

## **Curriculum vitae Sandra Dulla**

### ***Dati anagrafici***

Sandra Dulla  
Nata ad Avigliana (TO) il 5 marzo 1977  
Residente a Torino, Via Bionaz 5, 10142  
Telefono 011.703320  
Cellulare 349.1382969  
e-mail: sandra.dulla@polito.it

### ***Studi***

#### *Università*

Ottobre 1996 – ottobre 2001: Politecnico di Torino, Torino, Italia.  
Corso di Laurea in Ingegneria Nucleare dal Settembre 1996 al Luglio 2001.  
Tesi di laurea sul comportamento neutronico dipendente dal tempo di sistemi sottocritici iniettati da sorgente (Accelerator-Driven Systems - ADS) in geometria x-y (“Studio neutronico di sistemi sottocritici in teoria del trasporto”; relatori: Prof. G.G.M. Coppa e P. Ravetto).  
Laurea in Ingegneria Nucleare con votazione 110/110 e lode, ottobre 2001.

#### *Altri corsi*

Agosto 2001: "Frédéric Joliot - Otto Hahn Summer School in Reactor Physics", tenuta a Karlsruhe (Germania).

#### *Dottorato*

Gennaio 2002 – dicembre 2004: Politecnico di Torino, Torino, Italia.  
Programma di dottorato in Energetica, svolto presso il Dipartimento di Energetica del Politecnico di Torino (tutore: Prof. P. Ravetto). Principale attività di ricerca: sviluppo di modelli fisici e metodi numerici per l’analisi della neutronica dei sistemi a combustibile fluido, con particolare attenzione al comportamento dinamico.  
Marzo 2005: Titolo di dottore di ricerca; tesi di dottorato dal titolo: “Models and methods in the neutronics of fluid fuel reactors”.

#### *Conoscenze linguistiche*

Attestato superamento esame di lingua inglese PET con la votazione *pass with merit*.

### ***Collaborazioni scientifiche e posizioni ricoperte presso l’università***

Ottobre 2001 – dicembre 2001: Politecnico di Torino, Torino, Italia  
Contratto CIRTEN di collaborazione ad attività di ricerca per la messa a punto e validazione di codice di calcolo per la risoluzione dell’equazione del trasporto in geometria bidimensionale con la tecnica delle ordinate discrete.  
Giugno 2003 – dicembre 2003: Politecnico di Torino, Torino, Italia

Conferimento di incarico da parte di EUROSEA per attività di ricerca nell'ambito degli studi sulla boroterapia.

Gennaio 2005 - aprile 2005: Politecnico di Torino, Torino, Italia

Contratto CIRTEN di collaborazione ad attività scientifica per lo sviluppo di modelli e metodi di calcolo per i sistemi a combustibile fluido e per i sistemi sottocritici.

Maggio 2005 – aprile 2006: Politecnico di Torino, Torino, Italia

Titolare di assegno di ricerca presso il Dipartimento Energetica per il progetto: *Fisica dei sistemi nucleari innovativi*, campo di ricerca: Fisica dei reattori nucleari a sali fusi, fisica dei sistemi sottocritici, Settore Scientifico Disciplinare: ING/IND 18 – Fisica dei reattori nucleari.

Maggio 2006-settembre 2006: Politecnico di Torino, Torino, Italia

Affidamento di incarico come collaboratore esterno da parte del Dipartimento di Energetica per svolgere attività di sviluppo e applicazioni di codici numerici per la simulazione del comportamento dinamico dei sistemi sottocritici.

15 Giugno 2006 – 15 Marzo 2007: Politecnico di Torino, Torino, Italia

Titolare di borsa di studio erogata dall'Associazione per lo Sviluppo Scientifico e Tecnologico del Piemonte (ASP) per lo svolgimento di attività di ricerca sul trasporto neutronico per applicazioni a sistemi nucleari innovativi.

