

4 ANALISI TERMOIDRAULICA DI UN CASO SEMPLIFICATO DI PTS TRAMITE CODICI DI CALCOLO RELAP5 E TRIO_U

4.1 INTRODUZIONE E SCOPO DEL CALCOLO

Lo scopo del presente capitolo è quello di fornire, tramite un modello semplificato, una stima dei requisiti minimi richiesti affinché la discretizzazione adottata per il calcolo termoidraulico fornisca risultati adeguati per l'analisi di PTS (*Pressurized Thermal Shock*). A tal proposito si è determinata la dimensione minima delle celle da adottare nella nodalizzazione Relap5 della parete solida (*vessel*) e del *cladding*. A scopo di confronto e nell'ottica di una attività di qualifica si è analizzato il comportamento di un modello Trio_U semplificato, alla luce di una possibile implementazione di un calcolo conduttivo con il codice CFD qualora le risorse hardware lo consentano. Lo studio ha consentito inoltre di apprendere dati utili sul comportamento termico della parete conduttiva in seguito all'interposizione del *cladding* in acciaio inossidabile.

Tenendo conto dell'elevato raggio di curvatura del vessel, ed assumendo che il fenomeno di raffreddamento sia limitato ad 1/8 circa del *downcomer*, la simulazione dell'evento di PTS è stata effettuata schematizzando la parete con una piastra piana (alta 3 m, profonda 1.453 m e spessa 0.3 m) e il fluido con un canale rettangolare (alto 3 m, profondo 1.453 m e spesso 0.3 m). Inoltre, assumendo lo scambio termico uniforme su tutta la larghezza della piastra, si è semplificato il modello passando da uno schema tridimensionale ad uno schema bidimensionale (fig. 4.1). Ove richiesto si è modificato il modello aggiungendo uno strato rettangolare spesso 7 mm per simulare il *cladding* in acciaio inossidabile. I risultati ottenuti per il modello con e senza *cladding* sono stati poi confrontati fra loro.

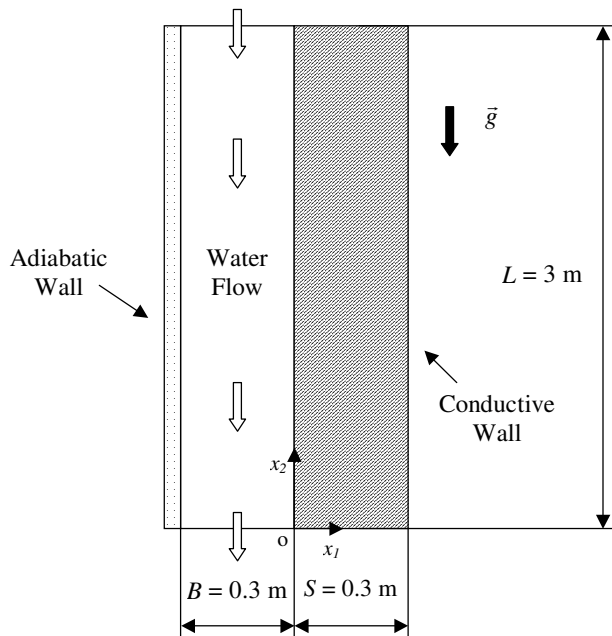


Fig. 4.1 schema del modello semplificato utilizzato per l'analisi di PTS

Il transitorio termoidraulico è stato simulato considerando un gradino di 100 K nella temperatura del fluido in ingresso al canale (100K/s, da 563.67 K a 463.67 K Fig. 4.2) ed una portata massica entrante di 2314 Kg/s.

In tali condizioni il fluido refrigerante è caratterizzato da un numero di Reynolds elevato ($\cong 3 \times 10^7$), cui corrisponde un regime fortemente turbolento.

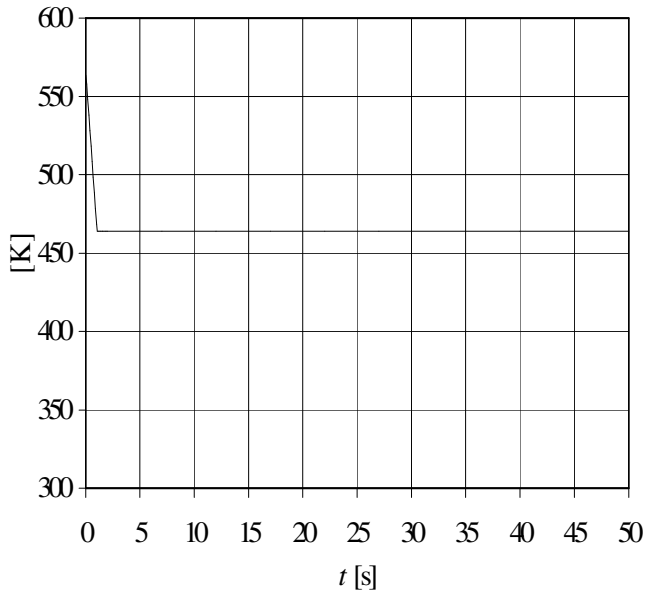


Fig. 4.2 andamento del transitorio di temperatura ipotizzato per il fluido in ingresso

Nei paragrafi successivi si illustrano i modelli numerici sviluppati per i due codici di calcolo (Relap5 e Trio_U). I risultati, in termini di potenza totale scambiata, coefficiente di scambio, potenza superficiale, andamento di temperatura, sono stati confrontati fra loro ove possibile.

4.2 MODELLI NUMERICI

4.2.1 nodalizzazione Relap5

Il modello sviluppato per il codice Relap è composto da (Fig. 4.3):

- un elemento “*pipe*” simulante il canale fluido (*downcomer* del reattore)
- una struttura termica simulante la parete metallica del *vessel* e del *cladding*
- due serbatoi utili per attribuire il transitorio di temperatura e pressione (la temperatura dell’acqua in ingresso al *downcomer* rimane a 564 K per i primi 50 s di stazionario; fra gli istanti 50 e 51 s si ha il transitorio vero e proprio con la diminuzione di 100 K; la temperatura si mantiene quindi stabile a 464 K fino all’istante 150 s. La pressione nel serbatoio superiore è mantenuta costantemente a 170 bar. La pressione nel *downcomer* e nel serbatoio inferiore è invece fissata a 161 bar (pressione di lavoro dell’impianto prima dell’incidente)
- un elemento di collegamento superiore (“*fluid junction*”) dipendente dal tempo, utile per stabilire la portata di acqua in ingresso al canale in funzione del tempo. Tale portata è fissata per tutto il transitorio a 2314 Kg/s
- un elemento di collegamento inferiore, che permette la connessione fra *downcomer* e serbatoio inferiore.

