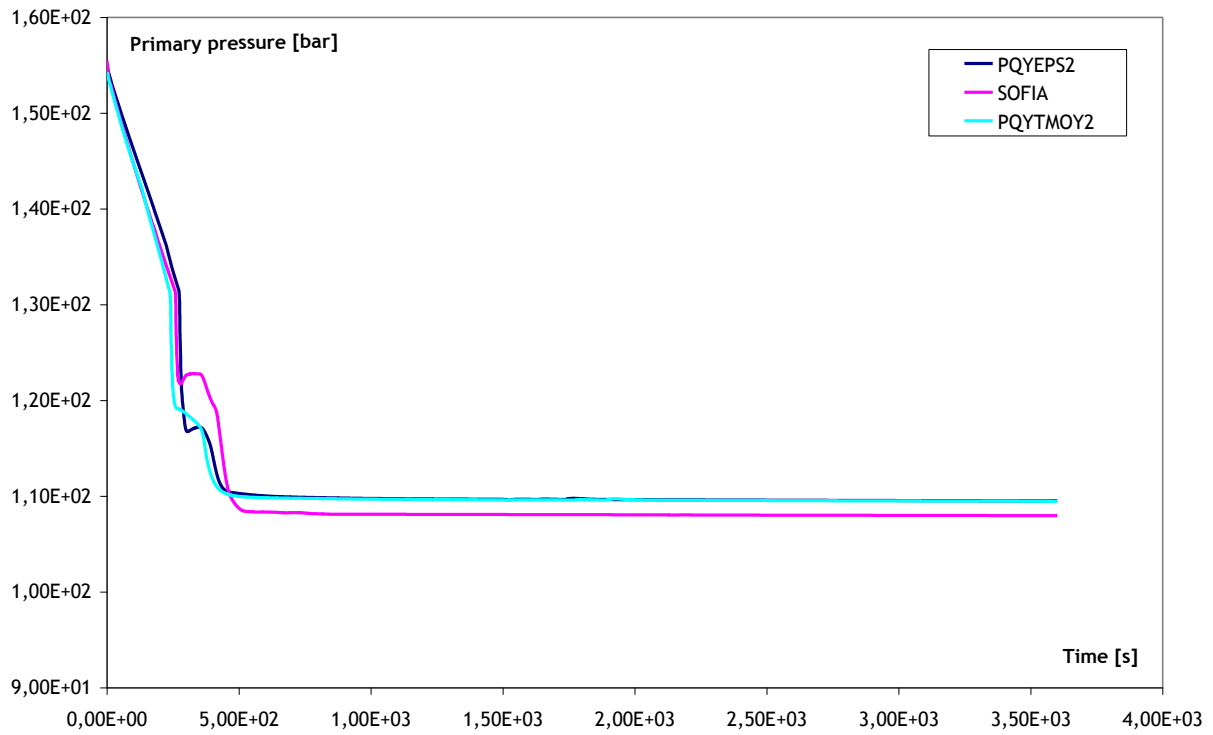


Fig.5.1.1: Pressione del primario per il transitorio S 120.

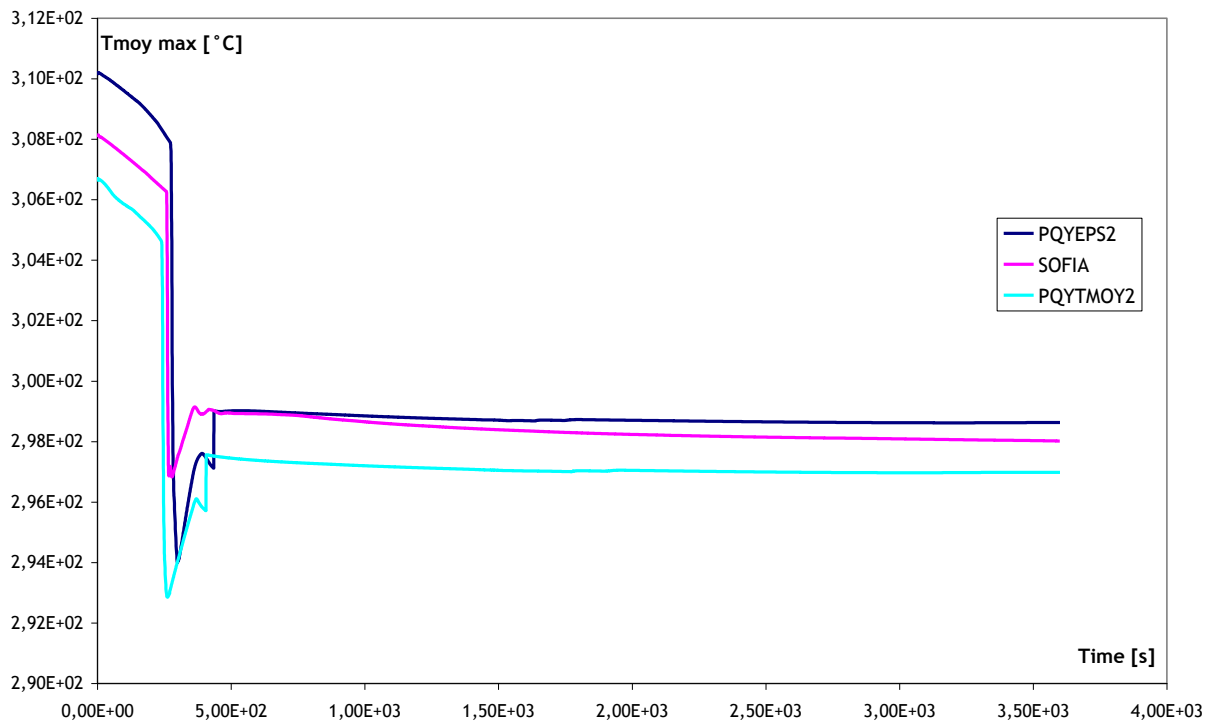


Fig.5.1.2: Tmoymax per S 120

In accordo con la fase di violenta depressurizzazione, il valore di ΔT_{sat} (Fig. 5.1.3) decresce fino a stabilizzarsi a circa 18 °C per le configurazioni PQYEPS2 e PQYTMOY2 e a circa 21 °C per la configurazione DPY (SOFIA).

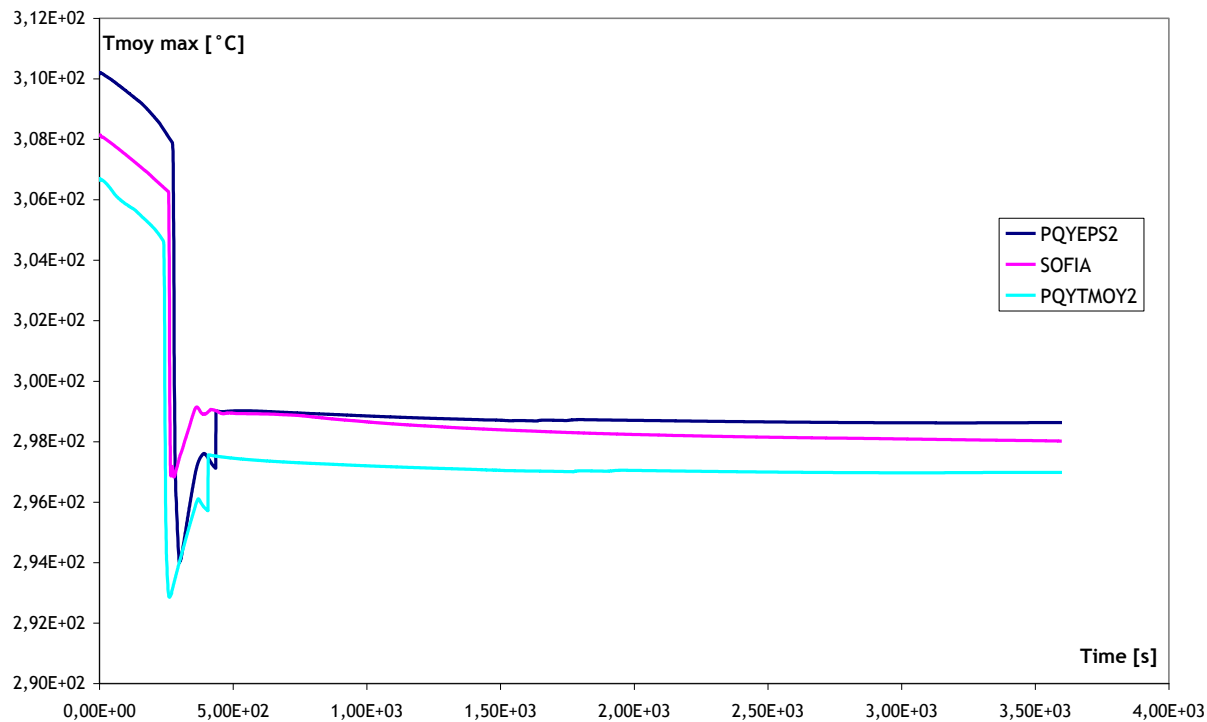


Fig.5.1.3: ΔT_{sat} per il transitorio S 120.

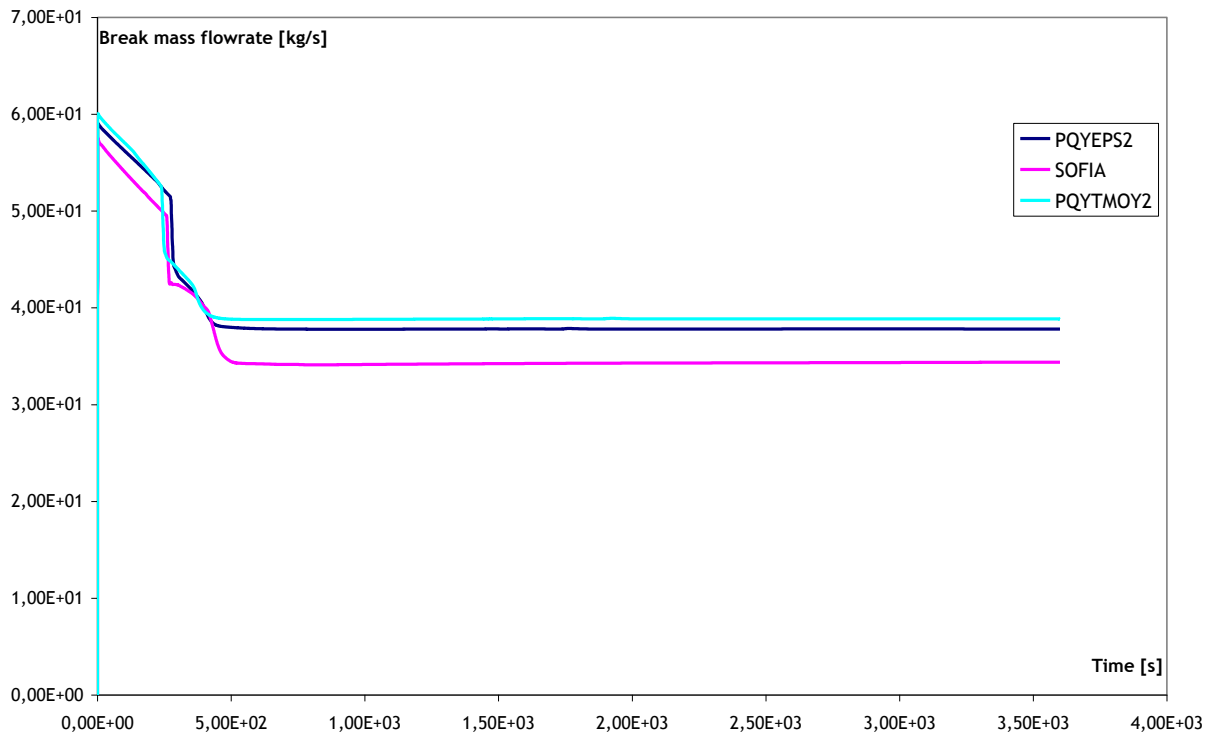


Fig.5.1.4: Portata di refrigerante primario attraverso la rottura per il transitorio S 120.

Dopo lo spegnimento del reattore e dal momento che il sistema ASG non è disponibile, il valore di ΔT_{sat} rimane costante: infatti non esiste scambio termico tra il primario ed il secondario dei GV. La pressione del circuito primario rimane costante e circa uguale alla pressione di iniezione del sistema IS: 110 bar. Come conseguenza, la portata di refrigerante primario attraverso la rottura è costante (Fig. 5.1.4) ed uguale alla portata di liquido iniettata nel primario dal sistema IS (Fig. 5.1.5) e la massa totale del primario rimane costante (Fig. 5.1.6).

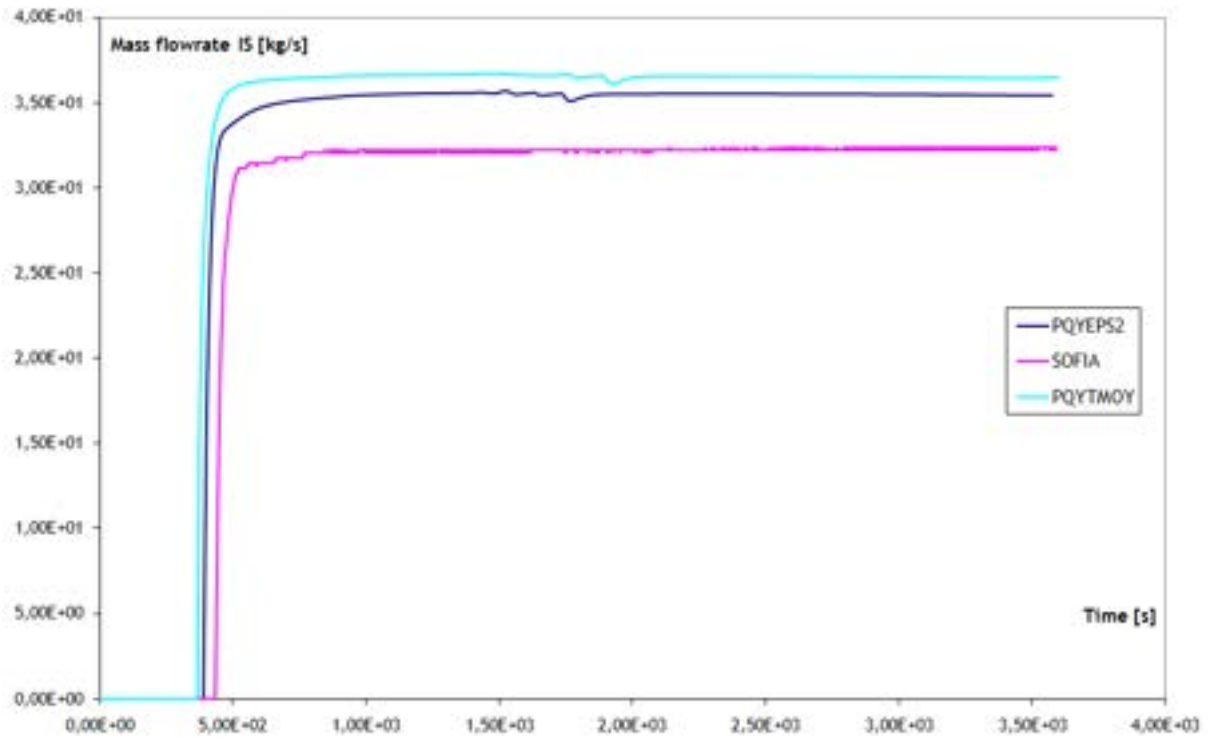


Fig.5.1.5: Portata di liquido iniettata nel primario dal sistema IS per il transitorio S 120.

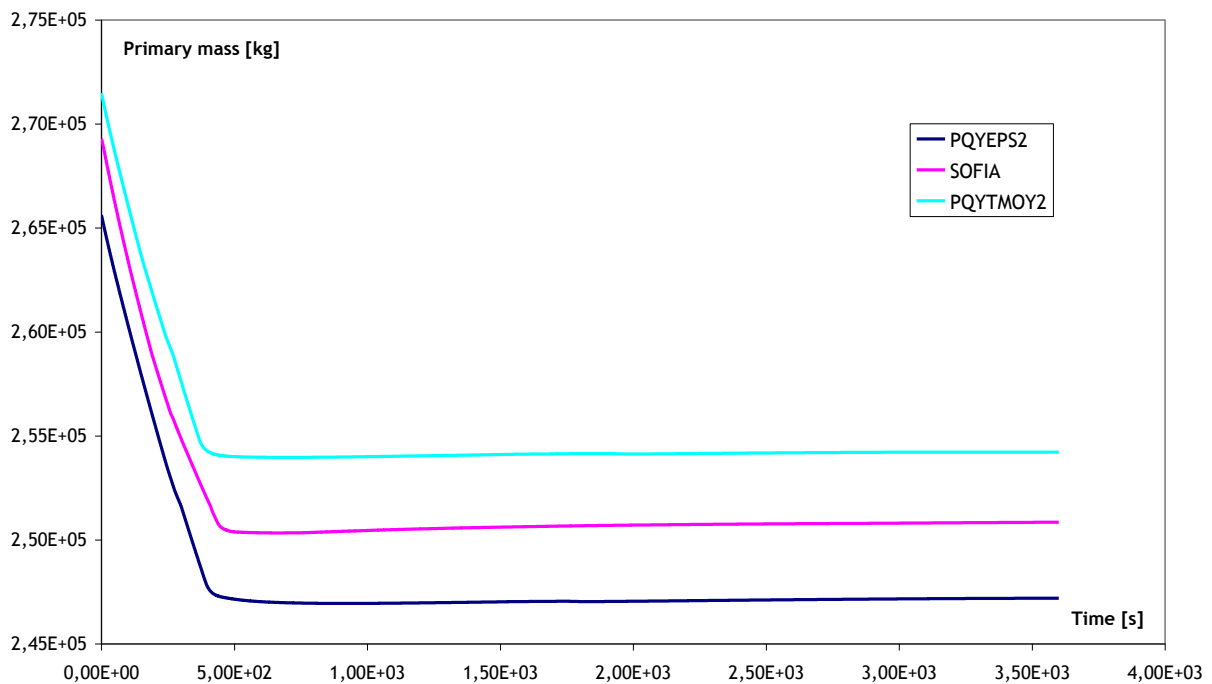


Fig.5.1.6: Massa totale del circuito primario per il transitorio S 120.

Come può vedersi dalle figure sopra riportate, la riproduzione del transitorio S120 usando il simulatore SOFIA è in buon accordo con i risultati dello stesso transitorio simulato con SIPA. Vale la pena di rilevare che i valori iniziali della massa del circuito primario e della portata

attraverso la rottura risultano leggermente differenti : ciò probabilmente è dovuto alle piccole differenze esistenti tra i modelli adottati dai due simulatori e tra gli stati iniziali (Fig.5.1.6).

5.2 TRANSITORIO S 121

Il transitorio S 121 è un LOCA di 1” in gamba fredda, localizzato tra MCP e RV (vedi Fig.4.2), partendo dalle condizioni iniziali riportate in Tab.4. 2. Le ipotesi di base di tale transitorio sono:

- la disponibilità del sistema ASG,
- la portata iniettata dal sistema ASG viene posta uguale a 0 non appena il livello di liquido nei generatori di vapore ha raggiunto il valore del 45%.

La Fig. 5.2.1 mostra che la regolazione della portata iniettata dal sistema ASG dentro ai GV è differente per la configurazione del SOFIA probabilmente in conseguenza del differente comportamento dei generatori di vapore (Fig. 5.2.2 - Fig. 5.2.3). Ciò potrebbe essere imputabile alle differenti nodalizzazioni adottate in SIPA e in SOFIA, (Fig.2.2), riguardo al downcomer dei generatori di vapore: il che si ripercuote in differenti livelli di iniezione della portata del secondario.

La Fig 5.2.4 mostra l’andamento della pressione del primario, in essa si riconosce la presenza di un periodo di blowdown risultato di una rottura nel circuito primario attraverso la quale il liquido refrigerante viene espulso. La fase di depressurizzazione presentata dal SOFIA risulta meno violenta rispetto a quella del SIPA e come conseguenza i sistemi di IS del SOFIA intervengono con ritardo (Fig. 5.2.5).

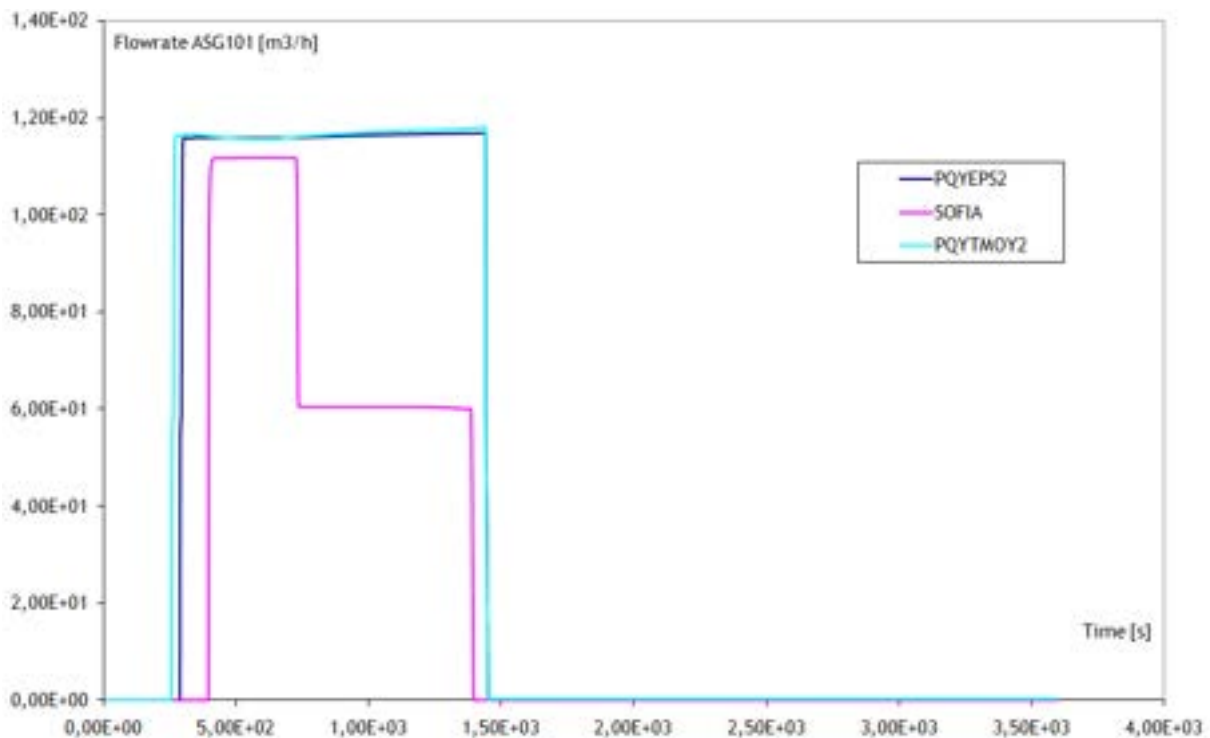


Fig.5.2.1: Portata iniettata dal sistema ASG101 nel transitorio S 121.

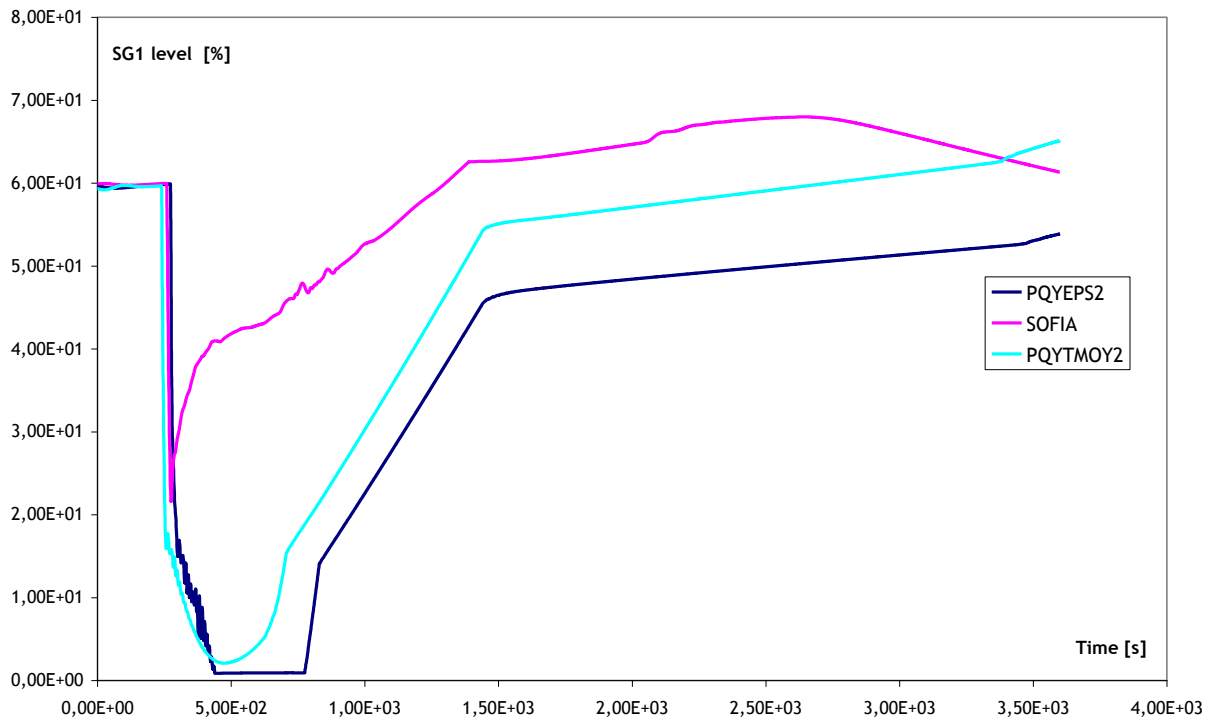


Fig.5.2.2: Livello di liquido nel SG1 per il transitorio S 121.

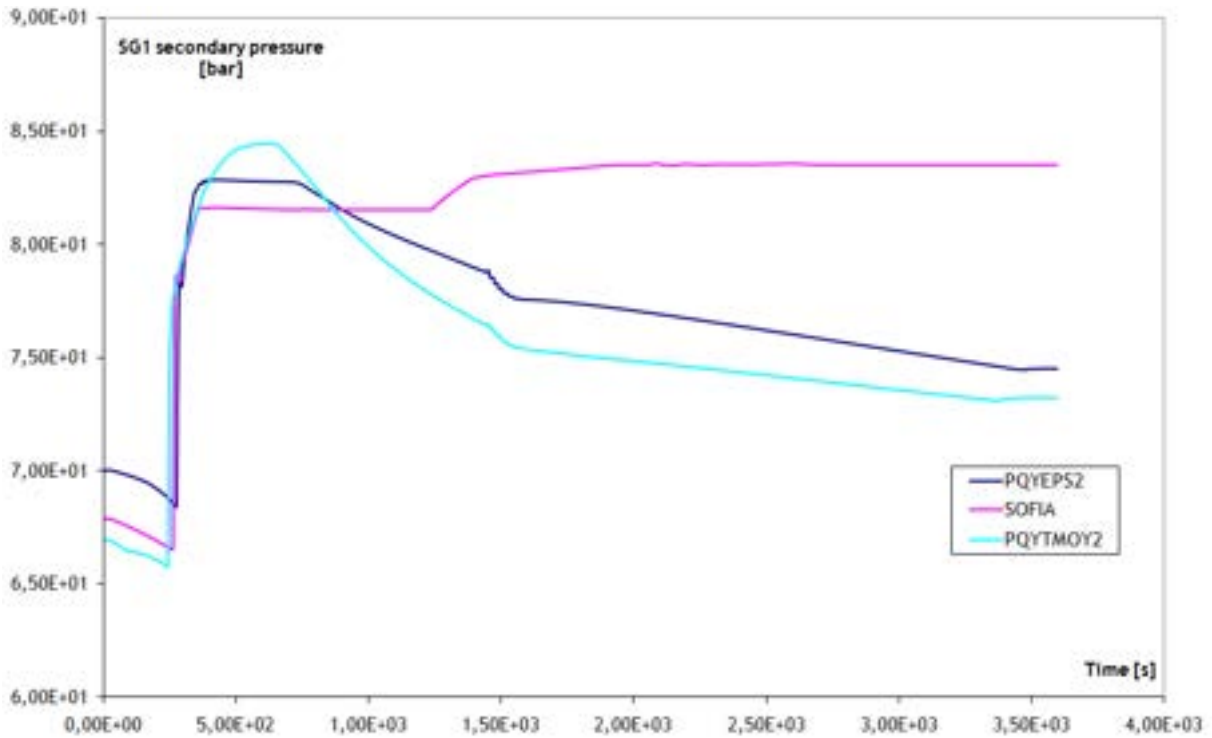


Fig.5.2.3: Pressione del secondario nel SG1 per il transitorio S 121.

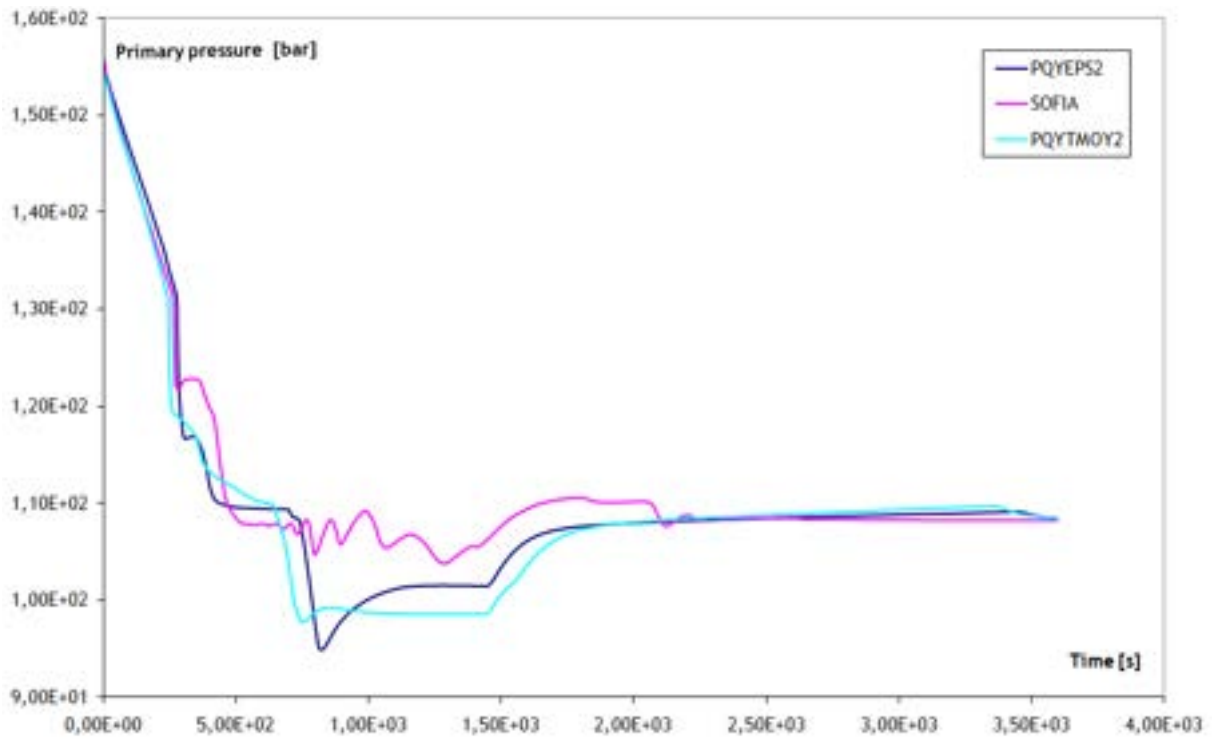


Fig.5.2.4: Pressione del primario per il transitorio S 121.

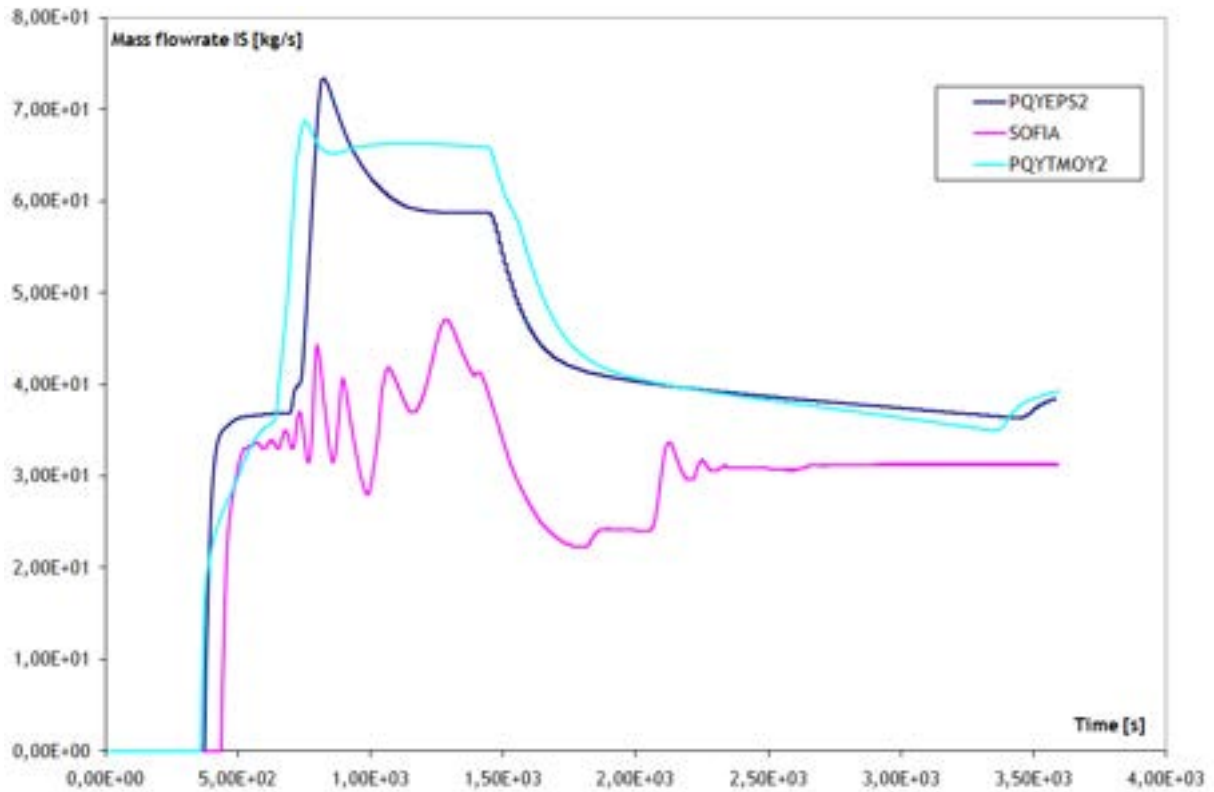


Fig.5.2.5: Portata iniettata nel primario da IS durante il transitorio S 121.

