



ISSN2038-5889

**DOTTORATO DI RICERCA IN FISICA
UNIVERSITÀ DI MESSINA**



**ACTIVITY REPORT
2011**

**C/O DIPARTIMENTO DI FISICA
FACOLTA' DI SCIENZE – UNIVERSITÀ DI MESSINA**

Lorenzo Torrisi Editore

Coordinatore del Dottorato di Ricerca in Fisica

Prof. Lorenzo Torrisi

Editore

Lorenzo Torrisi

Assistenti

Paola Donato

Mariapompea Cutroneo

Rocco Vilardi

Activity Report 2011 – Dottorato di Ricerca in Fisica, Università di Messina



**DOTTORATO DI RICERCA IN FISICA
UNIVERSITÀ DI MESSINA**

ACTIVITY REPORT 2011

ISSN2038-5889

C/O DIPARTIMENTO DI FISICA
FACOLTA' DI SCIENZE – Università di Messina
Viale F. Stagno D'Alcontres 312, 98166 S. Agata, Messina

Lorenzo Torrisi Editore

<http://ww2.unime.it/dottoratofisica>

INDICE GENERALE

Programma 2^a Giornata di Studio del Dottorato di Ricerca in Fisica dell'Università di Messina	6
2a Giornata di studio del Dottorato di Ricerca in Fisica dell'Università di Messina, 8 Nov. 2011 L. Torrìsi	9
Valutazione nazionale della Qualità della Ricerca 2004-2010 (VQR) M. C. Aversa	13
Dottorato di Ricerca e calcolo Scientifico D. Magaudda	15
On the wavelength shift between near-field peak intensities and far-field peak cross sections in plasmonic nanostructures A. Cacciola	21
Mass quadrupole spectrometry applied to laser-produced plasmas and microwave ignited plasmas F. Di Bartolo, L. Torrìsi, S. Gammino, F. Caridi, D. Mascali, G. Castro, L. Celona, R. Miracoli, D. Lanaia and R. Di Giugno	25
Fusion reactions in collisions induced by li isotopes on Sn targets M. Fisichella, A. Di Pietro, A. Shotter, P. Figuera, M. Lattuada, C. Marchetta, A. Musumarra, M.G. Pellegriti, C. Ruiz, V. Scuderi, E. Strano, D. Torresi, M. Zadro	31
Particle correlations at intermediate energies and the Farcos project T. Minniti and Farcos/Chimera collaboration	33
Investigation on pseudoscalar meson photoproduction by electromagnetic probe M. Romaniuk, V. De Leo, F. Curciarello, G. Mandaglio, G. Giardina	37
Study of nuclear equations of state: the ASY-EOS experiment at GSI S. Santoro for ASY-EOS collaboration	41
Premio APP per una Tesi di Dottorato P. V. Giaquinta	47
PhD e mondo del lavoro: statistiche sul placement post – dottorato P. Donato	49
An overview of research activities in the physics PhD course F. Caridi, L. Torrìsi	55
Enhanced optical fields for aggregation of metal nanoantennas and label free highly sensitive detection of biomolecules B. Fazio, C. D'Andrea, V. Villari, N. Micali, O. Maragò, G. Calogero and P.G. Gucciardi	61

Missing resonances at the BGO-OD experiment F. Curciarello, V. De Leo, G. Mandaglio, M. Romaniuk, G. Giardina	65
Resonant laser absorption and self-focusing effects producing proton driven acceleration from hydrogenated structures M. Cutroneo and L. Torrisi	71
Baryon spectroscopy by vector meson photo-production at BGO-OD experiment V. De Leo, F. Curciarello, G. Mandaglio, M. Romaniuk, G. Giardina	77
Diode lasers for optical trapping applications R. Sayed, G. Volpe, M. G. Donato, P. G. Gucciardi and O. M. Maragò	81
Interference with coupled microcavities R. Stassi, O. Di Stefano, S. Savasta	85
Spectral dependence of the amplification factor in surface enhanced Raman scattering C. D'Andrea, B. Fazio, A. Irrera, P. Artoni, O.M. Maragò, G. Calogero and P.G. Gucciardi	89
Photoluminescence of a Quantum Emitter in the Center of a Dimer Nanoantenna: Transition from the Purcell effect to Nanopolaritons N. Fina, A. Ridolfo, O. Di Stefano, O. M. Maragò, S. Savasta	93
Lateral Diffusion of DPPC and octanol in a Lipid Bilayer Measured by PFGE NMR Spectroscopy S. Rifìci	97
Chemical equilibration of the quark gluon plasma F. Scardina, M. Colonna, V. Greco, M. Di Toro	101
A study about dynamic models on phospholipids A. Trimarchi	105
Ultrafast optical control of light-matter interaction and of wave-particle duality R. Vilardi, S. Savasta	109
Seminari (invited) del Dottorato di Ricerca in Fisica, Effettuati nel 2011	115
Organizzazione del Dottorato di Ricerca in Fisica dell'Università di Messina, Ciclo (XXVI)	127
Pubblicazioni 2011 degli studenti del Dottorato di Ricerca in Fisica dell'Università di Messina	137
Foto 2^a Giornata di Studio del Dottorato di Ricerca in Fisica dell'Università di Messina	145
Indice Autori	155



***2^a Giornata di Studio
del
Dottorato di Ricerca in
Fisica
dell'Università di
Messina***

8 Novembre 2011

Biblioteca Centralizzata

V.le F. Stagno D'alcontres 31, S. Agata, Messina

<http://ww2.unime.it/dottoratofisica>

Comitato Organizzatore

Prof. L. Torrisi
Dr.ssa P. Donato
Dr.ssa M. Cutroneo
Dr. R. Vilardi

Comitato Scientifico

Prof. G. Carini
Prof. P. Giaquinta
Prof. G. Giardina
Prof. G. Maisano
Prof. D. Majolino
Prof. L. Torrisi

**Giornata Organizzata dal
Collegio Docente
del Dottorato di Ricerca in Fisica
e sponsorizzata dall' Università di Messina**



*Sito della Giornata di Studio:
Biblioteca Centralizzata della Facoltà di
Scienze dell'Università di Messina, Viale F.
Stagno D'alcontres 31, 98166 S.- Agata,
Messina*

9.15 **Relazioni di Apertura**

Saluti del Preside della Facoltà di Scienze MM.FF.NN.
Prof. **G. Maisano**, Direttore del Dipartimento di Fisica
Prof. **L. Torrisi**, Coordinatore del Dottorato di Ricerca in Fisica
Prof. **D. Majolino**, Coordinatore dei CdL in Fisica e Fisica Magistrale
Prof. **F. Neri**, Direttore Dip.to di Fisica della Materia ed Ingegneria Elettronica
Prof.ssa **M. C. Aversa**, Delegata alla Ricerca Scientifica e Tecnologica dell'Università
Dr.ssa **D. Magaudda** Responsabile dell'Area Sistema Informativo per l'Analisi dei Dati e Calcolo Scientifico

Dottorato Ciclo XXV

Presiede: Prof. **G. Carini**

10.00 **A. Cacciola** (On the wavelength shift between near-field peak intensities and far-field peak cross-sections in plasmonic nanostructures)

10.20 **F. Di Bartolo** (Mass Quadrupole Spectrometry applied To Laser-Produced Plasmas and Microwave Ignited Plasmas)

10.40 **M. Fisichella** (Fusion reactions and neutron transfer in collisions induced by Li isotopes on Sn targets)

11.00 **T. Minniti** (Particle correlations to intermediate energies and the Farcos Project)

11.20 **M. Romaniuk** (Investigation on pseudoscalar meson photoproduction by electromagnetic probe)

11.40 **S. Santoro** (Study of nuclear equations of state: the ASY-EOS experiment at GSI)

12.00 **Interventi degli Enti di Ricerca**

Presiede: Prof. **G. Giardina**

Dr. **G. Cuttone**, Direttore dei LNS, Catania
Dr. **C. Vasi**, Direttore IPCF-CNR, Messina
Dr. **A. Pagano**, Direttore Sez. INFN, Catania
Prof. **S. Albergo**, Direttore del CSFNSM

Presiede: Prof. **P. Giaquinta**

Premiazione Tesi di Dottorato di Ricerca in Fisica, Patrocinata dall'Accademia Peloritana dei Pericolanti

12.30 **Dr. A. Ridolfo** (Quantum Optical Properties of strongly Coupled Systems)

Presiede Prof.: **G. Mondio**

15.00 Dr.ssa **P. Donato**, Manager Didattico PhD (PhD e mondo del lavoro: statistiche sul placement post-dottorato)

15.15 Dr. **F. Caridi**, Facoltà di Scienze – ME (An overview of research activities in the physics PhD course)

15.30 Dr.ssa **B. Fazio**, IPCF-CNR (Enhanced optical fields for aggregation of metal nanoantennas and label free highly sensitive detection of biomolecules)

Ciclo XXVI- Presentazione posters

15.45 Presiede Prof. **L. Torrisi**

F. Curciarello (Missing resonances at the BGO-OD experiment)

M. Cutroneo (Resonant laser absorption and self-focusing effects producing proton driven acceleration from hydrogenated structures)

V. De Leo (Baryon spectroscopy by vector meson photoproduction at BGO-OD experiment)

R. Sayed (Diode lasers for optical trapping applications)

R. Stassi (Interference with coupled microcavities: optical analog of spin 2π rotations)

Ciclo XXIV- Presentazione posters

16.25 Presiede Prof. **D. Majolino**

C. D'Andrea (Spectral dependence of the amplification factor in surface enhanced Raman spectroscopy)

N. Fina (Photoluminescence of a quantum emitter in the center of a dimer nanoantenna: transition from the Purcell effect to nanopolaritons)

S. Rifici (Structural changes of lipid bilayers by the addition of short-chain alcohols)

F. Scardina (Chemical equilibration of the quark gluon plasma)

A. Trimarchi (A study about dynamic models on phospholipids)

R. Vilardi (Ultrafast optical control of light-matter interaction and of light wave-particle duality)

17.15 Interventi di chiusura da parte del Collegio Docente – **Conclusione dei Lavori**

2^a GIORNATA DI STUDIO DEL DOTTORATO DI RICERCA IN FISICA DELL' UNIVERSITÀ DI MESSINA MESSINA, 8 NOVEMBRE 2011

Lorenzo Torrisi

Coordinatore del Dottorato di Ricerca in Fisica

Dip.to di Fisica, Università di Messina

V.le F. Stagno D'Alcontres 31, 98166 S. Agata, Messina



Prof. L. Torrisi

La seconda giornata di studio del Dottorato di Ricerca in Fisica dell'Università di Messina trova in questa seconda manifestazione un altro particolare momento di riflessione scientifica di notevole rilevanza, di riunione collegiale accademica, meeting di discussione su aspetti di Fisica, consuntivi e proponimenti, che

coinvolge i Dottorandi della Scuola, il Collegio Docente, gli Organi competenti della Nostra Facoltà e dell'Università nonché delle istituzioni scientifiche che collaborano col Dottorato stesso, come l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare e il Consiglio Nazionale delle Ricerche.

Il Collegio Docente, la comunità dei fisici, quella dei colleghi di altre aree scientifiche e tutti i nostri collaboratori potranno cogliere l'occasione di questa giornata per informarsi sullo stato dei lavori del Dottorato di Ricerca in Fisica, orgoglio della Nostra Università. Mediante questo appuntamento sarà possibile conoscere le tematiche delle ricerche in Fisica che si stanno attualmente sviluppando presso il Nostro Ateneo, i progetti che coinvolgono collaborazioni con altre sedi universitarie, centri di ricerca e laboratori esteri, le attività svolte nei laboratori di Messina e in altre sedi collegate. Tali laboratori vedono l'avvicinarsi continuamente dei nostri dottorandi in ricerche di ampio respiro internazionale e spesso diventano loro sede di lavoro post-doc.

I risultati più innovativi che con essi vengono ottenuti sono stati, e continuano ad esserlo, oggetto di pubblicazioni su riviste ISI con ricadute non solo nel mondo della ricerca e della didattica ma anche in quello sociale. Molte ricerche svolte in seno al dottorato sono infatti pubblicate su riviste ad alto fattore di impatto, molte collaborazioni vengono effettuate con gruppi di ricercatori dei migliori laboratori europei ed extraeuropei, molti risultati

trovano applicazione in campo sanitario e ambientale e molti nostri dottori di ricerca trovano occasione di lavoro in questi centri di eccellenza.

Partecipare a questa giornata ci permetterà di conoscere meglio le attività di ricerca di gruppi a noi vicini, di una nuova generazione di giovani fisici, e ci potrà permettere di instaurare un discorso scientifico creativo e costruttivo con loro, un'occasione che almeno una volta all'anno ha motivo di esistere.



Logo Università di Messina

Nel mio ruolo, colgo l'occasione per ricordarvi che il Dottorato di Ricerca rappresenta il massimo titolo per la preparazione scientifica che l'Università può conferire ai propri studenti. Oltre la laurea breve, la laurea magistrale, le Scuole di Specializzazione ed i Masters, il Dottorato offre possibilità di apprendimento uniche. Esso si basa non solo sulle lezioni di un Collegio Docente altamente qualificato ed appropriato ma anche su una periodica serie di seminari specialistici tenuti in un contesto Nazionale ed Internazionale che investono i vari Curriculum del Dottorato. Attualmente 31 docenti fanno parte del collegio, 17 sono i dottorandi, 4 i curricula di studio e ogni mese due esperti sono invitati a tenere seminari specialistici di interesse curriculare.

I campi di rilievo sono quelli della Struttura della Materia, della Fisica della Materia Soffice e dei Sistemi Complessi, della Fisica Nucleare e della Fisica Applicata all'Ambiente, ai Beni Culturali e al Settore Bio-Medico. E' in questi ampi settori che il nostro

dottorando viene portato a svolgere attività di ricerca, usufruendo di una serie di Laboratori altamente adeguati nei quali ha l'opportunità di operare dando un proprio contributo. I laboratori dell'Accademia delle Scienze della Repubblica Ceca di Praga, l'Istituto di Fisica dei Plasmi e di Microfusione Laser di Varsavia, i laboratori GSI di Darmstadt, i laboratori Nazionali dell'INFN, l'Istituto di Ricerca Nucleare Ucraino INR, l'Istituto di Fisica Nucleare Skobeltsyn di Mosca e quello JINR di Dubna, sono solo alcuni dei vari laboratori di eccellenza con i quali il Nostro dottorato può svolgere una continua attività di ricerca e avvalersi di una collaborazione con scambio di studenti e docenti. Collaborazioni rese solide attraverso accordi e protocolli ufficiali che sono stati voluti da alcuni componenti del Nostro Collegio Docente. A loro va un plauso per queste collaborazioni che non nascono dal nulla ma da un intenso, attivo e continuo lavoro, spesso sottovalutato, grazie al quale il nostro Dottorato può emergere e avere un respiro a livello internazionale e l'Università di Messina essere menzionata nel mondo.



Laboratorio di fisica dei Plasmi Laser, Dip.to Fisica, Messina

I dottorandi hanno la possibilità di essere inseriti in progetti di ricerca di front-end, di partecipare a lavori scientifici di prestigio e di redigere delle tesi inedite, originali e utili. Per questo sono guidati durante il loro percorso verso corsi e scuole di formazione internazionali che permettono loro di ottenere una più mirata specializzazione sulla tematica di loro maggiore interesse. Ma il loro lavoro ha bisogno di essere maggiormente conosciuto e divulgato. Ciò avviene non solo attraverso le pubblicazioni di lavori scientifici ma anche mediante altri canali, come questa giornata di studio nella quale gli è consentito, di esprimersi e dialogare per avere i giusti input e suggerimenti e un maggiore sostegno durante la sua formazione, necessari all'ottenimento di maggiori riconoscimenti e consensi scientifici. Ricordo ai dottorandi che ogni loro risultato, seppur minimo, è prezioso e come in un

grande mosaico costituisce un piccolo pezzo che si aggiunge a tanti altri che sono venuti e che verranno e che permettono di ampliare le conoscenze umane.