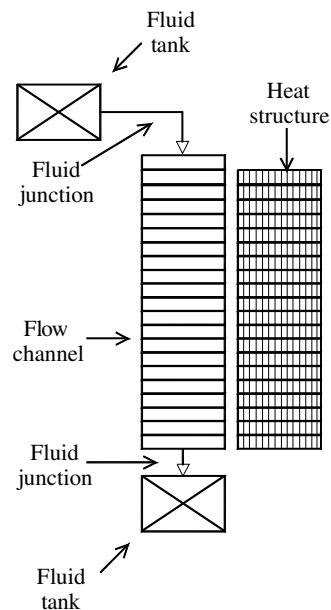


Fig. 4.3 schema della nodalizzazione utilizzata in Relap

Il pipe è stato suddiviso in 21 elementi di volume assiali, 20 dei quali corrispondono all'altezza del *downcomer*. Il primo elemento, pensato con pareti adiabatiche, serve a registrare l'effettivo valore di temperatura del fluido in ingresso al canale nel modello Relap, per una corrispondenza migliore con i dati della simulazione Trio_U (Relap infatti calcola i parametri termici e idraulici al centro del volume fluido).

I restanti 20 elementi sono in comunicazione termica con la struttura conduttiva che riproduce la parete del *vessel*, a sua volta suddivisa in 20 volumi assiali per congruenza con il componente idraulico.

Nello spessore la struttura termica è stata suddivisa in 89 celle (90 punti) di dimensione radiale uniforme. Sono state eseguite inoltre prove di sensibilità suddividendo lo spessore della parete in 44 e 179 celle (45 e 180 punti), anch'esse uniformemente spaziate.

Nel modello in cui viene interposto il *cladding* si è mantenuto costante (pari a 300 mm) lo spessore totale della parete conduttiva; la nodalizzazione assiale è rimasta inalterata mentre radialmente (nel *cladding*) sono state fatte prove con 2 -4 e 6 celle.

4.2.2 nodalizzazione Trio_U

Il modello Trio_U è costituito da due domini, uno fluido e uno solido, in comunicazione termica attraverso la superficie (linea) di contatto (fig. 4.4). Nel canale è stata definita una sezione di ingresso superiore (ove viene definita la portata e la temperatura del fluido in ingresso), ed una sezione di uscita inferiore in comunicazione con l'ambiente esterno. Su tutti i restanti contorni è stata imposta una condizione di parete adiabatica.

Il dominio fluido ha una lunghezza superiore all'altezza effettiva della parete conduttiva per ridurre gli errori numerici sulla soluzione calcolata dal codice CFD [17]. Per quanto riguarda il caso in assenza di *cladding* il canale fluido è stato suddiviso in 20 elementi assiali e in 36 celle radiali; la struttura termica è stata a sua volta suddivisa in 20 elementi assiali e 23 celle radiali.

Sia nel fluido che nella parete in direzione radiale si è utilizzata una spaziatura irregolare (più fitta in prossimità della superficie di contatto fluido-solido) ottenendo dimensioni del modello più contenute e risparmiando risorse di calcolo.

In particolare le celle della regione fluida sono simmetriche rispetto all'asse del canale, mentre quelle della regione solida vanno rastremandosi in prossimità della zona di contatto.

Il modello con interposto il *cladding* è stato ricavato dal precedente aggiungendo alla parete del *vessel* uno spessore di materiale con opportune proprietà; la nodalizzazione assiale è rimasta invariata mentre radialmente (nel *cladding*) sono state fatte prove con 2 -4 e 6 celle.

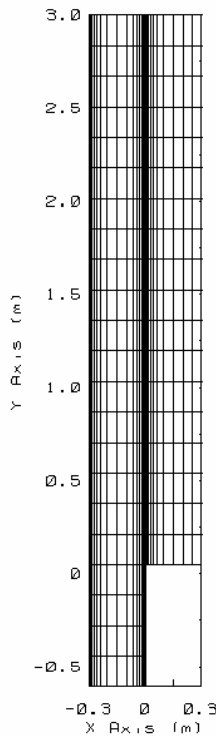


Fig. 4.4 schema della nodalizzazione utilizzata in Trio_U

La tabella 4.1 mostra il riepilogo delle caratteristiche delle nodalizzazioni Relap e Trio_U.

Studio di trasferimento di calore in caso di shock termico semplificato su di una parete bidimensionale senza <i>cladding</i> (nelle condizioni operative del WWER)						
Relap5	Componenti idraulici			Strutture termiche		
	Cells: 1 x 20	High: 0.15 m	Width: 0.3 m	Cells: 89 x 20	High: 0.15 m	Width: $3.37 \cdot 10^{-3}$ m
Trio_U	Componenti idraulici			Strutture termiche		
	Cells: 36 x 20 (not uniformly spaced)	High: 0.15 m	Width: $2.6 \cdot 10^{-5}$ m ($y^+ = 40$)	Cells: 23 x 20 (not uniformly spaced)	High: 0.15 m	Width: $5.75 \cdot 10^{-3}$ m (minimum requirement)
Studio di trasferimento di calore in caso di shock termico semplificato su di una parete bidimensionale con <i>cladding</i> (nelle condizioni operative del WWER)						
Relap5	Componenti idraulici			Strutture termiche		
	Cells: 1 x 20	High: 0.15 m	Width: 0.3 m	Cells: (4+85) x 20	High: 0.15 m	Width: $1.75 \cdot 10^{-3}$ m / $3.5 \cdot 10^{-3}$ m
Trio_U	Componenti idraulici			Strutture termiche		
	Cells: 36 x 20 (not uniformly spaced)	High: 0.15 m	Width: $2.6 \cdot 10^{-5}$ m ($y^+ = 40$)	Cells: (4+10) x 20 (not uniformly spaced)	High: 0.15 m	Width: $3.75 \cdot 10^{-3}$ m
NOTE: 1) la distribuzione non uniforme si intende nello spessore del componente, in direzione ortogonale al flusso 2) $y^+ = 40$ è la condizione che consente l'uso della wall function standard per stimare la turbolenza nella zona della parete						

Tab. 4.1 caratteristiche delle nodalizzazioni Relap e Trio_U utilizzate per il modello 2D

4.3 RISULTATI OTTENUTI CON RELAP

4.3.1 potenza termica totale

Per prima cosa ci si è preoccupati di verificare l'influenza della discretizzazione temporale e spaziale sui risultati forniti dal codice. A tal fine esaminando la fig. 4.5 si verifica che l'andamento della potenza termica totale scambiata fra parete e fluido non subisce variazioni raddoppiando o dimezzando il passo temporale (inizialmente fissato a $0.5e-7$ secondi). Nei primi istanti si osserva un rapido aumento di potenza scambiata (si raggiunge un massimo di 3.58 MW dopo circa 1.3s dall'inizio del transitorio), dovuto all'elevato salto di temperatura fluido-parete; nel seguito del transitorio la tendenza verso l'equilibrio termico fra fluido e parete comporta una graduale riduzione della potenza scambiata fino a circa 0.5 MW (dopo 40s).