Le figure 5.2.6 e 5.2.7 mostrano l'andamento della portata e dell'entalpia attraverso la rottura.

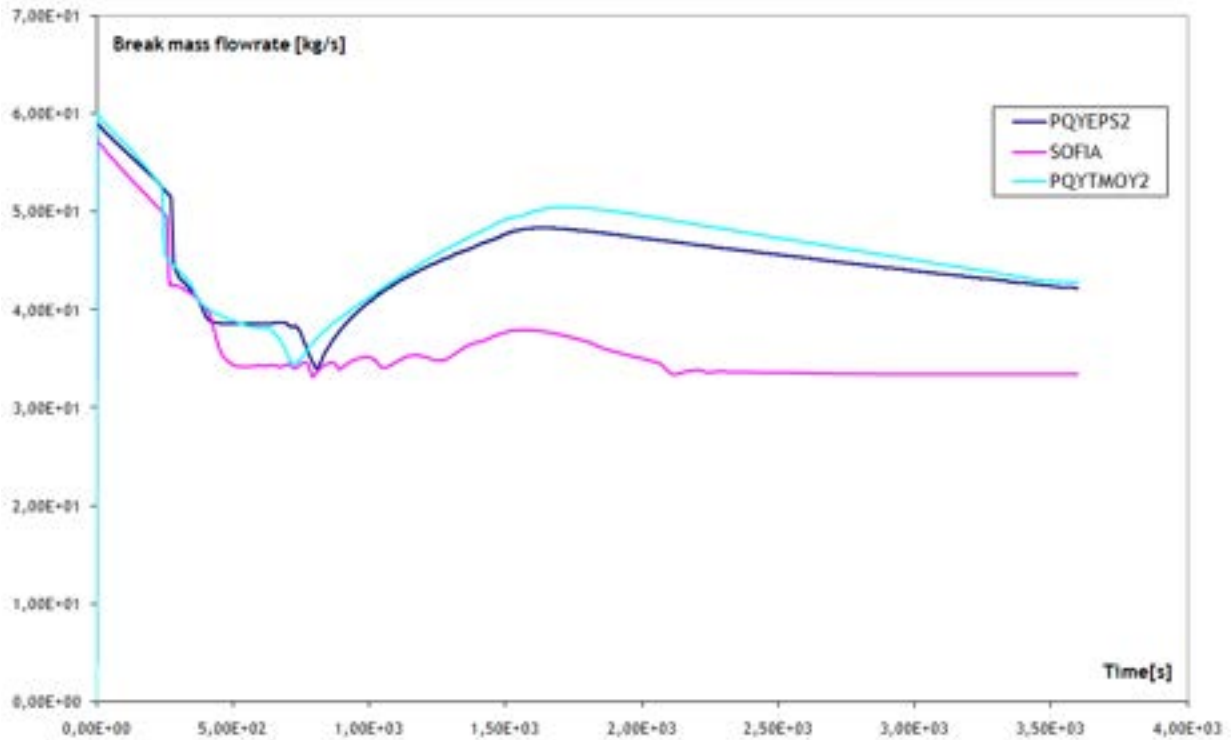


Fig.5.2.6: Portata di fluido attraverso la rottura per il transitorio S 121.

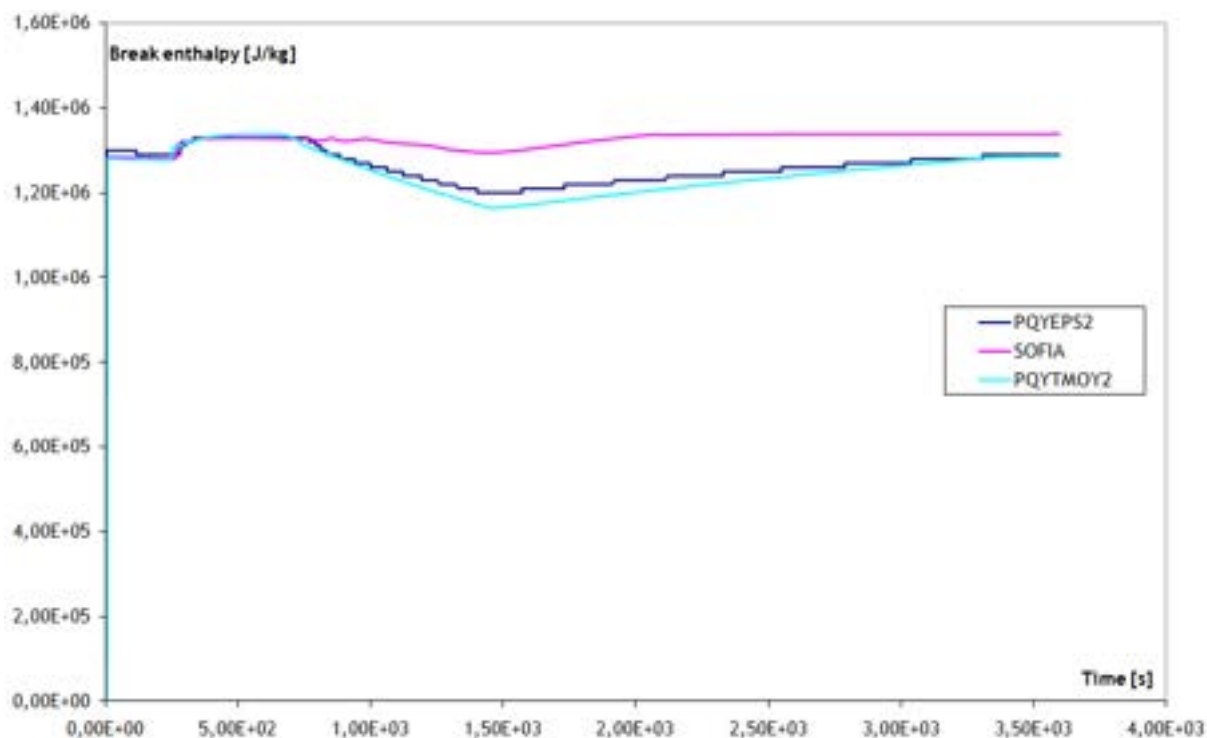


Fig.5.2.7:Entalpia del fluido attraverso la rottura per il transitorio S 121.

Come può dedursi dai grafici sopra riportati la riproduzione del transitorio S 121 attraverso il simulatore SOFIA non risulta essere in buon accordo con lo stesso transitorio simulato dal SIPA a causa del diverso comportamento dei generatori di vapore. Vale la pena di sottolineare che gli andamenti della pressione del primario e della portata attraverso al rottura presentano invece poca differenza. A tale proposito, è importante sottolineare che la correlazione per il calcolo della portata alla rottura usata dal SOFIA (CATHARE 2 v2.5_1 mod9.1) è differente rispetto alla correlazione usata in SIPA (CATHARE-SIMU = CATHARE 1 del 1990): 20 anni separano i due codici di calcolo e le conoscenze riguardo a tali fenomenologie hanno subito importanti progressi.

5.3 TRANSITORIO S 122

Il transitorio S 122 è un LOCA di 3”in gamba fredda, localizzato tra MCP e RV (vedi Fig.4.2), partendo dalle condizioni iniziali riportate in Tab.4. 2. Le ipotesi di base di tale transitorio sono:

- l’indisponibilità del sistema ASG,
- le pompe di circolazione del primario vengono bloccate 5 minuti dopo l’intervento dei sistemi IS.

La Fig. 5.3.1 mostra il comportamento della pressione del primario. In tale curva può distinguersi una prima regione caratterizzata da una fase di violenta depressurizzazione, causata dalla rottura e dallo spegnimento del reattore, una seconda regione in cui la pressione rimane costante (ad un valore di circa 80 bar) come conseguenza della transizione del refrigerante dalla fase liquida a quella di vapore, dovuta al blocco delle pompe.

Quando la transizione dalla fase liquida a quella di vapore è completata la depressurizzazione riparte, la portata attraverso la rottura diminuisce e la portata iniettata dai sistemi IS aumenta (Fig. 5.3.3). La massa totale del circuito primario diminuisce rapidamente fino a un valore di circa 105 kg (Fig. 5.3.4).

La portata di liquido attraverso la rottura è maggiore rispetto alla portata iniettata nel circuito primario dai sistemi IS.

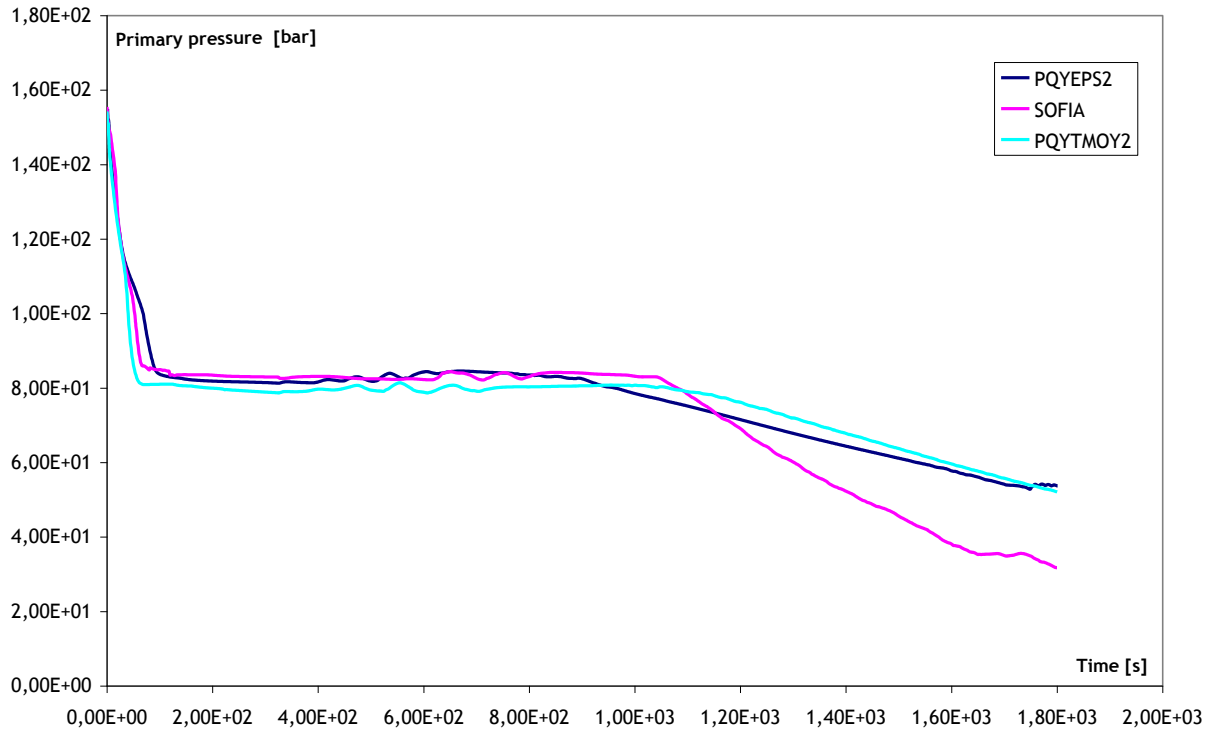


Fig. 5.3.1: Pressione del primario per il transitorio S 122.

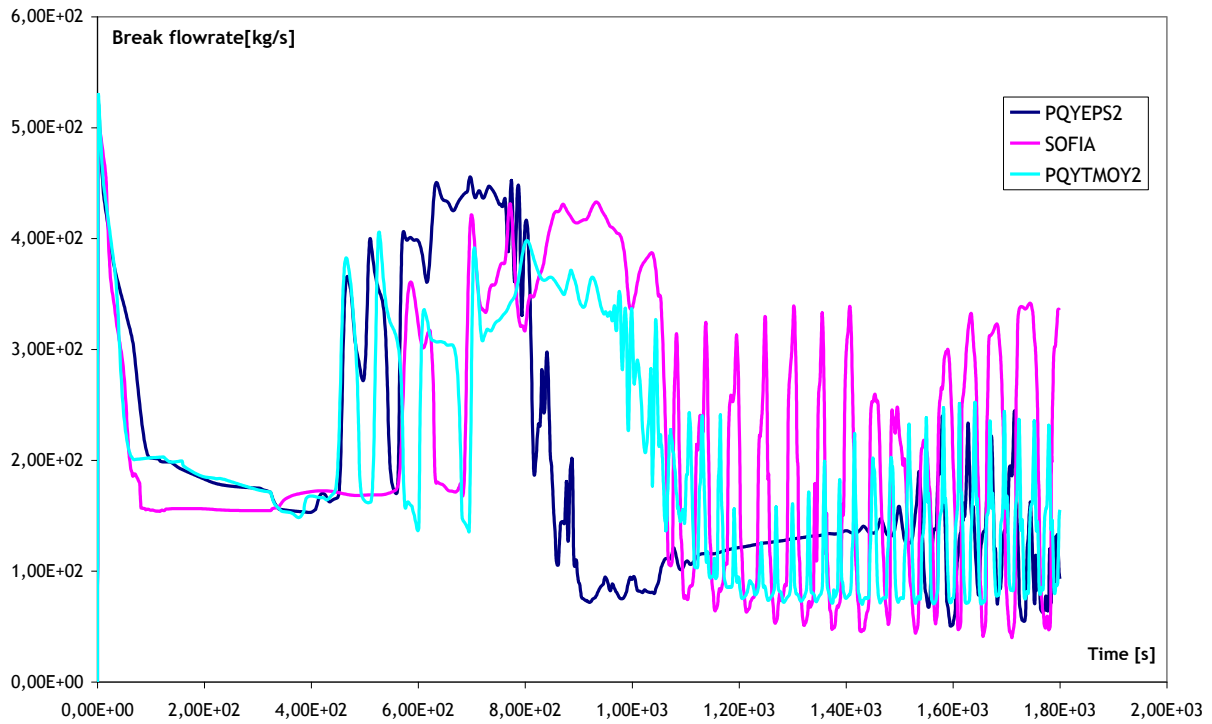


Fig. 5.3.2: Portata di liquido attraverso la rottura per il transitorio S 122.

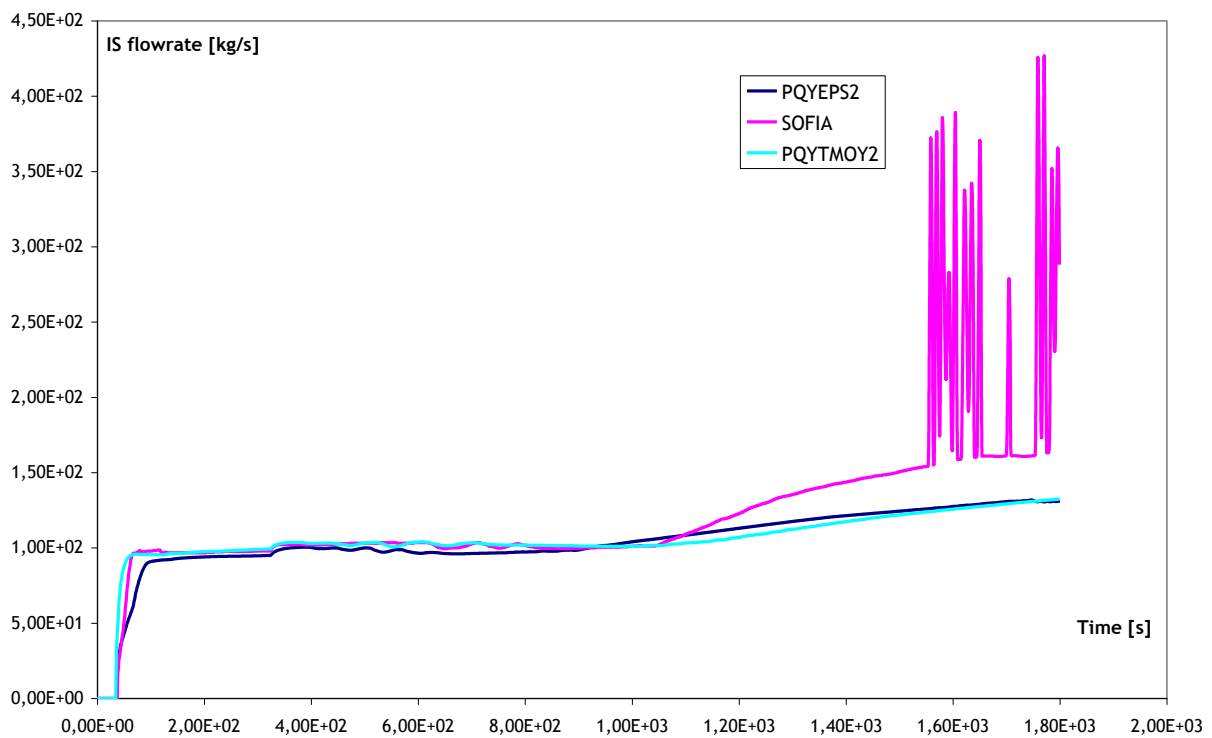


Fig. 5.3.3: Portata di liquido iniettata dai sistemi di IS per il transitorio S 122.

Nel transitorio simulato tramite SOFIA, si ottiene lo svuotamento completo degli accumulatori del sistema IS, a causa della maggiore depressurizzazione del sistema.

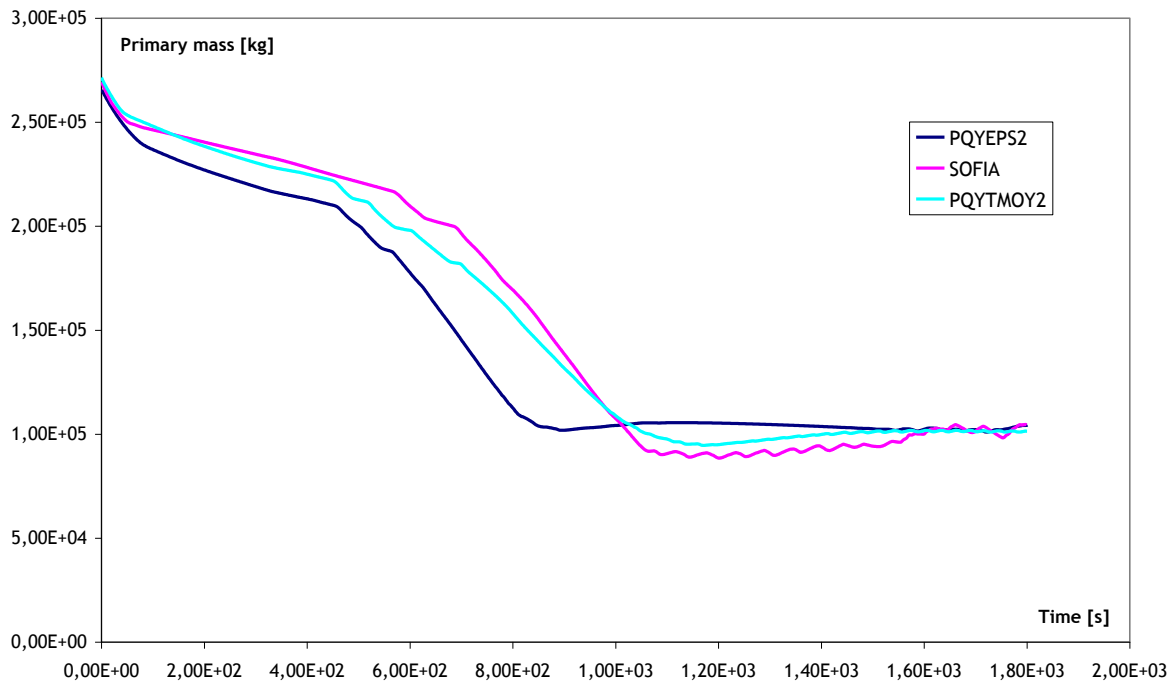


Fig. 5.3.4: Massa totale nel circuito primario per il transitorio S 122.

Dopo la completa transizione dalla fase liquida a quella di vapore, la massa del circuito primario rimane costante e la portata iniettata dai sistemi di IS diventa maggiore di quella espulsa attraverso la rottura. Poniamo l'accento ancora sul fatto che, dal momento che la rottura è localizzata in gamba fredda, gran parte della portata iniettata dai sistemi di emergenza viene espulsa attraverso la rottura in quanto anche la portata di IS iniettata sul loop integro attraverso un fenomeno di bypass del core abbandona il circuito primario.

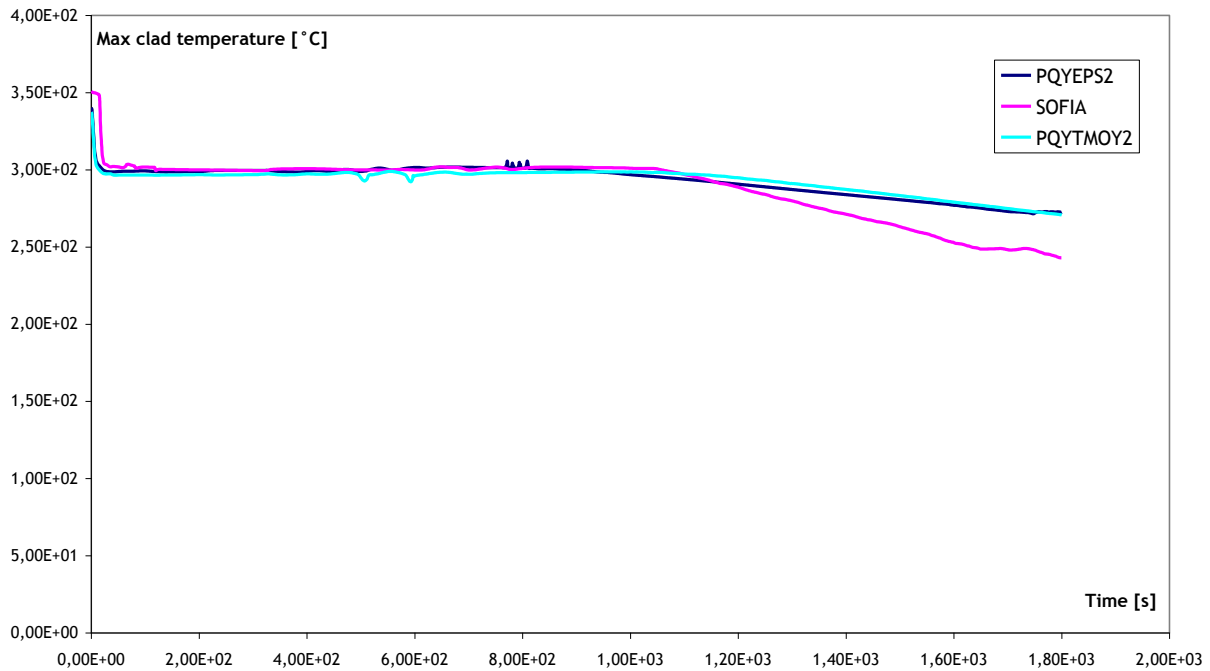


Fig. 5.3.5: Temperatura massima della guaina per il transitorio S122.

La Fig. 5.3.5 mostra l'andamento della temperatura massima della guaina.

La riproduzione del transitorio S 122 tramite l'impiego del simulatore SOFIA è in buon accordo con quanto ottenuto tramite l'impiego del SIPA fino a $t=1100$ s. Dopo tale istante, le differenze riscontrate nell'andamento della pressione del circuito primario conducono a produrre leggere differenze tra i risultati ottenuti con le due differenti versioni di simulatore.

5.4 TRANSITORIO S 123

Il transitorio S 123 è un LOCA di 4" in gamba fredda, localizzato tra MCP e RV (vedi Fig.4.2), partendo dalle condizioni iniziali riportate in Tab.4. 2. In tale transitorio abbiamo supposto che il sistema ASG sia indisponibile, mentre il fatto che le pompe rimangano in servizio insieme con le dimensioni della rottura causano una depressurizzazione del circuito primario veramente importante (Fig. 5.4.1).

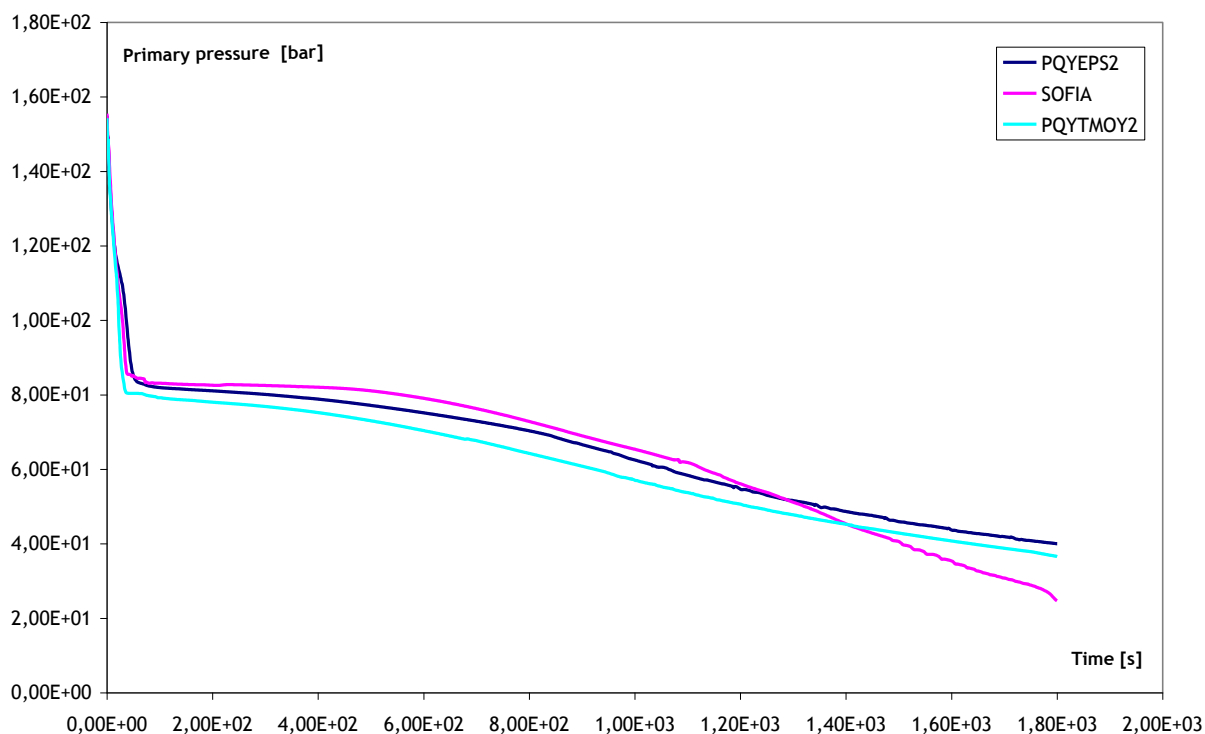


Fig. 5.4.1: Pressione del primario per il transitorio S 123.

A causa di tale fenomeno, la massa di liquido del primario si degrada rapidamente (Fig. 5.4.2) mentre la portata di liquido attraverso la rottura risulta maggiore di quella iniettata dai sistemi di IS (Fig. 5.4.3 e Fig.5.4.4).

Dal momento che il sistema ASG è indisponibile non si ha scambio termico tra primario e secondario degli scambiatori di calore: il raffreddamento del primario è quindi assicurato dalla sola rimozione di energia effettuata dalla portata di fluido che fluisce attraverso la rottura. Le Fig. 5.4.5 e 5.4.6 riportano rispettivamente la temperature massima del fluido all'uscita del core e la temperature massima della guaina del combustibile.

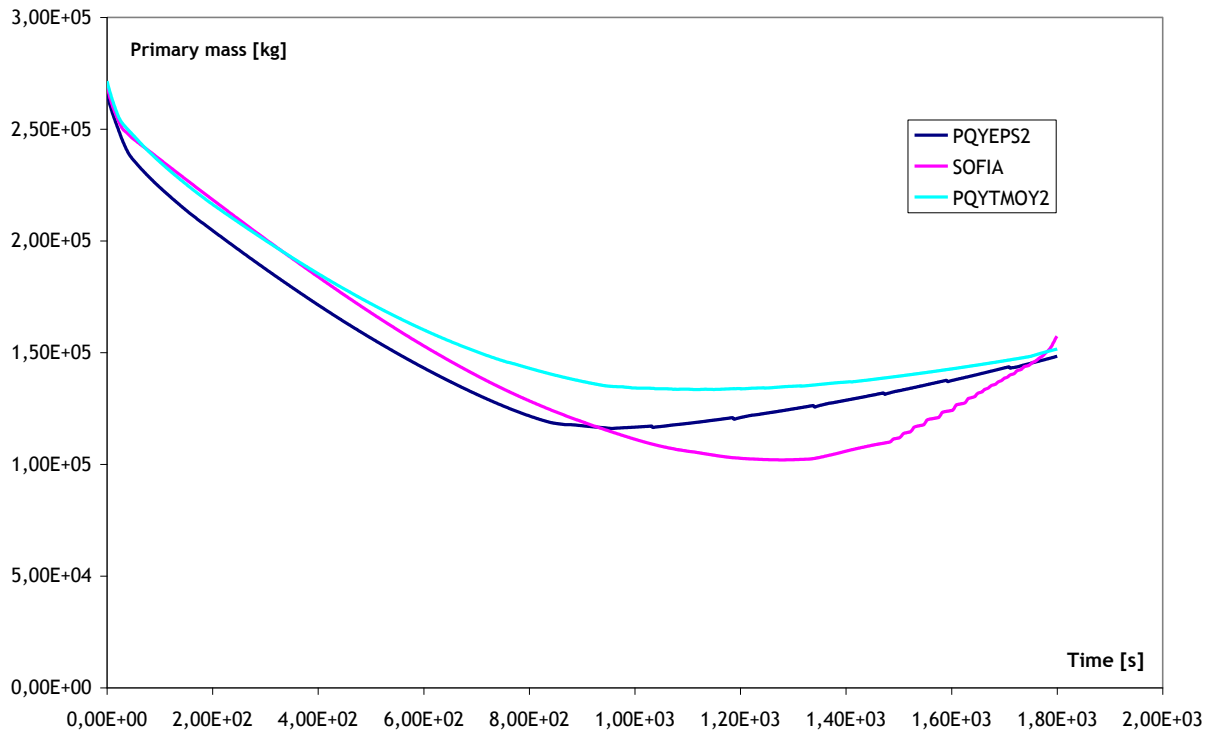


Fig. 5.4.2: Massa totale nel circuito primario per il transitorio S 123.

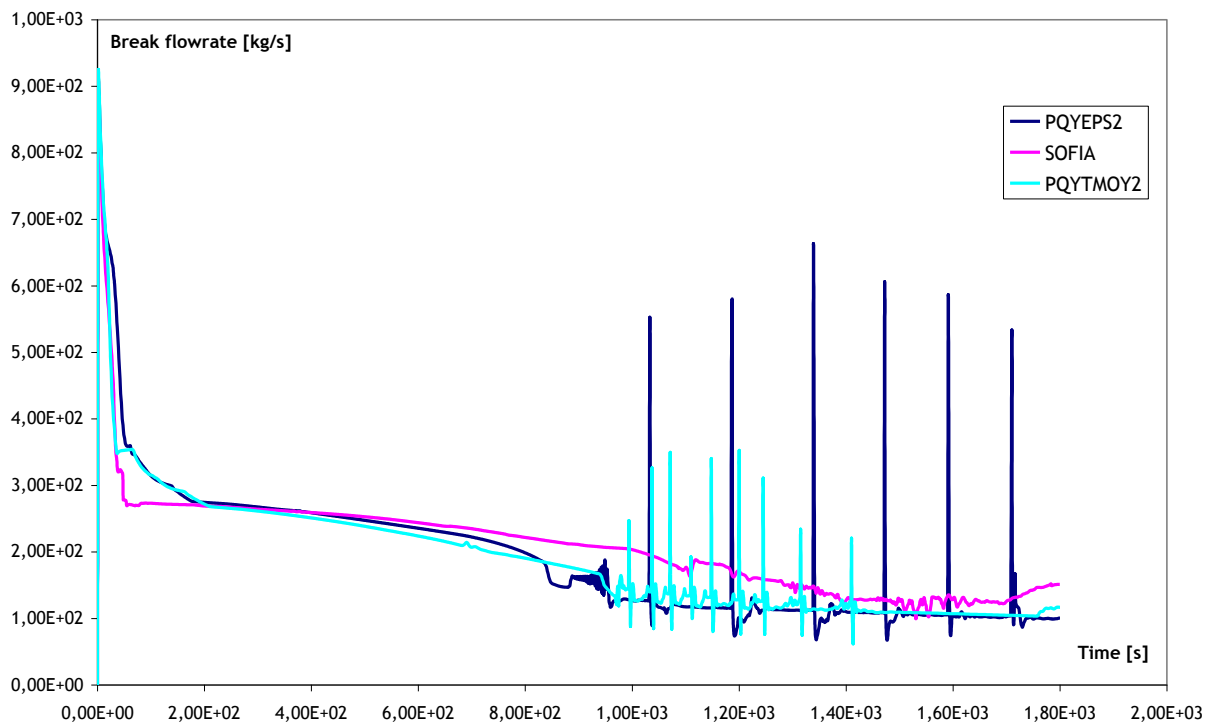


Fig. 5.4.3: Portata di fluido attraverso la rottura per il transitorio S 123.