Abituarsi a trasferire le proprie conoscenze, ad intercalarle in problematiche più generali, a completarle con altre al fine di poter estrapolare leggi e teorie, è una attività che il dottorando andrà sempre più approfondendo sia durante il dottorato di ricerca che dopo, con l'esperienza post-doc. La ricerca mette in moto energie e stimoli di tale vitalità che il meccanismo economico ne trae vantaggio, come una macchina ben alimentata. L'innovazione frutto della ricerca ha dunque una ricaduta pratica e concreta anche sulla ricchezza delle nazioni.

Ma proprio su questo punto, si impone qualche altra mia considerazione che purtroppo ricalca quanto già detto l'anno scorso.



Ancora oggi in Italia la ricerca scientifica è, come è noto, poco finanziata e i ricercatori sono mortificati dai finanziamenti quasi inesistenti. Inoltre la crisi italiana ed europea nel campo dell'occupazione giovanile rende difficile l'utilizzo appieno delle capacità che il dottorando ha appreso e spesso egli trova grosse difficoltà di inserimento nel mondo della ricerca e del lavoro post-doc. Sempre più spesso i nostri dottorandi debbono purtroppo trasferirsi all'estero regalando ad altre realtà le esperienze acquisite. In questo contesto la giornata di studio attuale vuole rappresentare una denuncia alla nostra società ed ai nostri politici cercando di sensibilizzarli maggiormente verso l'importanza della ricerca scientifica in uno stato funzionale.

Tuttavia qualcosa si sta muovendo, visto che recentemente il Ministro dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca ha emanato un regolamento recante i nuovi criteri generali per la disciplina del dottorato di ricerca. Una meritata attenzione che ci fa sperare in un futuro migliore, come verrà tra poco approfondito dalla delegata alla Ricerca Scientifica e Tecnologica dell'Università di Messina, Professoressa Maria Chiara Aversa e dalla Responsabile dell'Area Sistema Informativo per

l'Analisi dei Dati e Calcolo Scientifico, Dottoressa Dora Magaudda.

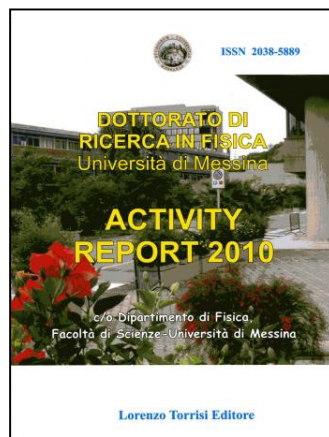
Inoltre tante iniziative sono in corso per agevolare il finanziamento da parte della comunità europea di specifici progetti di ricerca per i giovani post-doc.

Quest'anno il Dottorato di Ricerca in Fisica ha ricevuto solo due borse universitarie, una terza l'abbiamo ottenuta grazie ai fondi INFN, purtroppo non possiamo avere di più, neppure per studenti stranieri non europei. E' un peccato che il nostro dottorato di ricerca, debba subire un decremento di elementi, nonostante il numero crescente di aspiranti studenti sia della sede che da fuori sede.



Doctor of Philosophy

Ma noi non ci fermeremo per queste difficoltà perché crediamo profondamente nella formazione e nella Ricerca che in Italia può realizzarsi al meglio anche con le avversità che si spera essere solo momentanee. E per questo ideale oggi siamo qui e presenteremo le nostre attività che reputiamo essere alla base della nostra esperienza di fisici. E' grazie a questi ideali che il nostro Dottorato può permettere le sue formative e molteplici attività e mira a promuovere e premiare i giovani con le migliori redazioni di Tesi e di risultati conseguiti, come oggi sarà evidenziato.



1° Report del Dottorato di Ricerca in Fisica, 2010

Vi ricordo che, secondo quanto approvato dall'ultima riunione del Collegio docente, che i dottorandi del secondo anno dovranno presentare un intervento sul loro lavoro di tesi mentre i dottorandi del primo e terzo anno un poster e un sintetico sunto. I lavori scientifici che i dottorandi esporranno in questo incontro, sia come contributo orale che come poster, nonché i vari interventi che gli invitati presenteranno, saranno raccolti nel secondo Report del Dottorato di Ricerca in Fisica dell'Università di Messina, che sarà pubblicato a breve e che rappresenterà un altro documento duraturo nel tempo, una vera e propria pubblicazione per il dottorando, e una pubblicazione annuale del Dottorato, depositata presso la nostra biblioteca, con numero ISSN già assegnato.

RingraziandoVi per l'attenzione dedicatami, auguro a tutti voi, colleghi, dottorandi e partecipanti, un buon lavoro.

Il Coordinatore del Dottorato di Ricerca

Prof. Lorenzo Torrisi

VALUTAZIONE NAZIONALE DELLA QUALITÀ DELLA RICERCA 2004-2010 (VQR)

Maria Chiara Aversa

Delegata del Rettore dell'Università di Messina per la ricerca in area scientifico-tecnologica

Il 7 novembre 2011 è stato pubblicato il bando ufficiale di partecipazione alla Valutazione della Qualità della Ricerca 2004-2010 (VQR 2004-2010) (http://www.anvur.org/sites/anvur-miur/files/bando_vqr_def_07_11.pdf).

L'inizio dell'esercizio di valutazione nazionale era atteso da tempo, ma probabilmente esso è stato rinviato più volte come conseguenza del passaggio dal Comitato Nazionale per la Valutazione del Sistema Universitario (CNVSU) all'Agenzia Nazionale di Valutazione del sistema Universitario e della Ricerca (ANVUR). All'epoca della pubblicazione del DM n. 8 del 19 marzo 2010 avente per oggetto "Linee guida VQR 2004-2008" (http://civr.miur.it/vqr_decreto.html) il progetto di valutazione nazionale era limitato a cinque anni e l'acronimo VQR corrispondeva appunto a "Valutazione Quinquennale della Ricerca". A causa del notevole postergarsi della data d'inizio, è stato deciso di includere altri due anni, e si è giunti così al significato attuale dell'acronimo.



Figura 1

A metà del 2011 si è insediato il consiglio direttivo dell'ANVUR (figura 1) costituito da 7 componenti, tutti di estrazione universitaria, presieduto da Stefano Fantoni, professore ordinario di FIS/04 (Fisica nucleare e subnucleare) della SISSA di Trieste, cui si affiancano professori appartenenti alle aree 06 (Scienze mediche), 07 (Scienze agrarie e veterinarie), 09 (Ingegneria industriale e dell'informazione), 13 (Scienze economiche e statistiche) e 14 (Scienze politiche e sociali). La figura 1 è congegnata in maniera da mettere in evidenza la distribuzione geografica delle strutture universitarie da cui provengono i 7 componenti del consiglio direttivo, e la distribuzione di genere (cerchi azzurri/rosa): sono solo 2 le donne nel consiglio direttivo, uniche 2 rappresentanti della macroarea umanistica, Fiorella Kostoris Padoa Schioppa e Luisa Ribolzi, entrambe in pensione, la prima dall'Università di Roma La Sapienza e la seconda dall'Università di Genova. Si tratta di dati che dovrebbero suscitare qualche riflessione.

La VQR 2004-2010 è coordinata da Sergio Benedetto (figura 1), professore ordinario di ING-INF/03 (Telecomunicazioni) presso il Politecnico di Torino. Il bando di partecipazione alla VQR del 7 novembre 2011 ha lievemente modificato il contenuto dell'art. 5 del DM n. 8 del 19 marzo 2010 avente per oggetto "Linee guida VQR 2004-2008": in particolare (a) gli articoli scientifici da proporre per la valutazione potranno essere stati pubblicati anche su riviste prive di ISSN e (b) potranno essere proposte anche le traduzioni. Visto che già dal 2010 l'Ateneo di Messina prende in considerazione per le proprie valutazioni interne soltanto i prodotti citati dall'art. 5 di cui sopra, bisognerà proporre al Senato accademico un'eventuale delibera di adeguamento.

L'ANVUR ha inoltre pubblicato la lista dei presidenti dei Gruppi di Esperti della Valutazione (GEV) (figura 2), uno per ciascuna delle 14 aree CUN. Entro la fine di novembre verrà approvata e pubblicata la composizione dei 14 GEV insieme con i criteri sottostanti alla selezione degli esperti. In analogia alla 1, anche la figura 2 è congegnata in maniera da mettere in evidenza la distribuzione geografica delle strutture di ricerca da cui provengono i 14 presidenti dei GEV, e la distribuzione di genere: ancora una volta soltanto 2 donne, Clara Nervi, professore straordinario presso

l'Università di Roma La Sapienza per l'area 05 (Scienze biologiche) e Maria Teresa Giaveri per l'area 10 (Scienze dell'antichità, filologico-letterarie e storico-artistiche), attualmente professore ordinario presso l'Università di Torino e che ha insegnato "Lingua e letteratura francese" presso l'Università di Messina nel periodo 1994-1997.

E' necessario evidenziare le scadenze temporali che l'Università dovrà rispettare nel prendere parte all'esercizio della valutazione nazionale della ricerca:

- a) certificazione elenchi CINECA/MIUR soggetti valutabili (**30 dicembre 2011**);
- b) verifica elenchi doc, postdoc, assegnisti, specializzandi area medica (06) (**31 marzo 2012**);
- c) trasmissione informazioni mobilità nel settennio (**31 marzo 2012**);
- d) trasmissione prodotti di ricerca (**30 aprile 2012**);
- e) rapporto di autovalutazione (NV/Rettore) (**31 maggio 2012**);
- f) trasmissione brevetti, *spin-off*, finanziamenti, ecc... + elenco nuovi Dipartimenti con afferenti (**31 maggio 2012**).

Il rapporto finale dell'ANVUR dovrebbe essere disponibile entro il 30 giugno 2013.

Tra le innovazioni più significative e gli aspetti più rilevanti del bando VQR del 7 novembre 2011 rispetto ai documenti precedentemente a disposizione, si segnala:

- a) è stato eliminato il coefficiente di proprietà per i prodotti presentati da più di una struttura;
- b) è stato eliminato l'indicatore di proprietà dei prodotti eccellenti;
- c) è stato eliminato il vincolo per le strutture di rispettare l'ordine di priorità dei prodotti indicato dagli autori;
- d) globalmente su tutte le aree, almeno la metà più uno dei prodotti saranno sottoposti a *peer review*;
- e) la precedente valutazione VTR 2001-2003 si è basata su circa 17.000 prodotti, mentre l'attuale VQR è dimensionata intorno a 200.000 prodotti.

Appare opportuno concludere questo contributo citando testualmente la frase di chiusura del messaggio di accompagnamento

(<http://www.anvur.org/?q=schema-dm-vqr-definitivo>) del bando VQR del 7 novembre 2011 a firma di Sergio Benedetto (figura 1): "Vi rinnovo l'augurio di buon lavoro, nella certezza che insieme affronteremo e risolveremo i molti problemi che si presenteranno strada facendo". Effettivamente solleva qualche perplessità questa mal celata mancanza di sicurezza nella effettività delle procedure, ma, ancora una volta, l'Università italiana ce la farà!



Figura 2

DOTTORATO DI RICERCA E IL CALCOLO SCIENTIFICO

Dora Magauidda

*Sistemi Informativi per l'Analisi dei dati d'Ateneo e Calcolo Scientifico CECUM
Università di Messina*

Il Dottorato di Ricerca è stato istituito in Italia solo nel 1980 (legge 21 febbraio 1980, n. 28, D.P.R. 11 luglio 1980, n. 382), e rappresenta il più alto grado d'istruzione ottenibile nel sistema universitario italiano e conferisce la qualifica di "Dottore di Ricerca", è il più alto titolo accademico conferibile nell'ordinamento della Repubblica Italiana.

Nel corso degli anni, l'andamento di tali corsi è stato attentamente valutato non solo dal MiUR ma anche da tutti i sistemi ufficiali di valutazione, compresi la CRUI, il CNVSU e i Nuclei.

La CRUI definisce "il Dottorato come il terzo livello di formazione universitaria ed è il grado più alto di specializzazione offerto dalle Università sia per le carriere accademiche e di ricerca sia per quelle nel mondo produttivo, in particolare di quello attento all'innovazione. È pertanto necessario che il valore del dottorato sia alto e, come tale, riconosciuto internazionalmente. La formazione dottorale non può che essere fatta con e per la ricerca e quindi richiede, per il suo espletamento, una documentata attività di ricerca ad alto livello....

Il dottore di ricerca deve diventare il prodotto finale e più specializzato che l'università dà alla società per una classe dirigente preparata e consapevole".

Il nuovo statuto dell'Università di Messina ha posto l'istituzione dei Dottorati di Ricerca tra i suoi interessi primari: tra gli organi di Governo è stato inserito, tra gli altri, il Collegio dei Coordinatori delle Scuole di Dottorato.

Problematiche rilevate sui dottorati di ricerca e indicazioni ministeriali per le loro soluzioni

Già nel 2002-2003, il CNVSU auspicava che fossero incoraggiati alcuni comportamenti volti a salvaguardare le finalità del Dottorato di Ricerca, chiedendo ai Nuclei di Valutazione di monitorarle:

- a) **contenimento dell'eccessiva frammentazione**, ciò potrebbe infatti comportare:
 - a. una docenza e un programma formativo inadeguati
 - b. uno scarso numero d'iscritti e di borse.

Così come con la 509 si è avuta una larga proliferazione di Corsi di Studio non facilmente spendibili nel mondo del lavoro, anche per i Dottorati di Ricerca ci si è trovati di fronte ad una situazione simile. Per tali ragioni, il CNVSU è sempre stato favorevole a iniziative di accorpamento, che portino alla costituzione di Scuole di Dottorato.

Questo è un compito abbastanza semplice per i Nuclei, laddove si riscontrino dottorati che nel loro piano di studi abbiano aree disciplinari sovrapponibili; ma quando questa sovrapposizione non esiste o richiederebbe conoscenze approfondite, diviene necessaria una peer review che non è sempre effettuabile da parte dei Nuclei stessi.

- b) **concentrazione** in un'unica sede delle attività didattiche dei **dottorati consorziati**.

Questa valutazione è abbastanza semplice per i Nuclei

c) opportuna **ricerca di fonti esterne di finanziamento**, onde consentire la creazione di figure professionali appropriate a creare sbocchi occupazionali, laddove, soprattutto, le fonti di finanziamento esterne siano erogate da Aziende interessate alla ricerca. Altrimenti, c'è il rischio che il titolo possa essere considerato come una semplice estensione del percorso formativo della laurea.

Questa valutazione è abbastanza semplice per i Nuclei

d) creazione di una spinta all'**internazionalizzazione**, con la creazione di percorsi preferenziali per l'accesso di studenti stranieri o di altre Università, tramite l'istituzione di borse apposite e incentivando la collaborazione con Atenei stranieri.

Anche questa valutazione è abbastanza semplice per i Nuclei, ma solo in fase di Consuntivo, in quanto, nella fase di Attivazione o di Rinnovo di un Dottorato di Ricerca, i collegamenti con altre Università ed Enti, italiani o stranieri, non possono ancora essere formalizzati, dato che la valutazione del Nucleo avviene prima della decisione della Governance dell'Ateneo sui dottorati da attivare e sul numero di borse da assegnare ad ognuno.