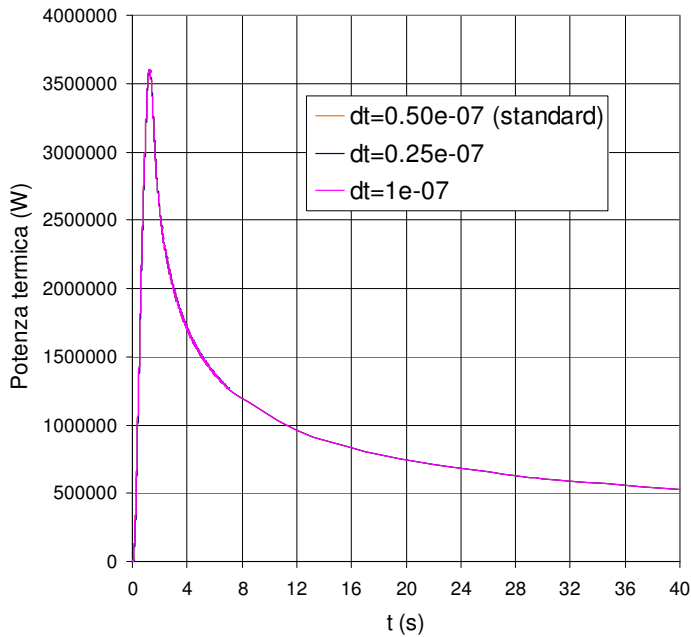


Fig. 4.5 andamento della potenza termica totale variando la discretizzazione temporale – vessel senza cladding

La figura 4.6 mostra l'influenza della discretizzazione radiale sull'andamento della potenza termica totale. Per ottenere la curva di riferimento (linea rossa) sono state introdotte 89 celle radiali (90 punti) nella struttura termica. Raddoppiando il numero di celle (da 90 a 180 punti) si ottiene una variazione del valore massimo inferiore alla percezione delle normali misure sperimentali (circa il 5%), mentre dimezzando il numero di celle (da 90 a 45 punti) si ha un forte aumento del picco di potenza (di circa il 19%). E' evidente pertanto che un calcolo accurato implica la necessità di scegliere in maniera adeguata la spaziatura dei nodi, specialmente in prossimità della zona di scambio termico. Un numero di celle pari a 89 nello spessore (lato singola cella di 3.37 mm) appare adeguato per i nostri scopi.

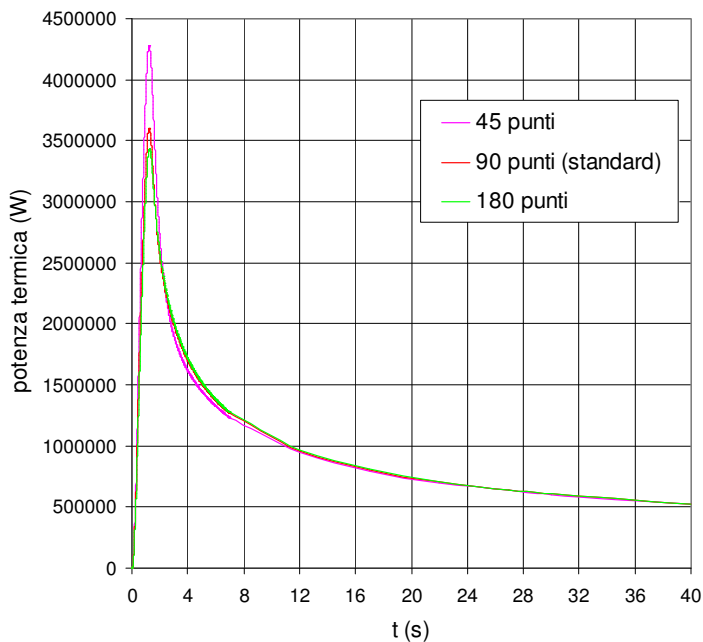


Fig. 4.6 andamento della potenza termica totale variando la discretizzazione spaziale – vessel senza cladding

Nella figura seguente (Fig. 4.7) è stata riportata la potenza termica totale scambiata fra parete e fluido interponendo il *cladding* in acciaio inossidabile. Quest'ultimo, avendo conducibilità termica inferiore rispetto a quella dell'acciaio al carbonio introduce una resistenza termica addizionale che, a parità di salto di temperatura fra parete e fluido, comporta una riduzione della potenza scambiata. All'aumentare del numero di celle radiali si nota la tendenza dei grafici di fig. 4.7 a convergere verso un andamento comune. Infatti mentre il passaggio dalla configurazione con 2 celle (spessore della singola cella 3.5 mm) a quella con 4 celle (spessore della singola cella 1.75 mm) comporta una diminuzione di circa l'11.5% nella potenza di picco (si passa da 2.58 MW a 2.28 MW), il passaggio da 4 a 6 celle (dimensione della singola cella 1.16 mm) implica una riduzione di potenza al di sotto del 2%. Come verrà confermato anche dal codice Trio_U (par. 4.4.1) sembra pertanto necessaria la presenza di almeno 4 celle nel *cladding* (ognuna di spessore 1.75 mm) per ottenere una buona stima dello scambio termico.

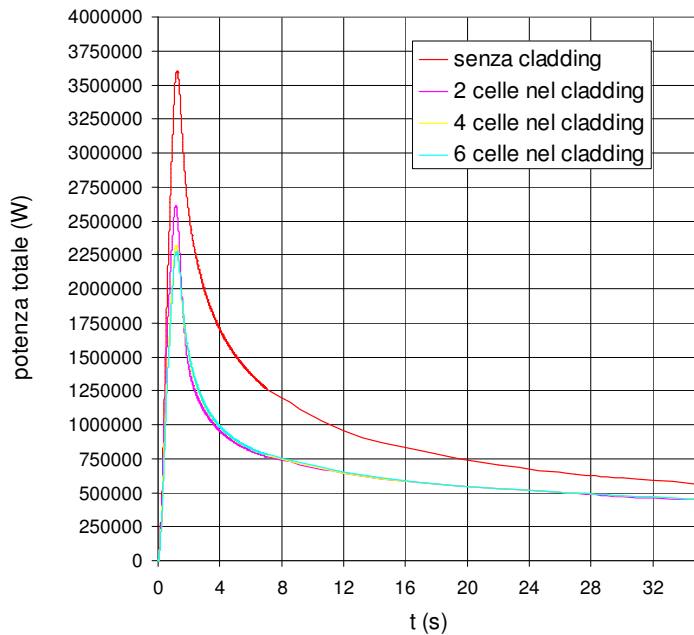


Fig. 4.7 andamento della potenza termica totale al variare del numero di celle nel cladding

4.3.2 potenza totale senza cladding con portata ridotta

Sono state effettuate delle prove per verificare l'adeguatezza del modello numerico nel caso di una portata di fluido in ingresso ridotta. Come si può osservare dalla figura 4.8 la riduzione di portata comporta una diminuzione nell'asportazione di calore dalla parete solida, con conseguente riduzione del picco di potenza termica, ed uno spostamento dell'istante temporale nel quale si raggiunge il valore massimo (si passa da un valore di picco a piena portata di 3.58 MW dopo 1.3s dall'inizio del transitorio ad un valore di 2.47 MW dopo 1.83s nel caso di metà portata, fino ad arrivare a circa 0.85 MW dopo 6.3 s dall'inizio nel caso di portata ridotta ad un decimo).