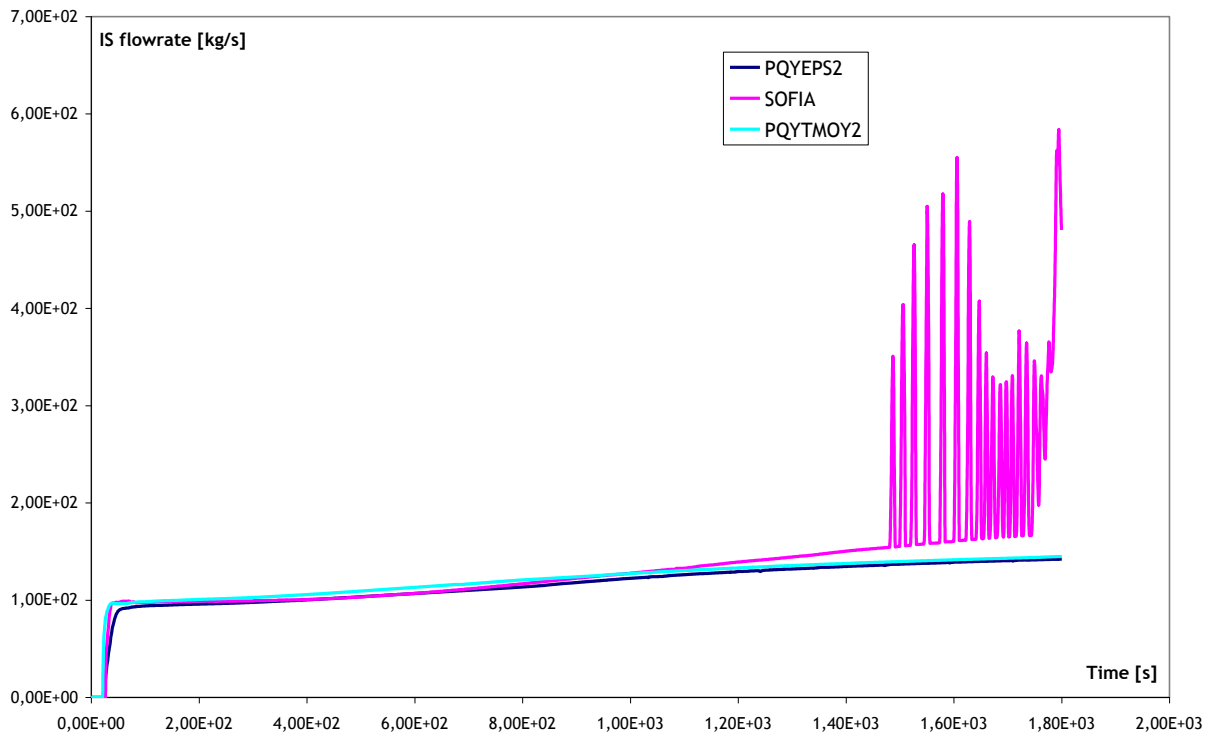


Fig. 5.4.4: Portata di liquido iniettata dai sistemi di IS per il transitorio S 123

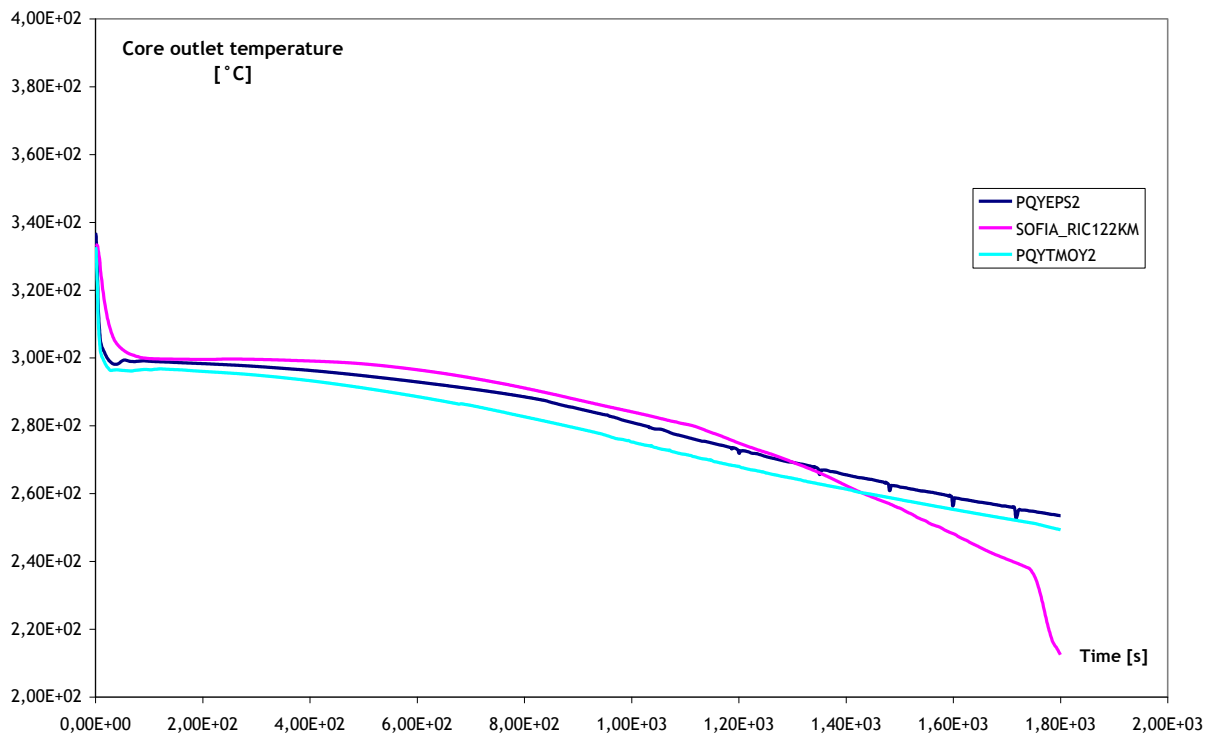


Fig. 5.4.5: Temperatura massima del fluido all'uscita dal core per il transitorio S123.

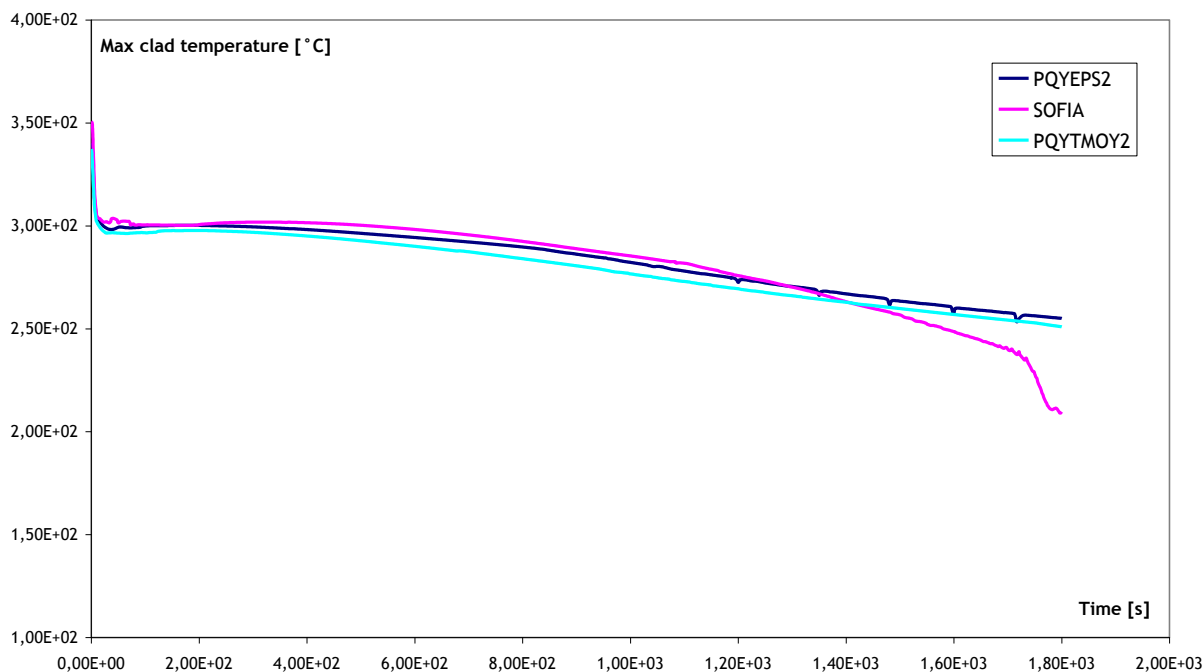


Fig. 5.4.6: Temperatura massima della guaina di combustibile per il transitorio S123.

Come può vedersi dalle figure sopra riportate, la riproduzione del transitorio S 123 tramite l'impiego del simulatore SOFIA presenta delle differenze che possono essere imputabili alle differenze esistenti tra i due codici di calcolo utilizzati da SIPA e da SOFIA.

5.5 TRANSITORIO S 124

Il transitorio S 124 è un LOCA di 4" in gamba fredda, localizzato tra MCP e RV (vedi Fig.4.2), partendo dalle condizioni iniziali riportate in Tab.4. 2.

In questo transitorio si sono adottate le seguenti ipotesi:

1. indisponibilità del sistema ASG ;
2. le pompe di circolazione del primario vengono bloccate 5 minuti dopo l'intervento dei sistemi IS.

La Fig. 5.5.1 riporta l'andamento della pressione del circuito primario. In essa può individuarsi una prima zona caratterizzata da una fase di depressurizzazione veramente importante causata dalla portata di fluido che fuoriesce dal circuito primario attraverso la rottura e dallo spegnimento del reattore. La seconda regione presente in tale figura è caratterizzata da una pressione costante ed uguale a circa 80 bar ed è imputabile alla transizione dalla fase liquida a quella di vapore della portata che fluisce attraverso la rottura. La fase di depressurizzazione riprende quando la portata attraverso al rottura sarà passata completamente alla fase vapore: a partire da tale istante del transitorio la portata attraverso al rottura diminuisce (Fig.5.5.2). Per quanto riguarda invece il comportamento dei sistemi IS,

essi intervengono su segnale di diminuzione di pressione del circuito primario e la portata da loro iniettata rimane circa costante (Fig. 5.5.3) sino a circa 1100 s, tempo in corrispondenza al quale intervengono gli accumulatori nella configurazione del simulatore SOFIA. Vale la pena di mettere in luce il fatto che, quando le pompe di circolazione del primario vengono bloccate la stratificazione del fluido (legata alla separazione delle fasi) consente la transizione dalla fase liquida a quella di vapore della portata attraverso la rottura (Fig.5.5.2 e 5.5.4). Quando il grado di vuoto della miscela aumenta (Fig. 5.5.4) la portata attraverso la rottura diminuisce (Fig. 5.5.2). La Fig. 5.5.5 mostra l’inventario di massa del circuito primario.

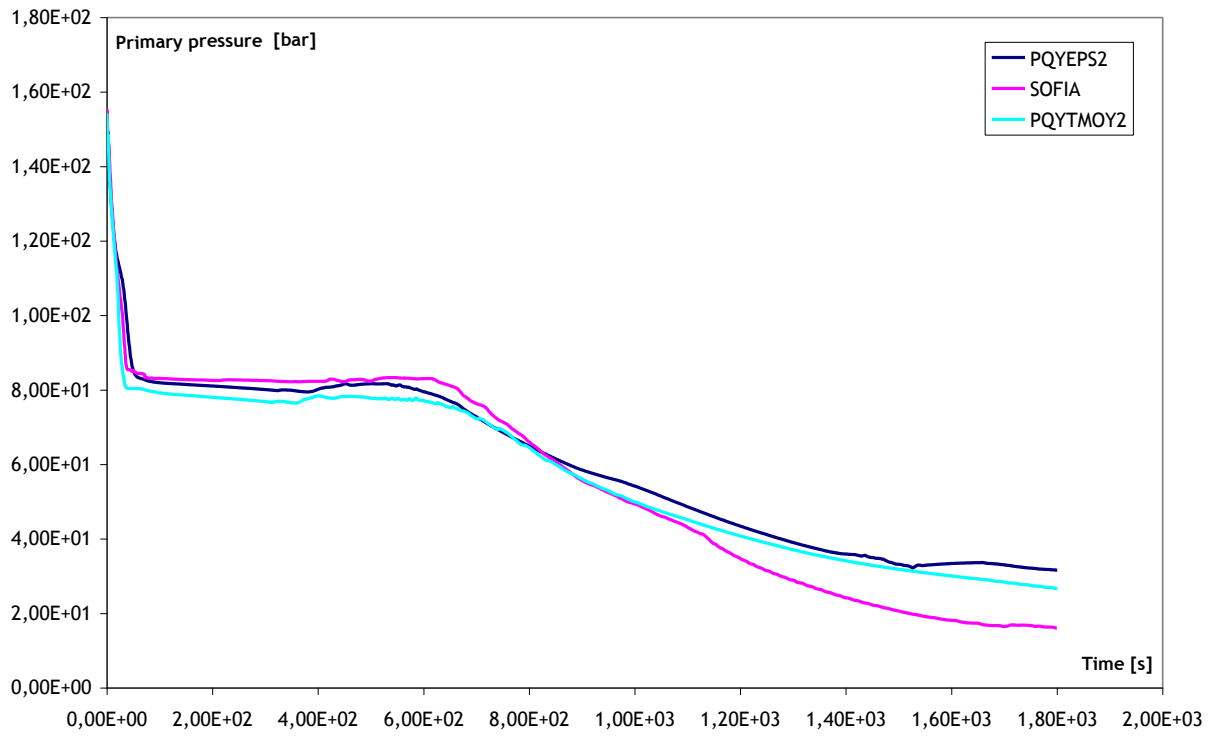


Fig. 5.5.1: Pressione del primario per il transitorio S 124.

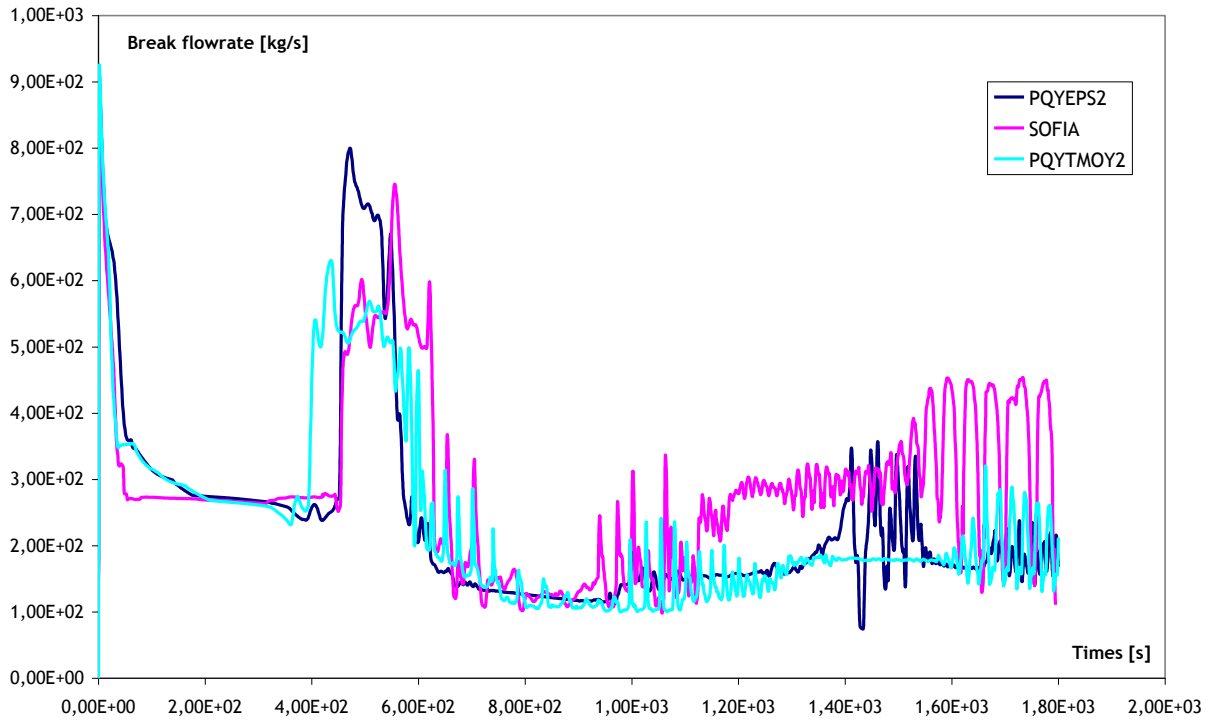


Fig. 5.5.2: : Portata di fluido attraverso la rottura per il transitorio S 124.

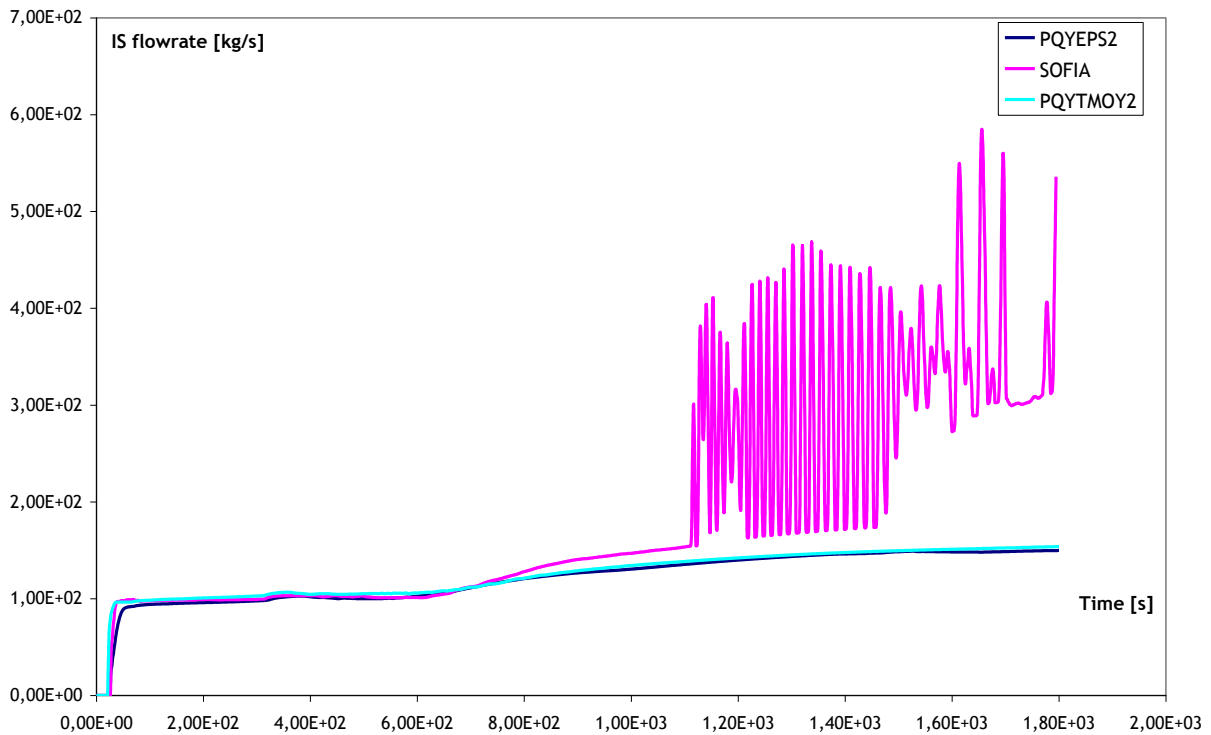


Fig. 5.5.3: Portata di liquido iniettata dai sistemi di IS per il transitorio S 124.

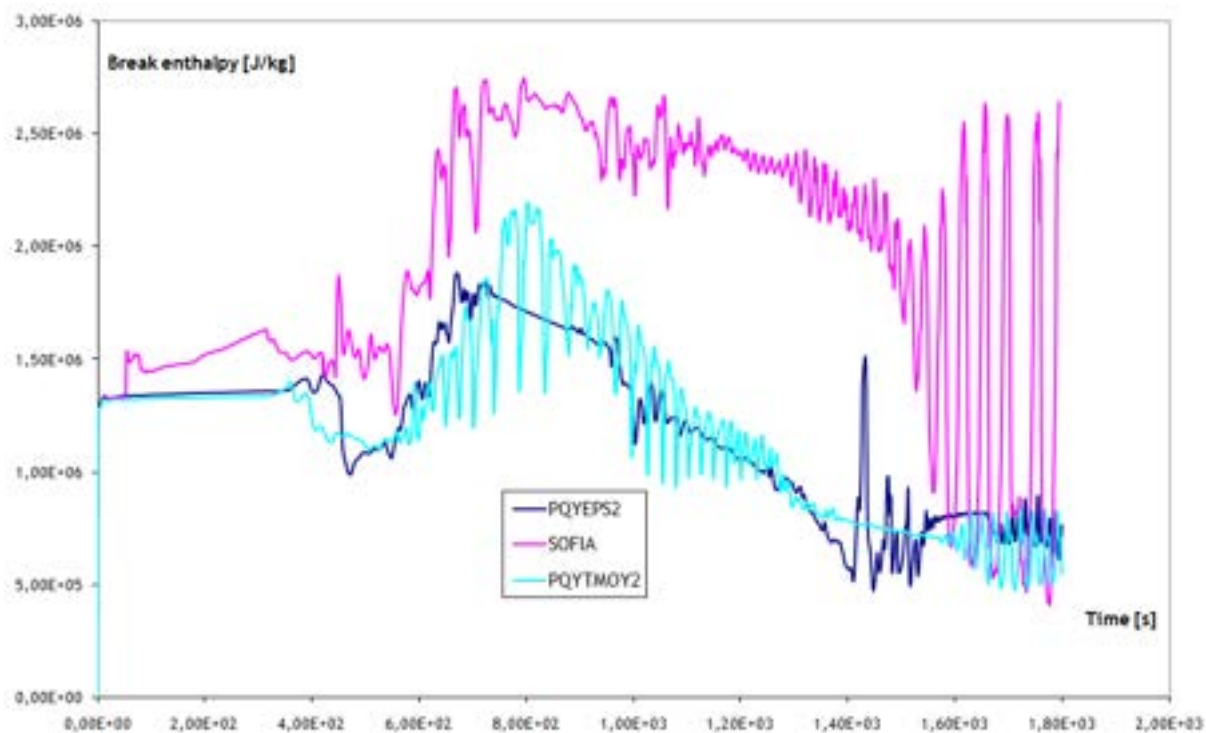


Fig. 5.5.4: Entalpia del fluido attraversi la rottura per il transitorio S 124.

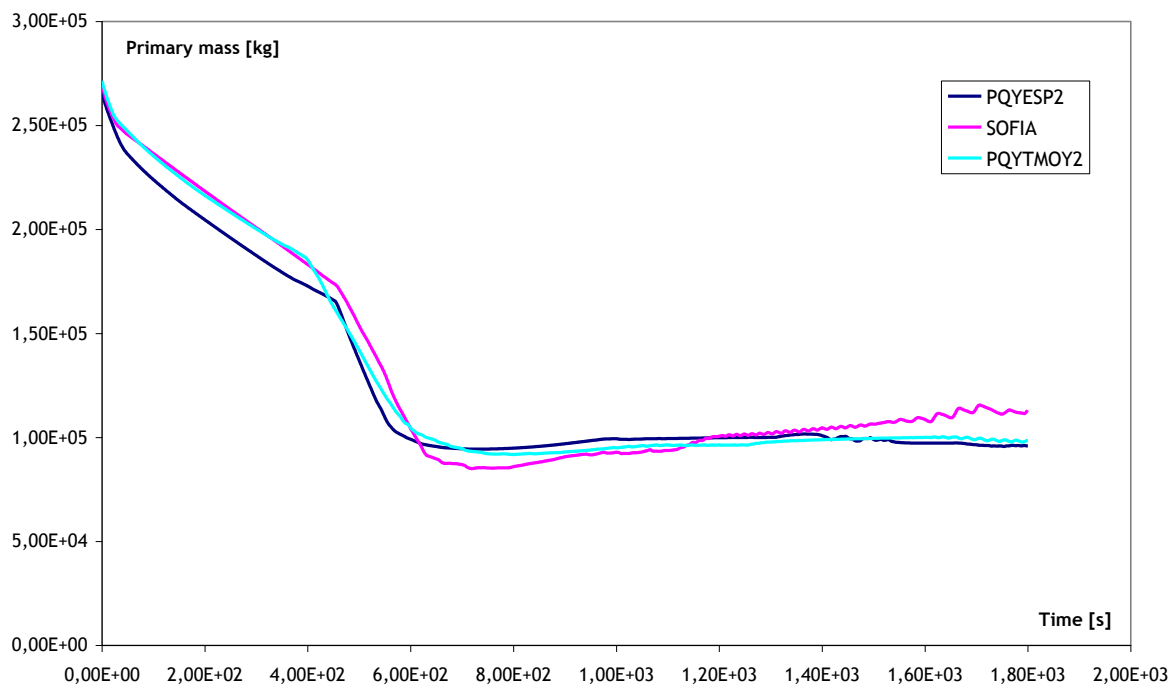


Fig. 5.5.5: Inventario di massa del circuito primario per il transitorio S 124.

Gli ultimi due grafici di seguito riportati mostrano rispettivamente la temperatura del fluido in uscita dal core e la temperatura massima della guaina (Fig. 5.5.6 e Fig. 5.5.7). Da tali figure può evidenziarsi come il simulatore SOFIA non riesce a mettere in luce i picchi di temperatura, cioè il surriscaldamento evidenziato dal SIPA.

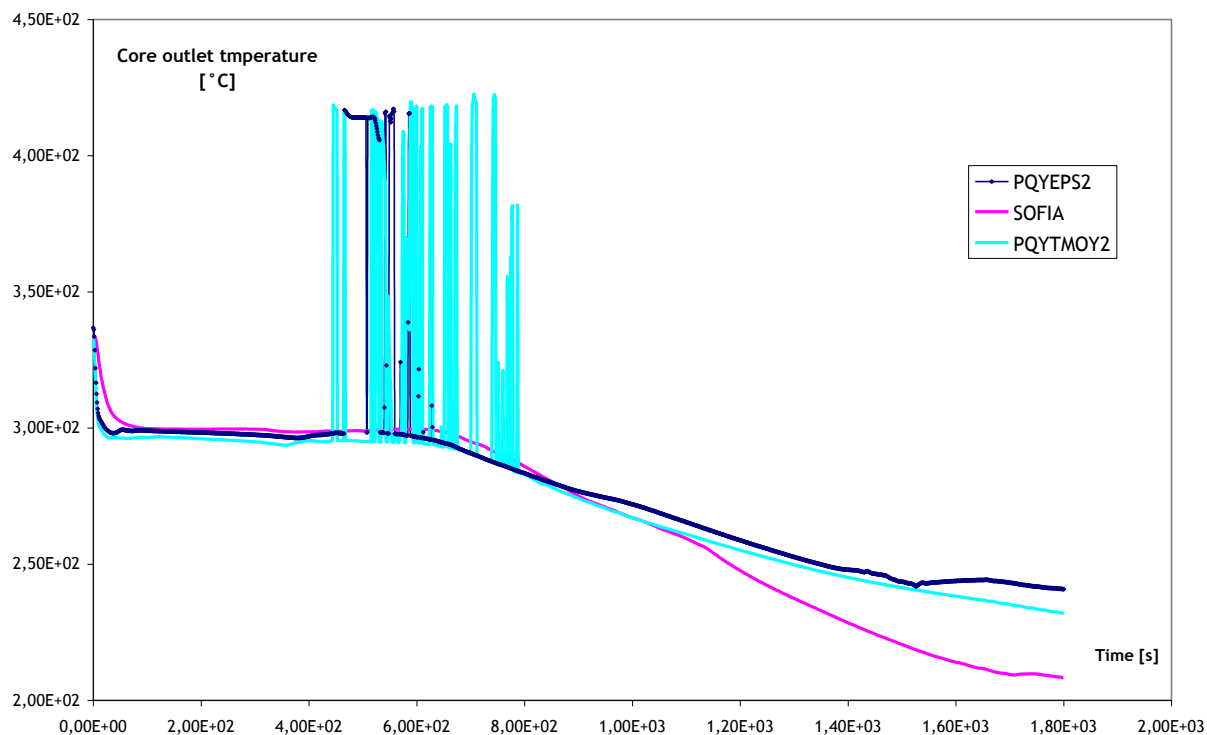


Fig. 5.5.6: Temperatura del fluido in uscita dal core per il transitorio S124.

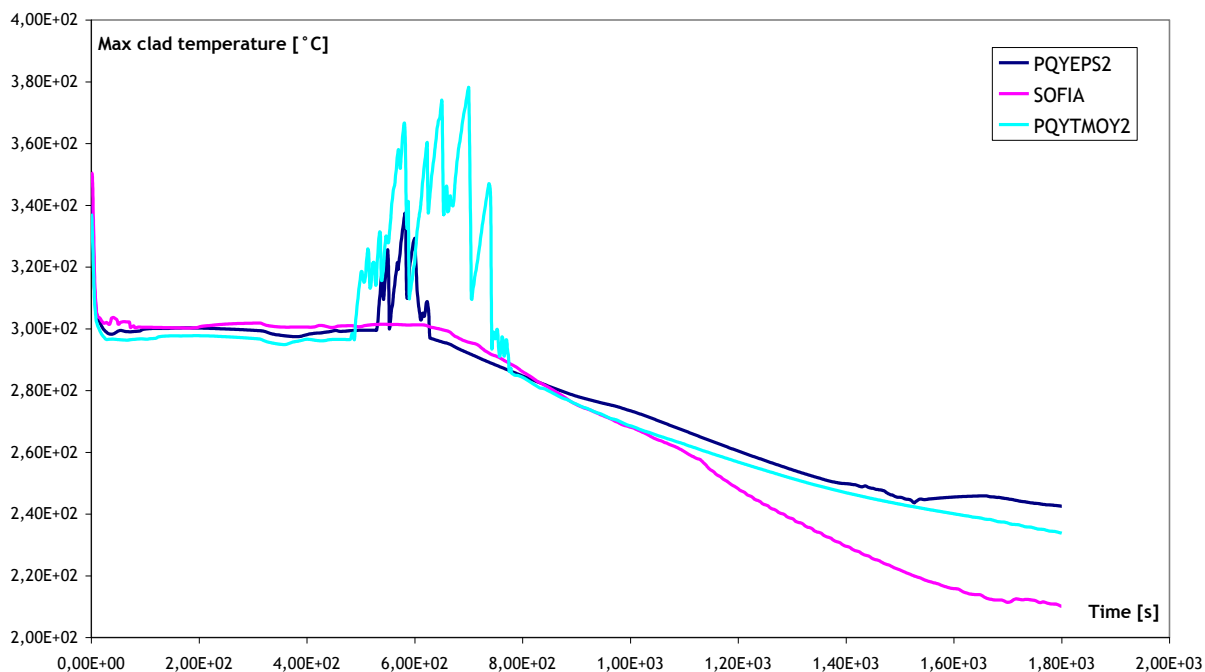


Fig. 5.5.7: Temperatura massima della guaina per il transitorio S124.

Come può vedersi dalle figure sopra riportate la riproduzione del transitorio S 124 usando il simulatore SOFIA è in buon accordo con quanto ottenuto tramite l'impiego del SIPA per quanto riguarda il comportamento idraulico degli impianti nucleari. Va comunque notato che il comportamento termico degli impianti nucleari previsto dal SOFIA non è invece in accordo con le previsioni del SIPA. Infatti le Fig. 5.5.6 e Fig. 5.5.7 mostrano la presenza di picchi di temperatura per le configurazioni PQYEPS2 e PQYTMOY2, tali picchi non sono invece evidenziati nella configurazione di SOFIA. Tale differenza potrebbe essere dovuta alla diversa nodalizzazione usata nell'input CATHARE 2 inglobato in SOFIA.

5.6 TRANSITORIO S 125

Il transitorio S 125 è un LOCA di 6" in gamba fredda, localizzato tra MCP e RV (vedi Fig.4.2), partendo dalle condizioni iniziali riportate in Tab.4. 3.

In questo transitorio si sono adottate le seguenti ipotesi:

1. l'indisponibilità del sistema di IS sul loop 1;
2. il blocco delle pompe di circolazione del primario 6 minuti dopo l'intervento del sistema IS.

Le figure 5.6.1 e 5.6.2 riportano rispettivamente l'andamento della pressione e l'inventario di massa del circuito primario. Per queste due variabili i valori predetti dal SIPA e dal SOFIA sono in buon accordo tra di loro.

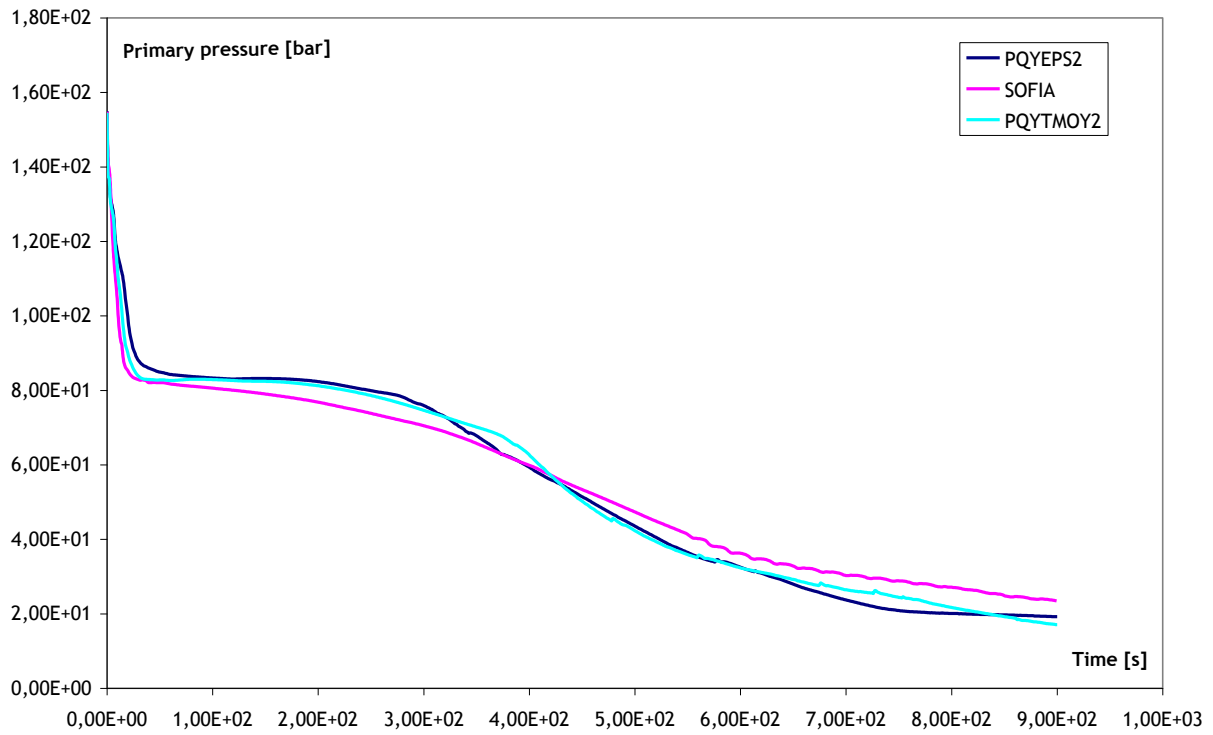


Fig. 5.6.1: Pressione del primario per il transitorio S 125.