Negli anni passati, a partire dall'esercizio 2002, si è avuta una ripartizione del 20% di finanziamento alle Università per i Dottorati di Ricerca che rispondessero ad alcuni requisiti precisi, che sono stati recepiti anche dal Nucleo di Valutazione dell'Università di Messina e saranno discussi in seguito.

Essendo stata concessa grande autonomia alle università che decidono:

- L'istituzione dei corsi di dottorato
- Le modalità di accesso e conseguimento del titolo
- Gli obiettivi formativi ed il relativo programma di studio
- La durata
- Il contributo per l'accesso e la frequenza
- Le modalità di conferimento e l'importo delle borse di studio.

il problema che si è prospettato è stato della impossibilità di definire in maniera chiara e univoca per tutte le Università i termini di attivazione dei Dottorati.

I Nuclei si sono trovati di fronte al problema di standardizzare (almeno a livello di Ateneo) le valutazioni dei Dottorati di Ricerca.

Il Nucleo di Messina ha stabilito che, laddove fosse esprimibile con un indicatore un requisito ministeriale, di considerarlo come *indispensabile* per l'assegnazione di un valore, affinché l'Ateneo potesse concorrere a questa quota di finanziamento

La legge 30 Dicembre 2010, n. 240

Con l'introduzione della nuova legge del 30 Dicembre 2010, n. 240, si è arrivati alla proposta di una nuova e più ampia visione dei corsi di Dottorato, *rivisitata anche in base alle esperienze pregresse*.

Anche in questo caso, si pone l'accento sulla partecipazione dei Dottorandi ai gruppi e ai progetti di ricerca e si richiede di esaminare la necessità di una *valutazione periodica* della produzione scientifica dei dottorandi. Questa valutazione si dimostra piuttosto problematica sin da oggi, in quanto tra le varie aree scientifiche-disciplinari, e soprattutto tra le macro-aree umanistiche e scientifiche, si ha una notevole differenziazione nella preparazione alla ricerca dei dottorandi stessi. Un esempio per tutti è quello dei dottorati in aree letterarie, dove il dottorando prepara la sua tesi, che deve essere inedita, in genere tramite una monografia e non tramite più articoli su rivista o altro come avviene nelle aree scientifiche. Questo modus operandi porta alla pubblicazione della tesi *solo dopo* l'esame finale di Dottorato: ne consegue una forte

difficoltà per i Nuclei nella valutazione annuale dei consuntivi dei dottorati di ricerca di questo tipo. Un'altra differenza fondamentale si può riportare a proposito della numerosità degli autori: in generale, nelle pubblicazioni scientifiche, si hanno collaborazioni tra più settori scientifici disciplinari e/o più macro-aree, ne consegue che il numero di autori può essere molto superiore a quello di coloro che hanno produzioni eminentemente umanistiche (in generale un solo autore).

Il Nucleo di Messina ha recepito le difficoltà espresse dai Coordinatori delle Aree Umanistiche, suddividendo i risultati delle valutazioni nelle due macro-aree distinte; ma nonostante ciò esistono problematiche non risolvibili semplicemente con una standardizzazione del calcolo degli indicatori.

Un altro punto importante cui si fa espressa menzione è che non può essere accettabile la consecuzione del titolo di dottore di ricerca oltre i 30 anni, dato che dovrebbe essere possibile entrare nella fase post-doc o lasciare l'Università attorno ai 26-27 anni, evitando un inserimento tardivo nella realtà professionale.

Il Nucleo di Messina probabilmente modificherà il calcolo dell'indicatore, per quanto lo abbia già fatto in passato differenziando i punteggi dei dottorandi senza borsa, con borsa e con borsa di altra amministrazione.

E' necessario sottolineare che la legge non prevede risorse sufficienti per la propria applicazione, quindi neanche per il dottorato di ricerca: allo stato attuale il taglio di oltre il 30% verificatosi nell'ultimo triennio potrebbe arrivare a raggiungere circa il 50% dei posti messi a concorso. Si presume che i circa 12.000 dottorandi possano ridursi a meno di 6.000¹: ciò significherebbe una consistente riduzione del sistema dell'Alta Formazione.

Si ipotizza, dal testo della legge, che si avrà una forte incentivazione dell'istituzione dei Dottorati senza borsa (senza, per altro, consentire almeno una notevole riduzione delle tasse di iscrizione) anche se l'interpretazione della disciplina sulle borse di studio è controversa, pur essendo rimodulato l'importo minimo della borsa stessa, che in Italia, rispetto ad altri paesi europei è molto contenuto.

L'Art. 7 – Interventi di cooperazione interuniversitaria internazionale strutturata prevede che solo 4.000.000€ vengano destinati a consolidare e incentivare interventi di università italiane, di studenti, laureati e dottorandi provenienti da Paesi extraeuropei

¹ Questi dati sono messi a disposizione dall'ANDI

in linea con le politiche ministeriali di cooperazione internazionale.

Il numero minimo di borse di dottorato passa da 3 a 6: ma non è chiaro se quest'ultimo numero è da intendersi solo per le Scuole di Dottorato o per i corsi di dottorato. In quest'ultimo caso, quelli attivabili presso ciascuna Università dovrebbero essere molto meno numerosi, soprattutto nei casi in cui la reperibilità di risorse esterne, fortemente dipendente, com'è ovvio, dal bacino geografico su cui insiste la singola Università, è problematico.

Il Nucleo, anche in questo caso, può giudicare il numero di borse solo dopo la loro assegnazione, quindi in fase di consuntivo

La legge chiede anche una valutazione dell'impatto professionale del titolo.

Il precedente Nucleo di Valutazione aveva inserito nelle sue valutazioni una tabella in cui si chiedeva ad 1 anno, a due e a tre quale fosse l'attività lavorativa intrapresa dal dottorando e se fosse coerente con il percorso di studi. I dati ricevuti in risposta sono piuttosto scarni e quindi non significativi, perché non sempre era possibile contattare i dottorandi stessi

Attivazione dei corsi di dottorato e ruolo del nucleo

Come si è già detto, i Nuclei di Valutazione hanno dovuto, nel corso degli anni, giudicare i Dottorati di Ricerca in base a determinati requisiti, che la 240 ha reso più stringenti. Il Nucleo di Messina ha concepito una scheda di richiesta rinnovo/nuova attivazione ed una di Consuntivo che contenesse tutte le informazioni necessarie alla valutazione dei Dottorati di Ricerca. In tal modo, avrebbe potuto effettuare le sue valutazioni nella maniera più corretta in base alle indicazioni ministeriali.

A tale scopo, ha chiesto alla propria Referente Informatica, capo Area Sistemi Informativi per l'Analisi dei dati d'Ateneo e Calcolo Scientifico, la creazione di un software apposito. Il risultato è stato considerato molto soddisfacente sia dal Nucleo che dall'utenza, per la semplicità d'uso e le facilities inserite che lo rendono intuitivo ed efficace.

In sintesi il software si compone di sei parti fondamentali:

1. Compilazione della scheda di richiesta rinnovo/nuova attivazione da parte del Coordinatore
2. Compilazione della scheda di consuntivo per ogni ciclo attivo da parte del Coordinatore e dei Dottorandi
3. Attestazione della correttezza delle dichiarazioni informatizzate da parte dell'Ufficio

Dottorandi che convalida, in base al cartaceo presentato dai Coordinatori, quanto da loro stessi dichiarato²

4. Attestazione della validità delle dichiarazioni dei dottorandi da parte del Nucleo di Valutazione³

5. Procedura automatizzata di calcolo dei punteggi degli indicatori⁴

Procedura di visualizzazione dei punteggi degli indicatori di tutti i dottorati. La procedura consente la visualizzazione di tutti i dettagli ed è visibile a tutti i Coordinatori.

Gli indicatori considerati sono 8 e rispecchiano, dove possibile, le richieste del Ministero in maniera dettagliata, ovvero i criteri concordati con la Governance d'Ateneo laddove quelli ministeriali siano nebulosi o non ben descritti.

Rispetto ai primi calcoli, sono state apportate modifiche delle quali via via si sentiva il bisogno, dettate sia dalle differenze tra la conduzione dei dottorati di ricerca (per esempio tra le due macro aree Umanistica e Scientifica) sia dalle diverse necessità di conduzione dei dottorati, dovute a svariati motivi⁵: tali differenziazioni sono state discusse durante alcune riunioni con i Coordinatori di Dottorato.

Particolare attenzione è stata posta nella valutazione dei prodotti della ricerca, resa possibile grazie alla presenza del Catalogo di Ateneo informatizzato, che è stato lo strumento principe per poter creare il software necessario. Anche in questo caso, la valutazione di tali prodotti è stata stabilita, una prima volta e successivamente modificata, di concerto con la Governance dell'Ateneo.

E' importante sottolineare come alcune decisioni siano state oggetto di critiche in quanto alcuni Coordinatori trovavano i criteri troppo stretti per le esigenze della loro Area. Ma anche queste perplessità sono state considerate e in parte risolte nell'ambito della forte collaborazione tra il Nucleo e la Governance dell'Ateneo.

² Attestati dei professori di altri Atenei presso i quali si sono recati i dottorandi, attestazione dell'incremento delle borse per soggiorni all'estero, lettere di partecipazione esclusiva di un docente italiano al dottorato, curricula dei docenti stranieri e italiani non di Messina (per i Messinesi esiste il Catalogo di Ateneo che è stato uno strumento indispensabile per il buon funzionamento dell'impianto delle schede informatizzate).

³ Si tratta di convalidare o meno le dichiarazioni che talvolta sono inserite per inesperienza, ma che non possono dare adito a calcoli per i punteggi degli indicatori, quali, ad esempio, le ore impiegate nella ricerca o negli incontri con il Coordinatore e/o i tutor per la preparazione della tesi.

⁴ La procedura è del tutto indipendente dalle altre, per consentire l'effettuazione di modifiche nei calcoli nel modo più semplice.

⁵ Si pensa ai periodi di permanenza all'estero che, in generale, danno adito a punteggio solo se sono di almeno tre mesi, mentre per gli scavi archeologici e la permanenza sulle navi scendono a 1 mese.

Per una totale trasparenza del proprio operato, il Nucleo ha inoltre richiesto che il software, alla chiusura del periodo di richiesta di Rinnovi e o Nuove Attivazioni e delle convalida amministrative⁶, permettesse a tutti i Coordinatori la visione dettagliata dei calcoli degli indicatori di tutti i Dottorati.

Si può ragionevolmente affermare che quello dell'Ateneo di Messina è stato, in Italia, il primo impianto logico e software completo che ha consentito la formalizzazione delle valutazioni sui Dottorati di Ricerca: molte altre Università hanno, infatti, seguito un modello molto simile. Nel Dicembre 2008 la procedura è stata presentata nel convegno tenutosi a Padova cui hanno partecipato tutti i Nuclei di Valutazione. Purtroppo però, nonostante le richieste ricevute, il nostro Ateneo non è stato in grado di fornire tale software ad altre Università.

Un ulteriore punto a favore del lavoro svolto, è la dedizione con cui il Prof. Mondello si è dedicato alla valutazione della correttezza delle dichiarazioni nelle schede ed a suggerimenti volti al miglioramento ed alla semplificazione della procedura; per la parte operativa sento il bisogno di ringraziare la serietà e la professionalità del Dott. Marco Todaro e dell'Ing. Fabrizio De Gregori, che, con la procedura menzionata, hanno consentito un notevole risparmio economico alla nostra Università.

Il software si riferisce a due fasi distinte della valutazione dei dottorati di ricerca: quella della richiesta di Rinnovo/nuova Attivazione e quella di Consuntivo, dove, al di là di alcune informazioni fornite dai Coordinatori, ogni Dottorando indica il percorso formativo svolto e il risultato delle sue ricerche.

Come si è già detto gli indicatori sono 8, ed ognuno di essi serve a quantificare una delle richieste ministeriali, comprese quelle della 240, per la quale basterà modificare soltanto il modulo di calcolo dei punteggi:

1. Numerosità del Collegio Docenti⁷
2. Produttività Scientifica del Coordinatore
3. Produttività Scientifica pro capite del Collegio Docenti
4. Accordi di collaborazione per lo svolgimento di esperienze in un contesto di attività lavorative o per lo svolgimento di stage in sedi di ricerca qualificate straniere o italiane
5. Posti di dottorato aggiuntivi rispetto alle borse finanziate dall'Ateneo

6. Esistenza di un piano formativo formalizzato e documentato
7. Produttività Scientifica di Ricerca pro capite dei Dottorandi
8. Contesto Scientifico (Progetti di ricerca)

Nella tabella seguente si mostrano le differenze tra la vecchia legislazione, quanto richiesto dalla L.240 e l'impianto logico, nelle schede del Nucleo, per il calcolo degli indicatori:

⁶ Egregiamente effettuate dall'Ufficio Dottorati che non si potrà mai ringraziare abbastanza.

⁷ Il collegio docenti può essere formato solo dai docenti indicati come tali dal MiUR.

Activity Report 2011 – Dottorato di Ricerca in Fisica, Università di Messina

Requisiti Ministeriali Precedenti	Requisiti Ministeriali L. 240	Indicatore corrispondente	Scheda in cui si trovano le informazioni	Valutato
la presenza nel collegio dei docenti di un congruo numero di professori e ricercatori dell'area scientifica di riferimento del corso. Non meno di 7 docenti per l'attivazione Non meno di 10 per il 20% del finanziamento	Collegio docenti formato almeno da 18 ⁸ professori ⁹ attivi ¹⁰	INDICATORE 1 Numerosità del Collegio Docenti ¹¹	Richiesta Attivazione Rinnovo /nuova	SI
la disponibilità di adeguate risorse finanziarie	Non sono stabiliti in modo esplicito	INDICATORE 8 Contesto Scientifico (Progetti PRIN, FIRB finanziati e/o finanziabili e Progetti della Comunità Europea Finanziati) ¹²	Richiesta Attivazione Rinnovo /nuova	SI
la disponibilità di specifiche strutture operative e scientifiche per il corso e per l'attività di studio e di ricerca dei dottorandi	Non sono stabiliti in modo esplicito	Numero massimo di dottorandi compatibili con le strutture organizzative	Richiesta Attivazione Rinnovo /nuova	NO
la previsione di un coordinatore responsabile dell'organizzazione del corso	Non cambia nulla rispetto alla normativa precedente	INDICATORE 1 Coordinatore. Non è possibile inserire una scheda senza un Coordinatore	Richiesta Attivazione Rinnovo /nuova	SI
la previsione di un collegio di docenti e di tutori in numero proporzionato ai dottorandi: non veniva specificato però il significato di "congruo"	Collegio docenti formato almeno da 18 professori ^{8, 9, 10}	INDICATORE 1 Collegio Docenti	Richiesta Attivazione Rinnovo /nuova	SI
la previsione di un collegio di docenti e di tutori con documentata produzione scientifica nell'ultimo quinquennio nell'area di riferimento del corso	Non cambia nulla rispetto alla normativa precedente	INDICATORE 2 e 3 Produzioni scientifiche del Coordinatore e del Collegio Docenti ¹⁰	Richiesta Attivazione Rinnovo /nuova	SI
la possibilità di collaborazione con soggetti pubblici o privati, italiani o stranieri, che consenta ai dottorandi lo svolgimento di esperienze in un contesto di attività lavorative	Sono auspicati e se ne chiede l'incremento, ma non vengono fornite adeguate risorse finanziarie.	INDICATORE 4 INDICATORE 5^a Periodo formativo all'estero Accordi di collaborazione / convenzioni per lo svolgimento di esperienze in contesto di attività lavorative Forme di collaborazione per lo svolgimento di esperienze in contesto di attività lavorative non formalizzate ¹⁴	Schede Consuntivo dei singoli Dottorandi	SI
la previsione di percorsi formativi orientati all'esercizio di attività di ricerca di alta qualificazione presso università, enti pubblici o soggetti privati	Sono auspicati e se ne chiede l'incremento, ma non vengono fornite adeguate risorse finanziarie.	INDICATORE 6 Programma formativo, modalità di svolgimento e finalità del corso Obiettivi formativi orientati alla ricerca e tematiche di ricerca	Schede Consuntivo dei singoli Dottorandi	SI
l'attivazione di sistemi di valutazione relativi alla permanenza dei requisiti di cui al presente comma	Non sono specificati meglio neanche nella 240	INDICATORE 7 Produttività scientifica pro-capite dei dottorandi	Schede Consuntivo dei singoli Dottorandi	SI
l'attivazione di sistemi di valutazione relativi alla rispondenza del corso agli obiettivi formativi di cui all'articolo 4	Non sono specificati meglio neanche nella 240	Modalità di valutazione periodica della preparazione dei dottorandi al fine della prosecuzione del corso	Richiesta Attivazione Rinnovo /nuova	NO
l'attivazione di sistemi di valutazione relativi alla rispondenza del corso agli obiettivi formativi in relazione agli sbocchi professionali, al livello di formazione dei dottorandi	Non sono specificati meglio neanche nella 240	Sbocchi professionali previsti	Richiesta Attivazione Rinnovo /nuova	NO

⁸ ordinari e associati del/i settore/i concorsuali o SSD oggetto del corso, attivi in ricerca, ovvero, nei settori è opportuno, di esperti di elevata qualificazione di numero non superiore a quello dei docenti)

⁹ Art.5, comma 1, punto a dello Schema di decreto del MIUR "Regolamento recante criteri generali per la disciplina del Dottorato di ricerca" del 27/09/2011

¹⁰ Per attivo si intende un professore che abbia pubblicato almeno tre prodotti della ricerca negli ultimi 3 anni ovvero, se dell'aria umanistica, almeno 1 monografia.