Ai fini della validazione del codice Trio_U è stato fatto un calcolo con portata ridotta a 1/10 e numero di celle nello spessore raddoppiato (180 punti). Il risultato ottenuto evidenzia come l'aumento del numero di celle radiali (rispetto ai 90 nodi del caso standard) non implica apprezzabile variazione nella potenza scambiata. Il grafico di fig. 4.8 relativo alla portata ridotta ad 1/10 può quindi essere preso a riferimento per un confronto con i dati ottenuti tramite il codice CFD Trio_U (cfr. par. 4.4.3).

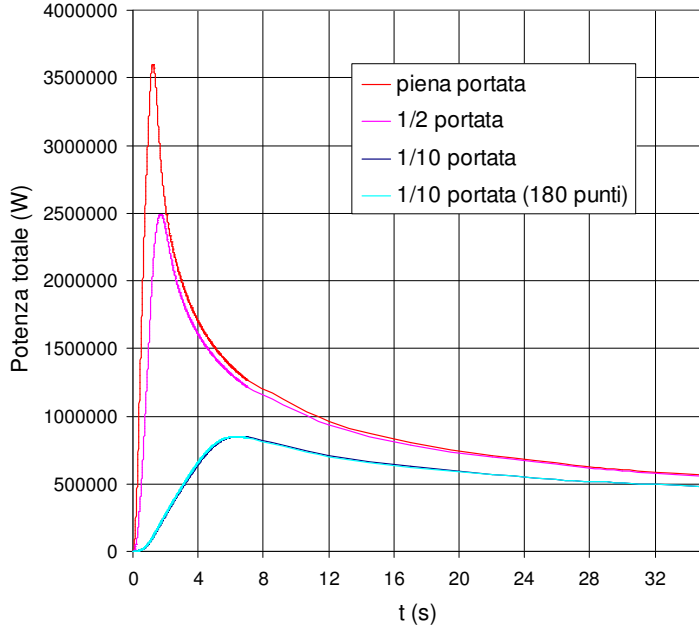


Fig. 4.8 andamento della potenza termica totale al variare della portata – RPV senza cladding

4.3.3 andamento del flusso termico

Le figura 4.9 – 4.11 mostrano l’andamento del flusso termico superficiale scambiato dalla parete con il fluido sia in presenza che in assenza del *cladding*.

I dati sono riportati in funzione dell’altezza adimensionalizzata del canale ($x_2/l = 1$ corrisponde all’imbocco del canale, fig. 4.1).

Nelle prime sezioni del canale si osserva un valore più elevato del flusso termico; tale fenomeno è legato al maggior salto di temperatura fluido-parete disponibile in questa zona. La minor conducibilità termica dell’acciaio inossidabile e il conseguente aumento di resistenza termica fa sì che l’onda termica di raffreddamento si propaga con un certo ritardo nella struttura con *cladding* interposto. Di conseguenza il flusso termico relativo a quest’ultima configurazione risulta inferiore rispetto a quello della struttura senza *cladding* (per esempio a 1.1s dall’inizio del transitorio si raggiunge un valore di picco di 940000 W/m² per la struttura senza *cladding* contro 680000 W/m² per la struttura con *cladding*, fig. 4.10).