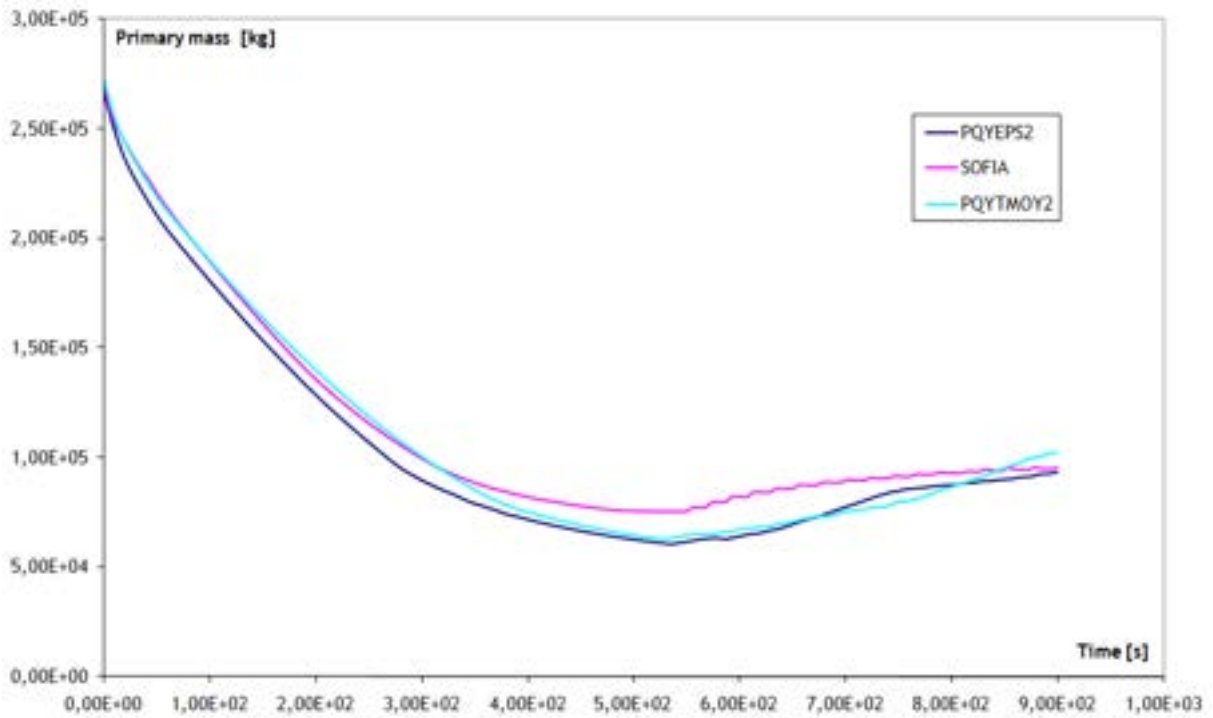


Fig. 5.6.2: Inventario di massa del circuito primario per il transitorio S 125.

Le figure 5.6.3 e 5.6.4 mostrano gli andamenti delle temperature massime del fluido all'uscita del core e della guaina: da esse si può evidenziare che SOFIA non riesce a mettere in luce il surriscaldamento sia del fluido all'uscita del core che della temperatura massima di guaina come invece previsto dal SIPA.

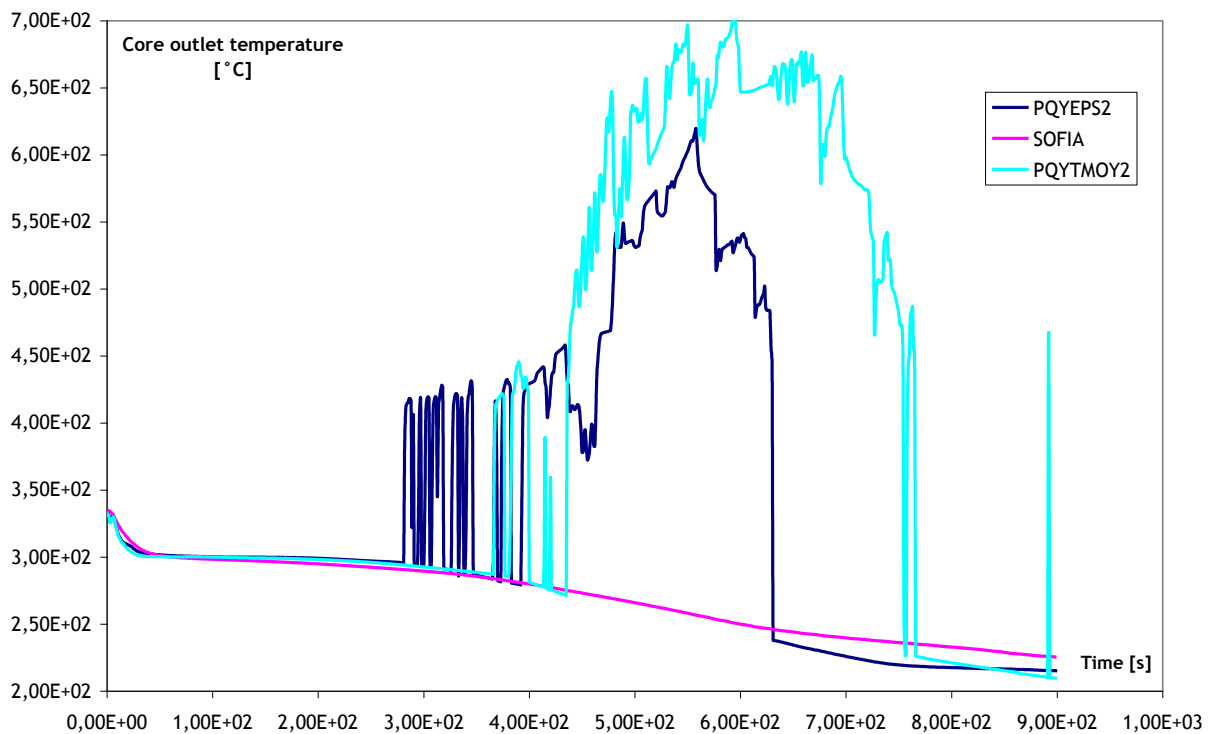


Fig. 5.6.3: Temperatura del fluido in uscita dal core per il transitorio S125.

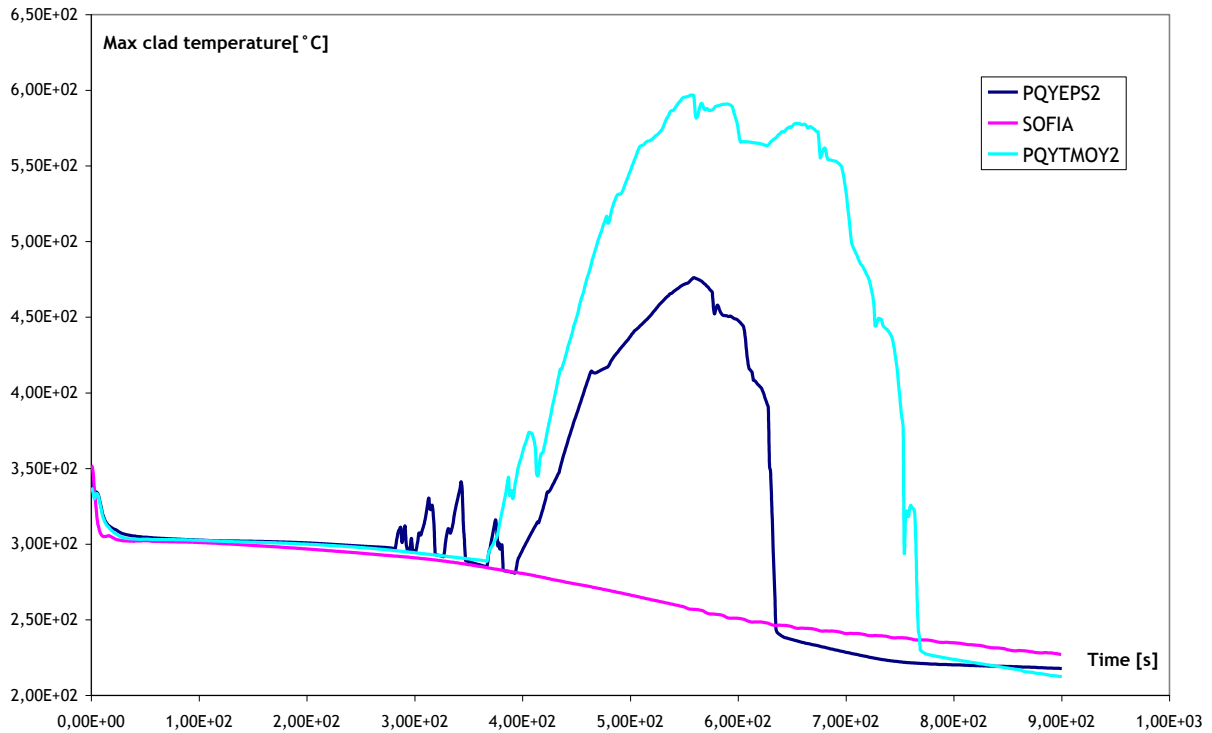


Fig. 5.6.4: Temperatura massima della guaina per il transitorio S125.

Per finire, le figure 5.5.5 e 5.6.6 mostrano il differente comportamento dei generatori di vapore (SGs) nelle configurazioni di SOFIA e SIPA.

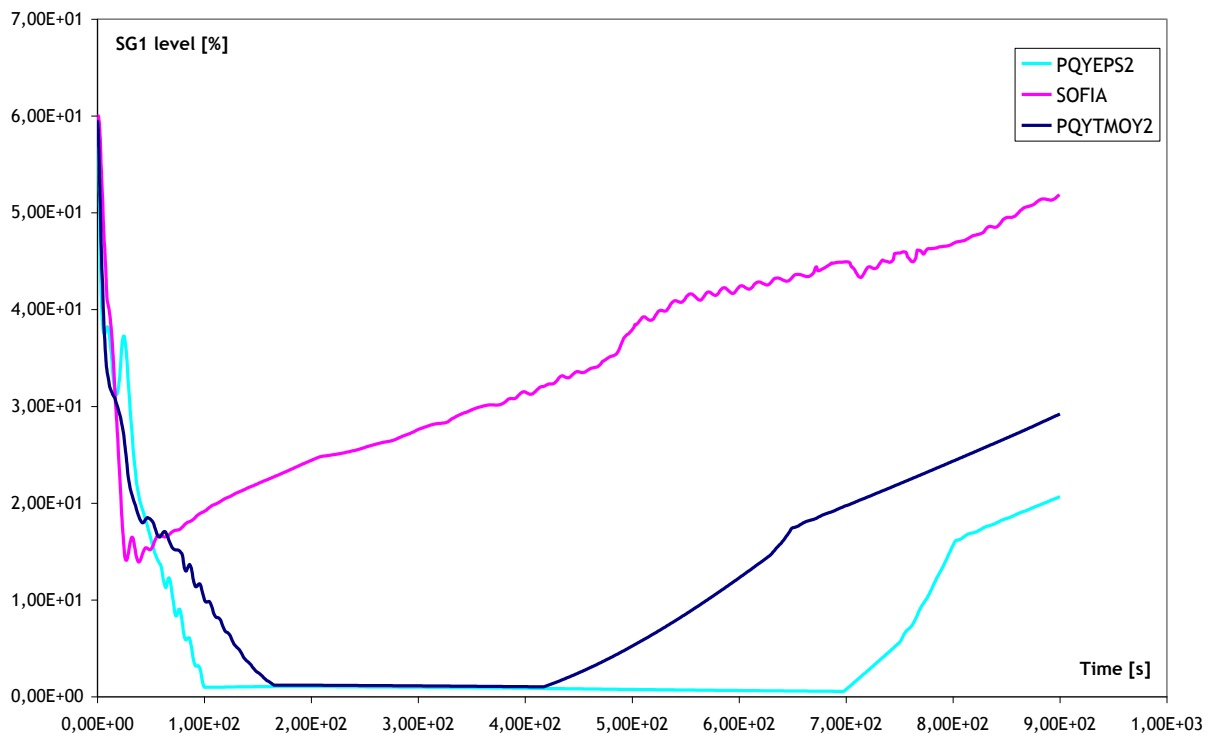


Fig. 5.6.5: Livello di liquid in SG1 durante il transitorio S 125.

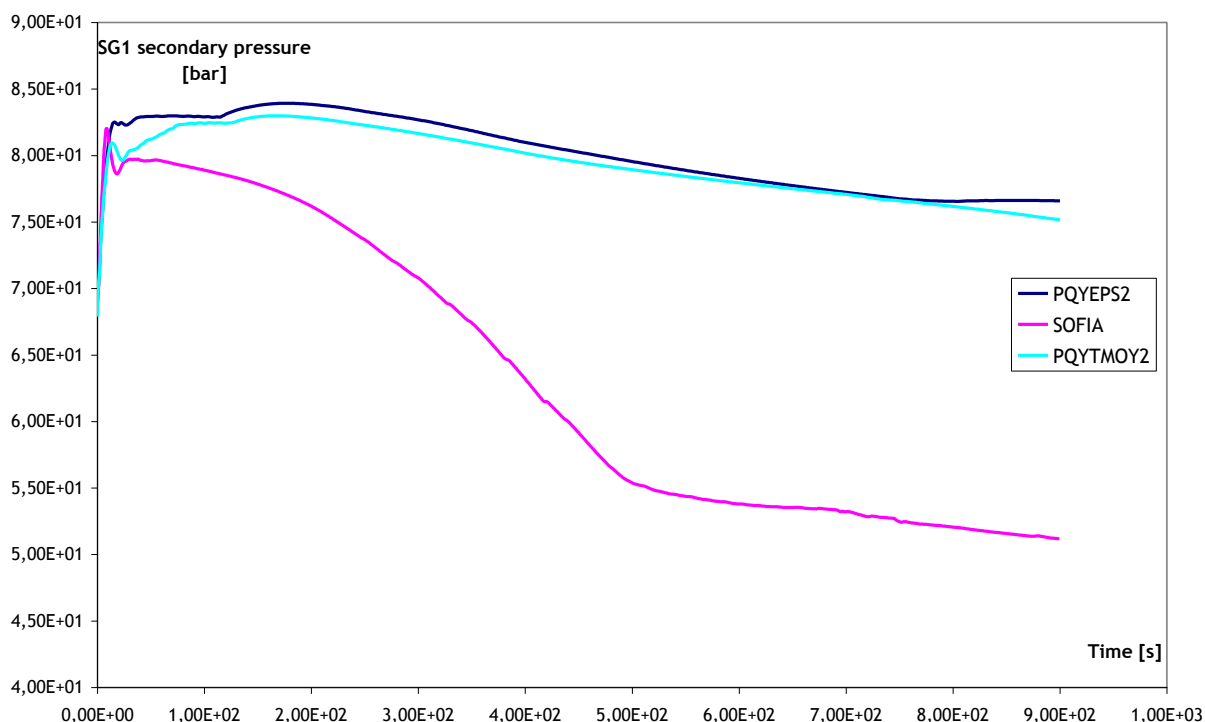


Fig. 5.6.6: Pressione lato secondario del SG1 per il transitorio S 125.

5.7 TRANSITORIO S 126

Il transitorio S 126 è un LOCA di 6" in gamba fredda, localizzato tra MCP e RV (vedi Fig.4.2), partendo dalle condizioni iniziali riportate in Tab.4. 3. In questo transitorio si è adottata l'ipotesi del non intervento del sistema IS sul loop 1. Si tratta dello stesso evento simulato nel transitorio S 125, ma in quest'ultimo si era supposto in più di bloccare le pompe di circolazione del primario 6 minuti dopo l'intervento del sistema IS. Le figure 5.7.1 – 5.7.4 mostrano rispettivamente gli andamenti della pressione e dell'inventario di massa nel circuito primario, la portata iniettata dal sistema IS e la portata attraverso la rottura. Da questi grafici si può vedere come i comportamenti idraulici descritti dal SIPA e dal SOFIA sono in buon accordo tra loro. Le figure 5.7.5 e 5.7.6 mostrano il confronto tra le temperature del fluido in uscita dal core e massima di guaina, come può facilmente vedersi il SOFIA non riesce ad evidenziare lo stesso comportamento messo in luce dal simulatore SIPA. Per finire, la Fig. 5.5.7 mostra il differente comportamento che hanno i modelli dei generatori di vapore inseriti nei due simulatori.

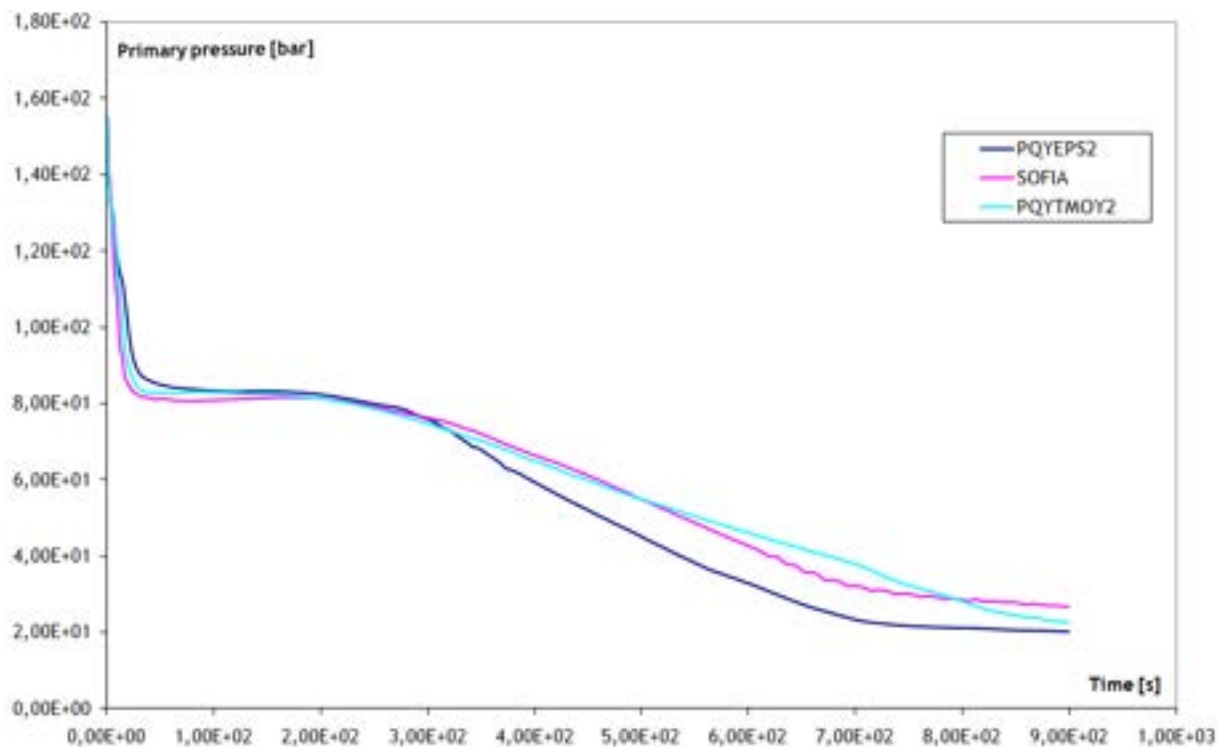


Fig. 5.7.1: Pressione del primario per il transitorio S 126.

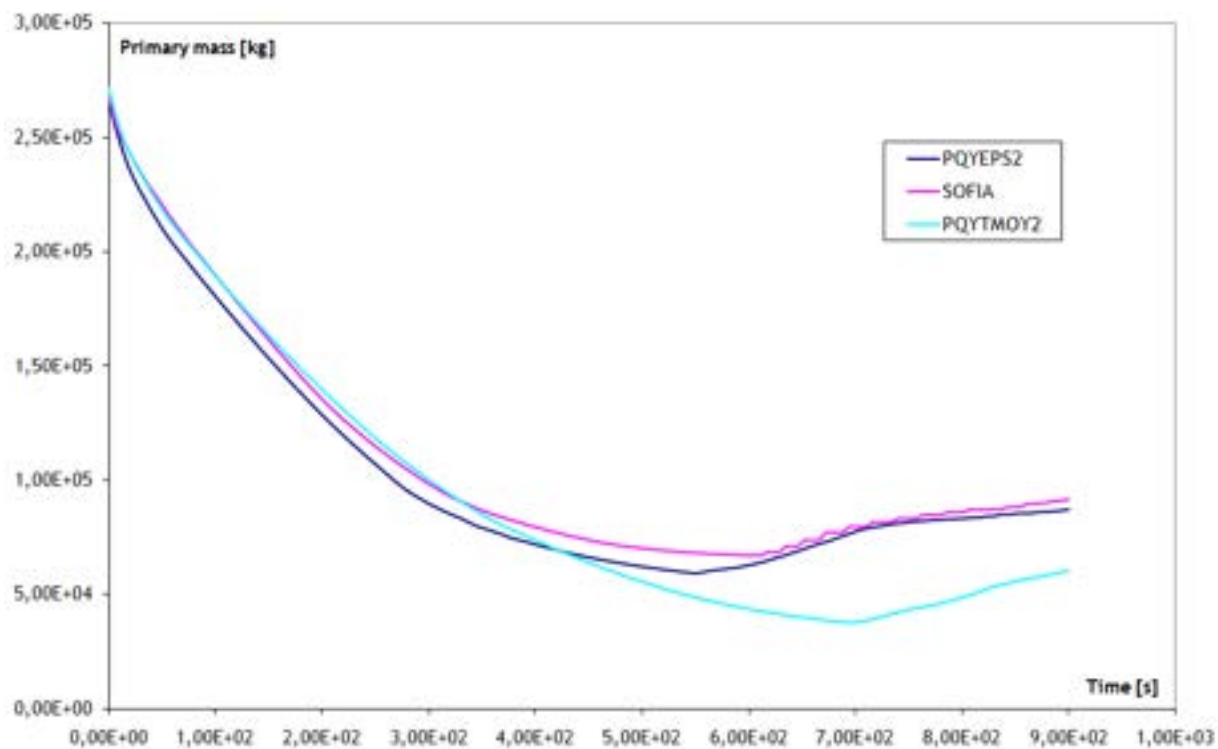


Fig. 5.7.2: Inventario di massa del circuito primario per il transitorio S 126.

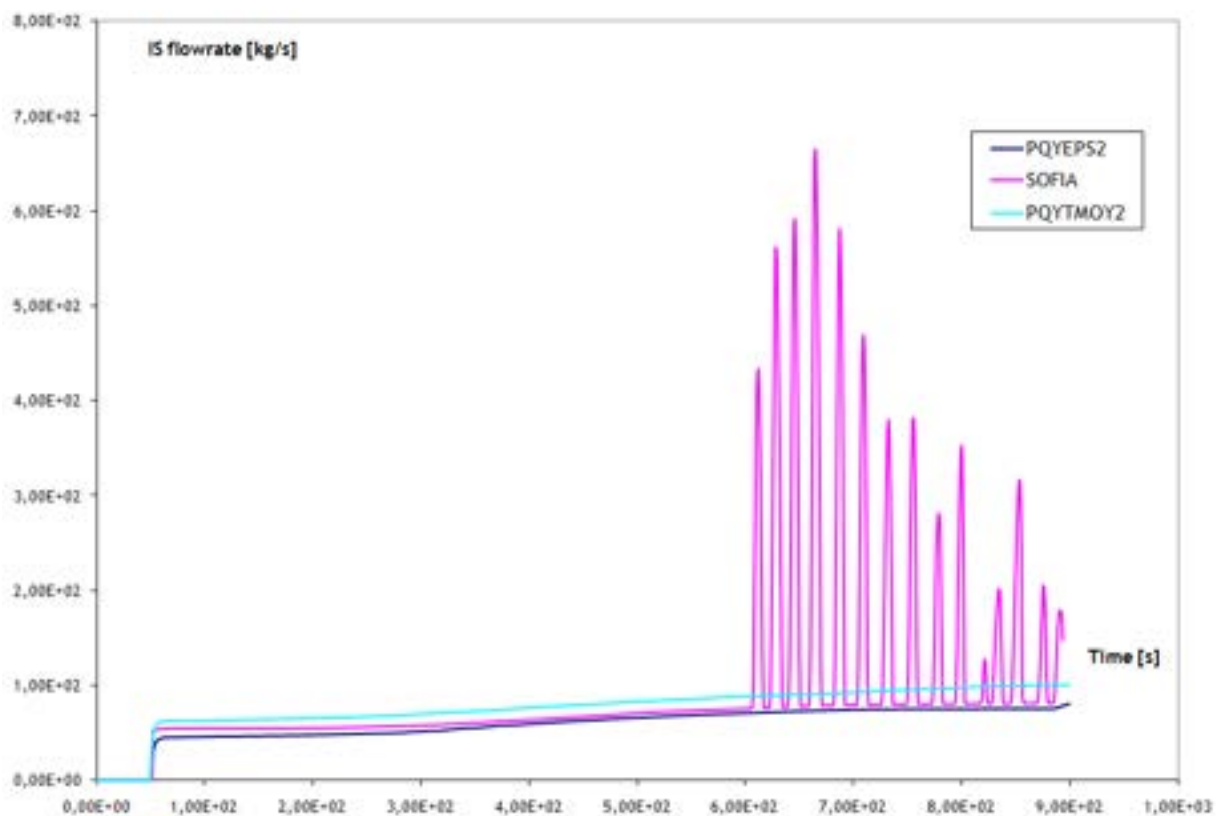


Fig. 5.7.3: Portata di fluido iniettata nel circuito primario dal sistema IS.

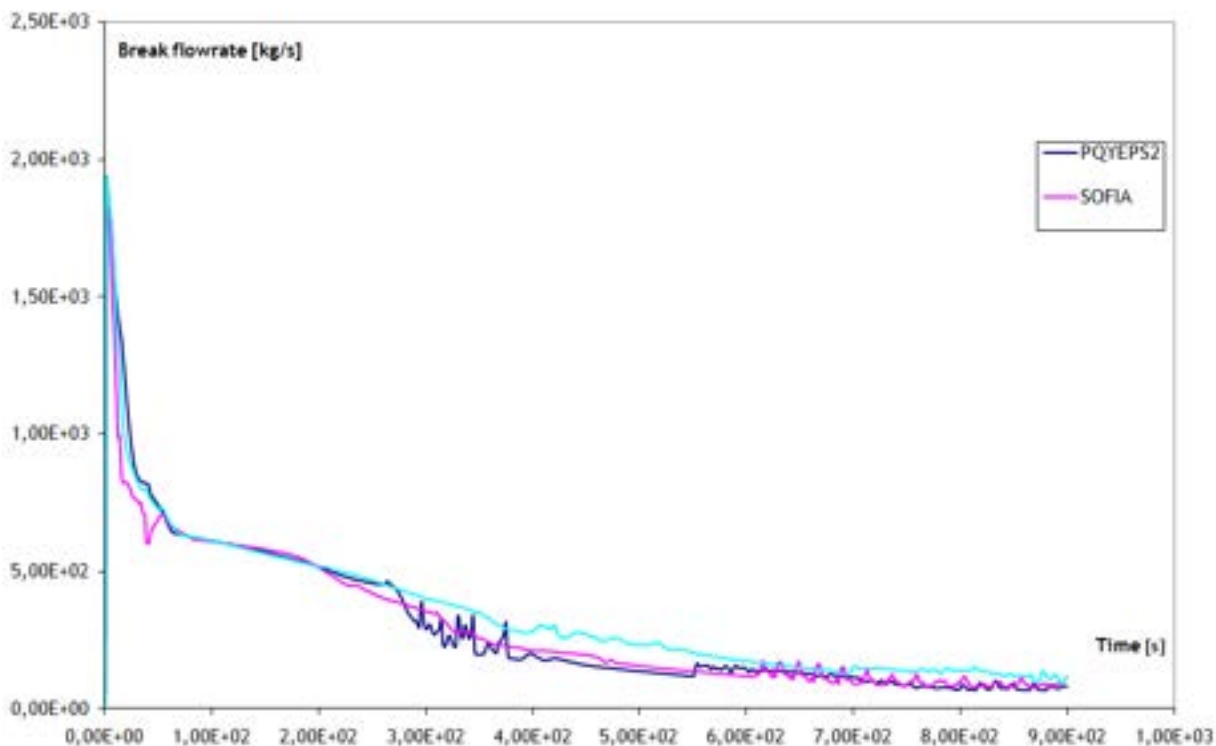


Fig. 5.7.4: Portata di fluido attraverso la rottura per il transitorio S 126.

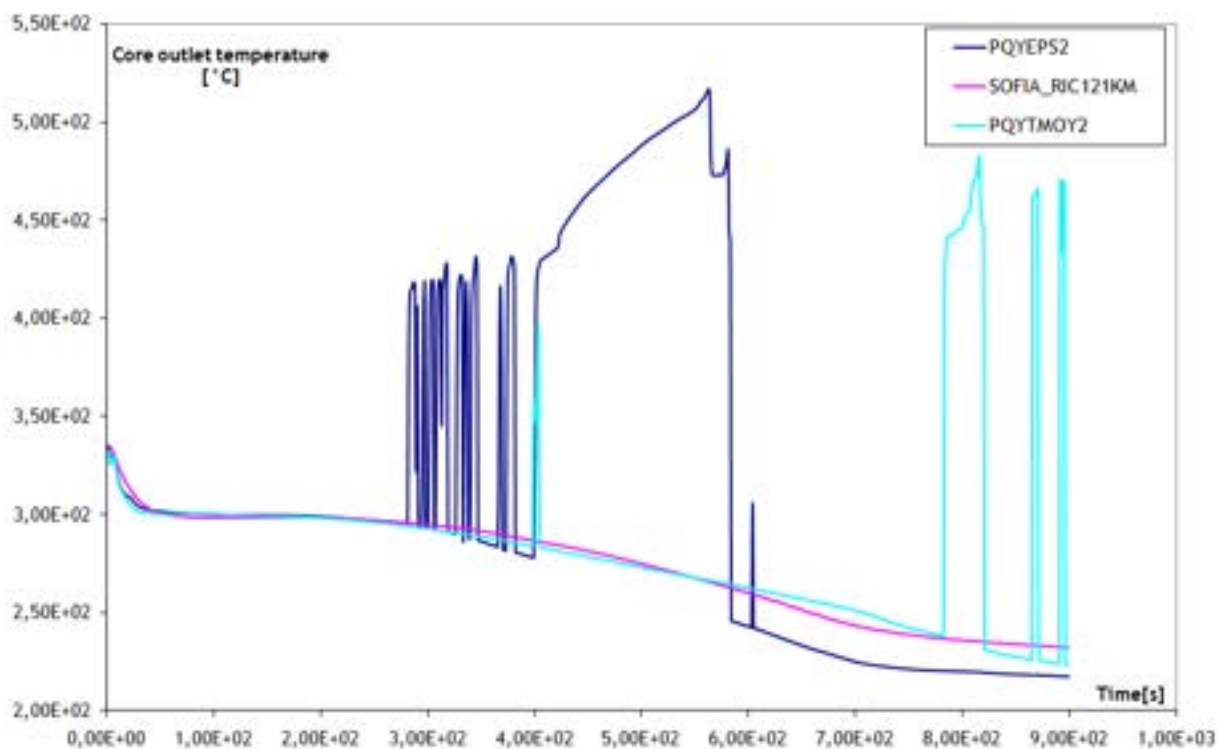


Fig. 5.7.5: Temperatura del fluido all'uscita del core per il transitorio S126.

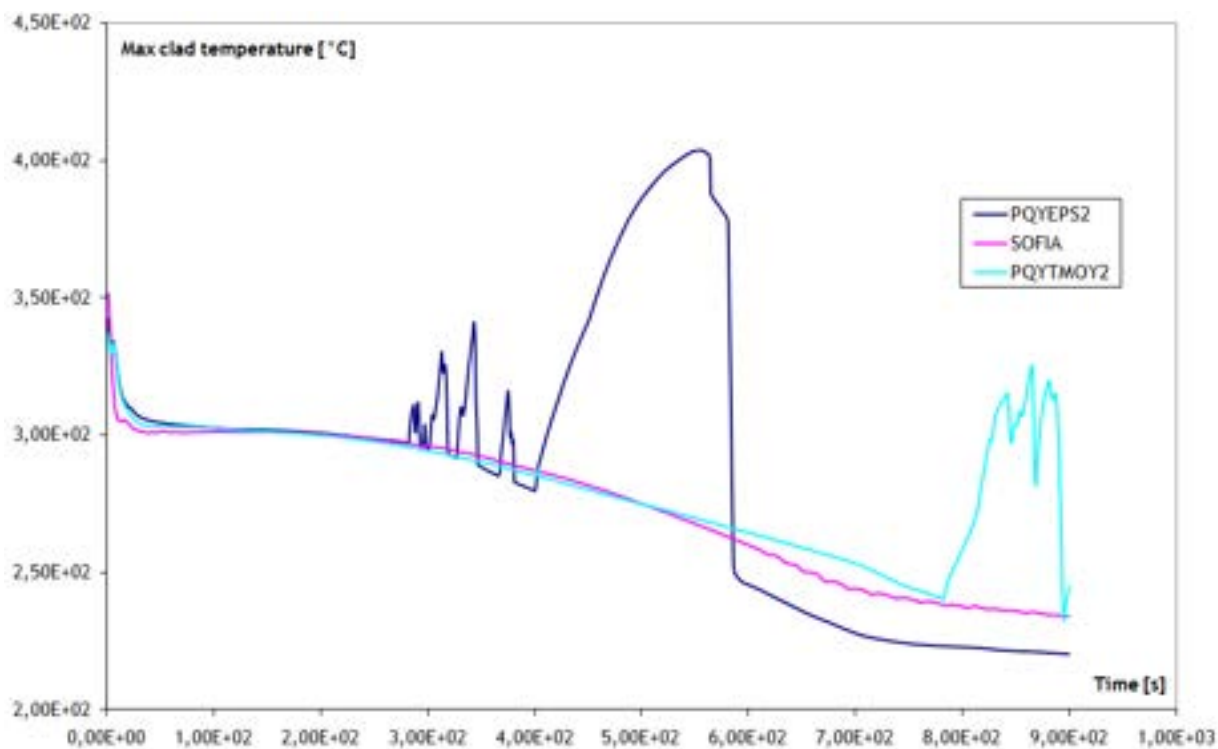


Fig. 5.7.6: Temperatura massima della guaina per il transitorio S126.