¹¹ Il Professore Ordinario attivo vale 1 punto, il professore associato attivo vale 0,5 punti, il ricercatore attiva vale 0,7 punti, il ricercatore attiva vale 0,5 punti. Il Professore non attivo non da adito a punteggio.

¹² I coordinatori nazionali o locali devono essere dell'Università di Messina

¹³ Positi di Dottorati aggiuntivi rispetto alle borse d'Ateneo: borse finanziate dalla comunità europea, PON, PRO, POM, Enti pubblici e/o privati, PRIN, FIRB, FSG, posti attivati con mantenimento dello stipendio dell'amministrazione originaria.

¹⁴ In generale il soggiorno in Italia dovrà essere di almeno 3 mesi, mentre per quelli all'estero in sono valutati in quota parte ai 3/1 mese (v. nota 5) solo se vi sia un incremento della borsa.

Calcolo scientifico

A proposito della Ricerca Scientifica, e quindi anche in relazione alla produttività scientifica pro-capite dei dottorandi, è importante fare un ulteriore discorso. Quale Responsabile dell'Area Sistemi Informativi per l'Analisi dei dati d'Ateneo e Calcolo Scientifico, gestisco, validamente coadiuvata dall'Ing. Sciacca e dal Dott. Lo Re, il Settore di Calcolo Scientifico del CECUM, mettendo a disposizione dei Ricercatori dell'Ateneo un insieme di risorse di calcolo piuttosto consistente:

Il cluster *eneadi*, costituito da sei server HP Integrity quadriprocessori e da un server HP ProLiant biprocessore per un totale di 26 CPU. Nello stesso rack si trovano i server HP ProLiant che eseguono Windows Server 2003 e consentono all'utenza l'uso dei programmi MATHLAB e MATEMATICA, utilizzabili direttamente dal portale di calcolo. Il server *Xanto (DL360)*, invece, insieme ai due server *Voltumna (SUNBLADE100)* e *Larsthurms (SUNBLADE2000)* sono utilizzati per la gestione del sito e dei software del Settore di Supporto al Nucleo di Valutazione della stessa area. Per quanto riguarda il dimensionamento di queste ultime apparecchiature è necessario dire che esse erano state acquisite per un numero di accessi piuttosto limitato, in quanto, fino al 2007, il software a disposizione del Nucleo di Valutazione era piuttosto limitato. Da quando sono state sviluppate le procedure principali delle *richieste di Attivazione / Rinnovi dei Dottorati di Ricerca e di Valutazione della Didattica* (arrivati rispettivamente alle versioni 5.0 e 2.7), il bacino di utenza si è allargato a tutti i Coordinatori dei Dottorati di Ricerca, ai Dottorandi per ciò che concerne la prima procedura, ai Referenti di Facoltà, a tutti i Docenti e gli studenti per ciò che riguarda la Valutazione della Didattica, per un totale di oltre 2.000 utenze potenzialmente concorrenti;

Il cluster *TriGrid*, formato da un insieme di 28 lame IBM LS20 e 21;

Nei due sistemi è installato il software LSF (*Load Sharing Facility*) e librerie per il calcolo parallelo.

In generale l'uso delle risorse offerte dal Settore di Calcolo Scientifico viene effettuato da parte di un gruppo ormai consolidato di utenti, il cosiddetto *gruppo storico*, ma ad essi se ne stanno via via aggiungendo altri che hanno iniziato a sfruttarle per le proprie attività di ricerca o per altri progetti¹⁵. In

quest'ottica le risorse offerte dal Settore di Calcolo Scientifico si sono rivelate molto significative, tenuto conto che sul cluster "*eneadi*", nel solo 2010, sono stati eseguiti con successo ben 1.891 job correlati al progetto di cui in nota, i quali hanno richiesto un tempo totale di CPU pari a 5.703.869 secondi, corrispondenti a 66 giorni di calcoli; il tempo medio di CPU richiesto da questi job è stato dunque di 3.016,3 secondi, e il valore massimo registrato è stato di 67.055 secondi. Poiché è capitato che l'esecuzione contemporanea di più job eccedesse le risorse a disposizione, con la conseguente necessità di mettere in coda uno o più job, si è avuto un tempo totale di attesa in coda pari a ben 2.440.474 secondi, con una media di 1.290,6 secondi e un valore massimo di 70.114 secondi, addirittura superiore al massimo tempo di CPU impiegato dai job del progetto.

Quanto appena detto evidenzia come, pur limitatamente ai periodi di svolgimento dei calcoli che riguardano determinate attività di ricerca, le risorse del cluster "*eneadi*" – che fino a qualche anno fa erano in grado di soddisfare ampiamente le richieste dell'utenza – possano oggi rivelarsi sottodimensionate rispetto al fabbisogno di quest'ultima; a causa di ciò, nata l'esigenza di poter disporre di nuove risorse di calcolo, si sta lavorando all'allestimento del nuovo cluster IBM precedentemente impiegato nell'ambito del progetto *TriGrid*.

Il cluster *eneadi* è formato da server che vengono sfruttati con regolarità sia dall'utenza scientifica che da studenti e dottorandi di ricerca.

Nella fornitura di potenza di calcolo all'utenza va menzionato per la sua crescente importanza il cluster IBM (ex *TriGrid*). Se ne stanno rimodulando le impostazioni (riconfigurandolo) al fine di offrire un'equa distribuzione delle risorse, dato che tale cluster viene già attivamente utilizzato da un gruppo di utenti. L'alta densità di *core* per unità di rack disponibili, resa possibile dall'adozione di *blade* IBM dotate ciascuna di due processori *Opteron dual core*, consente l'uso di un elevato numero di *core* per le elaborazioni, anche di tipo parallelo grazie all'impiego di apposite librerie.

I sistemi di calcolo scientifico messi a disposizione del CECUM sono utilizzati anche in seguito ad una visione allargata della ricerca. Infatti molti docenti iniziano i loro studenti all'uso di risorse di questo genere nell'ambito delle materie di cui sono titolari. Ovviamente oltre agli studenti i due sistemi sono pesantemente utilizzati anche dai borsisti, dai dottorandi di ricerca, laureandi e, eventualmente, sono stati creati account per visiting professors.

¹⁵ Dal 2010 il Dipartimento di Ingegneria Civile partecipa ad un progetto di ricerca europeo sullo sviluppo di tecnologie sostenibili innovative per l'energia, dal titolo "Thermoacoustic Technology for Energy Applications" (THATEA, <http://www.thatea.eu/>); il progetto è coordinato dall'Energy Research Centre of the Netherlands (ECN) e

vede la partecipazione di importanti Università ed Istituzioni di ricerca europee quali l'Università di Manchester ed il CNRS.

ON THE WAVELENGTH SHIFT BETWEEN NEAR-FIELD PEAK INTENSITIES AND FAR-FIELD PEAK CROSS SECTIONS IN PLASMONIC NANOSTRUCTURES

Adriano Cacciola

Dottorato di Ricerca in Fisica dell'Università di Messina
Viale F. Stagno D'Alcontres, 98166 S. Agata-Messina, Italy
e-mail: acacciola@unime.it

Abstract

The localized plasmons of metallic nanoparticles and nanostructures display a particular behaviour: when they are optically excited, the near-field peak intensities occur at larger wavelengths than the far-field peak intensities. Here we show that the magnitude of this shift depends on the dimensions of these nanostructures and is theoretically predictable through an approach based on the multipole expansion of the electromagnetic fields within the Transition Matrix formalism. The understanding of this phenomenon is particularly important for Surface Enhanced Raman Spectroscopy (SERS).

Introduction

Metal nanoparticles (MNPs) have been intensively studied within the past decade. The unique properties of MNPs have their applications in a broad range of different fields, including chemistry, physics, biology, materials science, medicine, catalysis and so on [1]. These applications rely heavily on the fact that MNPs support localized surface plasmon resonances (LSPRs), which are excited when incident electromagnetic radiation creates collective coherent oscillations of the particle free electrons [2]. Such plasmon excitations result in a large enhancement of the electromagnetic field around the nanoparticle, yielding both a strong absorption and scattering of light by the nanoparticle at the plasmon resonance frequency [3]. Varying the size and shape of metal particles we can tune the plasmon resonances over a wide range of wavelengths [1,2,3]. Thus, understanding the properties of plasmonic structures of different size and shape is nowadays of primary importance for basic and applied research as well as for modern nano-technology [1].

Although extinction, absorption, and scattering are still the primary optical properties of interest, other spectroscopic techniques, e.g. SERS, are sensitive to the electromagnetic fields at or near the particle surfaces, thus providing important new challenges for theory.

A well known phenomenon, that has frequently been pointed out in the literature, is that, upon optical excitation, the maximum near field enhancements occur at lower energies than the maximum of the

corresponding far-field quantities [4,5,6,7]. This red shift is known to depend on the size of the particle [8,9], with larger particles displaying a more marked shift. A recent systematic study has provided a phenomenological comparison of the relationship between the near- and far-field spectra of plasmonic particles [10], but the physical explanation of this apparently universal behaviour of metal particles is still controversial. Messinger et al. [4] explain this behaviour in terms of the radial components of the electric field which can exist only in the near-field zone of the sphere.

Recently Zuloaga and Nordlander [11] have explained the physical origin of this red shift through a mechanical analogy as a general consequence of the behaviour of damped harmonic oscillators.

In this paper we analyze the red shift effect through an analytical and numerical approach based on the multipole expansion of the electromagnetic fields within the Transition Matrix (T-Matrix) formalism [12]. We will investigate the dependence of this red shift upon the nanoparticle size and shape. To this aim we start our investigation with a gold sphere and successively we extend the description to the case of gold dimers.

Theory

We study the optical behaviour of metal nanoparticles, both isolated or clustered, through the multipole expansions of the electromagnetic fields within the T-Matrix method. This is a general approach that applies to particles of any shape and refractive index and for any choice of the radiation wavelength [12]. It has been successfully applied to several research fields, e.g. for the investigation of interstellar dust optical properties [13,14,15], in bioastronomy [16,17], and in optical trapping [18,19,20,21]. Expanding the incident field in a series of vector spherical harmonics with known amplitudes

W_{lm}^p , the scattered field can be expanded on the same basis with amplitudes A_{lm}^p . The relation between the amplitudes of scattered and incident field is given by

$$A_{l'm'}^{p'} = \sum_{plm} S_{l'm'lm}^{p'p} W_{l'm}^p \quad (1)$$

where $S_{l'm'lm}^{p'p}$ is the T-Matrix of the particle[9]. The elements of the T-Matrix are calculated in a given frame of reference through the inversion of the matrix of the linear system obtained by imposing the boundary conditions to the fields across each spherical surface [12].

The number of subunits are limited only by the memory demand of the computing facilities. The calculation of the T-Matrix for a N-sphere aggregate, requires the inversion of a matrix of order $d = 2N \times l_M(l_M + 2)$, where l_M is the l -value at which the multipole expansion of the electromagnetic fields is truncated [12]. The choice of the value l_M is carefully checked by convergence tests ensuring the numerical stability of the results.

The procedure devised for the extension of the T-Matrix formalism to the study of the optical behaviour of an aggregate of N, not necessarily equal, spheres whose mutual distances are so small that the interaction effects cannot be neglected can be found in [12]. In such case the T-Matrix approach allows to take proper account of the multiple scattering processes among the spheres composing the aggregate.

Results

We start our investigation with a spherical gold nanoparticle with a radius of 100 nm. The direction of the incident field is along the z -axis and the polarization is along the x -axis. This configuration has been used in all our computations.

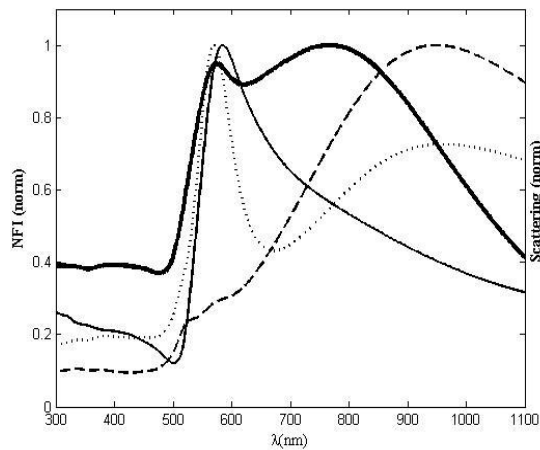


Figure 1: Scattering cross section (thick solid line) and NFI in the forward direction (solid line), backward direction (dotted line), and at 90° (dashed line) respect to the incident

direction for a 100 nm gold sphere. The spectra have been normalized to their maximum values.

In Fig. 1 we compare the normalized scattering cross section with the normalized Near Field scattered Intensities (NFI) for three different points located at a distance d_{NF} from the sphere surface given by 1/10 of the radius. This choice for d_{NF} has been used in all the results that we will show. All the spectra have been normalized to their maximum values.

As is evident from the figure, the NFI is red shifted from the far-field spectrum. This effect appears more clearly in the backward direction and at 90° respect to the incident direction. In the forward direction only the quadrupole peak appears and the red shift is much smaller.

Along the polarization direction the quadrupole peak almost disappears and all the energy radiated by the particle is mainly due to the dipole contribution.