Aprile 2007 – 15 giugno 2007: Politecnico di Torino, Torino, Italia

Titolare di assegno di ricerca presso il Dipartimento Energetica per il progetto: Fisica dei reattori nucleari a fissione con combustibile fluido, campo di ricerca: Fisica dei reattori nucleari a sali fusi, fisica dei sistemi sottocritici, Settore Scientifico Disciplinare: ING/IND 18 – Fisica dei reattori nucleari

15 giugno 2007 – tutt'oggi: Politecnico di Torino, Torino, Italia

Ricercatore universitario presso il Dipartimento Energetica, Settore Scientifico Disciplinare: ING/IND 18 – Fisica dei reattori nucleari.

### ***Altri titoli***

Membro del technical committee della conferenza internazionale PHYSOR 2006.

Membro dell'American Nuclear Society dal 2003.

### ***Partecipazione a programmi di ricerca***

- **PRIN 2002-2004**: Programma di ricerca scientifica di rilevante interesse nazionale.  
Titolo della ricerca: Reattori nucleari innovativi per produzione di energia e distruzione di rifiuti radioattivi  
Progetto dell'unità di ricerca di Torino: Studio neutronico-termoidraulico della regione bersaglio di un impianto nucleare sottocritico per la trasmutazione di nuclidi radioattivi e la distruzione delle scorie

Lavoro svolto: studio degli effetti neutronici dovuti alla presenza della sorgente di spallazione.

- **PRIN 2004-2006:** Programma di ricerca scientifica di rilevante interesse nazionale.  
Titolo della ricerca: Reattori nucleari innovativi per eliminazione delle scorie e produzione di energia  
Progetto dell'unità di ricerca di Torino: Studio neutronico-termoidraulico di reattori ad acqua innovativi  
Lavoro svolto: dinamica di sistemi per la trasmutazione dei rifiuti radioattivi.
- **MUSE Program** (V Programma Quadro dell'Unione Europea). Lavoro svolto: sviluppo di metodi per l'interpretazione di misure sperimentali di flusso.
- **MOST Project** (V Programma Quadro dell'Unione Europea). Lavoro svolto: sviluppo di modelli fisico-matematici, messa a punto di un codice per la neutronica dei sistemi a combustibile fluido e validazione con dati sperimentali.
- **IAEA Coordinated Research Project (CRP)** “Studies of Innovative Reactor Technology Options for Effective Incineration of Radioactive Waste” (iniziato nel 2003). Lavoro svolto: analisi di sicurezza e validazione di modelli fisici e metodi numerici per la simulazione del comportamento dinamico dei reattori a Sali fusi.
- **IAEA Coordinated Research Project (CRP)** “Analytical and Experimental Benchmark Analyses of Accelerator Driven Systems (ADS)” (iniziato nel 2005). Lavoro svolto: sviluppo di benchmark analitici e numerici per la dinamica dei sistemi sottocritici.
- **IAEA HEU – LEU collaborative activity** “LEU Fuel Utilization in ADS System” (iniziato nel 2006). Lavoro in corso: definizione consistente dei parametri cinetici e sviluppo di metodi di proiezione adatti all'interpretazione degli esperimenti sui sistemi sottocritici.
- **ECATS** (parte di EUROTRANS, VI Programma Quadro dell'Unione Europea, in via di definizione). Lavoro previsto: fisica dei sistemi sottocritici e interpretazione di misure sperimentali.
- **Framatome ANP, Erlangen (D)** (iniziato nel 2005). Lavoro in corso: sviluppo di solutori di trasporto per il progetto di reattori nucleari termici.

#### ***Collaborazioni in ambito internazionale***

- Université Libre de Bruxelles (Prof. Ernest H. Mund): sviluppo ed analisi delle prestazioni di schemi di tipo quasistatico per lo studio della dinamica di reattori a combustibile solido e fluido (da marzo 2005).
- University of Arizona (Prof. Barry D. Ganapol): studio delle caratteristiche fisiche dei modelli approssimati di trasporto e analisi degli schemi di discretizzazione numerica, con particolare riferimento all'analisi della propagazione di impulsi localizzati di sorgente (da settembre 2005).
- CEA Saclay (Prof. Richard Sanchez): sviluppo di modelli e di codici numerici per l'analisi del comportamento dinamico di un reattore a combustibile fluido in presenza

di controreazione termica; studio sull'importanza della presenza di effetti di trasporto nella neutronica dei sistemi a sali fusi (da gennaio 2003).

