



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



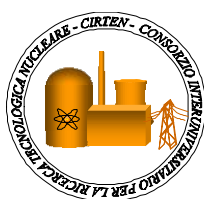
Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Documento CERSE-UNIBO RL 1258/2010

Development of a Model for Core Dynamics-Neutronics

S. Dulla, P. Ravetto, S. Han, F. Alcaro



DEVELOPMENT OF A MODEL FOR CORE DYNAMICS-NEUTRONICS

S. Dulla, P. Ravetto, S. Han, F. Alcaro

Settembre 2010

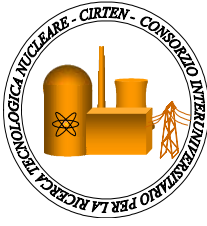
Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Produzione e fonti energetiche

Tema: Nuovo Nucleare da Fissione

Responsabile Tema: Stefano Monti, ENEA



CIRTEN
CONSORZIO INTERUNIVERSITARIO
PER LA RICERCA TECNOLOGICA NUCLEARE

POLITECNICO DI TORINO
DIPARTIMENTO DI ENERGETICA

Development of a model
for core dynamics - Neutronics

CIRTEN-POLITO RL 1258/2010

AUTORI

S. Dulla
P. Ravetto
S. Han
F. Alcaro

TORINO, LUGLIO 2010

Lavoro svolto in esecuzione della linea progettuale LP3 punto F2 - AdP ENEA MSE del 21/06/07
Tema 5.2.5.8 – “Nuovo Nucleare da Fissione”.

Introduzione e sommario del lavoro

Lo sviluppo di un modello computazionale per il calcolo neutronico di un sistema innovativo richiede la messa a punto di un algoritmo per la soluzione delle equazioni di bilancio in geometria pluridimensionale. Nel primo anno di questa attività di ricerca è stato sviluppato un modulo di calcolo per la soluzione delle equazioni della diffusione multigruppi in geometria cartesiana multidimensionale. Sono stati adottati diversi approcci numerici per studiarne l'efficienza e le prestazioni. In particolare, accanto ad un approccio alle differenze finite classico, da utilizzare principalmente come riferimento perché computazionalmente troppo costoso, si è voluto sviluppare sia un metodo nodale adatto a calcoli parametrici veloci ma accurati che un nuovo metodo agli elementi di contorno.

Nel corso dell'attività di ricerca del secondo anno, il lavoro si è sviluppato allo scopo di conseguire principalmente due obiettivi. In una prima fase il modulo numerico sviluppato nell'anno precedente è stato sottoposto a verifiche mediante confronti con vari benchmark analitici e numerici. Ciò ha permesso di studiare i vari aspetti connessi alle limitazioni degli approcci computazionali adottati. E' stata inoltre sviluppata un'analisi comparativa dei costi di calcolo.

E' noto che i metodi a maglia larga, quali quelli nodali e agli elementi di contorno, possono presentare diversi problemi di instabilità e di non convergenza quando applicati con discretizzazioni spaziali non consistenti. Si è pertanto voluto approfondire tale aspetto nel corso di questa parte dell'attività di ricerca. Questo lavoro ha permesso di arrivare ad interessanti valutazioni che hanno portato a un lavoro scientifico pubblicato e recentemente presentato alla conferenza annuale dell'American Nuclear Society. Questa analisi ha messo chiaramente in luce la necessità di una strutturazione consistente della discretizzazione spaziale per evitare problemi numerici che possono generare soluzioni non fisiche o produrre risultati insoddisfacenti.

In un secondo campo di attività si è dato inizio allo studio della possibilità di estendere il modulo computazionale a problemi dipendenti dal tempo. Questo era stato fissato come uno degli obiettivi iniziali del lavoro. In questa fase si è studiata a fondo la possibilità di accoppiare un modulo di calcolo statico ad un modulo di cinetica puntiforme nell'ambito di una procedura quasi-statica, utilizzando il modulo statico per l'aggiornamento della forma della popolazione neutronica, in uno schema fattorizzato forma-ampiezza. Questo lavoro è stato svolto anche nell'ambito di collaborazioni internazionali avviate con ricercatori sia dell'Université Libre de Bruxelles che dell'Ecole Polytechnique de Montréal. In questa fase del lavoro è stato messo a punto uno strumento informatico di accoppiamento fra il modulo di calcolo di forma e quello per la valutazione delle ampiezze. I risultati sono stati particolarmente promettenti e hanno portato alla pubblicazione di un lavoro su rivista scientifica.

Il rapporto che segue comprende una prima parte in cui viene sommariamente descritto il modulo statico di neutronica pluridimensionale nelle sue varie articolazioni numeriche come sviluppato nella prima parte di questa attività. Successivamente viene discusso in dettaglio il problema della validazione e lo studio delle prestazioni. Sono presentati i risultati dell'analisi comparativa dei costi computazionali. Una parte consistente è dedicata allo studio del problema di stabilità e di convergenza degli algoritmi a maglia larga. Vengono illustrati gli aspetti connessi alla necessità di adottare una discretizzazione spaziale coerente, soprattutto quando venga scelto l'algoritmo a elementi di contorno. La parte finale del rapporto è dedicata allo studio dello schema quasistatico e alla possibilità di accoppiamento di un modulo statico con un modulo di cinetica.