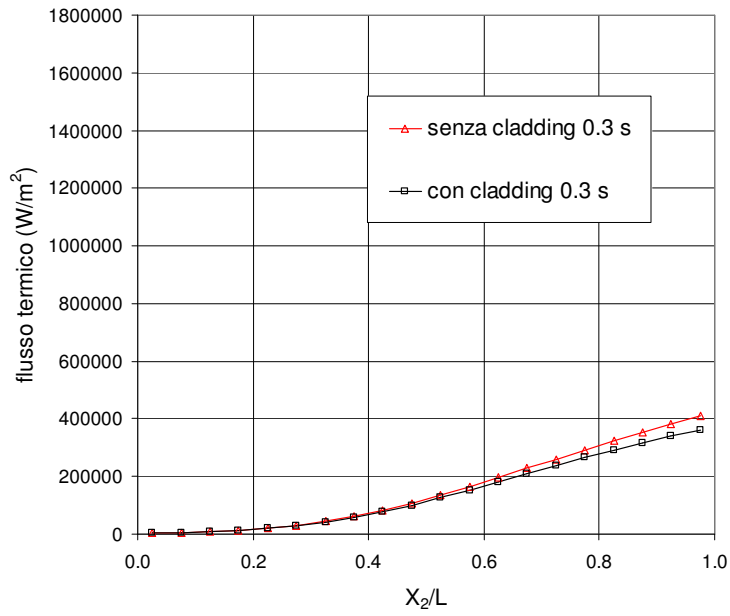


Fig. 4.9 andamento del flusso termico a 0.3 s

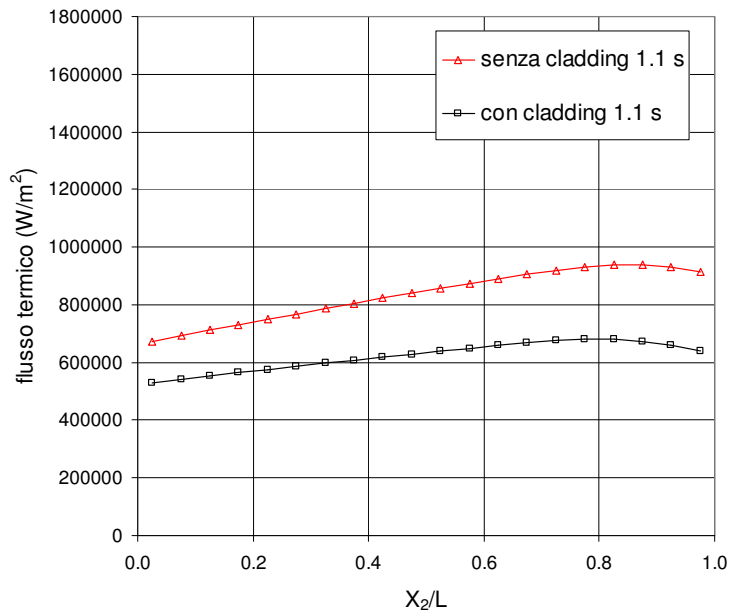


Fig. 4.10 andamento del flusso termico a 1.1 s

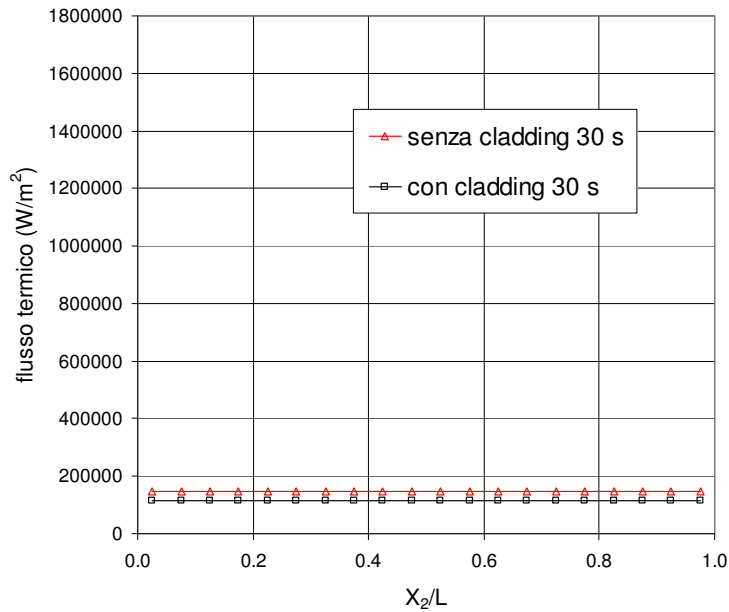


Fig. 4.11 andamento del flusso termico a 30 s

4.3.4 andamento della temperatura di bulk del fluido

Vista l'elevata portata massica in gioco (2314 Kg/s) l'andamento della temperatura di bulk è scarsamente influenzato dalla presenza del *cladding*, come si può dedurre dalla fig. 4.12. Infatti la quantità di energia introdotta nel fluido dalla parete (il valore massimo del flusso termico è di 940000 W/m² per la struttura senza cladding dopo 1.1 s dall'inizio del transitorio) è piccola rispetto al contenuto entalpico del fluido ($1.26 \cdot 10^6$ J/Kg pari a 668878183 W/m²); pertanto anche se la riduzione di potenza termica derivante dalla presenza del *cladding* comporterebbe una riduzione della temperatura di bulk, tale fenomeno non è tuttavia osservabile.

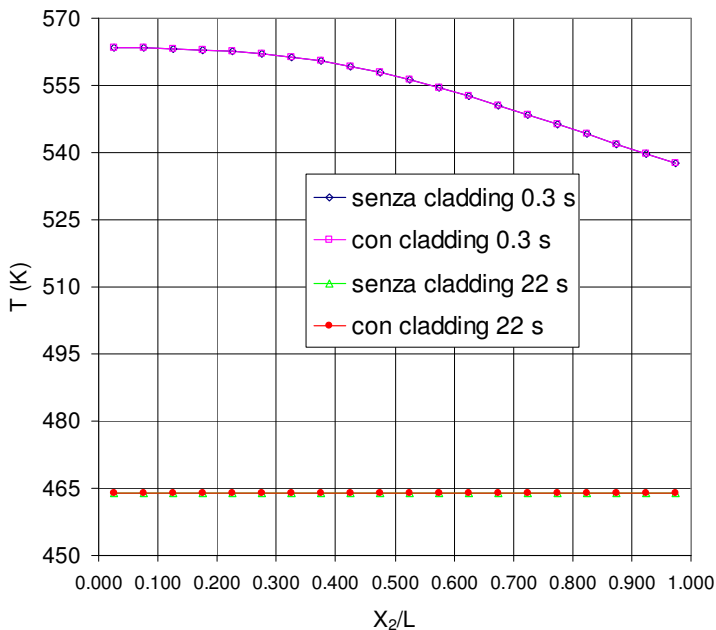


Fig. 4.12 andamento della temperatura di bulk – RPV con e senza cladding

4.3.5 andamento del coefficiente di scambio

La figura 4.13 riporta l'andamento del coefficiente di scambio h in funzione dell'altezza adimensionalizzata del canale. Il coefficiente di scambio h non risulta influenzato dalla presenza o meno del *cladding*. Difatti h può essere messo in relazione con il numero di Nusselt ($Nu = \frac{hD}{k}$) dove D è il diametro idraulico del condotto, k la conducibilità termica del fluido. A sua volta Nu può essere espresso tramite le appropriate correlazioni; per esempio in regime turbolento $Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.3}$, dove Re è il numero di Reynolds e Pr il numero di Prandtl; fissato il numero di Reynolds i parametri k e Pr , e quindi indirettamente h , dipendono dalla temperatura di bulk del fluido; la scarsa dipendenza di quest'ultima dalla presenza o meno del *cladding* (per le ragioni esposte nel paragrafo 4.3.4) determina quindi una dipendenza trascurabile del coefficiente di scambio dalla presenza o meno del rivestimento.

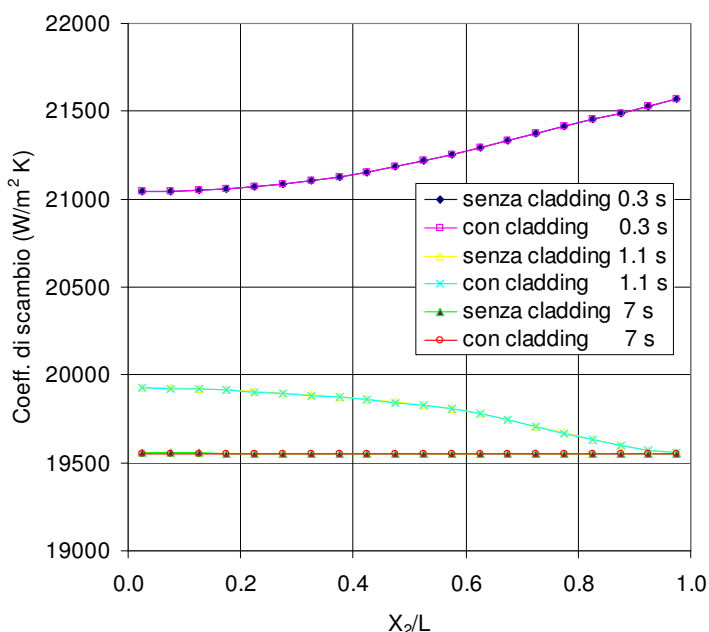


Fig. 4.13 andamento del coefficiente di scambio

4.3.6 andamento della temperatura di parete

Nella figura seguente (fig. 4.14) viene riportata la temperatura della struttura conduttiva nella zona di ingresso del fluido in funzione dello spessore adimensionalizzato della parete termica (x_1/s fig. 4.1).