- École Polytechnique de Montréal (Prof. Guy Marleau e Prof. Robert Roy) e Université Libre de Bruxelles (Prof. Ernest H. Mund): accoppiamento del codice stazionario in trasporto DRAGON con vari moduli per il calcolo dinamico nell'approssimazione quasistatica e multipunto (da settembre 2006).

### ***Presentazioni scientifiche e seminari***

- a. Molten Salt Reactor Physics: Dynamic Behaviour (con P. Ravetto), invited presentation at the GEDEON-PRACTIS Workshop, Cadarache (Francia), Giugno 2002
- b. Results of the Static Benchmarks for Molten Salt Systems (con P. Ravetto), MOST Meeting, Praga (Repubblica Ceca), Novembre 2002
- c. Results of the Dynamic Benchmarks for Molten Salt Systems (con P. Ravetto), MOST Meeting, Parigi (Francia), Gennaio 2003
- d. Analysis of the Benchmarks for Molten Salt Systems (con P. Ravetto), MOST Meeting, Parigi (Francia), Marzo 2003
- e. Benchmark on natural convection transients in Molten Salt Systems (con P. Ravetto), MOST Meeting, Parigi (Francia), Aprile 2003
- f. Physics of Fluid-Fuel Reactors (con P. Ravetto), Centre d'Etudes Nucléaires, CEA, Saclay (Francia), Giugno 2003
- g. Final Report on the Benchmark Activities for Molten-Salt Systems (con P. Ravetto), MOST Meeting, Parigi (Francia), Giugno 2003
- h. Neutron Kinetics of Subcritical Systems (con P. Ravetto), invited presentation at the Forschungszentrum Karlsruhe, FZK, Karlsruhe (Germania), Luglio 2003
- i. Activities on ADS Dynamics (con P. Ravetto e M.M. Rostagno), KTH, Royal Institute of Technology, Stoccolma (Svezia), Ottobre 2003
- j. Models and Methods in the Neutronics of Fluid-Fuel Systems (con P. Ravetto), Georgia Institute of Technology, Atlanta (USA), Agosto 2004
- k. Future Challenges in the Physics of Molten Salt Reactors (con P. Ravetto), Final MOST Meeting, Grenoble (Francia), Ottobre 2004
- l. Activities in the Field of Nuclear Reactor Dynamics at Politecnico di Torino (con P. Ravetto), Pennsylvania State University, State College (USA), Novembre 2004
- m. Dynamic Calculations on MOSART Concept (con P. Ravetto), 2<sup>nd</sup> Coordinated Research Project Meeting on Studies of Advanced Reactor Technology Options for Effective Incineration of Radioactive Waste, Hefei (Cina), Novembre 2004
- n. Methods in accelerator-driven system dynamics, invited presentation at Georgia Institute of Technology, Atlanta (USA), Dicembre 2004
- o. Reactor Physics Activities at Politecnico di Torino (con P. Ravetto), Framatome-AREVA, Erlangen (Germania), Maggio 2005
- p. Preliminary Analysis of the Effect of Fluid-Dynamics on Neutronic Characteristics (con P. Ravetto), Final MOST Meeting, Karlsruhe (Germania), June 2005
- q. Neutron Propagation Problems for Pulsed Experiment Analysis (con P. Ravetto), Georgia Institute of Technology, Atlanta (USA), Novembre 2005
- r. The Philosophy of Analytical Benchmarks for ADS Dynamics (con P. Ravetto), First Meeting of the Coordinated Research Project on "Analytical and experimental