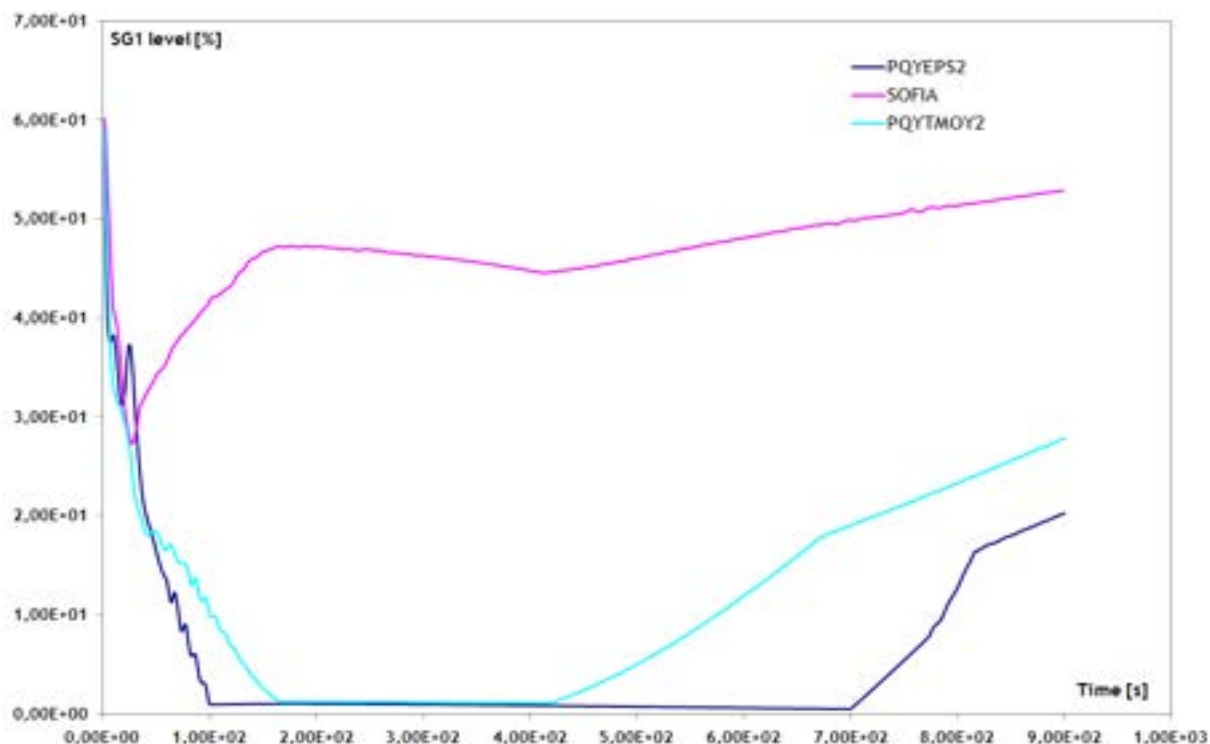


Fig. 5.7.7: Livello di liquido nel SG1 per il transitorio S126.

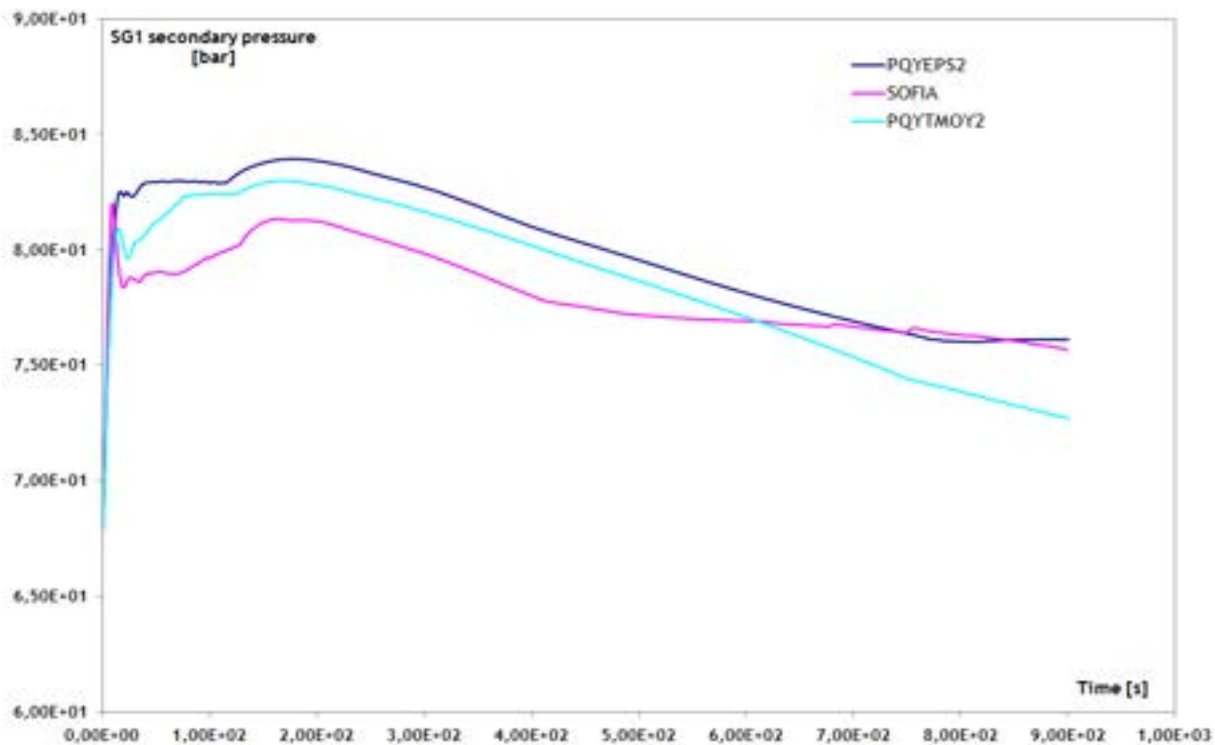


Fig. 5.7.8: Andamento della pressione nel lato secondario del SG1 per il transitorio S126.

Come può vedersi il confronto tra i calcoli eseguiti con SOFIA e con SIPA (S126 e S 125) porta alle medesime conclusioni. I ricercatori di IRSN dovranno quindi investigare sul perché della non osservazione dei picchi di temperatura e inoltre si occuperanno di studiare i diversi comportamenti dei secondari dei generatori di vapore.

5.8 TRANSITORIO S 127

Il transitorio S 127 è un LOCA di 3” in gamba calda 1, (vedi Fig.4.2), partendo dalle condizioni iniziali riportate in Tab.4. 2. In questo transitorio si sono adottate le seguenti ipotesi:

1. indisponibilità del sistema ASG ;
2. le pompe di circolazione del primario vengono bloccate 5 minuti dopo l’intervento dei sistemi IS.

Durante tale transitorio tutti i sistemi di emergenza (scram, intervento dei sistemi IS....) sono attivati in ritardo rispetto a quanto succede nel transitorio S 122 (transitorio con la rottura della stessa dimensione ma posizionata in gamba fredda). La fase di depressurizzazione del primario è meno violenta (Fig.5.8.1) e la portata attraverso la rottura è minore (Fig.5.8.2). La pressione del circuito primario si stabilizza al valore della pressione del secondario dei generatori di vapore (~ 80 bar). La Fig. 5.8.3 riporta l’inventario di massa del circuito primario, in questo caso il suo valore risulta maggiore dello stessa variabile mostrata in Fig. 5.4.2 (S 122). La portata di fluido all’uscita della rottura, Fig.5.8.5, mostra un valore minore rispetto alla stessa variabile mostrata per il transitorio S122 (Fig. 5.4.3). In conclusione, la Fig.5.8.6 mostra che la portata in uscita dalla rottura si mantiene completamente in fase liquida mentre la Fig.5.8.7 mostra la temperatura massima della guaina.

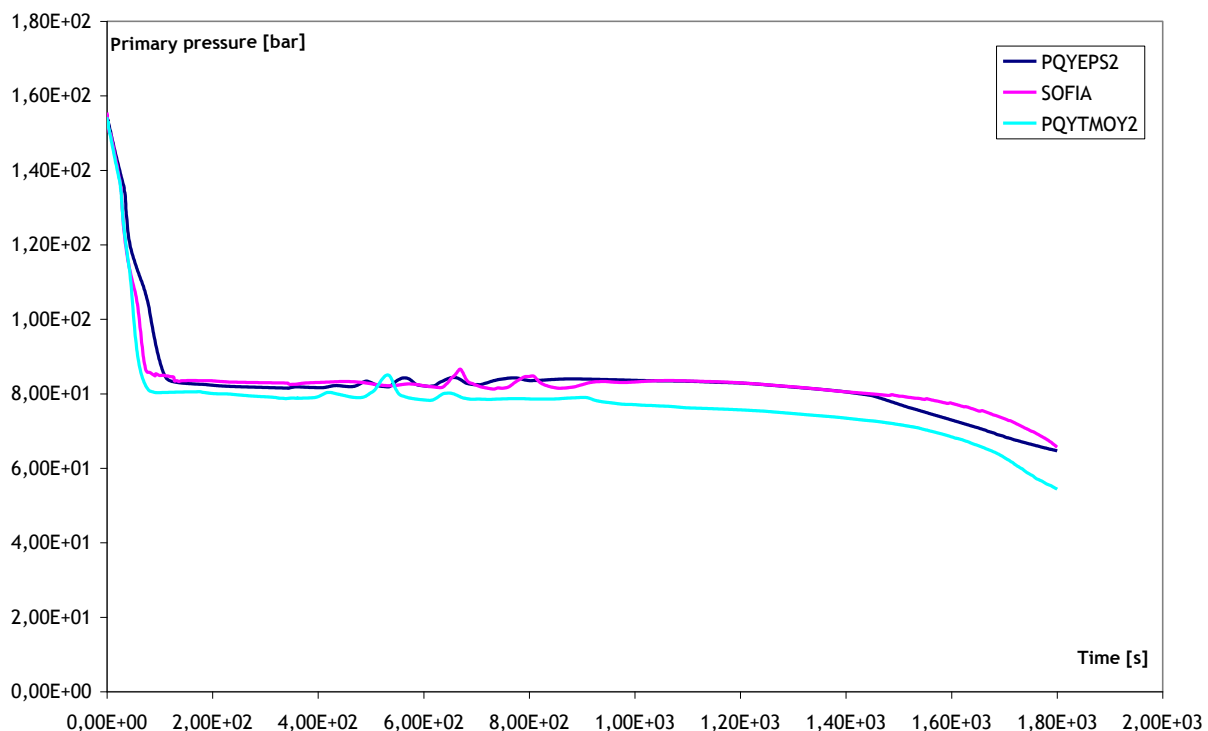


Fig.5.8.1: Pressione del primario per il transitorio S 127.

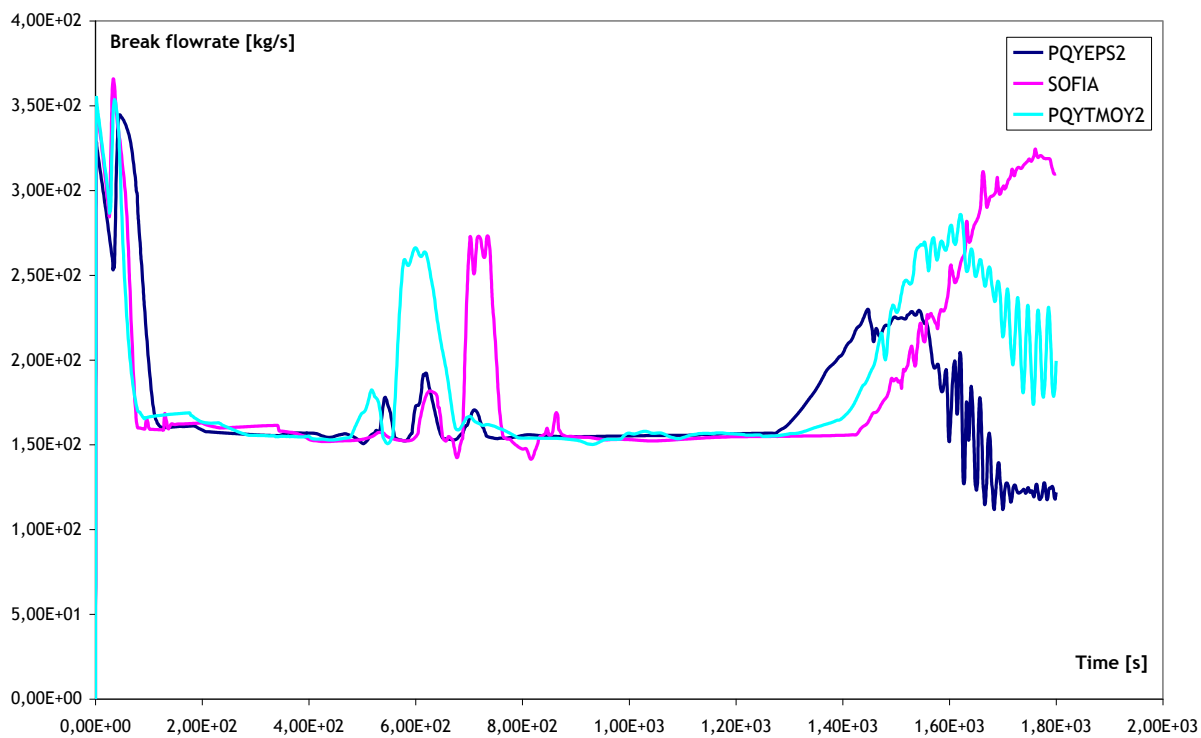


Fig.5.8.2: Portata di fluido attraverso la rottura per il transitorio S 127.

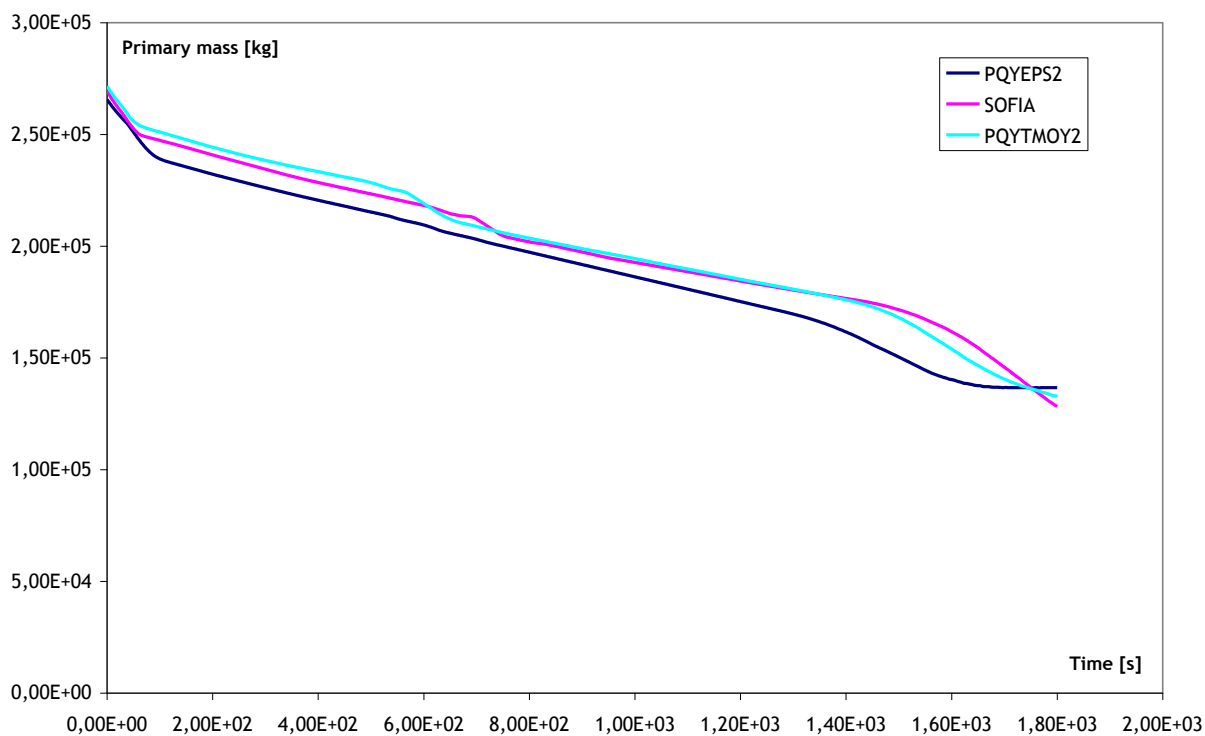


Fig.5.8.3: Inventario di massa del circuito primario per il transitorio S 127.

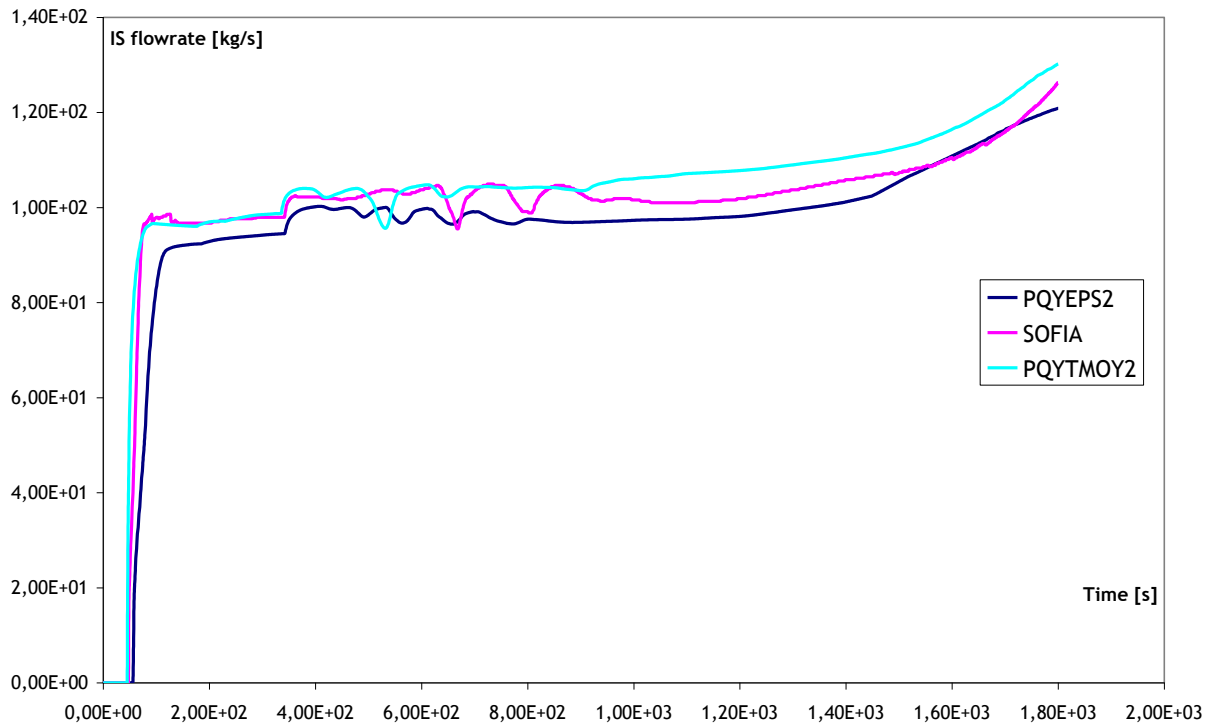


Fig.5.8.4: Portata di fluido iniettata nel circuito primario dal sistema IS per il transitorio S 127.

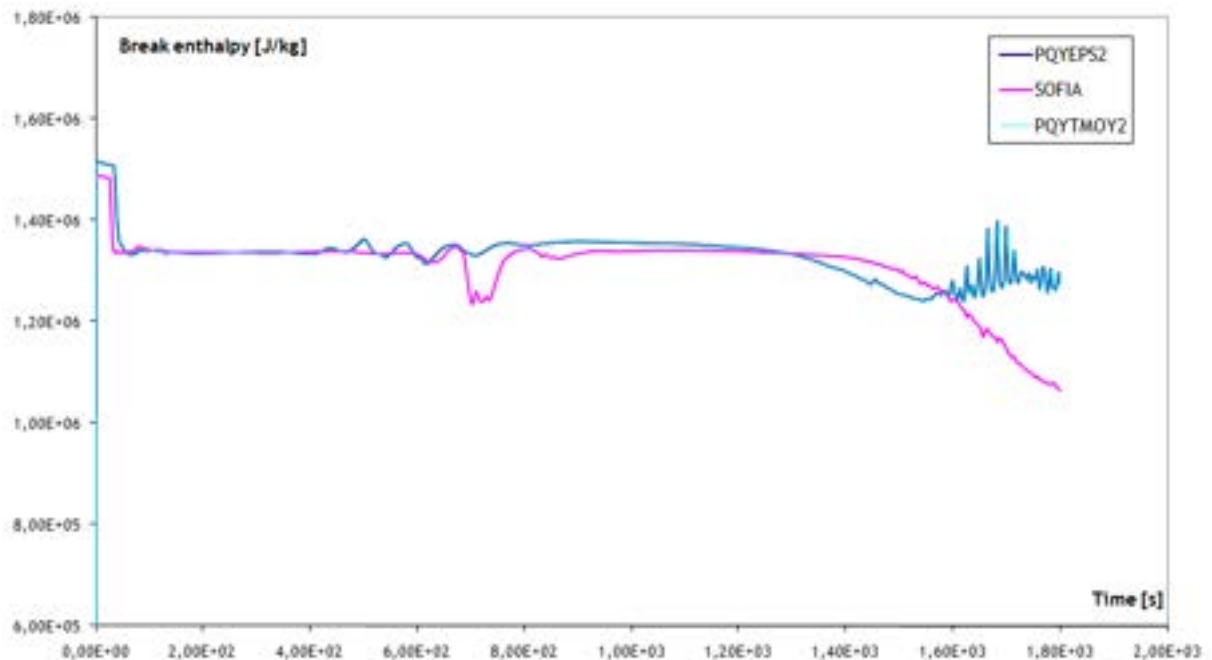


Fig.5.8.5: Entalpia del fluido attraverso la rottura per il transitorio S 127.

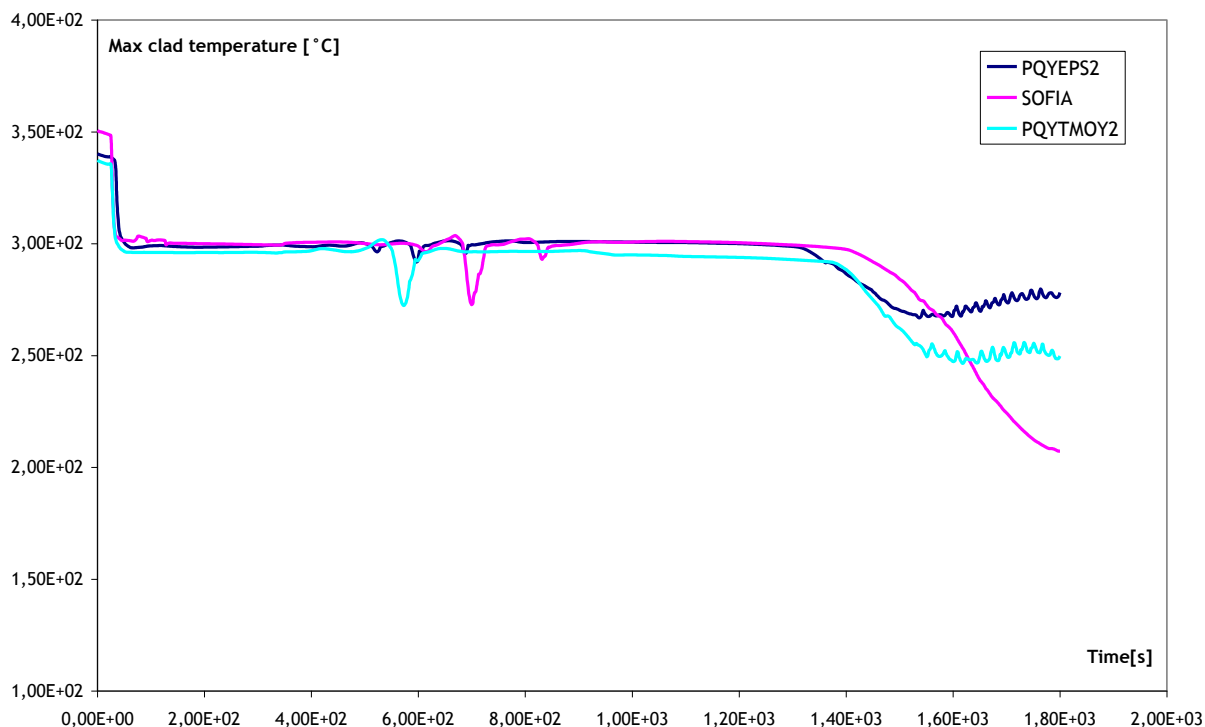


Fig.5.8.6: Massima temperature della guaina per il transitorio S127.

Per questo transitorio i comportamenti predetto dal SIPA e dal SOFIA sono in buon accordo.

5.9 TRANSITORIO S 128

Il transitorio S 128 è un LOCA di 3" sulla parte alta del pressurizzatore, (vedi Fig.4.2), partendo dalle condizioni iniziali riportate in Tab.4. 2. In questo transitorio si sono adottate le seguenti ipotesi:

1. indisponibilità del sistema ASG ;
2. le pompe di circolazione del primario vengono bloccate 5 minuti dopo l'intervento dei sistemi IS.

Il livello del PRZ è riportato nella Fig. 5.9.1. In essa si può vedere che tra 0 e 30s, compatibilmente al fenomeno di contrazione del fluido, il livello di liquido nel pressurizzatore diminuisce. Successivamente tra 30 s e 100 s il livello di liquido aumenta fino a che il PRZ risulterà completamente pieno. Tra 0 s e 100 s la portata di fluido attraverso la rottura risulta veramente bassa (Fig. 5.9.2) e sostanzialmente in fase vapore (Fig. 5.9.3). La pressione nel circuito primario (Fig. 5.9.4) presenta una prima regione caratterizzata da una violenta depressurizzazione. A partire dall'istante $t = 100$ s la portata di fluido attraverso la rottura aumenta rapidamente e la pressione nel circuito primario si stabilizza ad un valore coincidente con quello della pressione del secondario.

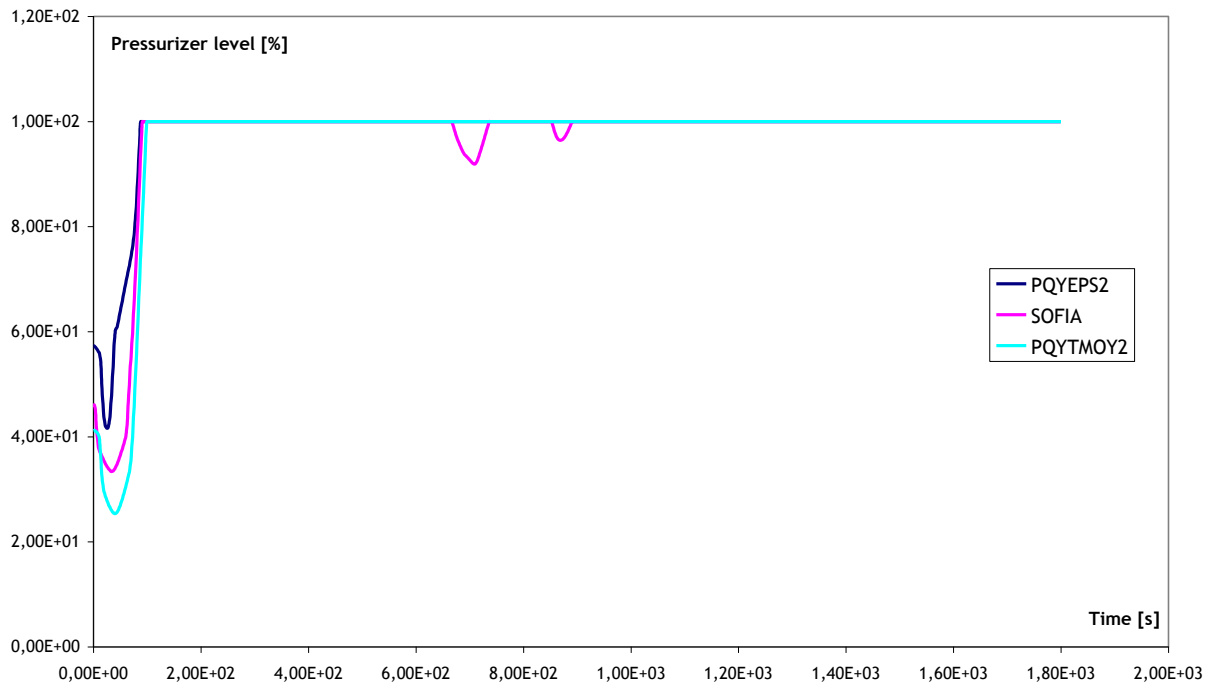


Fig. 5.9.1: Livello di liquido nel PRZ per il transitorio S128.

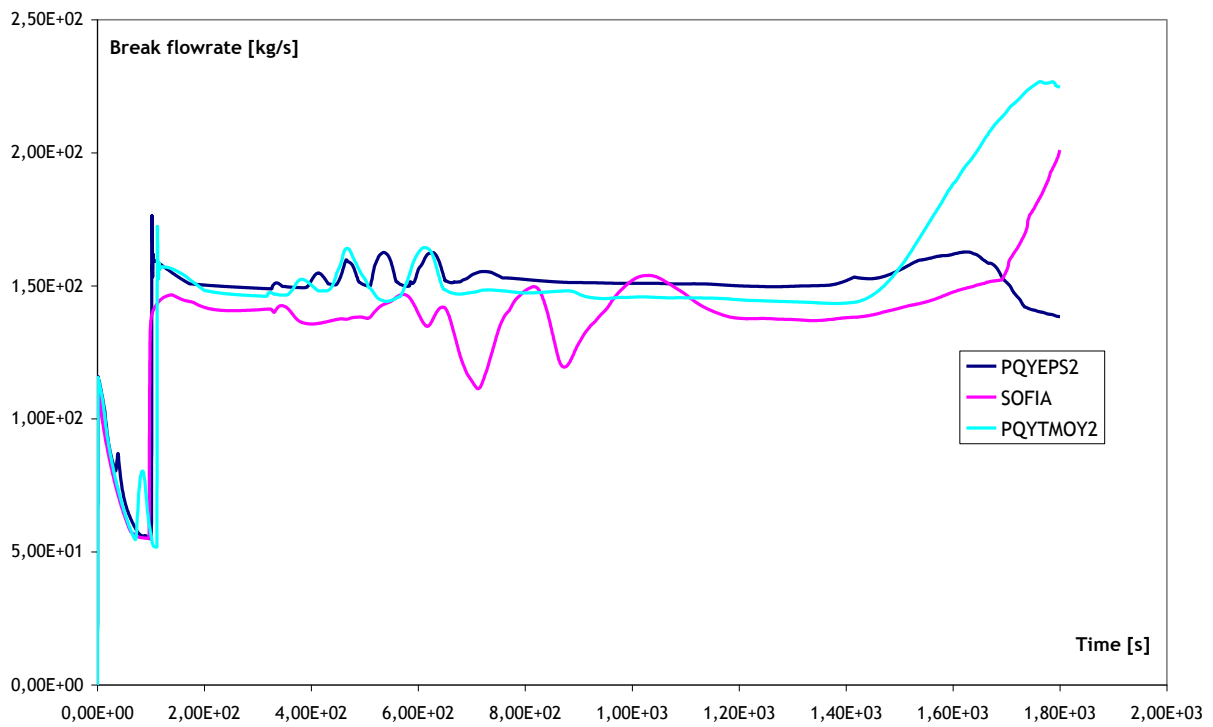


Fig. 5.9.2: Portata di fluido attraverso la rottura per il transitorio S 128.

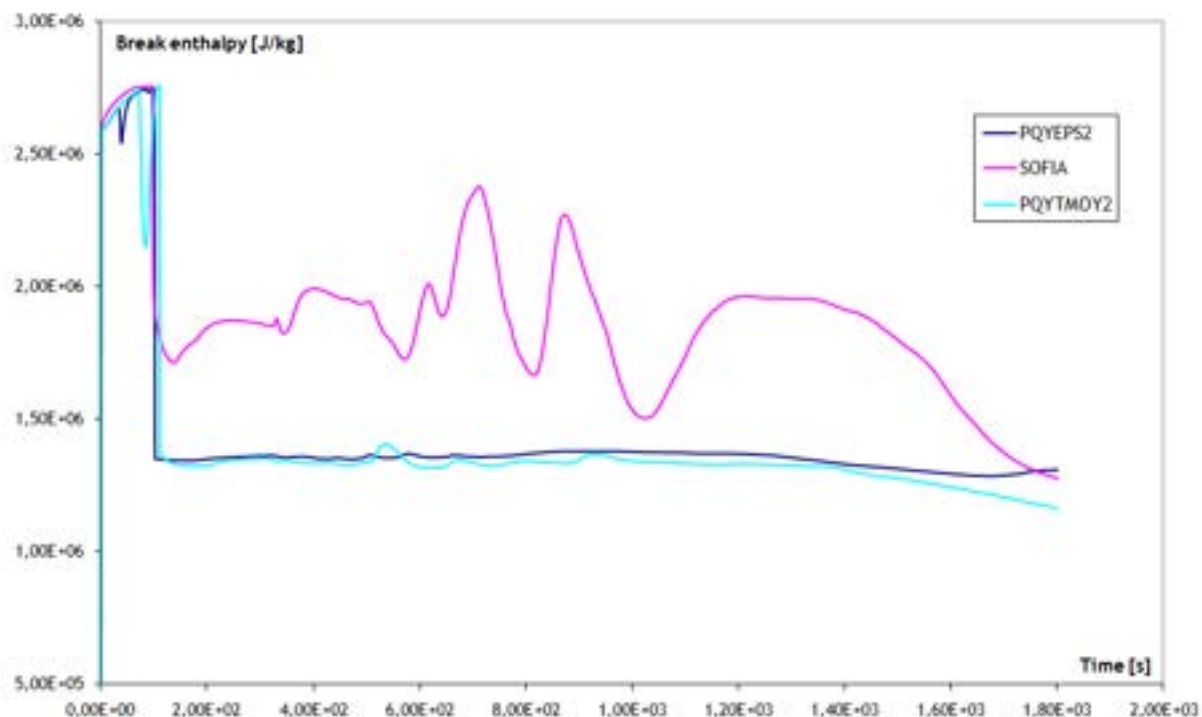


Fig. 5.9.3: Entalpia della portata che fluisce attraverso la rottura per il transitorio S 128.