La resistenza addizionale introdotta con il *cladding* comporta una maggiore difficoltà nell'asportazione del calore e un conseguente aumento della temperatura di parete (si rileva un aumento di circa l' 1% nella temperatura all'interfaccia fluido-solido).

Si osserva inoltre come l'elevata capacità termica della struttura (30 cm di acciaio) fa sì che il fenomeno di raffreddamento (per transitori termici di breve durata) interessi una porzione limitata

dello spessore del materiale ($\ll 50\%$ dello spessore), come sarà maggiormente evidente nell'analisi di PTS (capitolo 5).

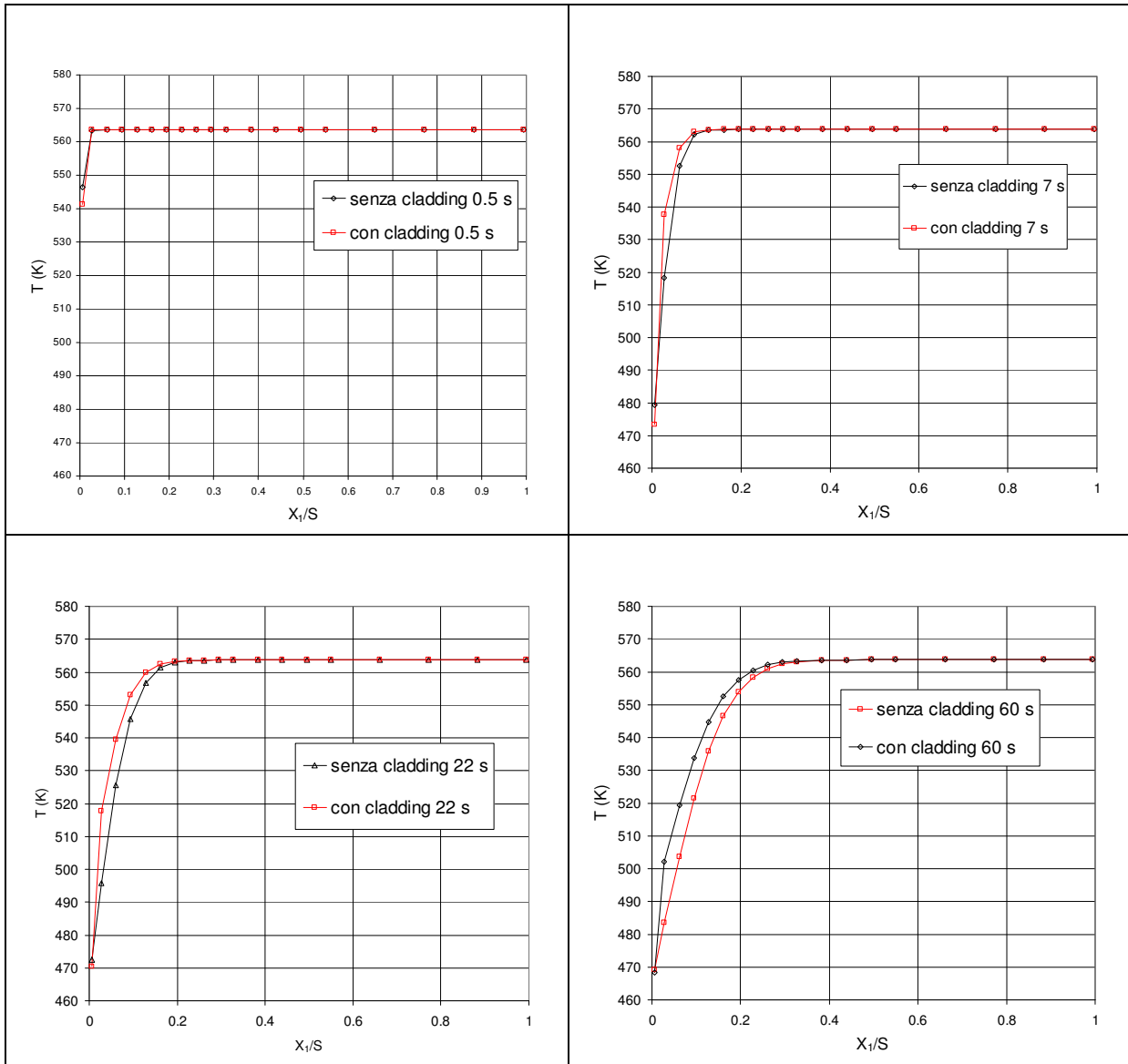


Fig. 4.14 andamento della temperatura nella struttura conduttiva – zona di ingresso del fluido

4.4 RISULTATI OTTENUTI CON TRIO_U

4.4.1 Potenza termica totale

I risultati ottenuti con il codice Trio_U si mostrano in buon accordo con quelli ottenuti con Relap, per quanto i dati relativi alla parete con *cladding* interposto presentino differenze maggiori.

La potenza totale scambiata nel caso di parete conduttiva senza *cladding* (fig. 4.15) ha lo stesso andamento temporale previsto dal modello Relap, con un massimo di 3.77 MW dopo circa 1.3 s dall'inizio del transitorio (il picco di potenza mostra un valore più elevato del 5.6% rispetto al calcolo Relap). Si nota inoltre che dopo 20 s il fluido sottrae dalla parete ancora circa 0.76 MW.

La maggior potenza termica calcolata da Trio_U ($\cong 6\%$) può essere spiegata considerando la diversa modalità di sviluppo del flusso idraulico nei due codici; poiché infatti in Trio_U imponiamo un campo di velocità uniforme in ingresso, il regime di flusso deve svilupparsi nei primi elementi verticali del canale; in Relap invece si è imposto un flusso pienamente sviluppato senza prendere in considerazione gli effetti di imbocco.

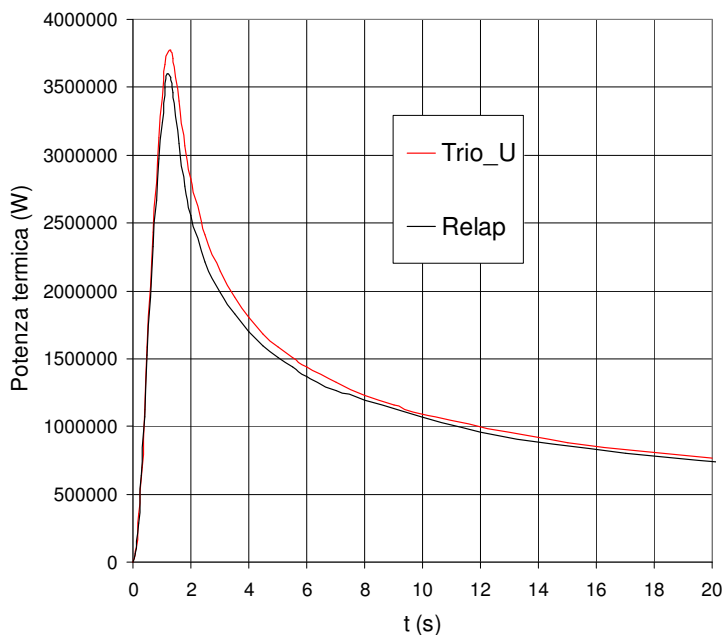


Fig. 4.15 andamento della potenza termica totale, confronto Relap-Trio_U – RPV senza *cladding*