- benchmark analyses of Accelerator Driver Systems (ADS)”, Minsk (Bielorussia), Dicembre 2005
- s. Analytical transport methods for neutron propagation problems (con P. Ravetto), KTH, Stoccolma (Svezia), Marzo 2006
  - t. Problemi fisici nella neutronica dei reattori e dei sistemi nucleari innovativi (con P. Ravetto), presentazione a invito, Congresso nazionale della Società Italiana di Fisica (abstract book, pag. 114), Torino, Settembre 2006
  - u. A space asymptotic approach to some neutron transport problems (con P. Ravetto e S. Canepa), Advanced Numerical Methods in Engineering Applications, Simposio dedicato al Prof. E. Mund, Université Libre de Bruxelles, Bruxelles (Belgio), 3-4 luglio 2006
  - v. Characterization of the kinetic behaviour of subcritical systems (con P. Ravetto), Workshop on LEU Utilization in ADS Systems, IAEA, Vienna (Austria), Novembre 2006

### ***Attività didattica***

#### Anno accademico 2001-2002

- Geometria – Corsi di Laurea in Ingegneria dell’Informazione, Sede di Aosta, Facoltà di Ingegneria dell’Informazione, Politecnico di Torino – Esercitazioni, 24 ore.

#### Anno accademico 2002-2003

- Geometria – Corsi di Laurea in Ingegneria dell’Informazione, Sede di Aosta, Facoltà di Ingegneria dell’Informazione, Politecnico di Torino – Esercitazioni, 32 ore.
- Calcolo numerico – Corsi di Laurea in Ingegneria dell’Informazione, Sede di Ivrea, Facoltà di Ingegneria dell’Informazione, Politecnico di Torino – Esercitazioni in aula e in laboratorio informatico, 24 ore.

#### Anno accademico 2003-2004

- Reattori nucleari avanzati – Corso di Laurea in Ingegneria Nucleare (Vecchio Ordinamento), I Facoltà di Ingegneria, Politecnico di Torino – Esercitazioni, 7 ore.
- Fisica dei sistemi energetici innovativi – Corso di Laurea in Ingegneria Energetica, I Facoltà di Ingegneria, Politecnico di Torino – Esercitazioni, 4 ore.
- Fisica dei reattori a fissione – Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e Nucleare, I Facoltà di Ingegneria, Politecnico di Torino – Esercitazioni, 4 ore.
- Metodi statistici e tecniche Monte Carlo – Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e Nucleare, I Facoltà di Ingegneria, Politecnico di Torino – Esercitazioni in aula e in laboratorio informatico, 8 ore.

#### Anno accademico 2005-2006

- Fisica dei reattori a fissione (modulo del corso integrato Fisica dei reattori a fissione/Protezione dalla radiazioni) – Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e Nucleare, I Facoltà di Ingegneria, Politecnico di Torino – Esercitazioni, 16 ore.
- Metodi statistici e tecniche Monte Carlo – Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e Nucleare, I Facoltà di Ingegneria, Politecnico di Torino – Esercitazioni in aula e in laboratorio informatico, 16 ore.

- A review of current issues in reactor physics: reactor dynamics – Summer School on “Challenges for Sustainable Energy Supply and Environmentally Sound Development”, Beijing e Harbin, Cina – Lezione, 3 ore.

#### Anno accademico 2006-2007

- Fisica dei reattori a fissione – Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e Nucleare, I Facoltà di Ingegneria, Politecnico di Torino – Esercitazioni, 16 ore.
- Metodi numerici in trasporto neutronico – Corso di formazione di III Livello, Scuola di Dottorato, Politecnico di Torino – Lezione, 12 ore.
- Metodi statistici e tecniche Monte Carlo – Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e Nucleare, I Facoltà di Ingegneria, Politecnico di Torino – Esercitazioni in aula e in laboratorio informatico, 16 ore.

#### Anno accademico 2007-2008

- Metodi statistici e tecniche Monte Carlo – Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e Nucleare, I Facoltà di Ingegneria, Politecnico di Torino – Titolare del corso.
- Fisica dei reattori a fusione – Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e Nucleare, I Facoltà di Ingegneria, Politecnico di Torino – Titolare del corso.