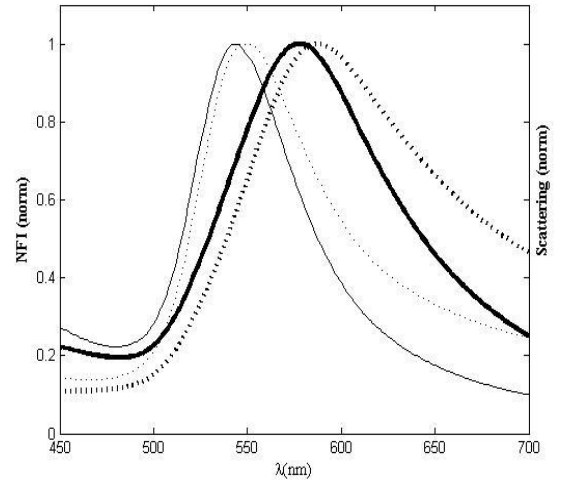


Figure 2: Scattering cross sections (solid lines) and NFI (dotted lines) for a 30 nm gold sphere (thin lines) and for a 50 nm gold sphere (thick lines). The spectra have been normalized to their maximum values.

The results shown in Fig. 2 confirm, through exact computations performed using the T-Matrix method, the well known red shift dependence upon the dimensions of the nanoparticle. We performed our computations for many different particle sizes. Here, for the sake of simplicity, we show only the scattering cross sections and NFI for a 30 nm gold sphere and for a 50 nm gold sphere. As the sphere size gets smaller, the red shift reduces as well, but never disappears.

In Fig. 3 we show the scattering cross section and the NFI for a dimer made of identical gold spheres each with a radius $R=50$ nm.

The dimer geometry is such that the closest distance between the sphere surfaces is 4 nm. We computed the NFI at the central point of the hot spot and at a distance 5 nm from the sphere surface in the external region. We recall here that the hot spot is the region between the spheres where the field enhancement is the highest (see Fig. 4).

Fig. 3 clearly shows that the red shift in the hot spot disappears, while it is still present in the dimer external region, in analogy with the single sphere case.

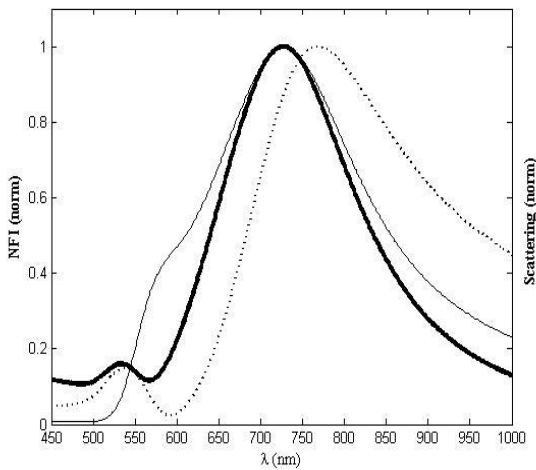


Figure 3: Scattering cross section (thick solid line) and NFI (thin lines) at the central point of the hot spot (solid line) and at a distance $d=5$ nm from the sphere surface in the external region (dotted line) for a dimer of two identical gold spheres ($R=50$ nm). The spectra have been normalized to their maximum values.

In Fig. 3 we show the scattering cross section and the NFI for a dimer made of identical gold spheres each with a radius $R=50$ nm. The dimer geometry is such that the closest distance between the sphere surfaces is 4 nm. We computed the NFI at the central point of the hot spot and at a distance 5 nm from the sphere surface in the external region.

We recall here that the hot spot is the region between the spheres where the field enhancement is the highest (see Fig. 4). Fig. 3 clearly shows that the red shift in the hot spot disappears, while it is still present in the dimer external region, in analogy with the single sphere case.

In order to demonstrate that the absence of the red-shift in the hot spot is due to symmetry reasons, we

compute the scattering cross section and the NFI for a dimer of gold spheres with different radii, $R_1=50$ nm and $R_2=100$ nm. Also in this case the closest distance between the surfaces of the two spheres is 4 nm (Fig. 5).

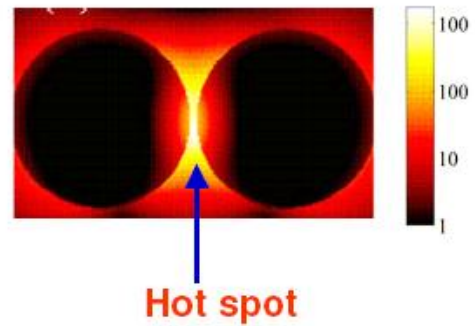


Figure 4: Near-field intensity enhancement map for a silver dimer with $R=75$ nm. The closest distance between the surfaces of the two spheres is 5 nm.

These results show that, when we break the symmetry of the dimer, the red shift appears also in the hot spot. The effect appears both for the dipole and for the quadrupole peak.

Conclusions

In conclusion, using the T-Matrix approach, we have shown how the near-field spectra of plasmonic nanoparticles are red-shifted compared to their far-field spectra. In order to generalize the results and to provide a systematic study of the relationship that exists between far-field and near-field quantities, it is necessary to extend the investigation to more complex structures, like large aggregates of spheres.

We expect that taking into account the red shift effect can provide improvement in understanding and optimising surface-enhanced spectroscopies.

This physical insight into the behaviour of plasmonic systems should be also useful for the practical design of plasmonic nanoparticles and nanostructures for applications of both fundamental and technological interest.

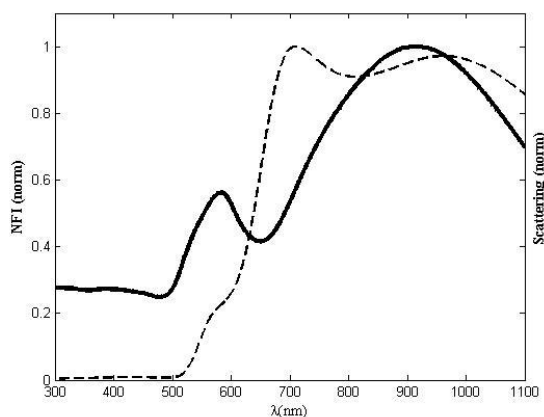


Figure 5: Scattering cross section (thick solid line) and NFI (dashed lines) at the central point of the hot spot region (solid line) for a dimer of $R_1=100$ nm and $R_2=50$ nm gold spheres. The closest distance between the surfaces of the two spheres is 4 nm. The spectra have been normalized to their maximum values.

Acknowledgments

I wish to thank R. Saija, M.A. Iati, F. Borghese, P. Denti, P.G. Gucciardi, and O.M. Maragò for fruitful discussions and support.

References

- [1] S. A. Maier, Plasmonics: Fundamentals and Applications, Springer (2007);
- [2] M.L. Brongersma, P.G. Kik, Surface Plasmon Nanophotonics, Springer Series in Optical Sciences, (2007);
- [3] L. Novotny and B. Hecht, Principles of Nano-Optics, Cambridge University Press, New York (2006);
- [4] B. J. Messinger et al., P. Rev. B 24 (1981) 649;
- [5] N. K. Grady et al., P. Chem. Phys. Lett. 399 (2004) 167;
- [6] A. S. Grimault et al., Appl. Phys. B: Laser Opt. 84 (2006) 111;
- [7] S. Bruzzone et al., J. Phys. Chem. B 110 (2006) 11050;
- [8] K. L. Kelly et al., J. Phys. Chem. B 107 (2003) 668;
- [9] G. W. Bryant et al., J. Nano Lett. 8 (2008) 631;
- [10] B. M. Ross et al., Opt. Lett. 34 (2009) 896;
- [11] J. Zuloaga and P. Nordlander, Nano Letters 11 (2011) 1280;
- [12] F. Borghese, P. Denti and R. Saija, Scattering from model nonspherical particles 2nd ed., Springer, Berlin (2007);
- [13] M.A. Iati et al., MNRAS 322 (2001) 749;
- [14] C. Cecchi-Pestellini, A. Cacciola et al., MNRAS 408 (2010) 535.
- [15] M. A. Iati, C. Cecchi Pestellini, A. Cacciola et al., JQRST 112 (2011) 1898;
- [16] R. Saija et al., Astrophys. J. 633 (2005) 953;
- [17] A. Cacciola et al., Astrophys. J. 701 (2009) 1426;
- [18] F. Borghese et al., Phys. Rev. Lett. 100 (2008) 163903;
- [19] R. Saija, et al., Opt. Exp. 17 (2009) 10231;
- [20] E. Messina, E. Cavallaro, A. Cacciola et al., ACS Nano 5 (2011) 905;
- [21] E. Messina, E. Cavallaro, A. Cacciola et al., J. Phys. Chem. C 115 (2011) 5115.

MASS QUADRUPOLE SPECTROMETRY APPLIED TO LASER-PRODUCED PLASMAS AND MICROWAVE IGNITED PLASMAS

F. Di Bartolo^{a, *}, L. Torrisi^{b,c}, S. Gammino^c, F. Caridi^d, D. Mascali^{c,e}, G. Castro^{c,f}, L. Celona^c,
R. Miracoli^{c,f}, D. Lanaia^c, R. Di Giugno^{c,f}.

a) Dottorato in Fisica dell'Università di Messina, Dip.to di Fisica, V.le F. Stagno D'Alcontres 31, 98166, S. Agata-Messina, Italy

b) Università degli Studi di Messina, Dip.to di Fisica, V.le F. Stagno D'Alcontres 31, 98166, S. Agata-Messina, Italy

c) INFN - Laboratori Nazionali del Sud, via S.Sofia 62, 95123, Catania, Italy

d) Università degli Studi di Messina, Facoltà di Scienze MM.FF.NN., V.le F. Stagno D'Alcontres 31, 98166, S. Agata-Messina, Italy

e) CSFNSM, Viale A. Doria 6, 95125 Catania, Italy

f) Università degli Studi di Catania, Dipartimento di Fisica e Astronomia, V. S.Sofia 64, 95123 Catania, Italy

* Corresponding author, e-mail: fdibartolo@unime.it

Abstract

The mass quadrupole spectrometry (MQS) permits the characterization of non-equilibrium and equilibrium plasmas obtained by means of laser ablation and microwave ionization. A Nd:Yag laser, 150 mJ pulse energy, 3 ns pulse duration, operating at 1064 nm fundamental and 532 nm second harmonic wavelength, at intensities of the order of 1010 W/cm², in single pulse or at a repetition rate between 1 and 10 Hz, interacting with solid targets placed in high vacuum produces ablation with plasma formation. It is possible to analyze the ion and the neutral emission from plasma in the mass range 1-300 amu with a mass resolution better than 1 amu and a sensitivity of the order of 1 p.p.m.. Moreover, it is possible to select the ion energy in the range 1 eV – 1 KeV with an electric deflection filter.

MQS allows to measure the temperature and density of the plasma, the relative ion and neutral amounts, the fractional ionization of the plasma, the elements and chemical compounds of the species participant to the plasma formation, the ion charge state, the ion energy distributions and the angular distribution of the emitted ions. Operating in repetition rate it measures the depth profile of peculiar elements in the ablated targets.

Moreover, MQS permits also to characterize microwave ignited plasmas, obtained by means of microwaves at two different frequencies, 2.45 GHz (Magnetron) and 3.7478 GHz (TWT), axially launched inside the plasma chamber, where a strongly non uniform magnetostatic field exists (with a maximum value of 0.1 T), with two possible configurations depending on the used ion source (Plasma Reactor or VIS). In the regions under ECR (Electron Cyclotron Resonance) the X-B conversion is possible, the incoming electromagnetic extraordinary mode X is converted into a Bernstein wave B, i.e. an electrostatic wave which can propagate in an overdense plasma.

Plasma density and temperature measurements, obtained with a Langmuir Probe and X-ray detectors, confirmed successfully the mode conversion and the formation of an overdense plasma.

The similarities with non-equilibrium plasmas generated by laser ablation will be described along with the differences.

Keywords: Mass Quadrupole Spectrometry, Laser-Plasma, Electrostatic Bernstein Waves, Plasma heating, Plasma vortex

Introduction

Mass spectrometry (MS) is an analytical technique to measure the mass-to-charge ratio of charged particles (m/q).

A mass spectrometer is used to determine elemental composition, compounds and isotopes and, if there is also an energy filter, ion and neutral energy distributions. It permits to analyze both ions and neutrals, and is made up of three main parts: an internal ionization source, a mass analyzer and a detector [1].

It is known that intense pulsed laser beams, with an intensity of 10¹⁰ W/cm², can be focused on a solid material to produce ablation and formation of hot non-equilibrium plasmas, which have a duration of a few nanoseconds. The processes developed inside the laser-generated plasma depend on many parameters, such as the laser characteristics, lens focalization, target composition, irradiation conditions, etc..

PLA obtained with ns lasers at high intensity generates hot plasma at the target surface, which expands in vacuum at supersonic velocity mainly along the normal to the irradiated target surface. A plasma characterization, in terms of temperature, density, energy of ejected particles, fractional ionization and charge state distribution, necessary to differentiate the plasma laser production, can be obtained.

Equilibrium plasmas are generated by means a Microwave Discharge Ion Source (MDIS), usually used to produce high intensity proton beams (above 50 mA). The operations of these devices is essentially based on the so called off-resonance discharge in a quasi-constant magnetic field $B \sim 0.1$ T, obtained by launching microwaves with $f = 2.45$ GHz or 3.7478 GHz inside a metallic cavity of few cm of length and diameter. Such devices are density limited if the ECR is the only heating mechanism: the electromagnetic waves cannot propagate over a certain density, called cut-off density. To overcome the density limitations electrostatic Bernstein waves (EBW) heating [2] is an option. The EBWs are able to propagate in largely overdense plasmas, i.e. plasmas above the cut-off ($n_{\text{cut-off}} = 3 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$), being absorbed at cyclotron harmonics [3]. EBW are created inside the plasma when a X wave, i.e. an extraordinary, E.M. wave, is converted from an E.M wave. It can be shown that X waves convert into EBW and ion waves at Upper Hybrid Resonance, when $\omega_{RF} = \sqrt{\omega_P^2 + \omega_C^2}$ ω_P being the plasma frequency and ω_C^2 being the cyclotronic frequency.

Material and methods

A Q-switched Nd:Yag pulsed laser operating at 1064 nm fundamental wavelength and at 532 nm second-harmonic wavelength, with 3 ns pulse duration and 160 mJ maximum pulse energy, in single shot and repetition rate (1 and 10 Hz) mode, was employed for the measurements.

The laser beam was focused, through a 50 cm focal lens placed in air, on the surface of a SiO₂ target, on which it produces a 0.5 mm² spot size, the laser-target interaction occurs inside a vacuum chamber, at 5×10^{-6} mbar pressure, and leads to the plasma formation. Ions and neutral particles are analysed by the MQS.

Two types of mass quadrupole spectrometer have been employed:

1) a classical version of MQS, a Pfeiffer Vacuum Prisma Plus QMG 220, Mass Range 1-300 amu, Mass resolution < 0.3 %, Sensitivity (SEM) 1 ppm;

2) a special electrostatic mass quadrupole spectrometer with an energy filter, Hiden EQP 300, Mass range 1-300 amu, energy range 1 eV-1 keV, Sensitivity 1 ppm.

The second type of mass spectrometer, differently with respect a classical MQS, permits to plot the energy distribution of neutral and charged species in the energy range 1 eV – 1 keV. Figure 1 shows the experimental set-up (a) and the scheme of the Hiden EQP instrument (b). EQP is placed at 45° with respect to the incidence laser beam, i.e. along the normal to the target surface [4].

We also used Cu, Al and Ta targets for our measurements.