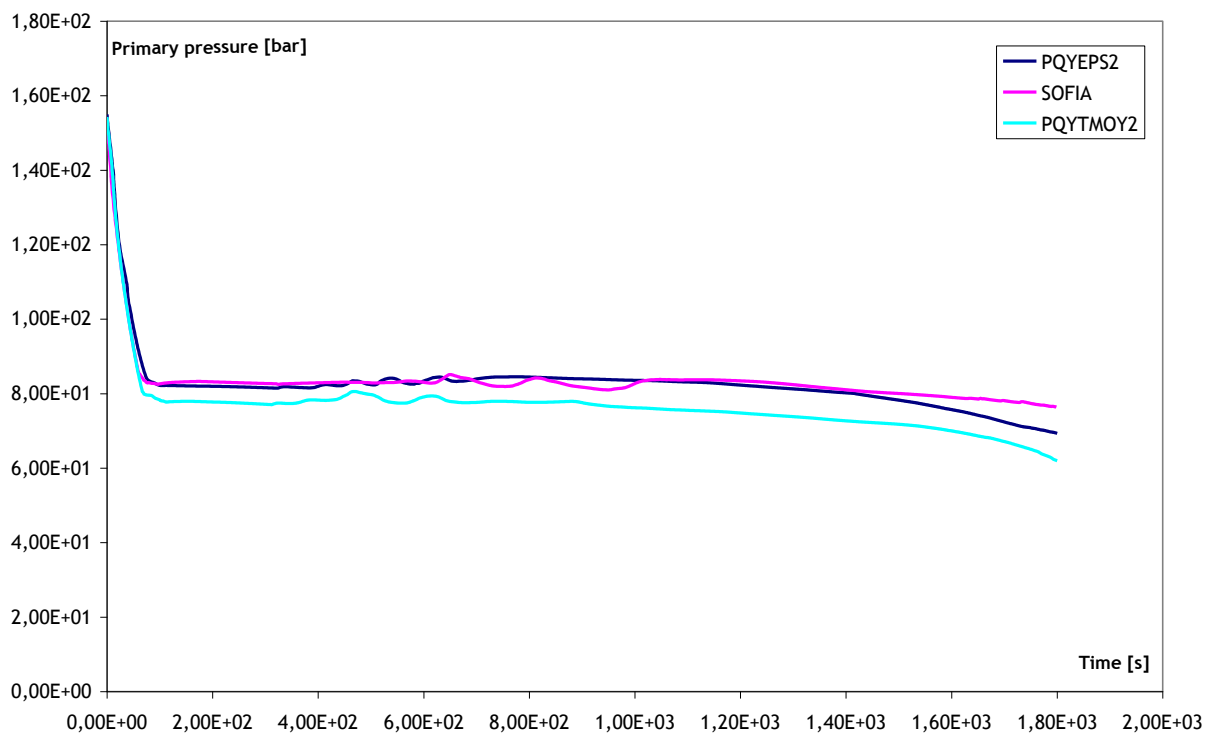


Fig. 5.9.4: Pressione del circuito primario per il transitorio S 128.

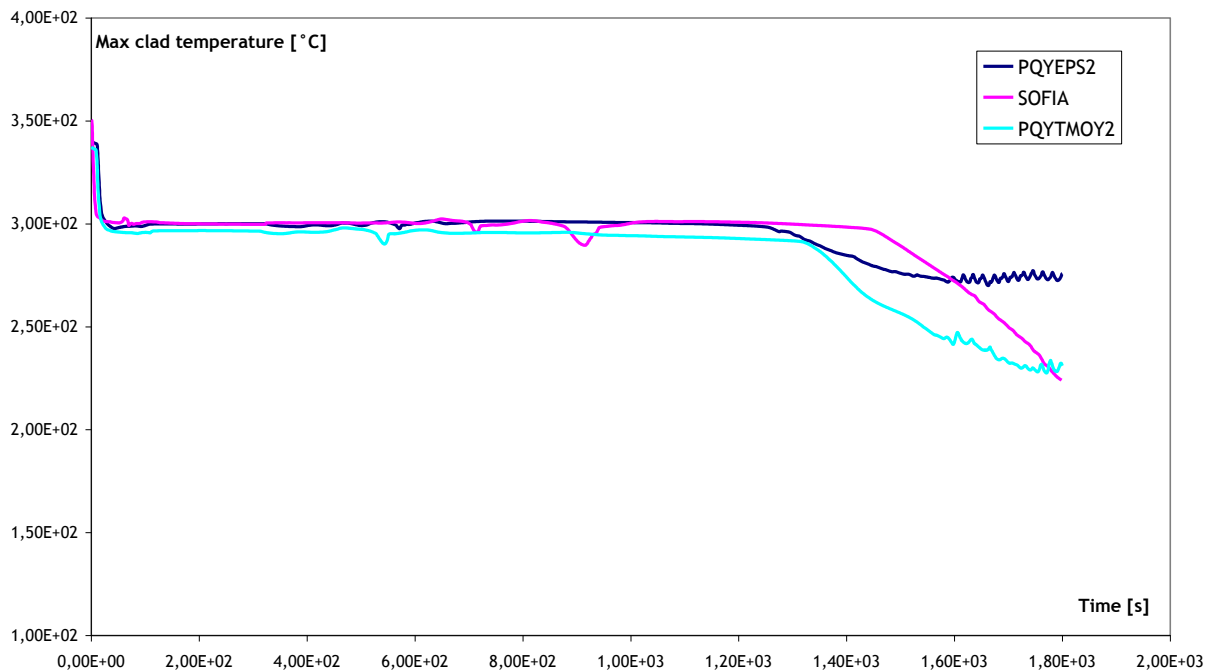


Fig. 5.9.5: Temperatura massima di guaina per il transitorio S128.

5.10 TRANSITORIO S 129

Il transitorio S 129 è un LOCA di 3" con la rottura posizionata nella parte bassa del vessel (vedi Fig.4.2), partendo dalle condizioni iniziali riportate in Tab.4. 2. In questo transitorio si sono adottate le seguenti ipotesi:

1. indisponibilità del sistema ASG ;
2. le pompe di circolazione del primario vengono bloccate 5 minuti dopo l'intervento dei sistemi IS.

La Fig. 5.10.1 mostra l'andamento della pressione del circuito primario, i valori di tale grandezze predetti da SIPA e SOFIA sono in buon accordo fino all'istante di tempo $t = 1200$ s. In corrispondenza a tale istante la pressione del circuito primario fornita dal SOFIA assume un valore inferiore al set point degli accumulatori (40 bar) , quindi questi intervengono scaricando del liquido dentro il primario (Fig. 5.10.2). La prima differenza esistente tra il SIPA ed il SOFIA riguarda il comportamento degli accumulatori, infatti mentre la portata di fluido iniettata dagli accumulatori in SOFIA presenta dei picchi, la fase di scarico degli accumulatori del SIPA è rappresentata da una curva continua. Alla fine del transitorio l'inventario di massa del primario predetto dal SIPA risulta veramente basso (Fig. 5.10.3) e di conseguenza la temperatura massima della guaina aumenta (Fig. 5.10.4). Tale comportamento non viene messo in luce dal simulatore SOFIA.

Per concludere, la Fig. 5.10.4, che riporta l'entalpia del fluido alla rottura, mostra la transizione da liquido a vapore predetta da SIPA ma non dal SOFIA.

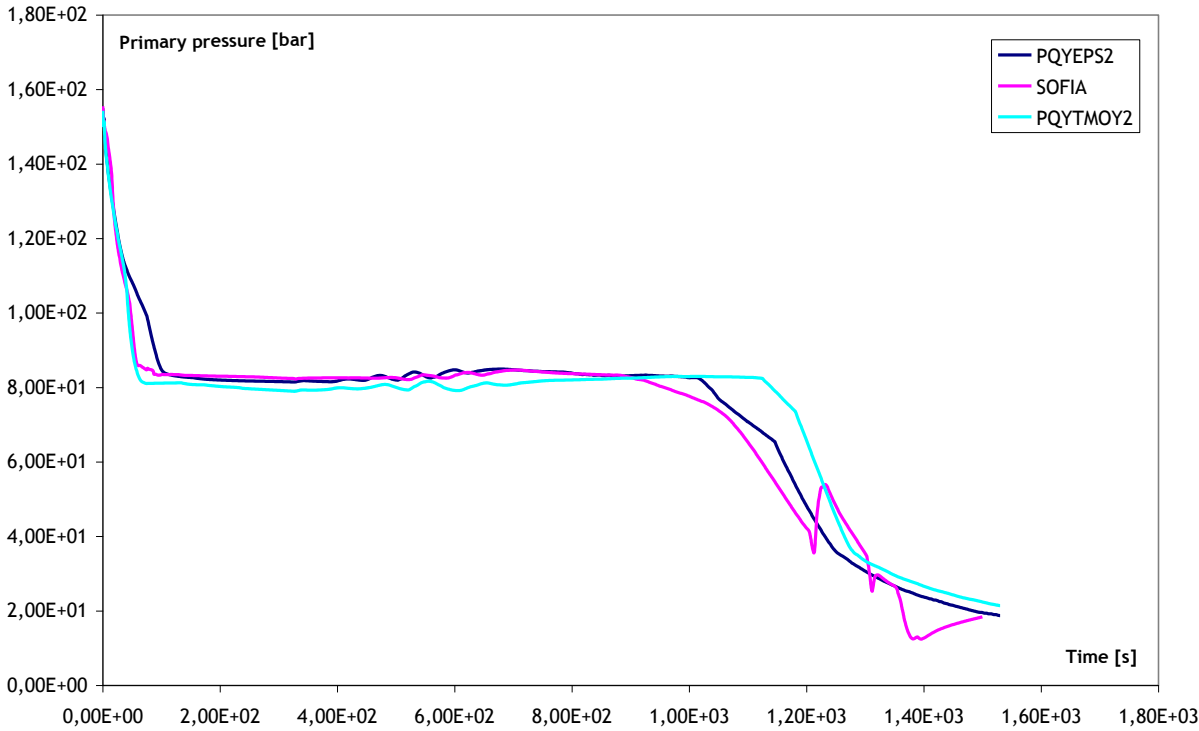


Fig. 5.10.1: Pressione del primario per il transitorio S 129.



Fig. 5.10.2: Massa di liquido iniettata dall'accumulatore 1 dentro al circuito primario per il transitorio S129.

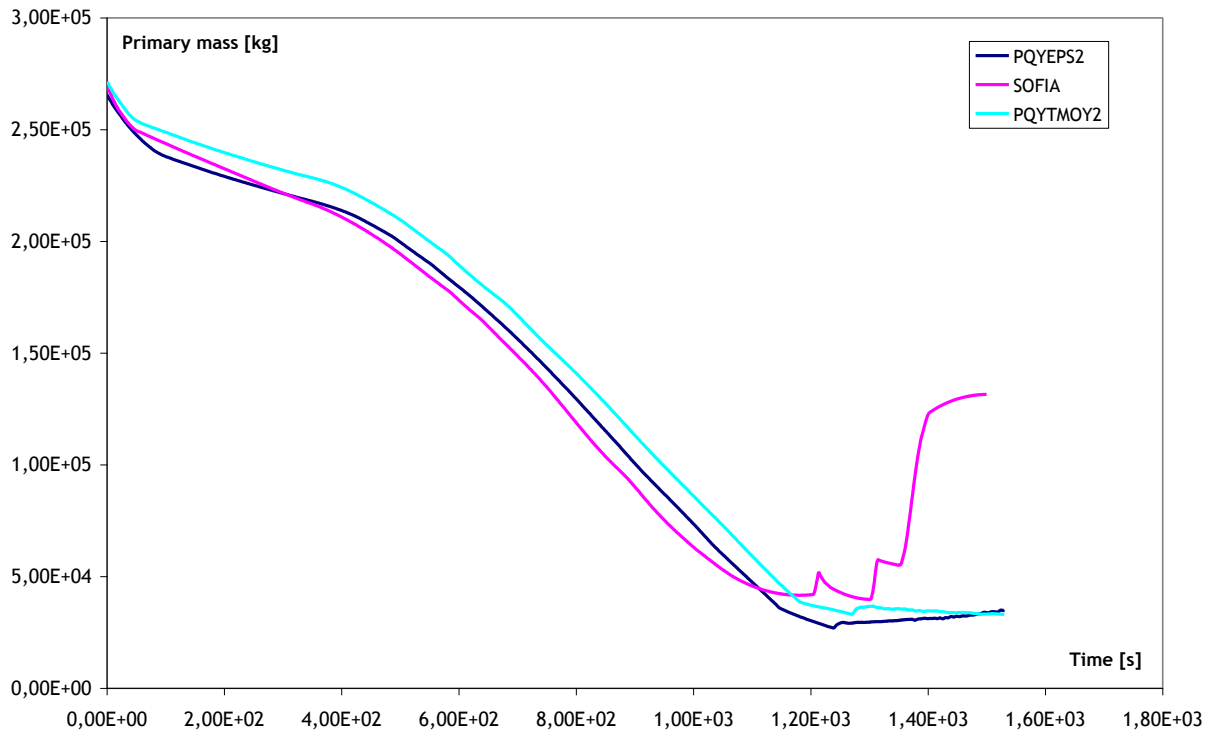


Fig. 5.10.3: Inventario di massa del primario per il transitorio S 129.

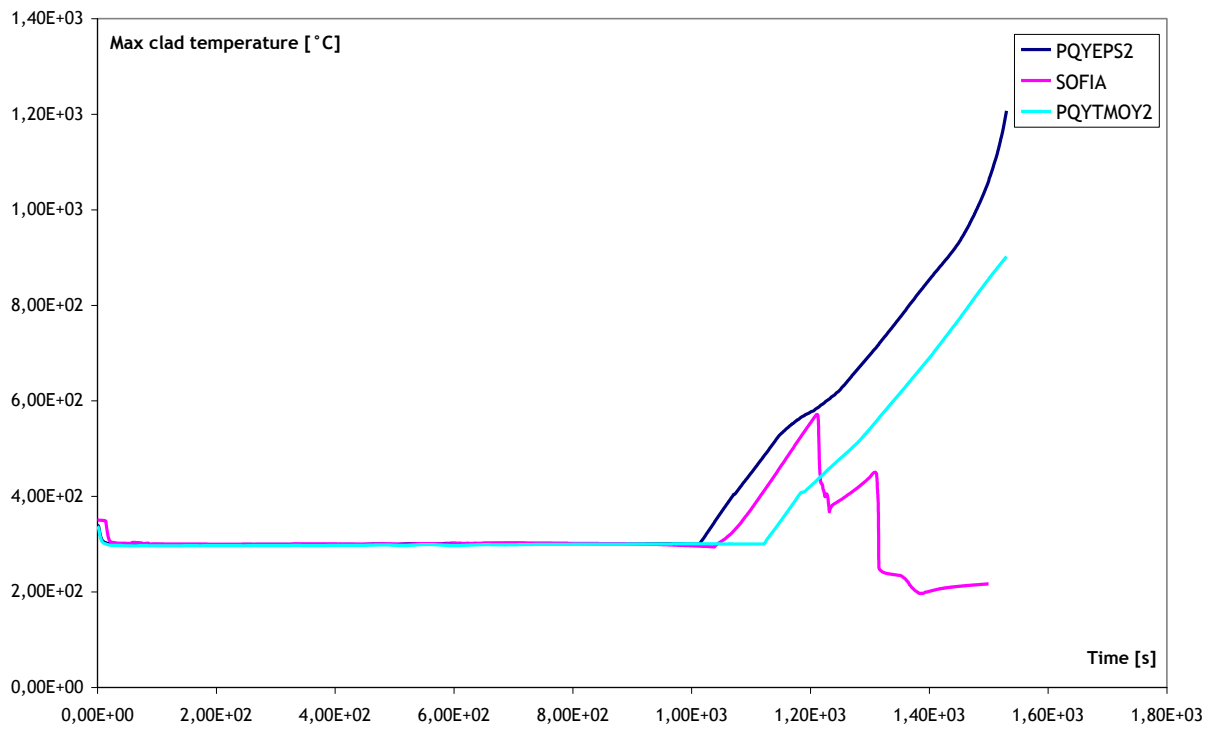


Fig. 5.10.4: Temperatura massima della guaina per il transitorio S129.

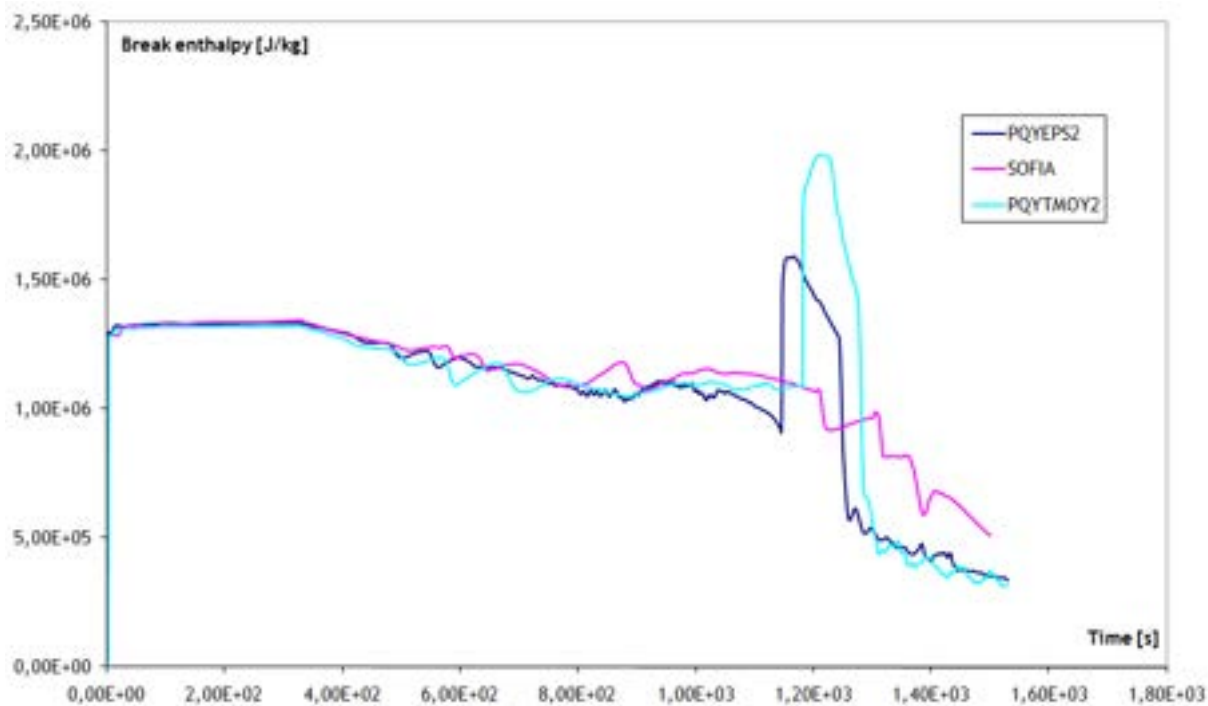


Fig. 5.10.4: Entalpia del fluido attraverso la rottura per il transitorio S 129.

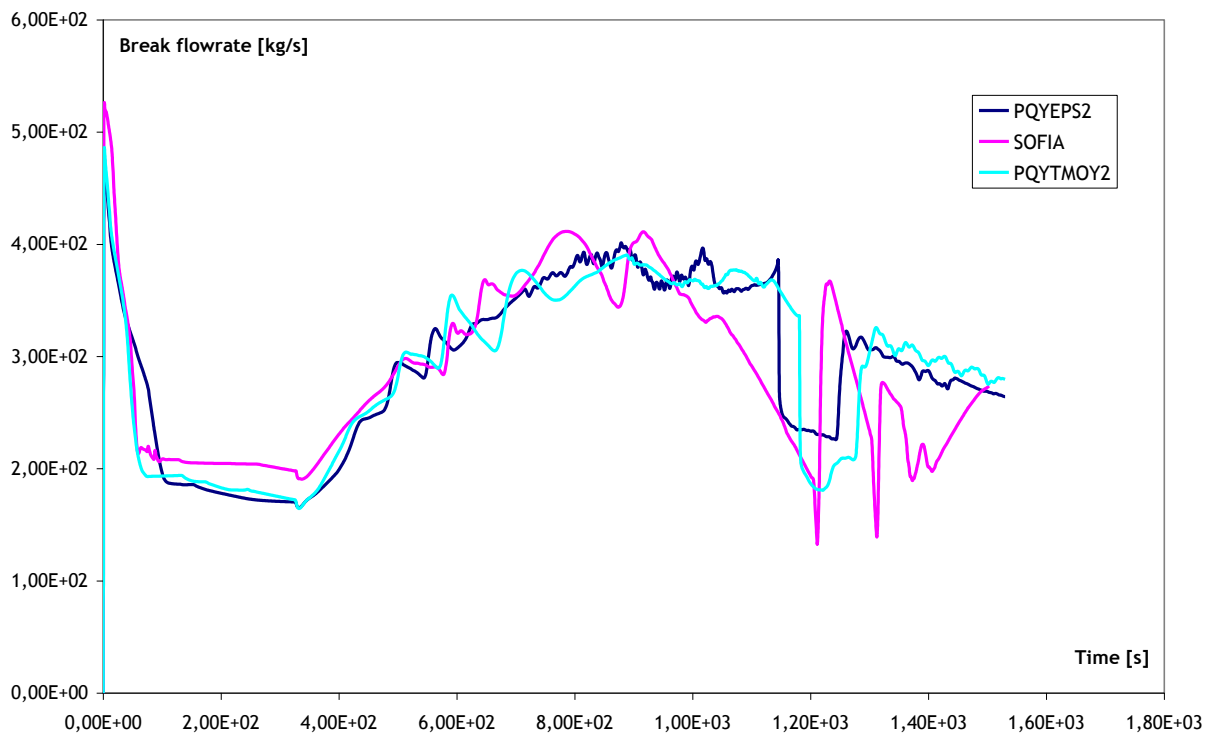


Fig. 5.10.5: Portata di fluido attraverso al rottura per il transitorio S 129.

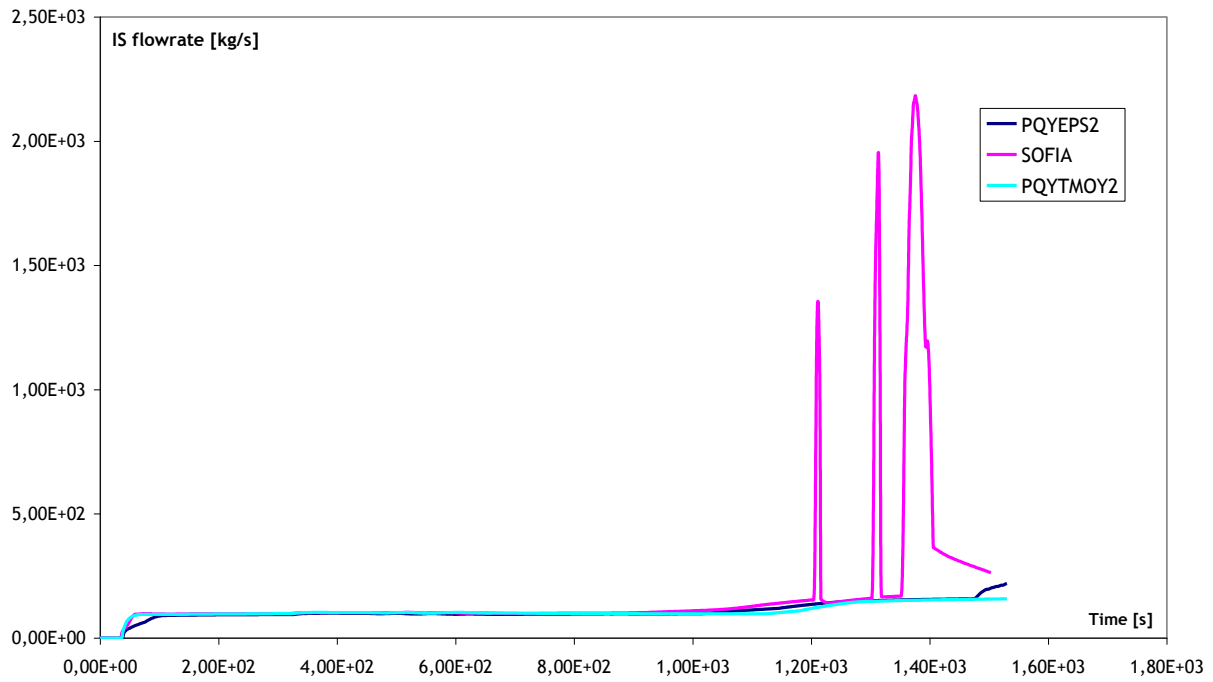


Fig. 5.10.6: Portata di fluido iniettata dai sistemi IS per il transitorio S 129.

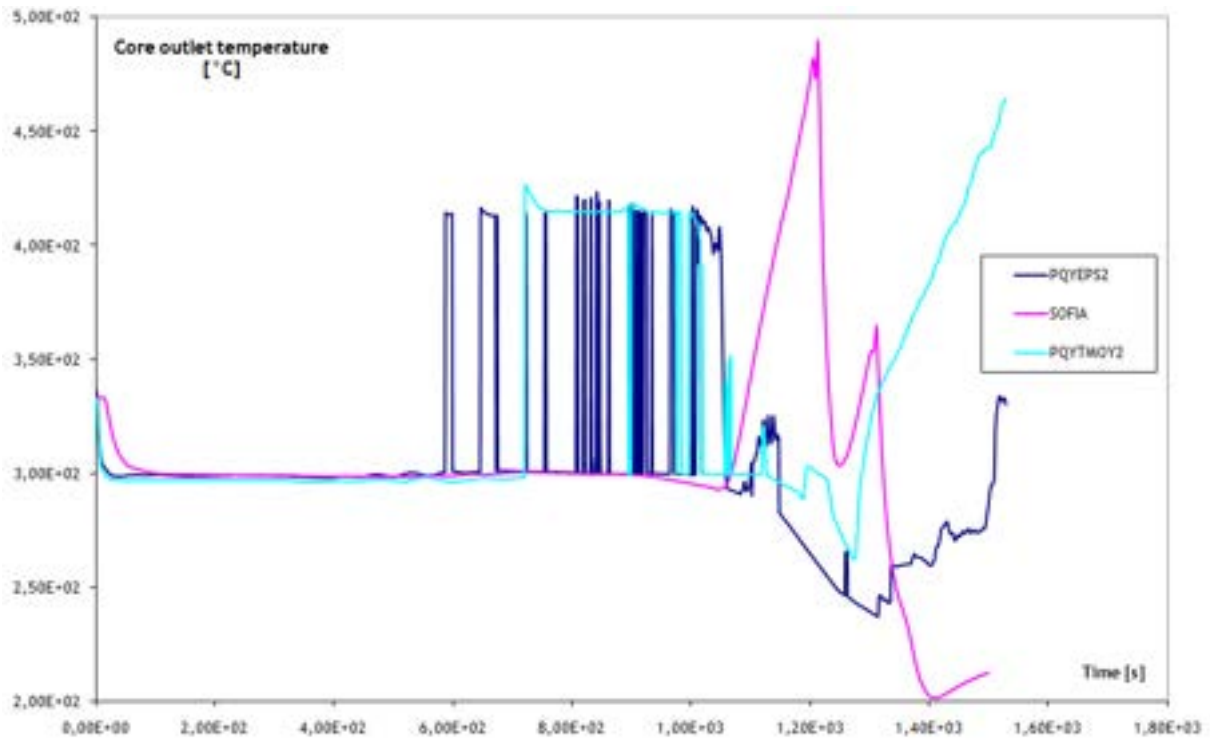



Fig. 5.10.8: Temperatura del fluido all'uscita del core per il transitorio S129.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 014	0	R	73	112

6. CONCLUSIONI

Il presente rapporto contiene i principali risultati dell'attività di validazione del simulatore SOFIA condotta nell'ambito della collaborazione internazionale tra ENEA ed IRSN. Tale attività è stata sviluppata con l'obiettivo di riprodurre, tramite l'impiego del simulatore SOFIA, gli esercizi utilizzati dai colleghi dell'IRSN per i corsi di formazione: esercizi fino ad oggi condotti tramite l'impiego del vecchio simulatore SIPA. Più precisamente sono stati simulati i transitori incidentali inglobati nell'unità SP1: in particolare i transitori di LOCA. Il lavoro condotto è consistito nel riprodurre i 10 transitori di LOCA tramite l'impiego dei simulatori SIPA e SOFIA e nel confrontare i risultati ottenuti, consentendo ai colleghi dell'IRSN di decidere se i transitori riprodotti dal SOFIA risultassero o meno soddisfacenti.

I principali risultati di tale attività, in parte riportati nel presente rapporto, ci consentono di mettere in luce i differenti comportamenti dei due simulatori di seguito riportati ed inerenti:

- i modelli dei SGs in essi inglobati ;
- le differenti elevazioni del punto di iniezione dei sistemi ASG ;
- le portate attraverso la rottura;
- gli aspetti termici, in particolare alle temperature della guaina;
- le linee di scarico degli accumulatori.

Tutti i punti sopra riportati saranno argomento di studio da parte dei colleghi dell'IRSN, al fine di comprenderne perfettamente le ragioni (differenti nodalizzazioni, differenti modelli fisici inglobati in CATHARE...).

7. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI


[1] ENEA; IRSN: STC Agreement n 03, VALIDATION AND DEVELOPMENT ACTIVITY OF THE SOFIA SIMULATOR.

[2] P. Dufeil : The pressurized water reactor simulator: a high-performance tool in support for safety ; Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, DSR, Fontenay-aux-Roses, Paris.


[3] OECD 2009 NEA No. 6846; Nuclear Fuel Behaviour in Loss-of-coolant Accident (LOCA) Conditions.

8. ABBREVIAZIONI

ASG	Auxiliary Feedwater System
CEA	Commissariat à l'Energie Atomique

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 014	0	R	74	112

CL	Cold Leg
EPR	European Pressurised Reactor
FA3	Flamanville-3 NPP
SG	Steam Generator
HL	Hot Leg
IS	Injection Safety
LRV	Lower Reactor Vessel
MCP	Main Coolant Pump
NPP	Nuclear Power Plant
PRZ	Pressurizer
PWR	Pressurised Water Reactor
ROSE Model Editor (ME))	Real-time Object-oriented Simulation Environment (now replaced by Orchid Model Editor (ME))
RV	Reactor Vessel
SIPA	Simulateur Post-Accidentel
SOFIA	Simulator for Observation of Functioning during Incident and Accident
STC	Specific Topic of Cooperation
VVP	Main Steam System

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione NNFISS – LP1 - 014	Rev. 0	Distrib. R	Pag. 75	di 112
--	---	------------------	----------------------	-------------------	------------------

ALLEGATO 2

1 Introduction

Dans le cadre du « REX inondation Blayais » faisant suite à l'inondation de la centrale du Blayais en 1999, le BMGS avait réalisé des calculs d'autonomie des bâches ASG, notamment pour le **palier N4**, afin de confronter les résultats de l'exploitant (cf. [1] et[2]). Ces simulations avaient été réalisées avec le logiciel ROSE2.4 installé sur une machine Unix, tout deux obsolètes. Pour des raisons de pérennité et de coût, ces calculs ont été reproduits avec le logiciel OrchidME (successeur de ROSE installé sur des serveurs de type PC) ayant servi pour le développement du simulateur de l'IRSN SOFIA. Ce rapport s'attache donc à présenter d'une part les calculs effectués avec OrchidME et d'autre part les comparaisons des résultats avec ROSE2.4 afin de valider le passage de ROSE2.4 à OrchidME. Dans la situation accidentelle postulée, les deux tranches d'un site N4 sont en situation de perte de source froide (H1) et seul le circuit SER permet une réalimentation des bâches ASG afin de permettre un maintien en état de repli. Notons que ROSE2.4 et OrchidME ont été développés par le simulatoriste Canadien L3-Communications MAPPS (anciennement CAE).

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 014	0	R	76	112

2 Présentation du logiciel OrchidME

Orchid® ME (Orchid® ModelingEnvironment) est développé et utilisé par le simulateuriste canadien L3 COMMUNICATIONS MAPPS pour la réalisation de simulateurs dans de nombreux domaines industriels : aviation, marine, énergétique thermique et nucléaire, etc. Cet atelier logiciel orienté objet permet la création de circuits hydrauliques, électriques et logique à partir de bibliothèques contenant des modèles ou briques de base (ex : pompes, vanne, etc. pour la bibliothèque hydraulique). La connexion de ces briques élémentaires dans un schéma (appelé « schematics ») permet d'assembler le code source de chaque brique, de le compiler et de l'exécuter. De plus, OrchidME permet également d'intégrer du code externe. Notons que c'est la société L3 COMMUNICATIONS MAPPS qui a été choisie pour la rénovation des simulateurs SIPA (IRSN) et SAF (AREVA). De ce fait, une grande partie des modèles du nouveau simulateur SOFIA ont été développés avec OrchidME.

3 LE CONTEXTE, Les données du problème et sa modelisation

Les sites N4 de **Civaux** et de **Chooz** comportent chacun deux tranches nucléaires et deux bâches SER. En situation accidentelle H1, la capacité des bâches ASG est insuffisante pour alimenter les GV afin d'évacuer la puissance résiduelle du cœur, la chaleur sensible et la puissance dégagée par les GMPP durant le critère de 4 jours. Dans la situation accidentelle postulée, il est possible de réalimenter les bâches ASG par SER ; cependant une seule des deux bâches SER du site est disponible pour réalimenter les deux tranches. Les données concernant les caractéristiques géométriques des bâches ASG et SER pour le palier N4 (volume des bâches, niveaux, etc.), les pertes de charge de la liaison SER-ASG, les conditions initiales et les conditions limites en sortie des bâches ASG (débit ASG en fonction du temps, etc.) sont issues de la référence [2]. Ces données sont supposées être réalistes et enveloppes. On se limite à rappeler que les bâches ASG sont considérées comme indisponibles en dessous de 1,11m. Dans les figures 1.a et 1.b on report le schémas ROSE2.4 et OrchidME, respectivement, relatifs aux problème considéré. On peut observer comme le schéma soit composé de la connexion de briques de librairies différentes (hydraulique, logique,...) : bâches, tuyauterie, vannes, éléments de control, nœuds logiques, etc.