#### ***Attività di tutoraggio per tesi di I e II livello***

##### *Vecchio ordinamento – Tesi di Laurea in Ingegneria Nucleare*

De Giorni Luigi Consalvo

Ottobre 2006

Titolo tesi: “Metodi perturbativi per parametri integrali di sistemi sottocritici”

##### *Tesi di Laurea in Ingegneria Energetica*

Mosetto Annamaria

Ottobre 2005

Titolo tesi: “Determinazione delle autofunzioni spaziali in alcuni problemi di diffusione neutronica”

Giai Carlo

Dicembre 2005

Titolo tesi: “Studio di alcuni problemi di oscillazione di reattività nei reattori nucleari”

Tomasello Marco

Dicembre 2005

Titolo tesi: “Soluzione di alcuni problemi di dinamica neutronica mediante la trasformata di Laplace”

Gardetto Mauro

Marzo 2006

Titolo tesi: “Confronto fra diverse formulazioni della vita media dei neutroni”

Gilli Luca

Marzo 2006

Titolo tesi: “Risoluzione di alcuni problemi di cinetica neutronica con la trasformata di Laplace”

Cencio Andrea

Dicembre 2006

Titolo tesi: “Applicazione di metodi di dinamica neutronica”

*Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e Nucleare*

Canepa Stefano

Dicembre 2005

Titolo tesi: “Interpretazione di misure di reattività mediante esperimenti dinamici nei reattori sottocritici”

Tomatis Daniele

Dicembre 2006

Titolo tesi: “Generazione di parametri nucleari per un sistema sottocritico sperimentale”

Martina Mirko

Ottobre 2007

Titolo tesi: “Preparation of the pre-Trade experimental benchmark on ADS: Triga RC-1 burnup evaluation”

### ***Attività scientifica***

L’attività scientifica svolta a partire dal lavoro di tesi, durante gli anni di dottorato e nei successivi anni di lavoro è descritta di seguito, suddividendo i principali ambiti di ricerca affrontati.

### **Reattori a sali fusi (MSR – Molten Salt Reactor)**

Lo studio della neutronica dei sistemi a combustibile fluido ha costituito la parte predominante del lavoro svolto per il dottorato di ricerca ed è proseguita negli anni successivi.

L’obiettivo della ricerca è lo sviluppo di modelli fisico-matematici adeguati per descrivere in maniera efficiente il comportamento neutronico di un reattore a combustibile fluido. La natura del problema viene modificata dalla presenza del regime di moto nel combustibile, così come la forma matematica del modello, che presenta un termine convettivo per i progenitori divenendo quindi differenziale anche nello spazio.

I principali risultati ottenuti sono:

- definizione di un modello fisico-matematico adeguato per i MSR;
- implementazione numerica del modello in un codice numerico (linguaggio Fortran);
- analisi degli effetti della presenza del moto del combustibile sia in regime stazionario che transitorio;
- estensione del modello originale di cinetica puntiforme sviluppato da Henry a questo tipo di sistema, ottenendo un modello matematicamente consistente e adatto alla simulazione della dinamica dei MSR;

- implementazione del metodo quasistatico in accoppiamento alla cinetica puntiforme così riformulata;
- sviluppo di modelli quasistatici alternativi per la riduzione del tempo computazionale;
- validazione del codice sviluppato e partecipazione ad una attività di benchmark internazionale, nell'ambito del progetto europeo MOST;
- studio degli effetti della fluidodinamica sul comportamento neutronico di un reattore a combustibile fluido a spettro veloce e configurazione omogenea (reattore MOSART);
- sviluppo di un modello di neutronica per i MSR in presenza di contoreazione termica, analisi degli effetti di feedback e studio dell'importanza degli effetti di trasporto nella simulazione dinamica di reattori a sali fusi;
- analisi dell'effetto sul comportamento dinamico di un sistema a combustibile fluido dato dalla presenza e dal movimento di precipitati fissili all'interno del core e nel circuito primario.

### **Neutronica dei sistemi sottocritici (ADS)**

I sistemi sottocritici (ADS) sono caratterizzati da fenomeni fisici peculiari che richiedono la riformulazione dei metodi utilizzati per studiare la neutronica dei sistemi moltiplicanti, usualmente applicati a reattori vicini alla criticità. Questa attività è iniziata con il lavoro di tesi di laurea ed è proseguita fino ad oggi.