EQP spectra were analysed in order to determine the Cu ion energy distribution and separate the neutral component from the ionic component for Al and Ta targets. The fits of the experimental energy distributions were performed by means the “Peakfit” numerical code using the “Coulomb-Boltzmann shifted” function:

$$f(E) = \frac{A}{\sqrt{2m}} \sqrt{\frac{1}{(\pi kT)^3}} E \cdot \exp\left[-\frac{1}{kT} (\sqrt{E} - \sqrt{E_k} - \sqrt{E_C})^2\right] \quad (1)$$

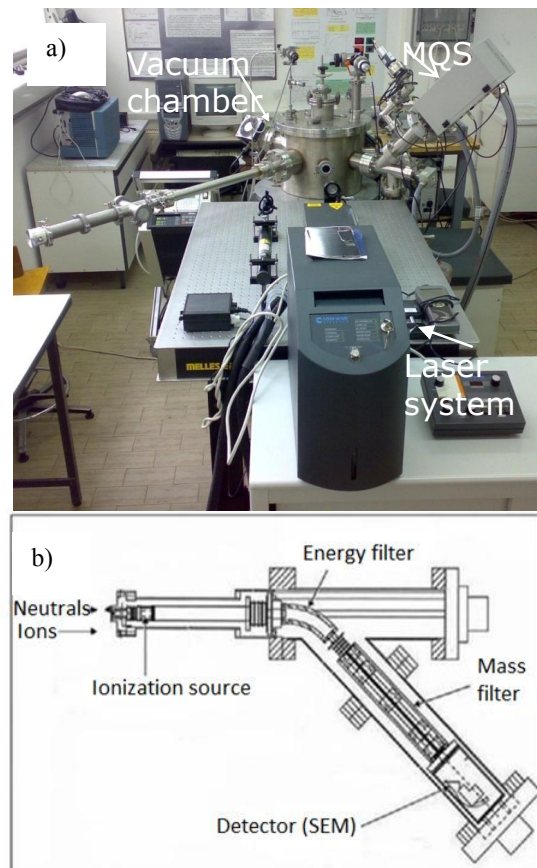


Fig.1 Scheme of the EQP instrument (a) and photo of the experimental set-up (b)

The characterization of equilibrium plasmas has been done by means a MDIS called VIS (Versatile Ion Source). The source body consists of a water-cooled copper plasma chamber (100 mm long and 90 mm diameter). VIS enable us to have purely off-resonance microwave injection (which is not possible using Plasma Reactor, another MDIS with a slightly different magnetic profile). Microwaves have been generated by using a conventional 300 W magnetron, able to generate 2.45 GHz microwaves, or a Travelling Wave Tube (TWT), able the generate microwaves from 3.2 to 4.9 GHz. The typical working frequency when using TWT was 3.7478 GHz. The measurements of temperature and plasma density have been carried out by using a movable Langmuir probe (LP). A Si-Pin X-ray detector has been used for the measurement of X rays spectra in different plasma conditions. The detector is able to detect X rays with energy greater than about 1 keV.

Results and discussions

A. PLASMA LASER ABLATION (PLA)

MQS can operate versus mass and versus time. In the first case we have a mass spectrum, where each of the detected peaks corresponds to a certain element or chemical compound. In the second case we obtain a MQS time spectrum, for some selected masses, which allows to know the relative elemental concentrations vs. the ablation time, permitting to plot the element depth profiles. The mass quadrupole spectrometer must be calibrated to know the exact number of atoms or molecules of the target detected during the laser ablation. In Figure 2 (a) the apparatus for the MQS calibration is shown [5,6]. In our calibration test, we employed a mixture of gas (50% Helium and 50% Argon) enclosed in a volume $V_0 = 55.8 \text{ cm}^3$. The initial and final pressure of the gas in this volume are P_i and P_f , respectively, at a room temperature $T = 22^\circ\text{C}$.

After that we open the Valve 3 in order to introduce a known gas quantity in the vacuum chamber, very near to the target position. We introduce a molecular number $\Delta N = 0.668 \times 10^{20}$ of Argon and Helium atoms into the vacuum chamber.

The calibration spectrum obtained by using the MQS permits to calculate the yield of Ar corresponding to 84 μC . Afterwards we obtain the target spectrum which permitted us to calculate the yield of Si corresponding to 0.04 μC . Calculating the ablation yield is possible by means the following proportion

$$Y_{Ar} : \text{atoms Ar} = Y_{Si} : X \text{ atoms Si} \quad (2)$$

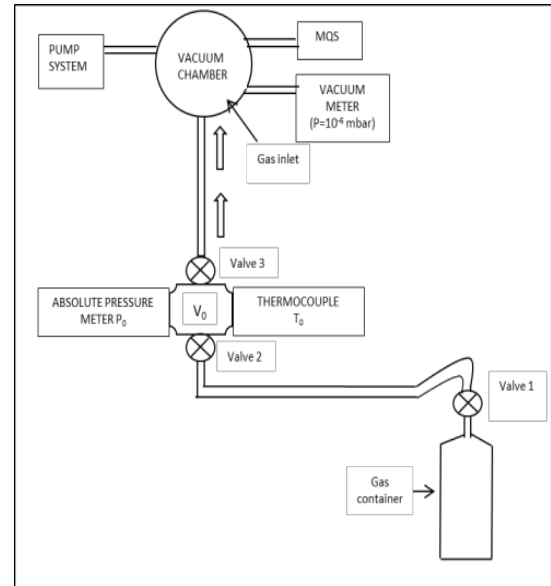


Fig.2 Scheme of the gas calibration apparatus.

Thus the ablation yield resulted 3.18×10^{16} atoms of Si ablated for laser pulse.

EQP Mass Spectrometer permits to obtain the ion energy distribution for a Cu target at two different laser energies, 40 mJ and 160 mJ, respectively. In the first spectrum the peak energy is 3eV while in the second one the peak energy is 17 eV. In figure 3 spectra obtained at energy of 160 mJ are shown.

Making a fit with a “Coulomb-Boltzmann shifted” function we can know two important parameters of a plasma, the temperature KT and the acceleration voltage V_0 . The temperature is 2.9 eV and 8.9 eV, respectively.

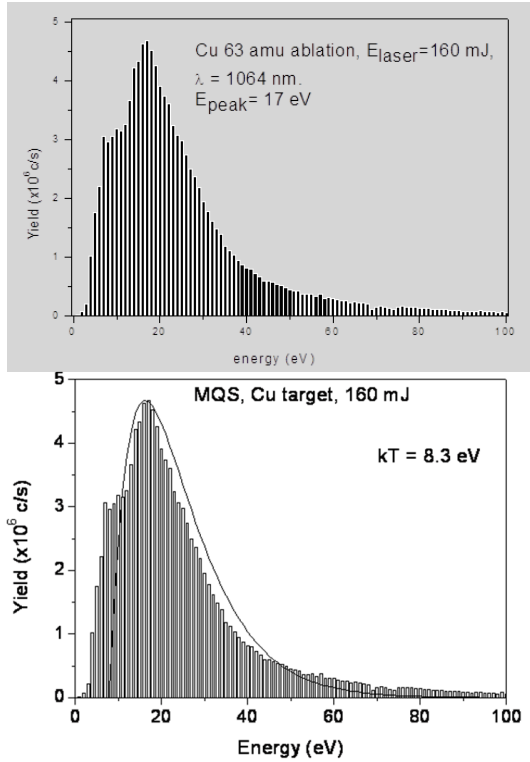


Fig. 3 Ion energy distribution and fit for a Cu target at a laser energy of 160 mJ.

Assuming the peak energy to be representative of the distribution mean energy, we find that the mean energy for the only ions is higher with respect to the spectrum obtained detecting ions plus neutrals. At 150 mJ the neutral plus ion mean energy is 85 eV and 115 eV for Al and Ta, respectively. At 150 mJ the only ion mean energy is 95 eV and 120 eV for the two cases, respectively. Thus ions have mean energy higher with respect to neutral specie.

The “Peakfit” deconvolution process applied to the ions plus neutral spectra separates the two components, ions from neutrals, and permits to extrapolate the neutral energy distribution by the difference between the ions plus neutral spectrum and the only ion spectrum. Fig. 4 shows the deconvolution spectrum obtained from an aluminium target. Deconvolution spectra report the neutral energy distribution (continuum line) obtained subtracting the only ion spectrum (full dots) to the ion plus neutral spectrum (open dots). The energy distributions of the neutral specie, obtained irradiating at 150 mJ pulse energy, show mean energies, \bar{E} , of about 60 eV and 65 eV for Al and Ta ablation, respectively. These energies are representative of the plasma temperature through the following relationship:

$$kT(eV) = \overline{2E(eV)} / 3 \quad (3)$$

where k is the Boltzmann constant. Eq. (2) gives 40 eV and 43.3 eV for Al and Ta neutral temperature, respectively.

Ions are characterized by energy higher with respect to the neutrals, due not only to the thermal interactions between the plasma particles and to the adiabatic gas expansion in vacuum but also to the Coulomb interactions between the charged species. [7]

Fig.3 Ion energy distribution and fit for a Cu target at a laser energy of 160 mJ.

B. PLASMAS MICROWAVES-GENERATED

In the measurements performed with plasmas in equilibrium, we modified the position of the magnetic field with respect to the plasma chamber of VIS; in such a way, microwave injection takes place at different values of magnetic field. In figure 5 are shown. We use as reference B_{ECR} . X ray were detected particularly in position D ($B_{inj}/B_{ECR}=0.92$, 1 keV spectral temperature). When the injection approaches

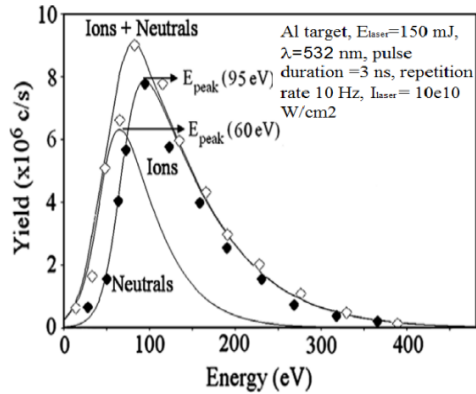


Fig.4 Deconvolution spectrum reporting the neutral energy distribution (line) obtained subtracting to the only ion spectrum (fill dots) the ion plus neutral spectrum (open dots) for Al ablation.

BECR, X rays tend to disappear and finally, at position A ($B_{inj}/B_{ECR}>1$), no X rays were detected. These results show that the production of high energy X rays ($T>1$ keV) takes place only in case of under-resonance discharge, that is the required condition to have UHR placed somewhere inside the plasma. Emittance measurements carried out in configuration A and in configuration D have shown a larger emittance in configuration D (0.207 π mm mrad) than in configuration A (only 0.125 π mm mrad). The emittance \mathcal{E} depends by the magnetic field at

extraction B_{ext} , the radius of extraction r , the ratio of ion mass in amu to charge state of the ion beam M/Q and the root square of ionic temperature [8,9].

$$\varepsilon = 0.016r \sqrt{\frac{kT_i}{M/Q}} + 0.032r^2 B_{ext} \frac{1}{M/Q} \quad (4)$$

In our magnetic configurations emittance only depends on $\sqrt{T_i}$. Ionic waves are absorbed by ions through Landau damping. If T_i are high we have a large emittance, therefore the more intense beam permitted by EBWs will be balanced and the brightness, that is the current intensity-emittance ratio, will not change and the ion source will not efficient. If T_i are low we have an high current intensity, due to high density possible with EBWs, a low emittance and therefore an high brightness: the ion source will be efficient. However if T_i are very high, in fact, value of 10 keV are possible due to the generation of vortex inside the plasma, we will get auto-accelerated ions, considering that in a common ion source ions have energy of eV or a fraction of eV [10].

Conclusions

The mass quadrupole analyser measures the mass-to-charge ratio (m/z) of the ions produced.

A mass quadrupole spectrometer allows to determine main plasma parameters as the plasma temperature (KT), density (n), fractional ionization ($f=n_i/n_t$), acceleration voltage (V_0) and electric field (E) [10]. EQP demonstrated high versatility to investigate on the amount and energy distribution of neutrals and allows to measure the plasma temperature starting directly from the neutral energy distribution. We will be performing measurements with the Mass Quadrupole Spectrometer Hiden EQP 300 to determine ions energy inside an equilibrium plasma in which a EBWs-heating mechanism occurs. In such a way we will compare ions energy obtained in non-equilibrium plasmas with that ones obtained in equilibrium plasmas to understand if EBW-heating mechanism allows to have an efficient ion source or high-energy autoaccelerated ions.

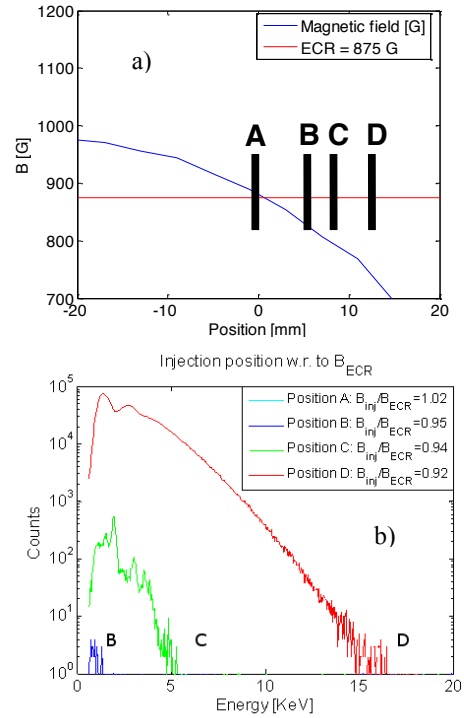


Fig. 5 Position of Microwave injection with respect to off-resonance, in configuration B, C and D the injection occurs under-resonance (a); X ray detected at different position of magnetic field (b).

References

- [1] E. De Hoffmann and V. Stroobant, Mass Spectrometry: Principles and Applications, 3rd ed. Wiley (2007). [2] Ira B. Bernstein., Phys. Rev., 109, (1958) 10;
- [2] Ira B. Bernstein., Phys. Rev., 109, (1958) 10;
- [3] K. S. Golovanivsky et al., Phys. Rev. E 52, (1995) 2969;
- [4] L. Torrisi et al., NIM B266 (2008) 308;
- [5] L. Torrisi. et al. Rad. Eff. and Def. in Solids, 161(1) (2006) 3-13.
- [6] F. Di Bartolo et al. Nucleonika (2011), submitted
- [7] L. Torrisi et al. , Appl. Surf. Sc., 252 (2006) 6383;
- [8] D. Mascali et al., NIM A, 653 (2011) 11;
- [9] G. Castro et al., ICIS '11, Rev. Sc. Instr., (2011), in press;
- [10] K. Nagaoka et al., Phys. Rev. Lett.89 (1992) 7.

FUSION REACTIONS IN COLLISIONS INDUCED BY LI ISOTOPES ON SN TARGETS

M. Fisichella^{a,b}, A. Di Pietro^b, A. Shotter^{c,d}, P. Figuera^b, M. Lattuada^{b,e}, C. Marchetta^b, A. Musumarra^{b,e}, M.G. Pellegriti^{b,e}, C. Ruiz^c, V. Scuderi^{b,e}, E. Strano^{b,e}, D. Torresi^{b,e}, M. Zadro^f

^aDipartimento di Fisica, Università di Messina, Messina, Italy

^bINFN- Laboratori Nazionali del Sud and sezione di Catania, Catania, Italy

^cTRIUMF, Vancouver, Canada

^dSchool of Physics and Astronomy, University of Edinburgh, Edinburgh, UK

^eDipartimento di Fisica ed Astronomia, Università di Catania, Catania, Italy

^fRuđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia

Abstract

For investigating the role of the Q-value for neutron reaction in fusion reaction induced by weakly bound nuclei, fusion reactions of lithium isotopes with a combination of different Sn isotopes have been proposed, by using an activation technique. ${}^6\text{Li}+{}^{120}\text{Sn}$ and ${}^7\text{Li}+{}^{119}\text{Sn}$ have been already performed. I will show here the result of the preliminary analysis of these two reactions.