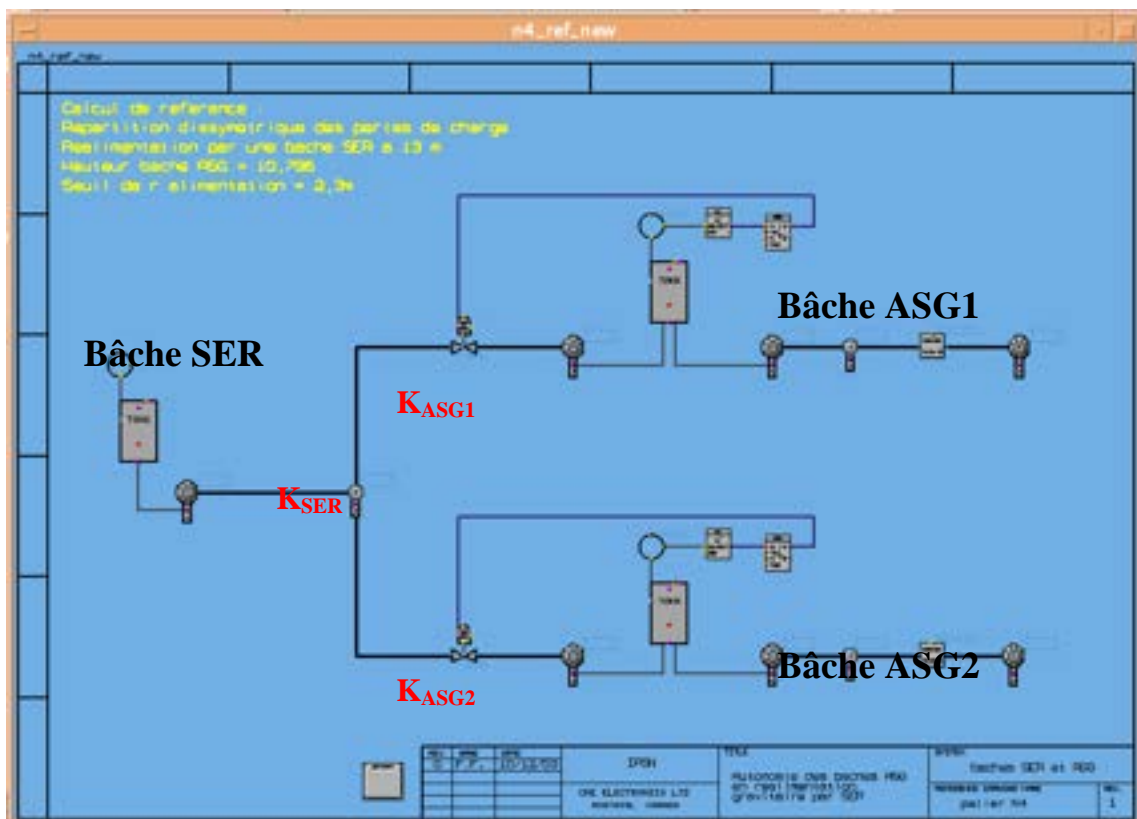


Figure 1a : modélisation de la liaison SER-ASG avec ROSE - Palier N4

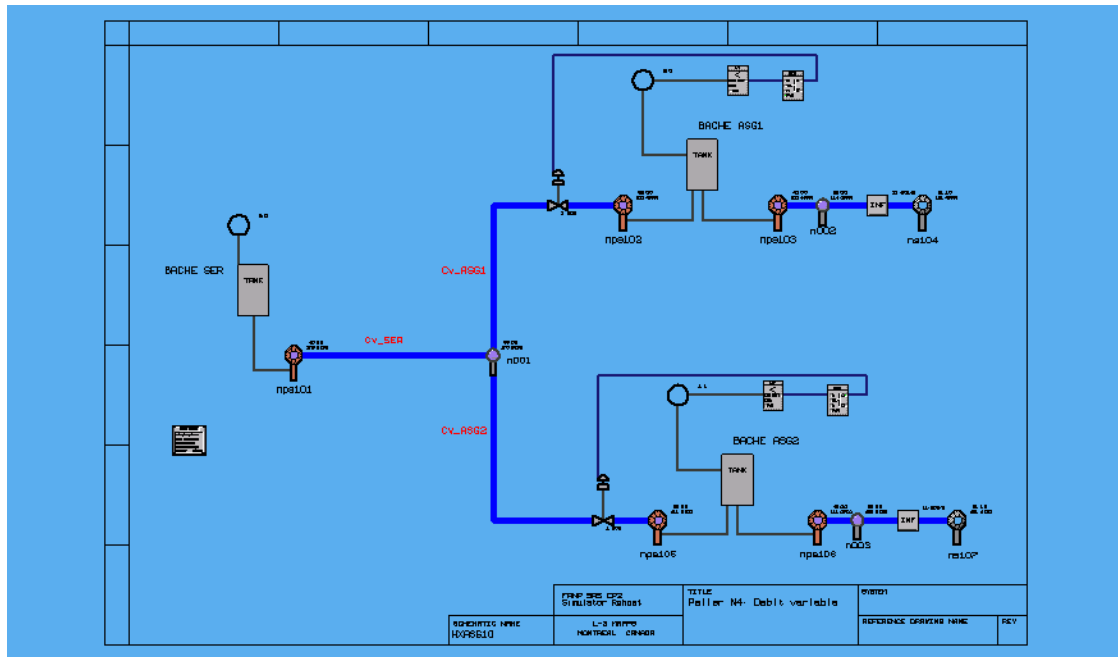


Figure 1b : modélisation de la liaison SER-ASG avec OrchidME - Palier N4

DEBIT ASG NECESSAIRE AU REFROIDISSEMENT DES TRANCHES

L'accident H1 intervient lorsque le réacteur est en puissance (100% P_n). Le niveau GV est alors régulé par l'ARE (système de régulation de débit d'eau alimentaire des générateurs de vapeur) à 65% GE. La masse d'eau dans les GV est considérée comme constante ; le débit ASG requis est la somme des débits ASG nécessaires pour

1. évacuer la *puissance résiduelle du cœur*,
2. refroidir la chaudière en termes de *chaleur sensible des équipements et des fluides* concernés,
3. évacuer la *puissance dégagée par les GMPP*.

Le calcul de ces termes est présenté ci-après, où les données sont issues de [2].

1. Débit ASG requis pour évacuer la puissance résiduelle :

$$Q_{ASG_Pr} = \frac{P_{résiduelle}}{(h_{GV} - h_{ASG})} \quad [\text{kg/s}]$$

2. Débit ASG requis pour évacuer la chaleur sensible emmagasinée par les équipements :

$$Q_{ASG_CS} = \frac{E_{équipements}}{(h_{GV} - h_{ASG}) \cdot T_{refroidissement} \cdot 3600}$$

3. Débit ASG requis pour évacuer la puissance dégagée par les GMPP

$$Q_{ASG_GMPP} = \frac{P_{GMPP} * N_{pompe}}{h_{GV} - h_{ASG}}$$

La figure 2 présente les différentes composantes du débit ASG requis afin d'évacuer les différents postes de puissance du circuit primaire :

Le débit nécessaire à évacuer la chaleur sensible (à partir de t=1h et pendant 4,42h),

Le débit nécessaire à l'évacuation des GMPP (le nombre de pompes passe de 4 à 1 à t=1h),

Le débit nécessaire afin d'évacuer la puissance résiduelle du cœur.

Débits ASG nécessaires afin d'évacuer les différentes puissances du RCP

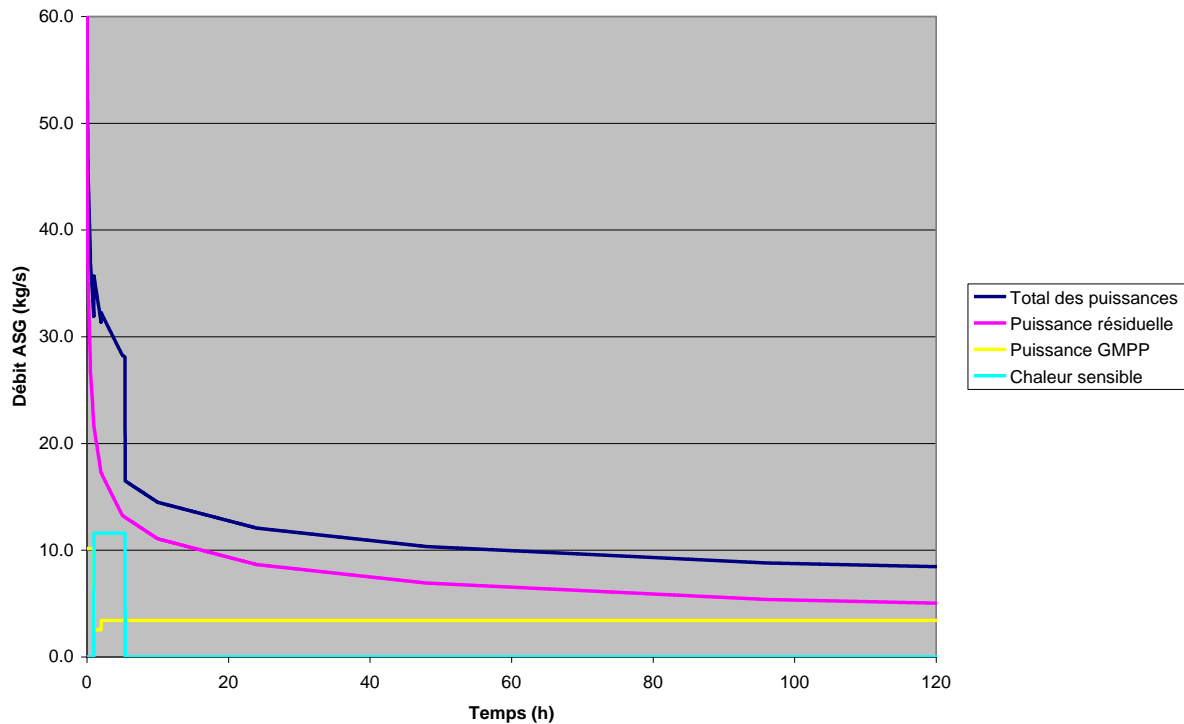


Figure 2 : bilan des différents postes de consommation d'eau ASG - Palier N4

MISE EN EQUATION DU PROBLEME

En appliquant Bernoulli entre la surface de la bache SER et celle d'une des deux baches ASG (cf. figure 3) et en considérant que l'énergie est constante sur une ligne de courant entre la bache SER et la bache ASG considérée, on peut écrire :

$$P_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} + \rho g h_{SER} = P_2 + \frac{\rho v_i^2}{2} + \rho g h_{ASGi} + K_i Q_i^2 + \rho g (h_1 - h_2)$$

où les données sont issues de [2].

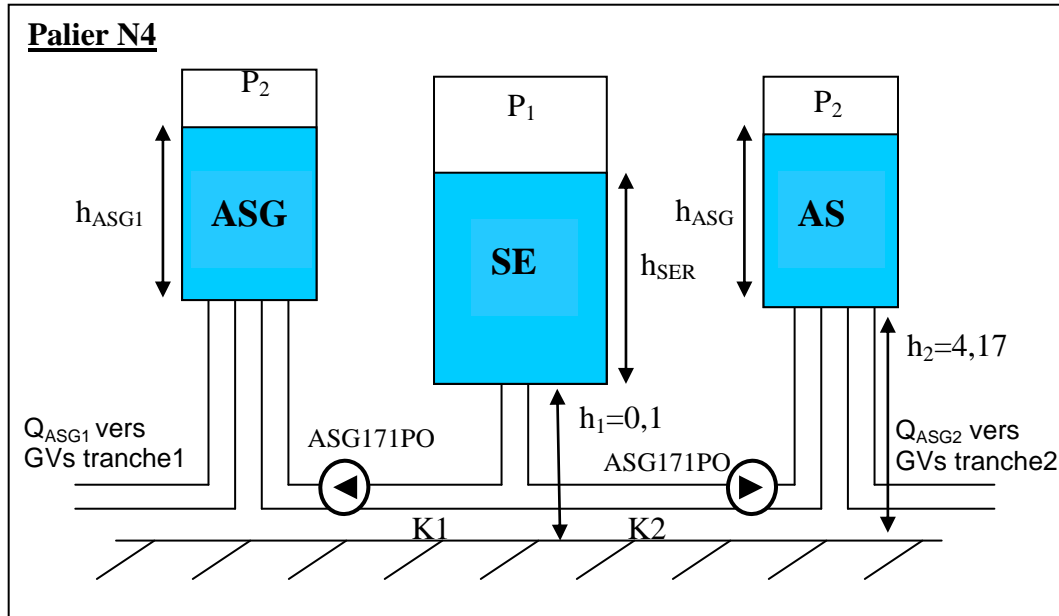


Figure 3 : schéma simplifié des baches SER et ASG – Palier N4

En supposant une vitesse nulle des surfaces des deux baches (la variation de hauteur est faible devant la surface), on en déduit :

$$\rho g (h_{SER}(t) - h_{ASG1}(t) - \Delta h) = K_1 Q_1^2(t)$$

$$\rho g (h_{SER}(t) - h_{ASG2}(t) - \Delta h) = K_2 Q_2^2(t)$$


avec :

$$\frac{dh_{SER}(t)}{dt} = - \frac{\sum_{i=1}^2 Q_i(t)}{S_{SER}},$$

$$\frac{dh_{ASG1}(t)}{dt} = \frac{Q_1(t) - Q_{ASG1}(t)}{S_{ASG}},$$

$$\frac{dh_{ASG2}(t)}{dt} = \frac{Q_2(t) - Q_{ASG2}(t)}{S_{ASG}}$$

où Q_{ASG1} et Q_{ASG2} sont respectivement les débits sortant des baches ASG1 et ASG2 (conditions limites imposées au cours de la simulation). Ce système de cinq équations à cinq inconnues est résolu par le solveur de OrchidME.

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 014	0	R	81	112

4 PRESENTATION DES TRANSITOIRES AVEC OrchidME

Les paragraphes suivants présentent une comparaison graphique des résultats entre les deux environnements de modélisation ROSE 2.4 et OrchidME, d’après les hypothèses du document [2]. Notamment, on report ici les graphiques pour chaque cas analysé dans le paragraphe 4 ci-dessus. Chaque graphique report l’évolution dans le temps (en heures) des niveaux (en mètres) des bâches ASG1, ASG2 et SER. Pour l’analyse physique des résultats on renvoie à [2], tandis que pour une comparaison quantitative entre ROSE2.4 et OrchidME on peut se rapporter au paragraphe 4 de ce document.

CALCUL DE REFERENCE

La *configuration de référence* considérée dans cette étude est la même considérée in [2] et appelée *configuration de référence*.

REPLI ANTICIPE ET AUGMENTATION DE LA RESERVE SER

Le phénomène d’inondation ayant une cinétique lente, les tranches peuvent être arrêtées avant l’apparition de la situation H1. De cette manière, une partie de l’énergie (puissance résiduelle, chaleur sensible et puissance apportée par les GMPP), plus importante au début du transitoire, peut être évacuée sans consommer les réserves ASG et SER : les bâches peuvent être réalimentées encore par le condenseur.

Un **repli anticipé de 6h** des tranches est donc considéré avant t_0 , instant d’initiation de la situation H1.

Notons qu'avec un repli anticipé de 6h, le terme « *chaleur sensible* » dans le calcul du débit ASG global devient nul (puissance évacuée pendant la phase de repli pendant 4,42h).

Débits ASG nécessaires à évacuer les différentes puissances du RCP

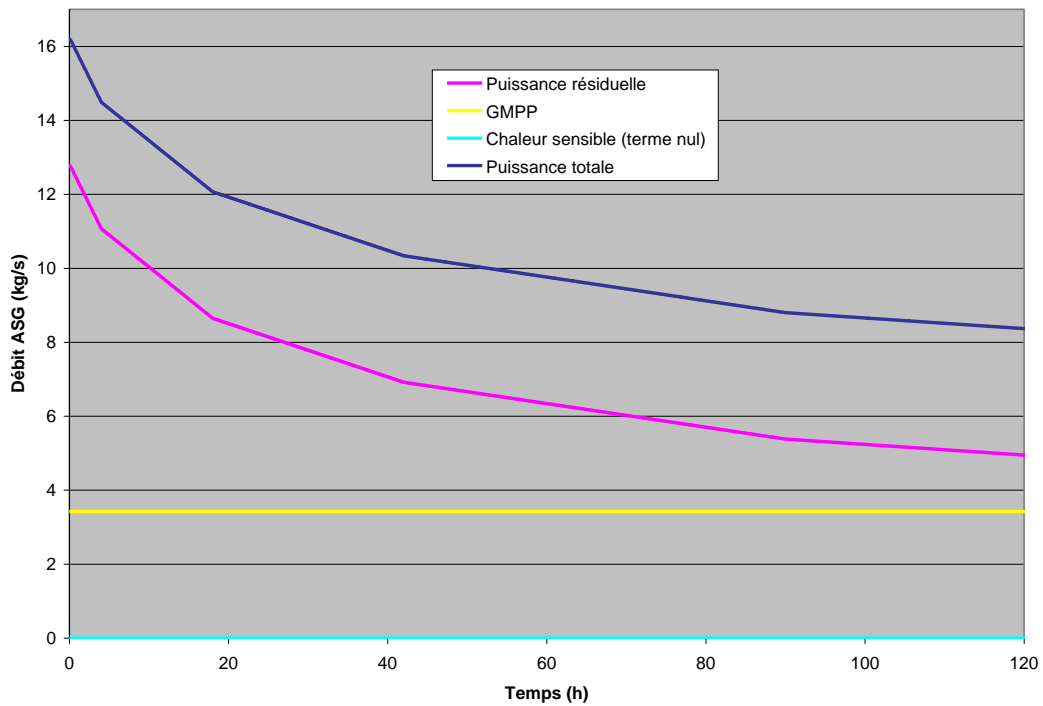



Figure 4.2.a : débits ASG nécessaires à l'évacuation de la puissance du RCP

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 014	0	R	83	112

AUGMENTATION DU SEUIL DE REALIMENTATION

Afin de mieux exploiter la réserve d'eau de la bache SER, le niveau de la bache ASG à partir duquel la réalimentation commence peut être augmenté. Ainsi, les hypothèses du paragraphe précédent sont reprises en considérant un seuil de réalimentation augmenté.

DECLENCHEMENT DU GMPP

Dans les cas d'étude précédents, une part importante de la puissance à évacuer provient du ou des GMPP, notamment dans le cas traitant le repli anticipé des tranches où le seul GMPP en marche apporte plus du tiers de l'énergie thermique. En situation de perte de source froide, la règle de conduite [2] demande de déclencher le GMPP lorsque les conditions du primaire sont inférieures à 180°C et 40 bar. Ainsi, dans le scénario avec repli anticipé, ces conditions sont atteintes lorsque la situation H1 est initiée et il n'y a donc pas d'apport calorifique à considérer provenant du GMPP (seule la puissance résiduelle du cœur est à évacuer). Les autres hypothèses de calcul sont identiques à celles du chapitre précédent.

AUTONOMIE EN REALIMENTATION PAR LA POMPE ASG171PO

Sur le palier N4, un autre moyen classé IPS-NC de réalimentation de la bache ASG par SER est l'emploi de la pompe de brassage ASG171PO. Dans ce cas, la bache SER est exploitée jusqu'à un niveau bien inférieur au niveau limite transférable en mode gravitaire. De plus, le débit de réalimentation n'est pas dépendant de la hauteur d'eau et des pertes de charge du circuit. Ainsi, le débit provenant de la bache SER est suffisant pour suivre la demande d'eau et remplir correctement la bache ASG : le seuil de réalimentation des baches ASG du scénario de référence est donc satisfaisant.


ETUDES DE SENSIBILITE

On présente ici les calculs d'autonomie réalisés en variant les hypothèses de base ; l'objectif est de vérifier qu'il n'existe pas des configurations où les hypothèses de base ne sont pas enveloppes. Ces calculs sont réalisés à partir du « **cas optimisé– scénario n°4** » :

- H1 avec repli anticipé,
- augmentation de la réserve SER,
- augmentation du seuil de réalimentation,
- déclenchement du dernier GMPP.

Les résultats donnaient respectivement 99,9(+0.2%)h et 98,6(+0.1%)h d'autonomie pour les baches ASG 1 et ASG 2.

Les calculs de sensibilité portent sur :

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 014	0	R	84	112

1. *Les conditions initiales de tranche*

Le calcul de sensibilité aux conditions initiales de tranche consiste à appliquer les conditions détaillés dans le tableau 10 reporté dans [2]

2. *La pression dans la bache ASG*

Un calcul de sensibilité considérant une pression constante supérieure dans la bache ASG diminue d'environ 25 % l'autonomie des baches ASG. Ainsi, la pressurisation des baches ASG due au ciel d'azote est un paramètre essentiel pour déterminer l'autonomie de ces dernières ; la réalité devrait se situer quelque part entre ces deux cas extrêmes.

3. *Le temps de lignage de la réalimentation*

Le calcul de sensibilité au temps de lignage consiste à *décaler la réalimentation effective par SER de 2 heures* par rapport au temps d'atteinte du seuil de réalimentation sur le cas optimisé (98 h)

4. *La puissance résiduelle*

Le calcul de sensibilité à la puissance résiduelle consiste à appliquer une loi de puissance plus pénalisante,

Les cas étudiés sont détaillés dans le tableau 10 reporté dans [2] .

5 PRESENTATION DES RESULTATS DE LA COMPARAISON

Les paragraphes suivants présentent une comparaison des résultats entre les deux environnements de modélisation ROSE 2.4 et OrchidME, d'après les hypothèses du document [2].

CALCUL DE REFERENCE

Les résultats du calcul de référence sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 4 : autonomie des bâches ASG - calcul de référence

	Résultats ROSE2.4 (en h)	Résultats OrchidME (en h)	Écart (%) (OrchidME-ROSE2.4) /ROSE2.4
Début de la réalimentation des bâches ASG par SER	13,1	13,1	0,0
Indisponibilité de la bâche ASG1	34,3	34,5	0,6
Indisponibilité de la bâche ASG2	27	27,1	0,4

Les calculs OrchidME et ROSE2.4 sont similaires, à savoir un début de réalimentation par gravité des bâches ASG par SER 13,1h après le début de l'initiateur H1+MDTE (lorsque la réserve d'eau ASG passe en-dessous de 2,3m) suivi d'une indisponibilité estimée par OrchidME à respectivement 34,5h et 27,1h pour les tranches 1 et 2 contre 34,3h et 27h pour les simulations ROSE2.4 (soit moins de 0,6% d'écart, que l'on peut sans doute attribuer à des erreurs d'arrondi).

REPLI ANTICIPE ET AUGMENTATION DE LA RESERVE SER

Les résultats de la comparaison entre les calculs OrchidME et ROSE2.4 sont présentés dans le tableau 5.

Tableau 5 : autonomie des bâches ASG - repli anticipé et augmentation de la réserve SER

	Résultats IRSN ROSE 2.4 (en h)	Résultats IRSN OrchidME (en h)	Ecart (%) (OrchidME- ROSE2.4) /ROSE2.4
Début de la réalimentation des bâches ASG par SER	17,45	17,47	0,1
Indisponibilité de la bâche ASG1	62,04	62,8	1,3
Indisponibilité de la bâche ASG2	57,08	57,8	1,4

Les résultats OrchidME et ROSE2.4 sont très proches : les écarts vont de 0,1% à 1,4% ce qui est acceptable (origine très probablement due à des erreurs numériques).



AUGMENTATION DU SEUIL DE REALIMENTATION

Les résultats de la comparaison entre les calculs OrchidME et ROSE2.4 sont présentés dans le tableau 6.

Tableau 6 : autonomie des bâches ASG - augmentation du seuil de réalimentation

	Résultats IRSN ROSE 2.4 (en h)	Résultats IRSN OrchidME (en h)	Ecart (%) (OrchidME- ROSE2.4) /ROSE2.4
Début de la réalimentation des bâches ASG par SER	7,28	7,22	-0,8
Indisponibilité de la bâche ASG1	61,68	62,55	1,4
Indisponibilité de la bâche ASG2	58,47	59,22	1,3

Les résultats OrchidME et ROSE2.4 sont très proches : les écarts sont compris entre -0.8% et + 1,4%. On peut voir que la bâche SER est mieux exploitée (niveau d'eau plus bas à l'indisponibilité des bâches ASG par rapport au cas précédent). Cependant, la disponibilité de la bâche ASG de la tranche 1 est légèrement réduite : 62,55h contre 62,8h pour les calculs OrchidME et 61,28h contre 62,04h pour les calculs ROSE2.4. Quant à la bâche ASG de la tranche 2, son indisponibilité est augmentée : 58,5h contre 57,1h pour les calculs ROSE2.4 et 59,2h contre 57,8h pour les calculs OrchidME.

DECLENCHEMENT DU GMPP

Les résultats de la comparaison entre les calculs OrchidME et ROSE2.4 sont présentés dans le tableau 7.

Tableau 7 : autonomie des bâches ASG - déclenchement du GMPP

	Résultats IRSN ROSE2.4 (en h)	Résultats IRSN OrchidME (en h)	Ecart (%) (OrchidME- ROSE2.4) /ROSE2.4
Début de la réalimentation des bâches ASG par SER	9,68	9,69	0,1
Indisponibilité de la bâche ASG1	99,91	100,08	0,2
Indisponibilité de la bâche ASG2	98,55	98,69	0,1

Le déclenchement du dernier GMPP permet d'augmenter considérablement l'autonomie : pour ROSE2.4, elle passe de respectivement 58,5h et 61,7h pour les tranches 1 et 2, à 98,6h et 99,9h, soit un gain de plus de 30h. Cela s'observe sur la courbe 2 où, après 4 jours de transitoire, la puissance apportée par le GMPP équivaut à 2/3 de la puissance résiduelle. Les résultats obtenus par OrchidME sont similaires avec ceux obtenus par ROSE2.4 : les écarts sont compris entre 0.1% et 0,2%.

AUTONOMIE EN REALIMENTATION PAR LA POMPE ASG171PO

Les résultats de la comparaison des calculs faits dans ROSE2.4 et OrchidME sont présentés dans le tableau 8.

Tableau 8 : autonomie des bâches ASG - réalimentation par la pompe ASG171PO

	Résultats IRSN ROSE2.4 (en h)	Résultats IRSN OrchidME (en h)	Ecart (%) (OrchidME- ROSE2.4) /ROSE2.4
Début de la réalimentation des bâches ASG par SER	24,51	24,55	0,1
La bâche SER atteint MIN3	73,1	72,5	-0,8
Indisponibilité des bâches ASG1 et ASG2	111	113,6	2,3

Les résultats obtenus par OrchidME sont très proches des résultats obtenus par ROSE2.4 avec un écart compris entre -0.8% et + 2,3%. Cette différence s'explique par les modèles de pompes utilisés et par le manque d'information sur les caractéristiques de la pompe ASG171PO (le débit est la seule indication de la note [2]), ou plus simplement à des erreurs numériques différents entre les deux logiciels.

SYNTHESE ET COMPARAISON DES RESULTATS

Le tableau ci-dessous récapitule les résultats de la comparaison ROSE2.4 contre OrchidME des calculs d'autonomie des bâches ASG pour les différents scénarios considérés, dans le cas enveloppe d'un site à deux tranches N4.

Tableau 9 : synthèse des résultats - Palier N4

Transitoires	Temps ROSE 2.4 (h)	Temps OrchidME (h)	Ecart (OrchidME-ROSE2.4)/ROSE2.4 (%)
Scénario 1 : calcul de référence	13,1	13,1	0,0
	34,2	34,5	0,6
	27	27,1	0,4
Scénario 2 : repli anticipé et augmentation seuil SER	17,4	17,47	0,1
	62	62,8	1,3
	57,1	57,8	1,4
Scénario 3 : repli anticipé et augmentation seuil SER et réalimentation ASG	7,2	7,22	-0,8
	61,7	62,55	1,4
	58,5	59,22	1,3
Scénario 4 : repli anticipé et augmentation seuil SER, réalimentation ASG et arrêt du dernier GMPP	9,7	9,69	0,1
	99,9	100,08	0,2
	98,6	98,69	0,1
Scénario 5 : réalimentation avec la pompe ASG171PO	24,5	24,55	0,1
	73,1	72,5	-0,8
	111	113,6	2,3

Les résultats des calculs d'autonomie des bâches ASG pour le palier N4 réalisés sous OrchidME sont tout à fait conformes avec ceux effectués sous ROSE2.4, avec des écarts compris entre -0,8 et +2,3. Ces différences peuvent s'expliquer par des erreurs numériques qui se propagent dans le cours de la simulation de façon différente entre les deux environnements ou, plus probablement, par des critères d'optimisation différents de la vitesse

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione NNFISS – LP1 - 014	Rev. 0	Distrib. R	Pag. 92	di 112
--	---	------------------	----------------------	-------------------	------------------

du code. En effet, dans OrchidME, ce n'est pas possible pour l'instant de varier arbitrairement le pas temporel (et donc la vitesse) de la simulation.

ETUDES DE SENSIBILITE

Le tableau 11 établit la synthèse des études de sensibilité réalisées par l'IRSN à partir du « cas optimisé », en comparant les résultats ROSE2.4 avec ceux-ci OrchidME. **Rappelons que les résultats d'autonomie de ce scénario étaient de 99,9 h (ROSE2.4) et 100 h (OrchidME) pour la bache ASG 1 ; 98,6 h (ROSE2.4) et 98,7 h (OrchidME) pour la bache ASG 2.**


Tableau 11 : Synthèse des résultats IRSN. Comparaison entre ROSE2.4 et OrchidME

Transitoires et Commentaires		T _{IRSN} en h (ROSE 2.4)	T _{IRSN} en h (OrchidME)	Ecart (OrchidME- ROSE2.4) /ROSE2.4 (%)
Scénario 1.1.a	Indisponibilité de la bache ASG1	109,1	111,5*	-2,2
	Indisponibilité de la bache ASG2	108,3	110,6*	-2,2
Scénario 1.1.b	Indisponibilité de la bache ASG1	81,8	82,3	0,6
	Indisponibilité de la bache ASG2	81,3	81,8	0,6
Scénario 1.2.a	Indisponibilité de la bache ASG1	103,6	102,9*	0,6
	Indisponibilité de la bache ASG2	102,5	101,0*	1,1
Scénario 1.2.b	Indisponibilité de la bache ASG1	93,2	93,6	0,5
	Indisponibilité de la bache ASG2	92,1	92,9	1,0

Transitoires et Commentaires		T _{IRSN} en h (ROSE 2.4)	T _{IRSN} en h (OrchidME)	Ecart (OrchidME- ROSE2.4) /ROSE2.4 (%)
Scénario 2	Indisponibilité de la bâche ASG1	76,6	77,6	1,3
	Indisponibilité de la bâche ASG2	75	76,3	1,7
Scénario 3	Indisponibilité de la bâche ASG1	99,9	99,9	0
	Indisponibilité de la bâche ASG2	98,6	98,6	0
Scénario 4	Indisponibilité de la bâche ASG1	93,9	93,9	0
	Indisponibilité de la bâche ASG2	92,5	92,5	0
Cumul des scénarios 1.1.b, 2 et 4	Indisponibilité de la bâche ASG1	55,5	56,4	1,6
	Indisponibilité de la bâche ASG2	54,8	55,7	1,6

N.B. : Les résultats avec le signe * sont extrapolés par la simulation

On renvoie au document [2] pour une analyse des scénarios différentes, en se limitant ici à remarquer les résultats de la modélisation avec OrchidME. **Les résultats obtenus sous l'environnement OrchidME confirment substantiellement tous les résultats obtenus sous ROSE2.4 avec des pourcentages d'erreur négligeables (au dessous de 2,2%, erreur max relatif au cas extrapolé) qui peuvent être conséquence de petits différences entre les conditions initiales ou de routines de calcul légèrement différentes.**

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 014	0	R	95	112

6 Conclusion

Pour faciliter la comparaison entre les deux environnements de simulation ROSE2.4 et OrchidME, les résultats ici présentés se réfèrent aux mêmes données utilisées en 2003-2007 [2]. **Les simulations effectuées sous l'environnement de programmation OrchidME ont confirmé –avec des erreurs percentiles négligeables ou rapportables à des erreurs numériques- les calculs réalisés par l'IRSN en 2007 [2].** Les résultats obtenus sous ROSE2.4 (ci-dessous indiqués R) ont été comparés avec les résultats obtenus sous OrchidME (ci-dessus indiqué O) et les écarts évalués comme suit :

$$\text{Ecart} = (\text{Valeur}_{\text{OrchidME}} - \text{Valeur}_{\text{ROSE2.4}}) / \text{Valeur}_{\text{ROSE2.4}}$$

Ainsi, on est parti d'un scénario intitulé « **cas de référence** » avec un écart pratiquement nul:

- **Tranche 1: 34,3 heures (R) contre 34,5 heures (O), avec un écart égal à +0.6%**
- **Tranche 2: 27 heures (R) contre 27,1 heures (O), avec un écart égal à +0.4%.**

On est abouti à deux scénarios dont l'autonomie est considérablement augmentée:

A. le premier utilisant la réalimentation par mode gravitaire, par cumul successif de parades, conduisant à une autonomie

- **Tranche 1 : 99,9 heures (R) contre 100 heures (O), avec un écart égal à +0.2%**
- **Tranche 2 : 98,6 heures (R) contre 98,7 heures (O), avec un écart égal à +0.1%.**

B. le second utilisant le mode « motorisé » :

- **Tranche 1 et 2 : 111 heures (R) contre 113,6 heures (O), avec un écart égal à +2.3%.**

Enfin, les **calculs de sensibilité effectués** sont montrés que :

- **Tranche 1 : 55,5 heures (R) contre 56,4 heures (O), avec un écart égal à +1.6%**
- **Tranche 2 : 54,8 heures (R) contre 55,7 heures (O), avec un écart égal à +1.6%.**

Dans tous ces cas les erreurs entre les deux environnements de modélisation sont négligeables ou acceptables (origine très probablement due à des erreurs numériques).

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 014	0	R	96	112

GLOSSAIRE

AAC	Arrêt A Chaud
AN/GV	Arrêt Normal sur Générateur de Vapeur
ASG	Alimentation de Secours des GV
GE	Gamme Etroite
GCTa	Groupe Contournement Turbine à l'atmosphère
GCTc	Groupe Contournement Turbine au condenseur
GMPP	Groupe Moto Pompe Primaire
GV	Générateur de Vapeur
OrchidME	L3 COMMUNICATIONS MAPPS ModelingEnvironment
ROSE	Real-time Object-based Simulation Environment
SER	Distribution d'eau déminéralisée
STE	Spécifications techniques d'exploitation

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 014	0	R	97	112

7 REFERENCES

- [1] Note interne N° DSR/ST3C/2003.19
Demande d'étude « Réalimentation des bâches ASG par SER »
du DSR/ST3C/BATH au DSR/ST3C/BMGS
R. FREITAS
- [2] Note technique DSR/ST3C/2007-89
Autonomie des bâches ASG en réalimentation par SERen situation H1 (Palier N4)
F. FOUQUET

ANNEXE I: COMPARAISON graphique DES RESULTATS ENTRE ROSE 2.4 ET OrchidME

Les paragraphes suivants présentent une comparaison graphique des résultats entre les deux environnements de modélisation ROSE 2.4 et OrchidME, d’après les hypothèses du document [2]. Notamment, on report ici les graphiques pour chaque cas analysé dans le paragraphe 4 ci-dessus. Chaque graphique report l’évolution dans le temps (en heures) des niveaux (en mètres) des baches ASG1, ASG2 et SER. Pour l’analyse physique des résultats on renvoie à [2], tandis que pour une comparaison quantitative entre ROSE2.4 et OrchidME on peut se rapporter au paragraphe 4 de ce document.