Come per il codice Relap (par. 4.3.1) anche per Trio_U è stato fatto uno studio di sensibilità al fine di valutare l'effetto della variazione della discretizzazione spaziale sui risultati prodotti. A tal fine è stato variato il numero di celle presenti nella struttura conduttiva (20, 40 e 80 celle). A differenza della griglia asimmetrica descritta al paragrafo 4.2.2 si è scelto di utilizzare una distribuzione radiale dei nodi uniforme. In fig. 4.16 si riportano gli andamenti nel tempo della potenza così ottenuta.

Osservando il grafico risulta evidente l'importanza della discretizzazione spaziale. Difatti l'approssimazione della curva Relap, presa a riferimento, migliora aumentando il numero di celle utilizzate; la presenza per esempio di 20 celle nella struttura termica comporta dimensioni di 15 mm per ogni singola cella; tale valore è molto grande rispetto alla prima cella del fluido (a contatto con

la parete), avente dimensioni radiali attorno al millimetro. Utilizzando 80 celle la dimensioni delle prime celle solide diventano paragonabili a quelle del fluido, migliorando così l'accordo dei risultati.

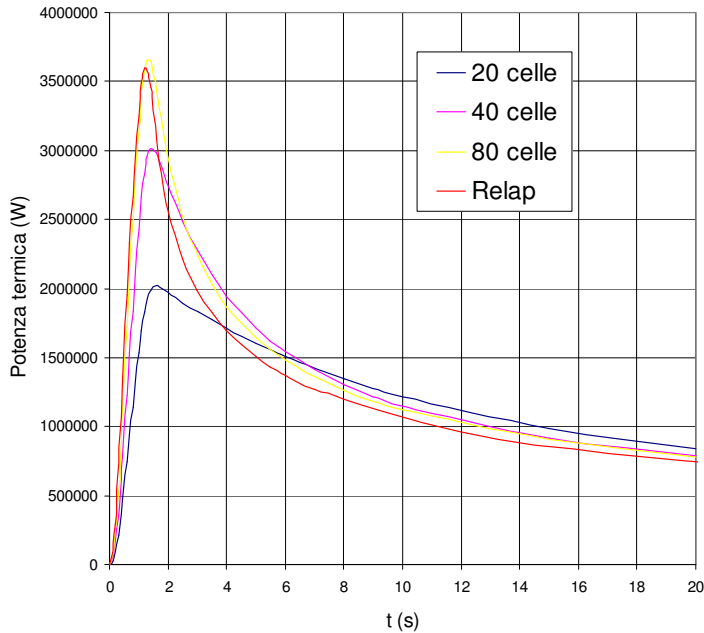


Fig. 4.16 andamento della potenza termica al variare della discretizzazione spaziale – RPV senza cladding

In figura 4.17 si riportano le curve della potenza termica totale scambiata al variare del numero di celle presenti nel *cladding*.

Prendendo a riferimento la curva Relap si può notare come l'aumento del numero di celle presenti nel *cladding* (da 2 a 6) comporti una miglior stima della potenza termica totale; infatti la differenza percentuale tra le curve con 4 e 6 celle (1.8 % in corrispondenza del valore di picco) è inferiore a quella tra le curve 2 e 4 celle (12.6% in corrispondenza del valore di picco).

A riprova di ciò il caso con il maggior numero di celle evidenzia maggiore coerenza con i risultati ottenuti con Relap, sebbene, per i motivi di cui al paragrafo 4.4.1, il codice tridimensionale sovrastimi la potenza termica di circa il 5% in corrispondenza dei valori di picco. Ne consegue che anche per Trio_U un numero di celle fra 4 e 6 nello spessore del cladding risulta adeguato per l'analisi di PTS.

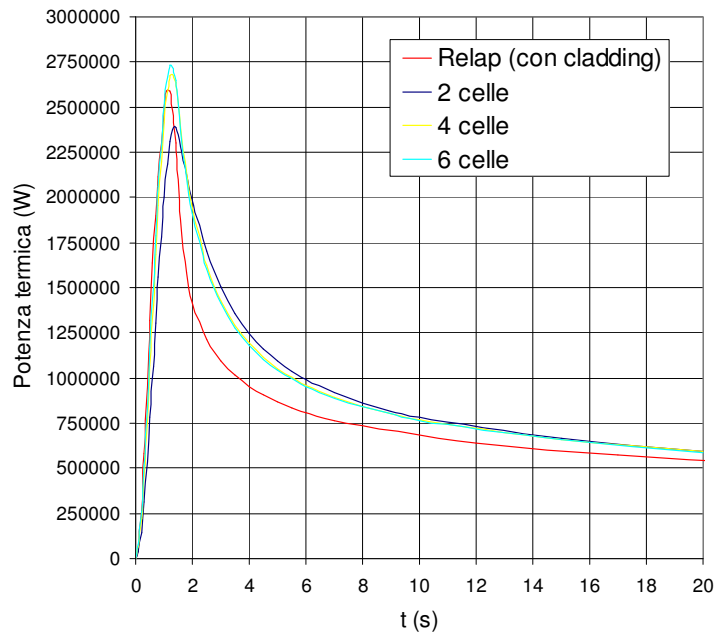


Fig. 4.17 andamento della potenza totale al variare del numero di celle nel cladding

4.4.2. andamento della temperatura di parete

Si riporta nella figura 4.18 un confronto fra i valori della temperatura di parete ottenuti da Relap e da Trio_U relativamente all'imbocco del canale (in funzione dello spessore adimensionalizzato della parete x_1/s fig. 4.1). A parità d'istante ed in virtù della maggiore potenza termica calcolata in Trio_U lo spessore di parete interessato dal raffreddamento è superiore rispetto a Relap. Ne consegue un valore leggermente inferiore della temperatura di parete calcolata dal codice CFD rispetto a quella prevista dal calcolo Relap (per esempio per $x_1/s = 0.1$ e dopo 7 s dall'inizio del transitorio Relap prevede 563.53 K contro 563.07 K previsti da Trio_U)

Si nota comunque un buon accordo fra i valori ottenuti dai due codici.