Introduction

Recently more and more experimental evidences have been observed concerning the enhancement of the sub-barrier fusion cross section due to neutron transfer, both in reaction with stable nuclei [1,2] and especially in reaction with weakly bound nuclei[3]. In particular the enhancement seems to be related to sign of the Q-value for neutron transfer. A new mechanism has been proposed [4] for the sub-barrier fusion of weakly bound nuclei, in which an intermediate rearrangement of valence neutrons with positive Q-value may lead to a gain in kinetic energy of the colliding nuclei and, thus, to enhancement of the barrier penetrability and therefore of the fusion cross-section. To investigate the role played by the coupling to transfer channels having positive Q-value, we have proposed to study the fusion of lithium isotopes with a combination of different Sn isotopes. The systems which would like to study are ${}^6\text{Li}+{}^{120}\text{Sn}$, ${}^7\text{Li}+{}^{119}\text{Sn}$, ${}^8\text{Li}+{}^{118}\text{Sn}$ and ${}^9\text{Li}+{}^{117}\text{Sn}$. All these reactions lead to the same compound nucleus but are characterized by different Q-value for neutron transfer. The fusion cross section are measured by using an activation technique where the radioactive evaporation residues produced in the reaction are identified by the X-ray emission which follows their electron capture decay. The ${}^6\text{Li}+{}^{120}\text{Sn}$, ${}^7\text{Li}+{}^{119}\text{Sn}$ have been already performed at LNS, Catania. The ${}^8\text{Li}+{}^{118}\text{Sn}$, ${}^9\text{Li}+{}^{117}\text{Sn}$ will be performed at TRIUMF, Canada.

Experimental technique

As in our previous experiment [5,6], we proposed to measure the fusion excitation function by using an activation technique, based on the off-line measurement

of the atomic X-ray emission following the electron capture decay of the evaporation residues produced in the reactions.

The direct detection of E.R., produced in the collision of a low energy light projectile onto a medium target is not possible since the largest fraction of E.R. produced will not come out from the target owing to their low kinetic energy. But by choosing a suitable target, with the help of statistical model calculation, it is possible to obtain E.R. unstable against E.C. decay and so it is possible to identify the E.R. by looking at their X rays.

This technique consists of two steps: the activation of the target and the off-line X-ray measurement.

The activation step of the measure has been performed in the CT2000 scattering chamber at LNS with the ${}^6\text{Li}$ and ${}^7\text{Li}$ beams delivered by the SMP Tandem Van Graaff accelerator. A stack of four Sn targets followed by Nb catchers were irradiated with the Li beam. The catchers were needed in order to stop the residues emerging from the previous target and to slow down the beam, thus increasing the average difference in beam energy for the different targets. Possible reactions induced by the beam on the ${}^{93}\text{Nb}$ catchers do not represent a problem since the X-ray energies are different to the ones corresponding to reactions on ${}^{64}\text{Zn}$. By activating a stack of targets it is possible to extract the cross section at different energies without changing the beam energy thus reducing the beam time needed to perform an excitation function measurement with the very low intensity radioactive beams. This technique is for this reason very useful in the case of radioactive beam.

Two irradiation runs are being performed for each system:

1) A first stack was irradiated with 25 MeV ${}^{6,7}\text{Li}$ beam of about 10^{10} pps for about three hours.

2) A second stack was irradiated for about three days (to optimize the ${}^{124}\text{I}$ production at low energy) with 21 MeV ${}^{6,7}\text{Li}$ beam.

By using these stacks, a centre of mass energy range between $16 \text{ MeV} < E_{\text{c.m.}} < 24 \text{ MeV}$. To extract the production cross section it is necessary to measure the beam current as a function of time for the entire duration of the activation step. This operation has been performed using two Surface Barrier Silicon Detector collecting the particles scattered by a thin gold foil placed before the

stack on the beam line. Since the scattering is of Rutherford type, the beam intensity can be extracted by his well-known cross-section formula. With the two symmetrical monitors it is possible to reduce systematic errors due to mechanical misalignments. After the irradiation, the E.R. emitted from the different targets (together with the corresponding catcher) were measured off-line using Pb shielded large area Si(Li) detectors. Each measurement was repeated in order to measure the activity as a function of time. For determining the fusion cross section it is really important to know the intrinsic efficiency of the detector. We measured the efficiency of our detector using some calibrated sources, because in the energy range, in which we are interested in, the efficiency for these detector is strongly dependent from the energy.

PRELIMINARY RESULTS

Typical X-ray spectra measured off-line for the reaction ${}^6\text{Li}+{}^{120}\text{Sn}$ is shown in figure 1, where the peaks corresponding to K_α and K_β X-ray emission of Sb and I are shown. The K_β emission represents about 15% of the total k X-rays emission. In the present experiment, the analysis was performed only on the K_α lines.

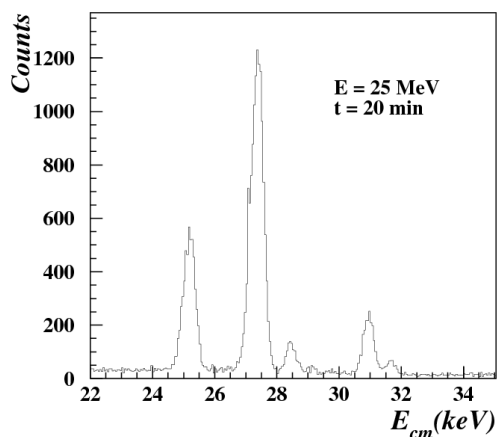


Figure 1 Typical X-ray spectra measured off-line for the reaction ${}^6\text{Li}+{}^{120}\text{Sn}$ at 25 MeV. It is possible to distinguish Sb and I peaks.

From the X-ray energies we can only identify different elements but not different isotopes. We can characterize the isotope by following the time behavior of the X-ray lines, characteristic of each element, and by fitting it using the known half-lives. Plotting these data on a semi-logarithm graph (that is $\ln A$ vs t) should give a straight line of slope $-\lambda$, the decay constant. In figure 2 a typical activation curve for the reaction ${}^6\text{Li}+{}^{120}\text{Sn}$ at 25 MeV is shown. It is possible to observe three different slope which characterize this curve. Each slope correspond to a different I isotope produced in the reactions. In particular one may observe the contribution of ${}^{123,124,125}\text{I}$.

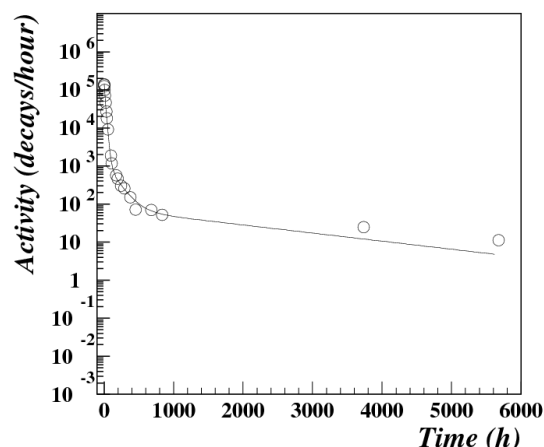


Figure 2 Activity curve for the I isotopes, obtained for the reaction ${}^6\text{Li}+{}^{120}\text{Sn}$ at 25 MeV.

By fitting the activation curves for each E.R. one obtains the $A_{0\text{exp}}$, that is its activity at the end of the irradiation time, which is another important quantity for the measurement of the fusion cross section.

Future perspectives

The fusion cross section is given by the following relation:

$$\sigma = \frac{A_{0\text{exp}}}{N_i N_t \lambda_0 K_\alpha \varepsilon_T} \quad (1)$$

where $A_{0\text{exp}}/\lambda_0$ represent the number of compound nuclei at the end of the irradiation time. As it was told before, $A_{0\text{exp}}$ is obtained from the fit of the activation curve (figure 2).

The term is then corrected for the fluorescence probability (K_α) and for the detector efficiency (ε_T), which is determined experimentally by using calibrated sources. N_t is the number of target atom per cm^2 and N_i is the incident beam current (i.e. the number of incident particles), which is determined by analyzing the Rutherford scattering data. The next step of my analysis will be just the determination of N_i , and then the measurement of the fusion cross section for the two reaction already performed. From the comparison of the fusion cross sections of all the systems it will be possible to investigate on the possible role of the Q-value for neutron transfer in the fusion reaction.

References

- [1] Trotta et al., Phys.Rev. C 65, 011601(2002);
- [2] Stefanini et al, Phys.Rev. C 74 034606 (2006);
- [3] Penionzhkevich et al., Phys. Rev. Lett. 96 162701(2006);
- [4] Zagrebaev et al., Phys. Rev. C 67 061601(R) (2003);
- [5] Di Pietro et al. Phys.Rev.C 69 (2004) 044613;
- [6] Di Pietro et al. Europhys.Lett. 64 (2003) 309.

PARTICLE CORRELATIONS AT INTERMEDIATE ENERGIES AND THE FARCOS PROJECT

T. Minniti^{1,2} and Farcos/Chimera collaboration

*1*Dipart. di Fisica, Università di Messina, v.le F. D'Alcontres 31, 98166 S. Agata, Messina, Italy.

*2*INFN-Gruppo collegato di Messina, Messina, Italy.

Corresponding Author: tminniti@unime.it

Keywords: Particle correlations, correlation functions.

Abstract

The study of correlations between two or more particles emitted during a nuclear reaction provides tools to explore the space-time properties of the reaction and spectroscopic features of produced exotic clusters [1]. Correlation imaging techniques are known to provide “space-time” snapshots of particle emitting sources [1]. These sources allow one to extract the size of emission regions in properties of nuclear matter produced during the reaction. Moreover, two-nucleon correlations probe the relative emission times of pre-equilibrium protons and neutrons that are strongly affected by the symmetry energy and its symmetry dependence [2]. Studies with particle correlators used in heavy-ion collision experiments conducted at MSU and at the LNS will be presented and discussed. Future improvements of these studies require a new array of telescopes with high angular and energy resolution coupled to a 4π detector necessary to perform better exclusive measurements. In order to address these topics a new project has been started at the INFN, Sezione di Catania and Laboratori Nazionali del Sud. The name of this project is FARCOS (Femtoscope ARray for CORrelations and Spectroscopy) and it consists of building an array of double-side silicon strip detectors and CsI(Tl) crystals characterized by high angular and energy resolution. Farcos will represent an important scientific upgrade of the physics studies with the Chimera detector at INFN. The array can be used as a correlator to be coupled to existing 4π detectors such as Chimera at LNS. Such as 4π device is necessary to characterize the collision events (determination of impact parameter, reaction plane, fragment yields and spectra) while Farcos is used in coincidence to measure correlation functions. The Farcos array will be characterized by a compact electronics and a geometric flexibility that will also allow it to be transported to different laboratories, depending of the beam/target combination to be studied, that to be adapted to different 4π detector environments (Chimera at the LNS, Indra at GANIL, etc.). These features and their impact in future programs of Farcos+Chimera experiments at the LNS of Catania will be described. These will involve experiments to study decay channels of unbound and exotic nuclei produced in both direct reactions with

radioactive beams and with heavy-ion collisions at the LNS of Catania [3,4]. In the second case, several unbound states are indeed produced during the dynamical evolution of heavy-ion collisions and one can study some spectroscopic properties such as their sequential decays proceeding through the production of sequences of unbound nuclei or cluster and nuclear molecular states [4].

Introduction

The study of correlations between particles emitted during a collision between two heavy ions provides information about the space-time properties and quantitative understanding of reaction dynamics. This in turn depends on the details of the nuclear interaction and the equation of state (EoS) of nuclear matter. The future radioactive beam facilities as well as the existing stable beam laboratories will allow studying these problems with higher sensitivity to the isospin degree of freedom thanks to the capability of accelerating highly N/Z asymmetric beams at intermediate energies. In this respect, detectors capable of detecting all reaction products on an event-by-event basis and measure their reciprocal correlations are mandatory [1,2]. Different observables need to be measured over a large solid angle coverage with high energy and angular resolution. The solid angle coverage guarantees a characterization of the collision event. The energy and angle resolution are important in order to measure the momentum vectors and kinetic energies of the detected particles and explore their correlations. Recent implementation of pulse-shape identification techniques promise to provide unique capabilities [3-5] that will allow studying nuclear dynamics even at low energies at facilities such as Spiral2 and Spes [6].

In this contribution we present the physics cases for the construction of a detector array meant to measure correlations between particles and fragments in coincidence with large solid angle arrays. The name of the project is Farcos, standing for Femtoscope ARray for Correlations and Spectroscopy. It is expected to address topics in “femtoscopia” via intensity interferometry and spectroscopy with radioactive beams.

Dynamics and two-particle correlations

Heavy-ion collisions allow one to explore the properties of nuclear matter under extreme conditions. A clear understanding of the dynamics of heavy-ion collisions is required. Particles are emitted at different stages that are difficult to isolate. It is therefore important to disentangle particle and fragment emitting sources. Where and when are fragments produced? Understanding dynamics in heavy-ion collisions requires tracing-back particle and fragment emitting sources. Such challenge can be accomplished by using two-particle correlation function known to be sensitive to the space-time features of nuclear reaction mechanisms [7]. The shape of correlation functions probe important transport properties of nuclear matter and the density dependence of symmetry energy in the equation of state.

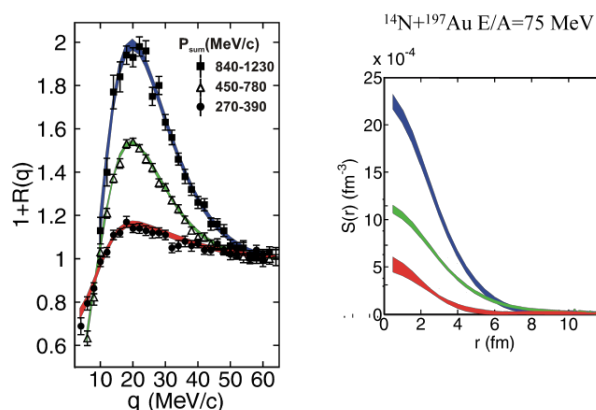


Figure 1. Left panel: Two-proton correlation functions measured in Ne+Au collisions at $E/A=75$ MeV. See Ref. [8] for details. Right panel: emitting source functions extracted by imaging.

Two-proton correlation functions, $1+R(q)$, is defined as the ratio between the two-proton coincidence and uncorrelated spectra, $Y_{\text{coin}}(q)$ and $Y_{\text{unco}}(q)$, respectively. q is the relative momentum between two protons in Y_{coin} and Y_{unco} spectra. Uncorrelated proton pairs are usually constructed by coupling protons from different events. Fig. 1 shows such a correlation function in the case of N+Au collisions at $E/A=75$ MeV [8]. The peak at $q=20$ MeV/c is due to the nuclear interaction between the two protons and determines the spatial extent of the emitting source, $S(r)$, defined as the probability of emitting two protons with a relative distance r recorded at the time when the second proton is emitted. Imaging techniques [8 and Refs. therein] have been successfully used to extract the emitting source function from the measured correlation function. This images represent

sort of “space-time pictures” of the emission [7-9]. The right panel of Fig. 1 shows the source functions, $S(r)$, extracted from the correlations represented on the left panel. The source function not only provides information about the size/volume of the emitting source, but also allows us to estimate the relative contributions between fast dynamical pre-equilibrium sources and slowly evaporating sources characterizing the later thermalized stages of the reaction [8]. This sensitivity of $R(q)$ to the space-time features of the reaction becomes very useful as tool to explore transport properties of nuclear matter. Indeed microscopic transport models have shown sensitivity to the nucleon-nucleon (NN) collision cross section in the nuclear medium [9] and to the density dependence of the symmetry energy [10]. Such research program requires also the difficult task of measuring p-p, n-p and n-n correlation functions in the same experiment [10]. Coupling charged particle and neutron detectors is also a priority in this respect.