I risultati ottenuti in questo ambito sono:

- analisi della risposta di un sistema sottocritico a sorgenti di tipo pulsato e studio dell'insorgenza di effetti di trasporto;
- analisi dell'influenza della configurazione della sorgente sui parametri di funzionamento del sistema sottocritico;
- studio dei parametri integrali influenti nella caratterizzazione di un sistema sottocritico;
- studio degli effetti della dispersione spaziale e temporale delle emissioni di sorgente nella risposta dinamica in un ADS;
- studio analitico dei principali aspetti della dinamica neutronica in un sistema sottocritico.

### **Supporto all'interpretazione di misure di flusso in reattori sperimentali**

Lo studio della neutronica dei reattori sottocritici necessita del monitoraggio dello stato di sottocriticità del sistema. E' necessario quindi sviluppare dei metodi *ad hoc* per l'interpretazione delle misure sperimentali di flusso per questo tipo di sistemi moltiplicanti.

I risultati ottenuti in questo ambito sono:

- sviluppo di metodi per l'interpretazione di misure sperimentali in sistemi sottocritici iniettati da sorgenti pulsate;
- studio della neutronica di un sistema sottocritico sperimentale, caratterizzato da zone spaziali disaccoppiate dal punto di vista energetico (Yalina Booster);
- studio dell'ottimizzazione di metodi di tipo puntiforme finalizzati all'interpretazione di misure di flusso.

### **Metodi di trasporto neutronico**



Lo studio dei metodi per la soluzione dell'equazione del trasporto è stato svolto affrontando vari problemi di natura diversa, legati principalmente all'analisi della neutronica dei sistemi sottocritici.

I risultati ottenuti in questo ambito sono:

- sviluppo di un codice in geometria bidimensionale x-y che risolve l'equazione del trasporto con il metodo  $S_N$  in presenza di anisotropia dello scattering;
- studio della risposta di un sistema sottocritico a sorgenti pulsate, svolto nel campo delle frequenze;
- analisi delle caratteristiche fisiche dei modelli approssimati di trasporto nello studio della propagazione di impulsi di sorgente localizzati;
- analisi degli effetti della discretizzazione angolare e spaziale nella soluzione di modelli di trasporto per lo studio della propagazione di impulsi di sorgente localizzati.

### **Dinamica neutronica**

Lo studio della dinamica neutronica, con particolare applicazione ai sistemi nucleari innovativi quali i sistemi sottocritici e i reattori a combustibile fluido, è stata oggetto di interesse durante tutti gli anni di attività scientifica.

L'interesse è stato focalizzato principalmente sullo sviluppo di modelli e metodi che permettano una simulazione dinamica dei reattori con ridotto tempo computazionale e mantenendo un altro livello di accuratezza.

I risultati ottenuti in questo ambito sono di seguito elencati:

- analisi dei parametri influenti nella caratterizzazione dinamica dei sistemi nucleari, critici e sottocritici;
- estensione della cinetica puntiforme e del metodo quasistatico all'analisi dinamica dei sistemi a combustibile fluido;
- studio dell'influenza della scelta della funzione peso nei metodi di proiezione usati per la dinamica neutronica dei sistemi sottocritici;
- sviluppo di schemi quasi-statici alternativi per la riduzione del tempo computazionale e il miglioramento della qualità delle simulazioni di transitori per sistemi critici e sottocritici, a combustibile solido e fluido;
- formulazione matematica consistente per il metodo multipunto e studio dell'efficienza di diverse formulazioni finalizzate all'ottimizzazione della qualità delle simulazioni dinamiche per i sistemi sottocritici;
- analisi dell'effetto di oscillazioni di reattività nel comportamento dinamico di sistemi sottocritici;
- analisi dell'effetto di oscillazioni di reattività nel comportamento dinamico dei sistemi a combustibile fluido;
- sviluppo di un modulo per la dinamica neutronica in approssimazione puntiforme e multipunto e accoppiamento con codici pre-esistenti per la risoluzione dell'equazione del trasporto multidimensionale in condizioni stazionarie.

Torino, 3 dicembre 2007

Sandra Dulla