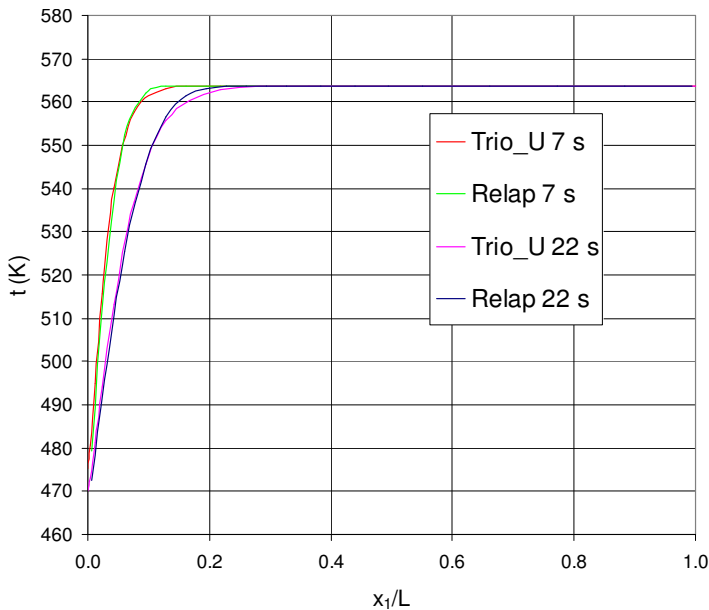


Fig. 4.18 andamento della temperatura nella struttura conduttiva, confronto Relap -Trio_U

4.4.3 potenza totale senza cladding con portata ridotta

La figura 4.19 riporta il confronto fra i dati ottenuti da Relap e quelli ottenuti da Trio_U riducendo la portata del fluido in ingresso a 1/2 e a 1/10 del valore di partenza (2314 Kg/s) e considerando la struttura senza *cladding*. La curva a 1/10 di portata ottenuta da Relap è stata determinata con 180 punti nella struttura e per le ragioni espresse in par. 4.3.2 può essere presa come curva di riferimento per il confronto. Al diminuire della portata i dati Relap e Trio_U presentano un disaccordo più marcato. La differenza fra i valori della potenza di picco nei due casi a metà portata è di circa l'8%, mentre a 1/10 della portata sale a circa il 25%.

Tale situazione presuppone la necessità, relativamente al codice Trio_U, di adeguare la discretizzazione spaziale nel dominio fluido e la *wall function* utilizzata per determinare il contributo turbolento in prossimità della parete.

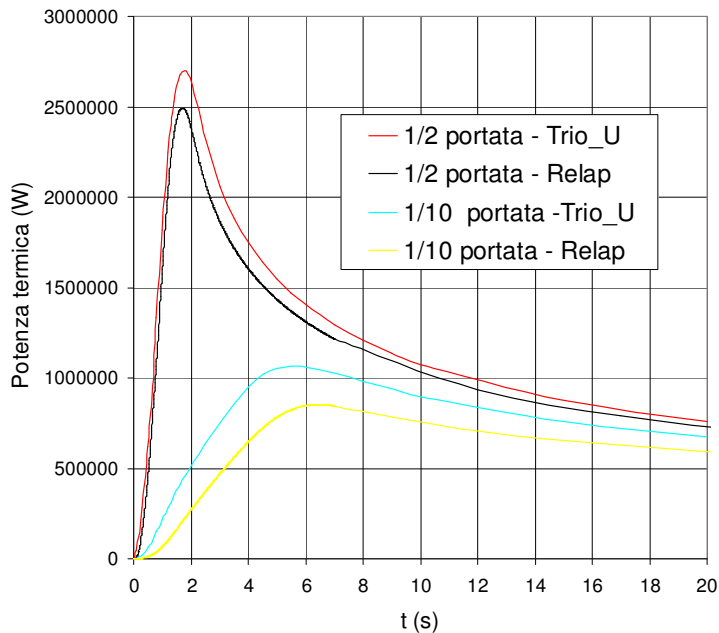


Fig. 4.19 andamento della potenza termica totale al variare della portata – confronto Relap – Trio_U

4.5 OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

L'analisi semplificata mette in evidenza alcuni requisiti cui devono soddisfare i modelli utilizzati per l'analisi di PTS; in particolare in relazione all'interposizione del *cladding* fra parete conduttiva e fluido si può osservare che rispetto a *vessel* "nudo" si ha:

- riduzione di potenza termica totale trasferita, a parità di salto di temperatura fluido-parete
- diminuzione del flusso termico
- maggiore difficoltà nell'asportazione del calore dalla zona conduttiva e conseguente aumento della temperatura di parete (di circa l'1%). Quest'ultimo effetto è importante ai fini dell'analisi di meccanica della frattura, in quanto l'apice di una ipotetica cricca poco profonda viene ad avere una temperatura più elevata rispetto ad una cricca analoga su di un *vessel* senza *cladding*; aumentano così, anche se di poco, i margini di sicurezza in relazione all'infragilimento del materiale
- lo spessore di parete interessato dal raffreddamento è molto minore del 50%; l'effetto dell'interposizione del *cladding* sui risultati di meccanica della frattura interesserà perciò prevalentemente le cricche di dimensioni più contenute.

Per quanto riguarda l'effetto della discretizzazione radiale sui risultati possiamo osservare che mentre la variazione della discretizzazione temporale non comporta modifica apprezzabile nell'andamento della potenza termica scambiata la variazione della discretizzazione radiale

influenza in modo sensibile il risultato ottenuto; tramite il codice Relap si è osservato che mentre il raddoppio dei nodi radiali (dai 90 di partenza a 180) non implica variazione apprezzabile nei risultati (circa il 5% nel valore di picco), il dimezzare tale numero (da 90 a 45) implica una sovrastima nel valore massimo di potenza termica (circa il 19%). Si evidenzia con ciò la necessità di contenere le dimensioni delle celle in prossimità della zona dove avviene lo scambio termico al fine di ottenere dati adeguatamente accurati. Per quanto riguarda Relap si ottengono buoni risultati con un valore minimo di 90 punti radiali (89 celle) nella struttura conduttiva, cui corrisponde una dimensione della singola cella di 3.37 mm. Anche Trio_U, molto sensibile alla discretizzazione spaziale, fornisce risultati buoni con almeno 80 celle nella struttura solida (spessore singola cella 3.75 mm). Per quanto riguarda la potenza termica in presenza di *cladding* i risultati migliori si ottengono sia in Relap che in Trio_U con almeno 4 celle nello spessore (spessore singola cella 1.75 mm). I due codici, nonostante la diversa modalità di sviluppo del flusso idraulico, mostrano un buon accordo fra i risultati prodotti, con una leggera sovrastima della potenza da parte di Trio_U. Col diminuire della portata si rileva comunque un disaccordo più marcato nei valori di potenza termica, con una differenza percentuale che passa dall' 8% a piena portata al 25 % a portata ridotta. Un calcolo conduttivo Trio_U richiede pertanto di adeguare la discretizzazione spaziale nel dominio fluido al variare del regime di flusso.