CALCUL DE REFERENCE

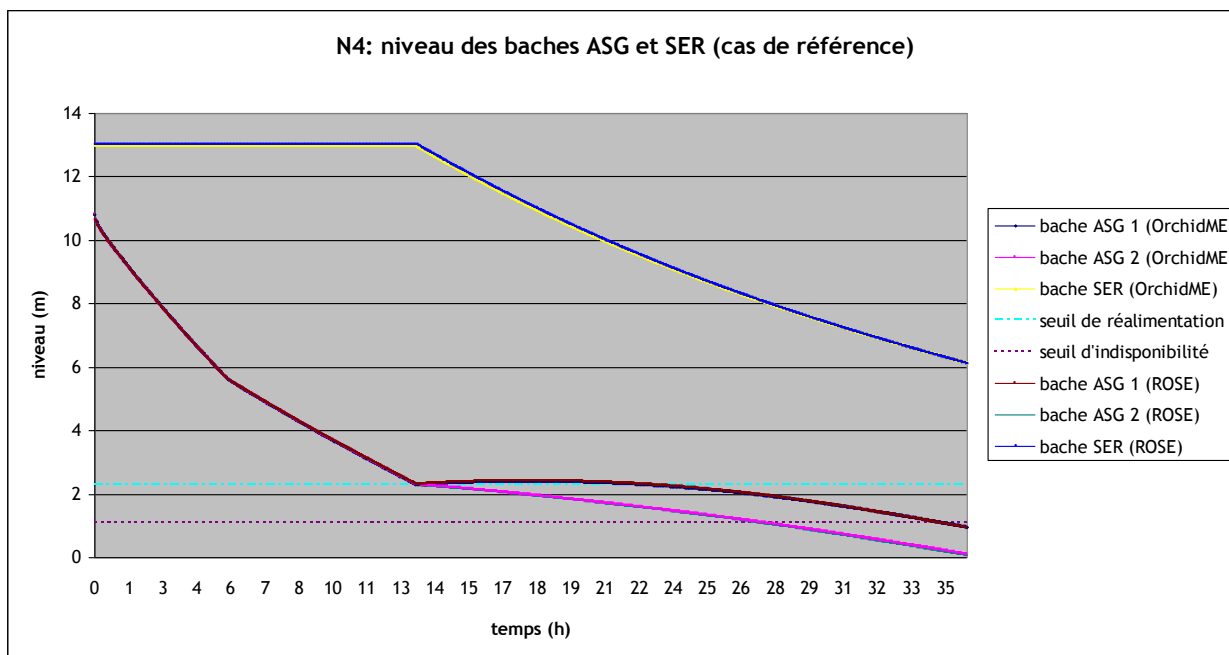


Figure I.1 : niveau des baches ASG et SER – cas de référence. Comparaison entre ROSE2.4 et OrchidME

REPLI ANTICIPE ET AUGMENTATION DE LA RESERVE SER

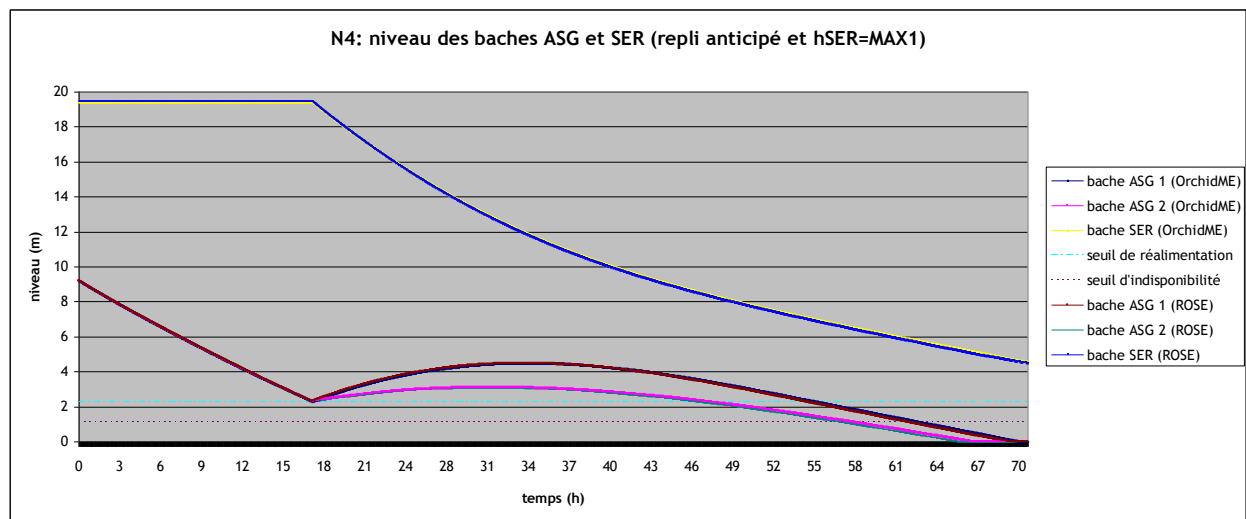


Figure 1.2 : niveau des baches ASG et SER avec repli anticipé et $H_{SER}=MAX1$. Comparaison entre ROSE2.4 et OrchidME

AUGMENTATION DU SEUIL DE REALIMENTATION

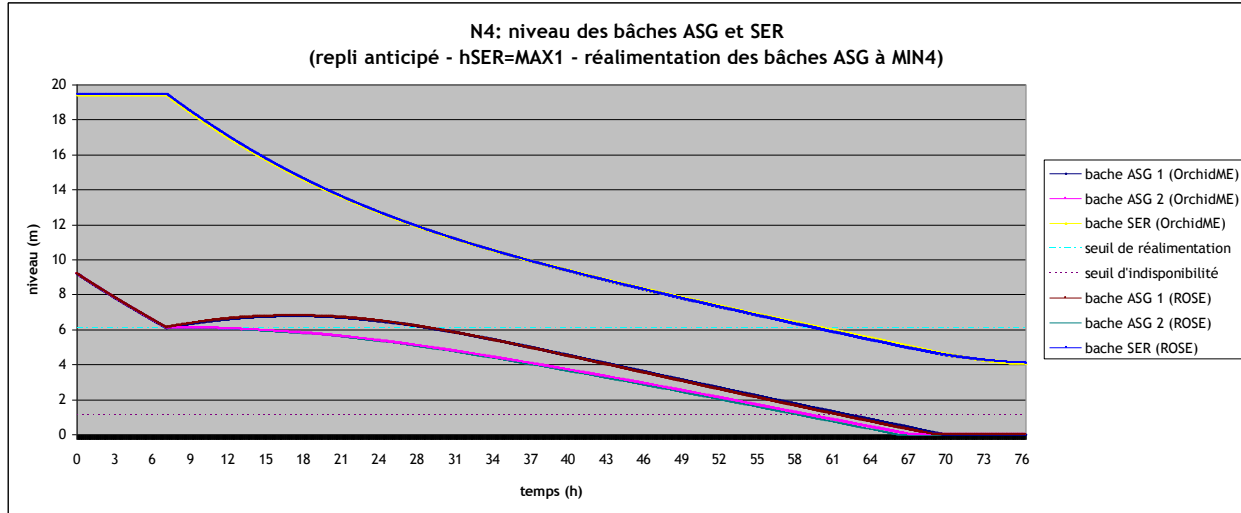


Figure I.3 : niveau des bâches ASG et SER avec repli anticipé, $H_{SER}=MAX1$, réalimentation des bâches ASG à MIN4. Comparaison entre ROSE2.4 et OrchidME

DECLENCHEMENT DU GMPP

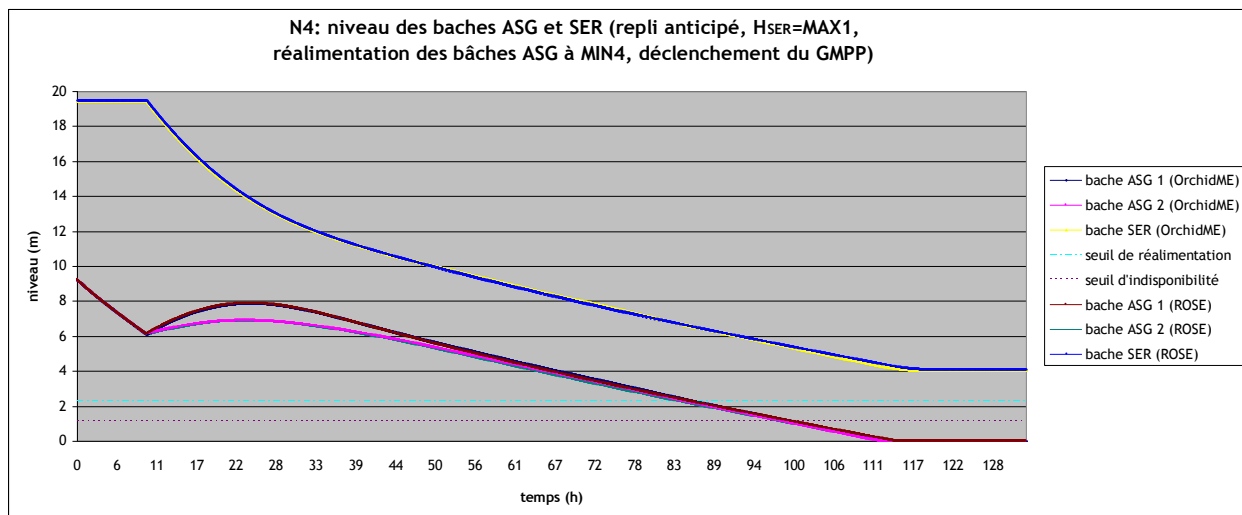


Figure I.4 : niveau des baches ASG et SER avec repli anticipé, $H_{SER}=MAX1$, réalimentation des baches ASG à MIN4, déclenchement du GMPP. Comparaison entre ROSE2.4 et OrchidME

AUTONOMIE EN REALIMENTATION PAR LA POMPE ASG171PO

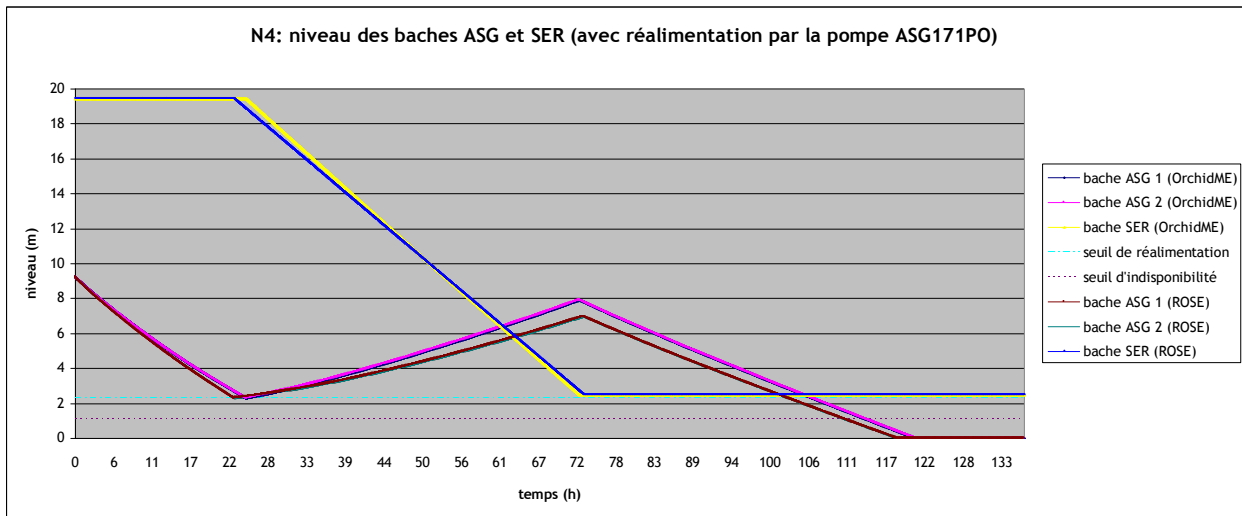


Figure I.5 : niveau des baches ASG et SER avec réalimentation par la pompe ASG171PO. Comparaison entre ROSE2.4 et OrchidME



SENSIBILITE A L'ETAT INITIAL DES TRANCHES - SCENARIO 1

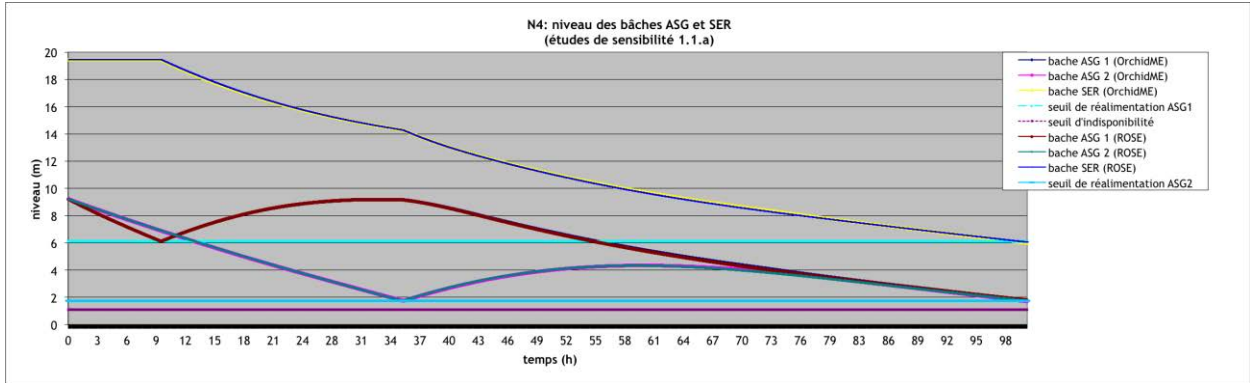


Figure 1.6a : niveau des bâches ASG et SER - sensibilité à l'état initial des tranches. Comparaison entre ROSE2.4 et OrchidME

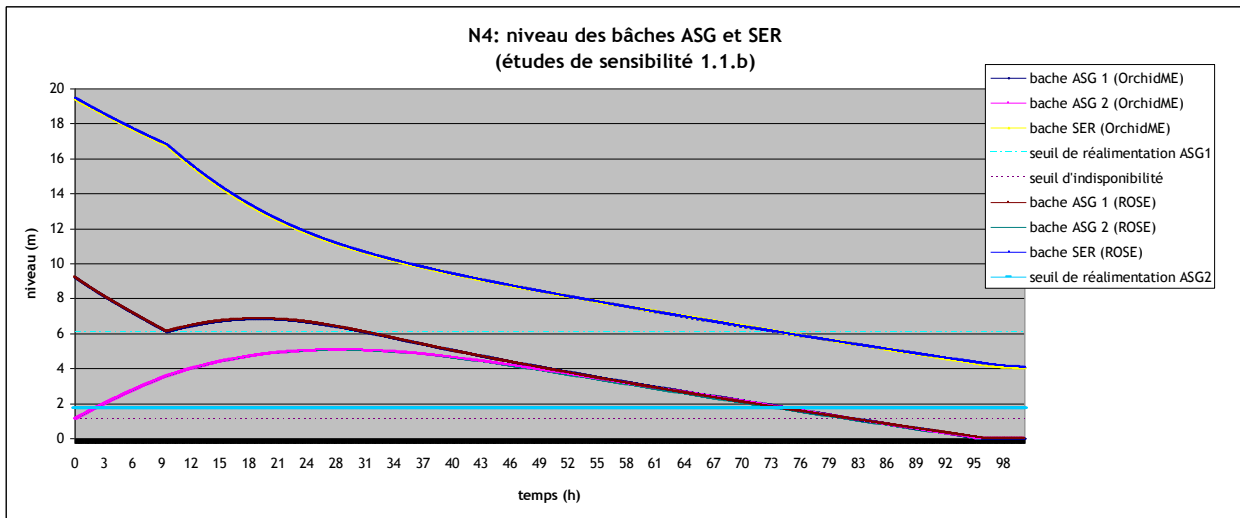


Figure 1.6b : niveau des bâches ASG et SER - sensibilité à l'état initial des tranches. Comparaison entre ROSE2.4 et OrchidME

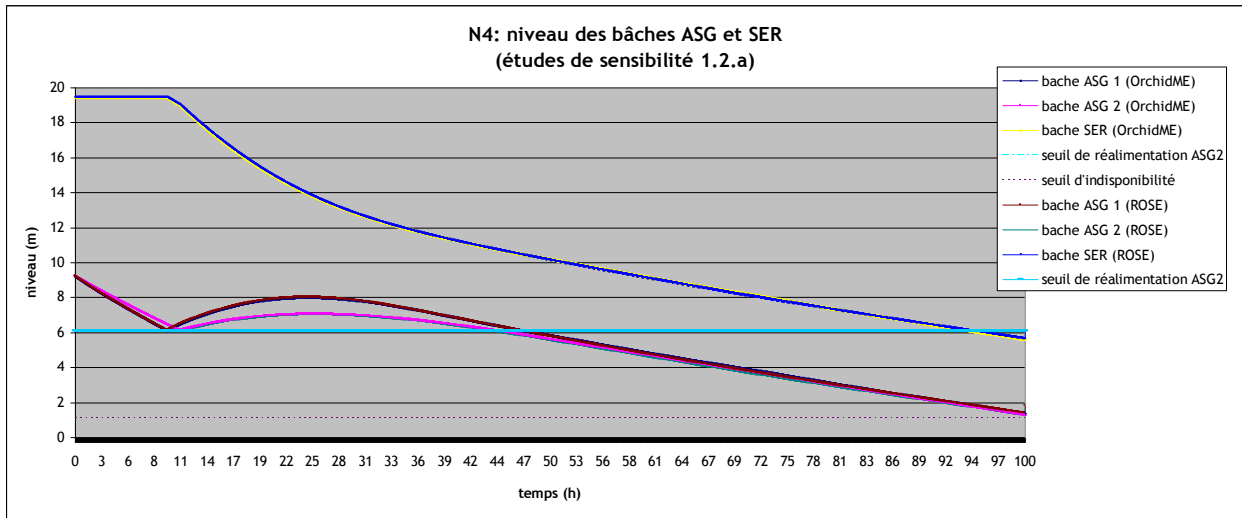


Figure I.6c : niveau des baches ASG et SER - sensibilité à l'état initial des tranches. Comparaison entre ROSE2.4 et OrchidME

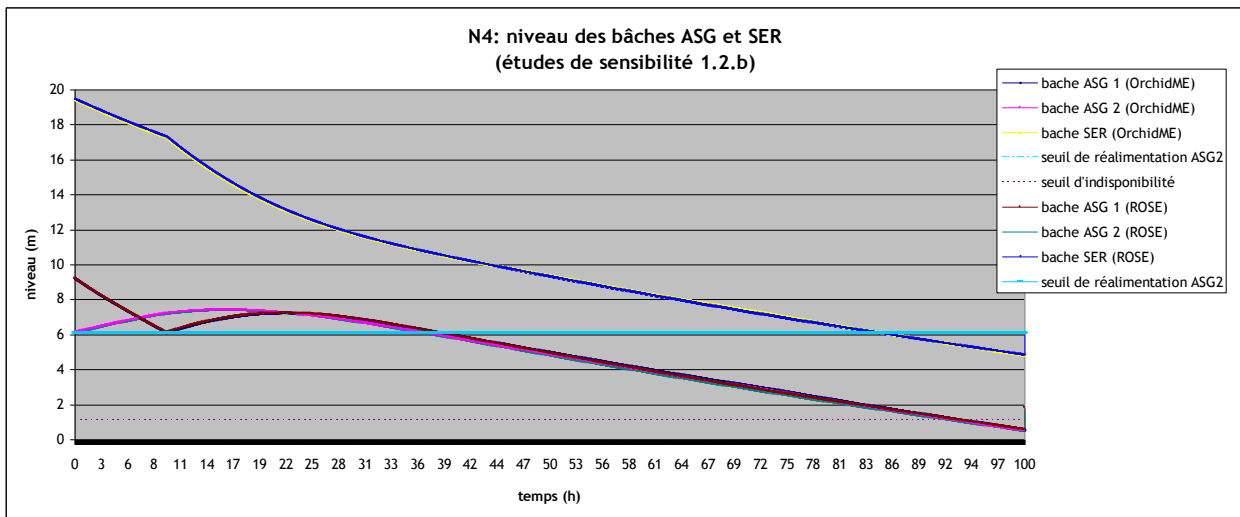


Figure I.6d : niveau des baches ASG et SER - sensibilité à l'état initial des tranches. Comparaison entre ROSE2.4 et OrchidME

SENSIBILITE A LA PRESSION DANS LES BACHES ASG - SCENARIO 2

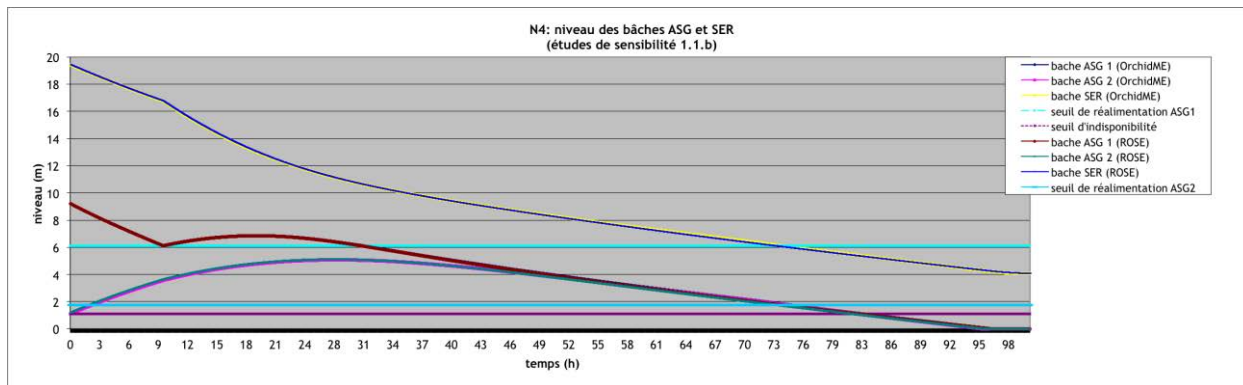


Figure I.7 : niveau des baches ASG et SER - sensibilité à la pression des baches ASG. Comparaison entre ROSE2.4 et OrchidME

SENSIBILITE AU TEMPS DE LIGNAGE DE LA REALIMENTATION - SCENARIO 3

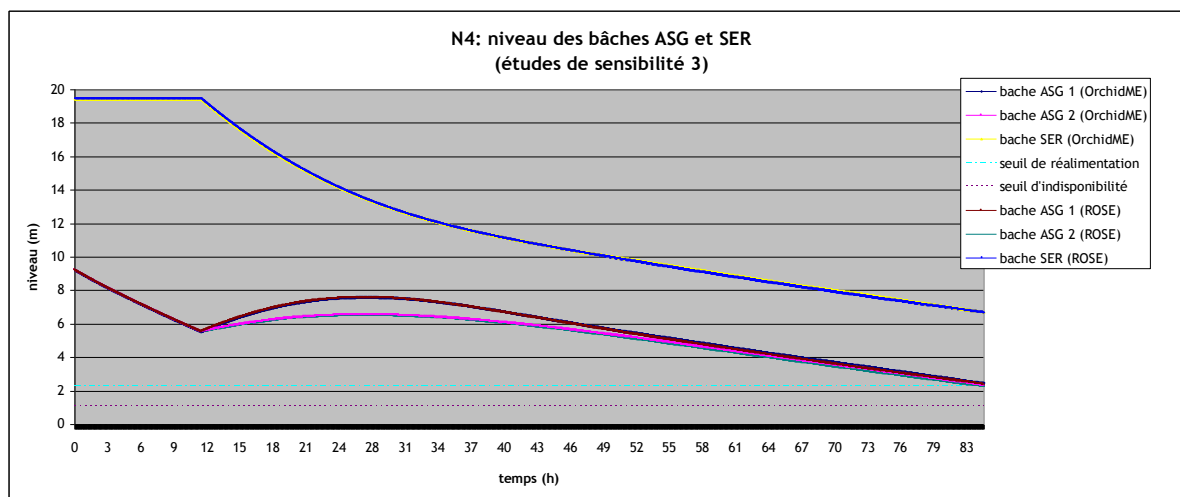


Figure 1.8 : niveau des baches ASG et SER - sensibilité au temps de lignage. Comparaison entre ROSE2.4 et OrchidME

SENSIBILITE A LA PUISSANCE RESIDUELLE - SCENARIO 4

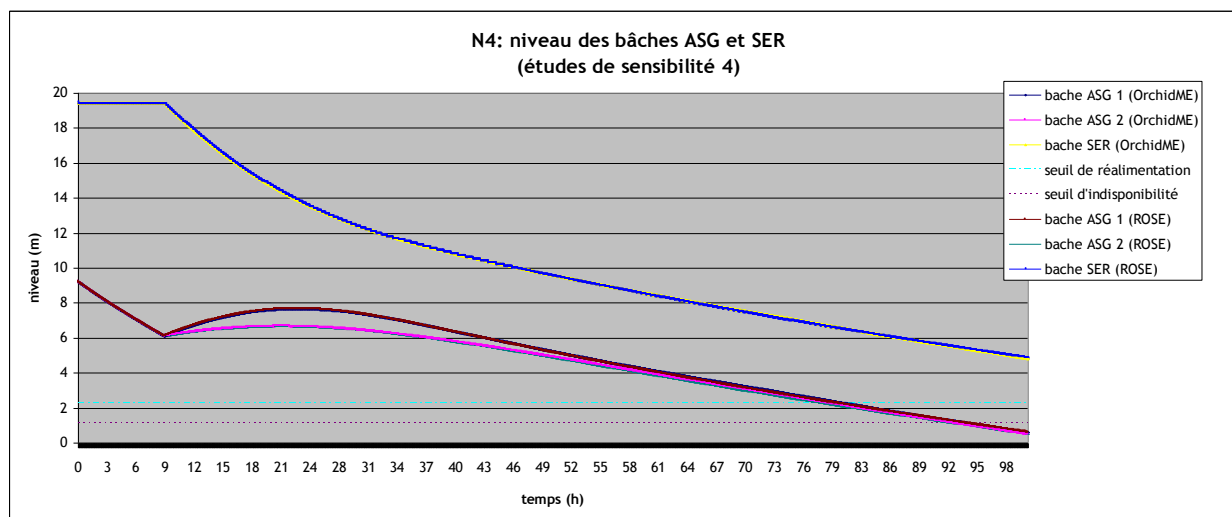


Figure I.9 : niveau des baches ASG et SER - sensibilité à la puissance résiduelle. Comparaison entre ROSE2.4 et OrchidME

CUMUL DES SCENARIOS LES PLUS PENALISANTS

A cause du manque de données numériques disponibles pour être représentées dans un graphique, on ne peut pas comparer les résultats entre OrchidME et ROSE 2.4 à travers de un graphique.

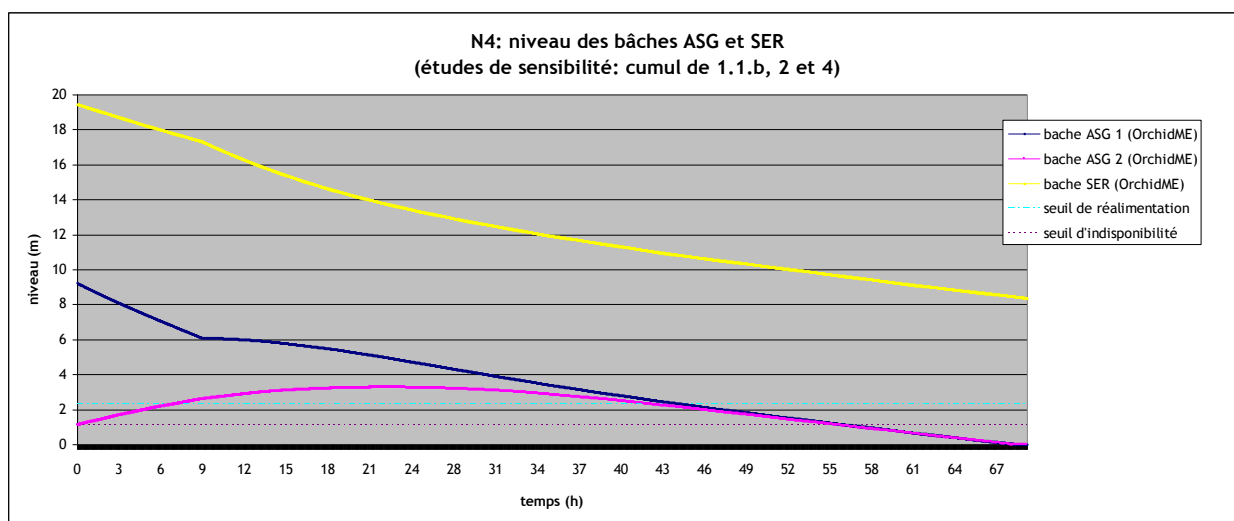


Figure I.10 : niveau des bâches ASG et SER - cumul des sensibilités les plus pénalisantes. Simulation avec OrchidME

ANNEXE II: ORGANISATION DES SIMULATIONS DANS orchidme

Un nouveau projet OrchidME Blayais a été créé pour la réalisation de l'étude. A l'intérieur de ce projet, trois configurations ont été créées, une pour chaque palier (N4, CPY, P4). On réfère ici seulement au **palier N4**, car la procédure est tout à fait générale. Pour chaque configuration, on a créé des groupes qui correspondent à chaque cas analysé dans ce document-ci, afin de permettre la simulation de chaque scénario sans besoin de modifier les paramètres au fur et à mesure. A chaque groupe correspond un schéma OrchidME (*schematics*). La modélisation d'un débit évoluant en fonction du temps en sortie des bâches ASG a nécessité la création de nouveaux objets OrchidME (*objects*) dans la librairie hyd, auxquels correspondent des fonctions (*functions*) en langage FORTRAN. Par exemple, pour la configuration N4, on a créé les groupes suivants :

Cas d'étude	Configuration	Schematics	Object	Function
Cas de référence	N4_ref	HXASG10a	deb_ref	qn4deb_ref.f
Repli anticipé	N4_repli_ant	HXASG10b	deb_rep	qn4deb_rep.f
Augmentation du seuil	N4_augm-seuil	HXASG10c	deb_aug	qn4deb_aug.f
Déclenchement du GMPP	N4_decl_gmpp	HXASG10d	deb_gmpp	qn4deb_gmpp.f
Réalimentation par la pompe ASG171PO	N4_pompeASG171PO	HXASG10e	deb_gmpp	qn4deb_gmpp.f
Etude de sensibilité : Scenario 1.1.a	N4_eds_sc11a	HXASG10f1a	deb_ssb1a1	qn4deb_ssb1a1
			deb_ssb1a2	qn4deb_ssb1a2
Etude de sensibilité : Scenario 1.1.b	N4_eds_sc11b	HXASG10f1b	deb_ssb1a1	qn4deb_ssb1a1
			deb_ssb1a2	qn4deb_ssb1a2
Etude de sensibilité : Scenario 1.2.a	N4_eds_sc12a	HXASG10f2a	deb_ssb1a1	qn4deb_ssb1a1
			deb_ssb2a2	qn4deb_ssb2a2
Etude de	N4_eds_sc12b	HXASG10f2b	deb_ssb1a1	qn4deb_ssb1a1

sensibilité : Scenario 1.2.b			deb_ssb2a2	qn4deb_ssb2a2
Etude de sensibilité : Scenario 2	N4_eds_sc2	HXASG10g	deb_gmpp	qn4deb_gmpp
Etude de sensibilité : Scenario 3	N4_eds_sc3	HXASG10h	deb_gmpp	qn4deb_gmpp
Etude de sensibilité : Scenario 4	N4_eds_sc4	HXASG10i	deb_ssb4	qn4deb_ssb4
Etude de sensibilité : Cumul des scenarios	N4_eds_sc5	HXASG10j	deb_ssb4 deb_cum	qn4deb_ssb4 qn4deb_cum

ANNEXE III: Procedure pour la creation de nouveaux objets POUR orchidme

La modélisation d'un débit évoluant en fonction du temps en sortie des bâches ASG a nécessité la création de nouveaux objets ROSE dans la librairie `hyd`. Ces nouveaux objets ont été présentés dans l'ANNEXE 1. Dans un premier temps, ces objets sont créés à partir d'une copie de l'objet `flowinf` de la librairie **hyd** ; cet objet impose un débit constant dans le temps, dans une ligne hydraulique, quelles que soient les pertes de charge. Pour chacun de ces objets, il a fallu définir les nouvelles variables associées, à savoir `YITIM` (pas de temps) et `TOTALTIME` (temps de simulation) pour le temps, et `TANK_ASG1ZTLLEV`, `TANK_ASG2ZTLLEV`, `TANK_SERZTLLEV` pour les niveaux respectivement dans les bâches ASG1, ASG2 et SER.

Chacun des objets calcule le temps écoulé et appelle une fonction standard dénommée « handler » (`qn4deb_ref` pour `deb_ref`, par exemple). Pour permettre au code d'être compilé il faut le modifier comme ci-dessous :

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
	NNFISS – LP1 - 014	0	R	111	112

```

//header+

//HANDLERS DECLARATION

extern ``C'' {

#if defined WIN32

void_stdcall QN4DEB_REF(float*, float*, float*,
float*, float*)

#endif

} // HANDLERS DECLARATION

//header-

TIMETOT=TIMETOT+YITIM ;

QN4DEB_REF(&TIMETOT, &FLOWS, &TANK_ASG1ZTLLEV,
&TANK_ASG2ZTLLEV, &TANK_SERZTLLEV)


INFWSRC=FLOWS ;

```

Les « handlers » QN4DEB_REF, ... sont créés dans le répertoire D:\MAPPS\Orchid\OrchidME\Client\Files\IRSN\rdorel\IRSN\Blayais\ProjectFiles\sources\handlers\hyd. Ces « handlers » sont des sous-routines écrites en Fortran contenant une table de débit en fonction du temps (tables sous forme de tableau EXCEL). Une fois créés, les « handlers » sont compilés avec le compilateur Microsoft. Notons qu'il faut compiler l'entière Project hyd, pas seulement les fonctions. Notons que les noms des nouveaux objets OrchidME doivent être définis dans le fichier :

1. D:\MAPPS\Orchid\OrchidME\Server\Files\irsndb\IRSN\conf_template\lib\hyd_data
2. D:\MAPPS\Orchid\OrchidME\Server\Files\irsndb\IRSN\conf_template\lib\hyd\network_data.txt
3. D:\MAPPS\Orchid\OrchidME\Server\Files\irsndb\IRSN\conf_template\lib\hyd\p.txt

afin d'être pris en compte lors de la résolution numérique. Enfin, on peut lancer la simulation (Run Simulation) après avoir sauvé le Workspace. Les résultats de la simulation se trouvent dans le fichier niveaux.dat (D:\MAPPS\Orchid\Simulation\...\Blayais\ConfN4). Remarque : il

 Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione NNFISS – LP1 - 014	Rev. 0	Distrib. R	Pag. 112	di 112
--	---	------------------	----------------------	--------------------	------------------

faut aussi ajouter les fonctions créées à l'intérieur des handlers de la librairie. Pour faire ça, ajouter (Add file) les fichiers dans la librairie hyd(bouton droit de la souris) .