L'attività di ricerca che si sta ora avviando riguarda la messa a punto e la validazione di un modulo completo di dinamica. Questo prevede quindi lo sviluppo completo di uno schema quasi-statico e l'accoppiamento con un modulo di calcolo termoidraulico. Ciò permetterà la simulazione completa del comportamento dinamico di un sistema, tenendo conto in modo consistente degli effetti di controreazione termica.

Quest'ultima attività è stata recentemente discussa in due incontri di lavoro che si sono svolti presso il Politecnico di Torino e presso la sede ENEA di Bologna.

Torino, settembre 2010

Development of a model for core dynamics - Neutronics

Contribution from Politecnico di Torino

This material has been partially published in:

- Song H., Dulla S., Ravetto P., Performance and convergence issues of coarse mesh methods for diffusion calculations, *Transactions of the American Nuclear Society*, **102**, 525-527, 2010.
- Alcaro F, Dulla S., Marleau G., Mund E.H., Ravetto P., Development of dynamic models for neutron transport calculations, *Il Nuovo Cimento*, **33C**, 13-20, 2010.

Chapter 1

Boundary elements method for neutron diffusion problems and convergence

Contributors: Song Han, Sandra Dulla, Piero Ravetto (Politecnico di Torino)

1.1 Introduction

Boundary Elements Methods (BEM) applied for neutron diffusion problems has been investigated for some time recently. However, this technique has some difficulties to display its excellent features which are shown in other fields due to some special reasons of the diffusion model. Firstly, numerical integrations on the boundary element has to be applied because they cannot normally be performed analytically. A significant error can be introduced by such approach because the integrand is singular in the domain. Secondly, volume integral of neutron external source term in the neutron diffusion boundary integrated equations is hard to be evaluated accurately. This requires some proper approximation on the spatial distribution. In particular for critical calculations in multi-group diffusion problems for reactor systems, the fission source brings forward another problem once it is considered as a given source in the iterative process. The advantage of being assimilated to an external source is that the response matrix is calculated only once before the critical iteration process, while the drawback is the problem of the volume integral and its spatial distribution.

1.2 Algorithm

Owing to these difficulties, an algorithm for the spatial treatment of the fission source as an external source is developed and investigated. It is based on the multi-group diffusion equations in two-dimensional (2D) Cartesian geometry:

$$-\nabla D^g \nabla \phi_g(\mathbf{r}) + \Sigma_r^g \phi_g(\mathbf{r}) = \sum_{g'=1, g' \neq g}^G \Sigma_s^{g' \rightarrow g} \phi_{g'}(\mathbf{r}) + \frac{1}{k} \chi^g \sum_{g'=1}^G \nu \Sigma_f^{g'} \phi_{g'}(\mathbf{r}), \quad g = 1, 2, \dots, G, \quad (1.1)$$

where

D^g , diffusion coefficient of g^{th} group;

3.5 Conclusions

A computational tool that can perform time-dependent neutronic transport calculations using a quasi-static approach is developed. The DRAGON code is used as a transport solver to generate direct and adjoint fluxes, to be used for the calculation of the kinetic parameters introduced into the amplitude model. A coupling module provides the input information for the DRAGON code by suitable modifications of cross sections and sources as needed, in order to take into account the evolution of neutron and precursor concentrations.

Test calculations show the feasibility of the procedure and the accuracy of the results, both for the classical IQM and for the innovative PCQM. Some considerations are highlighted concerning the possibility to hybridize the two algorithms when dealing with a long transient analysis. The results presented show that both algorithms can reproduce the power level at the end of the transient rather accurately: it must be reminded that PCQM is computationally more advantageous than IQM.

Further development should be directed towards handling angular distributions for sources and fluxes. This step will lead to a fully consistent computational tool for transport nuclear reactor kinetics.

Bibliography

- [1] Dulla S., Mund E.H., Ravetto, P., The quasi-static method revisited, *Progress in Nuclear Energy*, **50**,908–920, 2008.
- [2] Henry A.F., The Application of Reactor Kinetics to the Analysis of Experiments, *Nuclear Science and Engineering*, **3**, 52–70, 1958.
- [3] Yasinsky J.B., Henry A.F., Numerical Experiments Concerning Space-Time Reactor Kinetics Behavior, *Nuclear Science and Engineering*, **22**, 171–181, 1965.
- [4] Ott K.O., Meneley D.A., Accuracy of the Quasistatic Treatment of Spatial Reactor Kinetics, *Nuclear Science and Engineering*, **36**, 402–411, 1969.
- [5] Devooght J., Quasistatic Solutions of Reactor Kinetics, *Annals of Nuclear Energy*, **7**, 47–58, 1980.
- [6] Devooght J., Mund E.H., Generalized Quasistatic Method for Space-time Kinetics, *Nuclear Science and Engineering*, **76**, 10–17, 1980.
- [7] Dulla S., Mund E.H., Ravetto, P., Accuracy of a Predictor-Corrector Quasi-Static Method for Space-Time Reactor Dynamics, *PHYSOR'06*, Vancouver, 2006.
- [8] Picca P., Dulla S., Mund E.H., Ravetto P., Marleau G., Quasi-static Time-Dependent Computational Tool Using the DRAGON Transport Code, *PHYSOR'08*, Interlaken, 2008.
- [9] Marleau G., Hébert A., Roy R., A user's guide for DRAGON 3.05, *Report IGE-174 Rev. 6*, Institut de Génie Nucléaire, Ecole Polytechnique de Montréal, 2006.
- [10] Eriksson M., Accelerator-driven Systems: Safety and Kinetics, *PhD thesis*, Royal Institute of Technology, Stockholm, 2005.