Extending these measurements to fragment-fragment correlation functions allows one to extract space-time information about the stage of heavy-ion collisions when nuclear matter at low density breaks-up into complex fragments possibly indicating the occurrence of a phase-transition [11] and carrying important signatures of the effects of the symmetry energy and its density dependence. The possibility of measuring fragment correlation functions is further enriched by the introduction of powerful pulse-shape capabilities that would allow identifying fragments at low kinetic energies [3,4]. These fragments can be identified only by a detailed study of the shape of the signal induced by their passage through the detector [2-4]. Another important application of intensity interferometry is represented by the study of correlations between unlike light particles, such as proton-alpha, deuteron-alpha, deuteron- ^3He , etc. [7]. An extended study of all these correlation functions would allow a reconstruction of several emitting sources in the same reaction. These light particle correlations are usually characterized by the presence of several resonances and a precise measurement of their position and shape is mandatory in order to probe their emitting sources. High angular resolution is thus a key feature of an array meant to perform correlation measurements between light particles.

Correlation functions as a spectroscopic tool

During the dynamical evolution of the system several loosely bound nuclear species are produced for a very short time and decay. Their unstable states can be identified and explored by detecting all the products of their decay in coincidence. A typical example of this type of analyses has been shown in Ref. [12] where p- ^7Be correlation functions were measured in order to study unbound states in ^8B nuclei and probe their spins

[12]. In a more recent experiment, three- and four-particle correlation functions have been used to study highly lying unbound states in ^{12}C and ^{10}C nuclei [13]. Three-alpha particle correlation functions can be used to study the decay of internal states in ^{12}C . While two-alpha-two-proton correlation functions probe ^{10}C decay. In the case of ^{12}C these correlation studies allow one to disentangle the direct decay into three alpha particles from the sequential decay into ^8Be +alpha with a subsequent decay of ^8Be into two alphas. In the case of ^{10}C studies one can identify the decay sequence of unbound states that produce intermediate states in ^6Be , ^8Be and ^9B [13]. The techniques reported on Ref. [13] show that one single heavy-ion collision can provide access to some spectroscopic information of exotic unbound states. The availability of very proton-rich beams at the future exotic beam facilities can enhance the possibility of producing even more exotic resonances and study their decay properties.

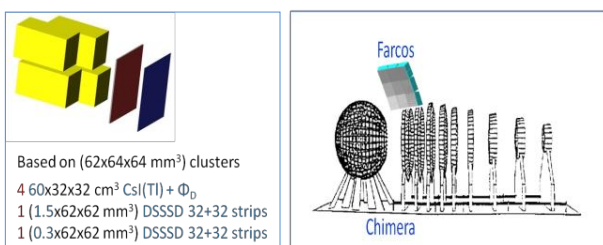


Figure 2. Left panel: Schematic view of the expected design of Farcos telescopes. Right panel: Coupling of the Farcos array to the Chimera detector at the LNS of Catania.

Required array features

Based on the physics cases outlined above, we plan to build an array of silicon strip and CsI(Tl) telescopes to be coupled to large detector arrays such as Chimera@LNS-Catania. A minimum of about 15 telescopes is required in order to address a number of physics cases as outlined above. However a larger solid angle coverage would significantly increase the scientific reach of the project. The array will have a large geometric flexibility. Silicon strip detectors with thicknesses of 300 and 1500 μm ($6.4 \times 6.4 \text{ cm}^2$) will be followed by 6 cm –long CsI(Tl) crystals arranged in a

square configuration 2×2 (each crystal will have a front face of $3.2 \times 3.2 \text{ cm}^2$). This array will provide an angular resolution up to about 0.1° at a distance of 1 m from the target. The left-end side of Fig. 2 shows a schematic view of the basic telescope. The geometry flexibility of the telescopes is expected to allow the use of an additional silicon strip detector aimed at lowering the identification threshold. Low thresholds will also be attained with pulse-shaping techniques [3-5]. Silicon nTD solutions are also under consideration to improve pulse-shaping capabilities. The required electronics will need to address the goal of obtaining high resolution, high dynamic ranges and high flexibility (programmability) in order to identify light and heavy fragments. Due to the large number of channels that will be employed in the array, an integrated electronics solution will be required. The right-end side of Fig. 2 shows a possible arrangement of the array inside the Chimera reaction chamber at the LNS of Catania. The use of the array in studying correlations between charged particles and neutrons is also envisioned and will require a specific study on the materials required in order to couple Farcos telescopes to neutron counters.

The high flexibility of the array will certainly allow further applications at the future radioactive beam facilities, especially when studying reactions induced by proton-rich beams. These beams will allow studying correlations between charged particles emitted by short-lived exotic nuclei abundantly produced close to the proton-drip line (two- and multi-proton emitters, etc.). Also, studying direct reactions induced by radioactive beams, such as (p,d), (d,p) etc. reactions, will be possible due to the envisioned high energy and angular resolution and to the geometric flexibility [14].

References

1. J. Pouthas et al., Nucl. Instr. and Meth. A 357 (1995) 418;
2. A. Pagano et al., Nucl. Phys. A681 (2001) 331c;
3. A. Alderighi et al., IEEE Trans. on Nucl. Sci. 52, (2005) 1624;
4. L. Bardelli et al., Nucl. Instr. Meth. A 605 (2009) 353;
5. L. S. Barlini et al., Nucl. Instr. Meth. A 600 (2009) 644;
6. <http://www.ganil-spiral2.eu>; <http://www.lnl.infn.it/~spesweb>;
7. G. Verde et al., Eur. Phys. J. A 30 (2006) 81;
8. G. Verde et al., Phys. Rev. C 65, 054609 (2002);
9. G. Verde et al., Phys. Rev. C 67, 034606 (2003);
10. L.W. Chen et al., Phys. Rev. Lett. 90, 162701 (2003);
11. L. Beaulieu et al., Phys. Rev. Lett. 84, 5791 (2000);
12. W.P. Tan et al., Phys. Rev. C 69, 061304 (2004);
13. F. Grenier et al., Nucl. Phys. A 811, 233 (2008);
14. E. Pollacco et al., Eur. Phys. J. A 25, s01, 287–288 (2005).

INVESTIGATION ON PSEUDOSCALAR MESON PHOTOPRODUCTION BY ELECTROMAGNETIC PROBE

M. Romaniuk^{a,b,c,*}, V. De Leo^{a,b}, F. Curciarello^{a,b}, G. Mandaglio^{a,b}, G. Giardina^{a,b}

a) Dipartimento di Fisica, Università di Messina, I-98166, Messina, Italy

b) INFN- Sezione Catania, I-95123, Catania, Italy

c) Institute for nuclear Research, National Academy of Science of Ukraine, Kiev, 03680, Ukraine

* e-mail: mromaniuk@unime.it

Abstract

The Dalitz decay, second most common decay mode of $\pi^0 \rightarrow \gamma + e^+ + e^-$, with probability 0.01198, was studied. Dalitz and double Dalitz decays are of interest because they can be exploited to perform a measurement of the electromagnetic form factor of the decaying meson. Such mode of pions decay is a prominent quantity in many sub-fields of particle physics, such as chiral perturbation theory and for g-2 physics. Performed analysis of the GRAAL data and prospective for BGO-OD for interested channel.

Introduction

The studding of the nucleon structure is one of primary interests in the strong interaction physics and has been the subject of experimental and theoretical studies for several decades. To describe strong interactions we are using Quantum Chromo Dynamics (QCD) – the formal theory of the colour interactions between quarks. In the high energy regime ($\alpha_s \ll 1$) common tool to perform investigation at QCD is perturbative approach. In low energy regime (where $\alpha_s \approx 1$), which is typical of the nucleon and its resonances, it is not possible to use perturbative approach. Using different effective degrees of freedom of the nucleon one could obtain different nucleon resonance spectra. But up to now exist an open problem with missing resonances: not all predicted states was observed. The dominant decay channel for nucleon resonances is the strong decay with single or multi meson emission.

The excited states have strong overlapping between the excitation curves of resonances whose masses can differ of tens of MeV. Tools for the study of nucleon resonances is πN experiments by electro-magnetic probe. The availability of high intensity and high duty cycle electron and photon facilities open new possibilities for the study of baryon resonances using electromagnetic probes. These provide information on the resonances and nucleon wavefunctions through the measurement of the helicity amplitudes, i.e. the electromagnetic couplings between nucleon ground state and initial states. In addition electroproduction also allows us to explore baryon structure for different

distance scales by varying the photon virtuality. Nowadays electro-excitation processes are a fundamental tool to pursue these studies.

Meson Photoproduction

Experimentally, the density of states of the baryon resonances in the mass region above 1.8 GeV is much

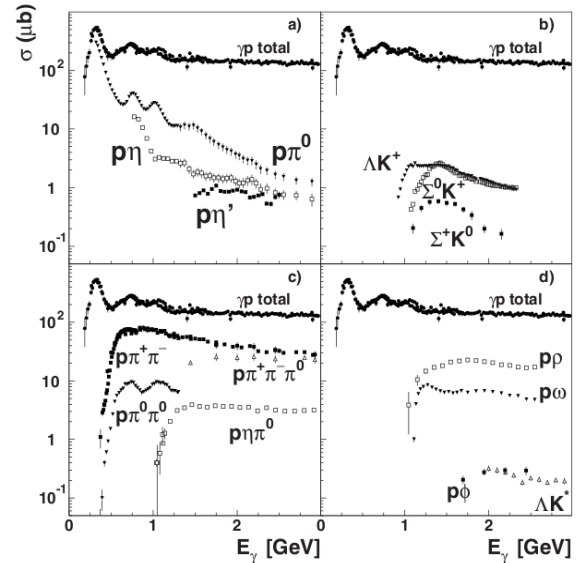


Figure 1: Total photoabsorption cross section and exclusive cross sections for single-meson and multimeson production. (a) Total, $p\pi^0$, $p\eta$, $p\eta'$; (b) total, ΛK^+ , $\Sigma^0 K^+$, $\Sigma^+ K^0$; (c) $p\rho, p\omega$, $p\phi$, ΛK^{*+} , $\Sigma^+ K^{*0}$, $\Sigma^0 K^{*+}$; (d) $p\pi^+\pi^-$, $p\pi^0\pi^0$, $p\pi^0\eta$, $p\pi^+\pi^0$, pK^+K^- .

smaller than expected. A reason might be [1, 2] that these missing resonances decouple from the πN channel.

Then they escape detection in πN elastic scattering. These resonances are expected to have no anomalously low helicity amplitudes; then they must show up in photo-production of multiparticle final states.

From the electroproduction of baryon resonances helicity amplitudes, form factors, and generalized polarizabilities (inaccessible to πN scattering) can be

extracted. Intense experimental and theoretical efforts have been devoted to determinations of the E2/M1 (electric quadrupole versus magnetic dipole) and C2/M1 (longitudinal electric quadrupole versus magnetic dipole) ratio for the $N \rightarrow \Delta(1232)$ transition amplitude. The total photoabsorption cross section shown in Fig. 1 exhibits a large peak ($\approx 500 \mu\text{b}$) due to $\Delta(1232)$ production, shows some structures in the second and third resonance regions, and levels off at about $150 \mu\text{b}$ at a few GeV [3].

Polarization observables

The differential cross section for electroproduction of pseudoscalar mesons off nucleons is given by the product of the flux of the virtual photon field—with longitudinal (L) and transverse (T) polarization—and the virtual differential cross section, which depends on six response functions ($R_i = R_T, R_L, R_{TL}, R_{TT}, R_{TL'}, R_{TT'}$). The response functions depend on two additional indices characterizing the target polarization and the recoil polarization of the final-state baryon.

Thanks to polarization observables it is possible to separate overlapping resonances.

The Gerasimov-Drell-Hearn sum rule

The photoproduction cross section depends on the helicity of proton and photon. The Gerasimov-Drell-Hearn (GDH) relates the integral over the helicity asymmetry of the total absorption cross section for circularly polarised photons on a longitudinally polarised nucleon target to the nucleon anomalous magnetic moment k , the spin S and the mass M :

$$I_{GDH} = \int_{\nu_{th}}^{\infty} \frac{\sigma_p - \sigma_a}{\nu} d\nu = 4\pi^2 k^2 \frac{e^2}{M^2} S \quad (1)$$

where σ_p and σ_a are the total absorption cross sections for parallel and antiparallel relative spin configurations respectively, and the cross section is weighted by the inverse of the photon energy ν [4,5]. The lower limit of the integral, ν_{th} , corresponds to the inelastic threshold of the reaction which, in the case of the nucleons, is the pion photoproduction threshold. Measurements of the helicity difference on exclusive final states provide an important input to partial-wave analyses.

Dalitz decay

Dalitz decay, $\pi^0 \rightarrow e^+e^-\gamma$, is the second most important decay channel of the neutral pion with a branching ratio of $(1.198 \pm 0.032)\%$, while the dominant decay mode, $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$, has a branching ratio of $(98.798 \pm 0.032)\%$. The interest of the Dalitz decay lies in the

fact that it provides information on the semi off-shell $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma^*$ transition form factor $F_{\pi^0\gamma\gamma^*}$ in the time-like region, and more specifically on its slope parameter a_π .

The muon $g-2$ is one of the most precisely measured and theoretically best investigated quantities in particle physics. Our interest in very high precision measurements is motivated by eagerness to exploit the limits of our present understanding of nature and to find effects which cannot be explained by the established theory. More than 30 years after its invention this is still the SM of elementary particle interactions, a $SU(3)_c \otimes SU(2)_L \otimes U(1)_Y$ gauge theory broken to $SU(3)_c \otimes U(1)_{em}$ by the Higgs mechanism, which requires a not yet discovered Higgs particle to exist.

As important as charge, spin, mass and lifetime, are the magnetic and electric dipole moments which are typical for spinning particles like the leptons. Both electrical and magnetic properties have their origin in the electrical charges and their currents. Magnetic monopoles are not necessary to obtain magnetic moments. On the classical level, an orbiting particle with electric charge e and mass m exhibits a magnetic dipole moment given by

$$\vec{\mu}_L = \frac{e}{2m} \vec{L} \quad (2)$$

where $\vec{L} = m\vec{r} \times \vec{v}$ is the orbital angular momentum. An electrical dipole moment can exist due to relative displacements of the centers of positive and negative electrical charge distributions. For a particle with spin the magnetic moment is intrinsic and obtained by replacing the the angular momentum operator \vec{L} by the spin operator

$$\vec{S} = \frac{\vec{\sigma}}{2} \quad (3)$$

where $\vec{\sigma}$ is the Pauli spin matrices. Thus, generalizing the classical form (2) of the orbital magnetic moment, one writes

$$\vec{\mu}_m = gQ\mu_0 \frac{\vec{\sigma}}{2} \quad (4)$$

where $\mu_0 = \frac{e}{2m}$, Q is the electrical charge in units of e , $Q=-1$ for the leptons ($l = e, \mu, \tau$), $Q=+1$ for the antileptons and m is the mass. The equations define the gyromagnetic ratio g (g -factor) quantity exhibiting important dynamical information about the leptons.

The deviation from the Dirac value $g/2=1$, obtained at the classical level, is anomalous magnetic moment:

$$a_l \equiv \frac{g_l - 2}{2} \quad (5)$$

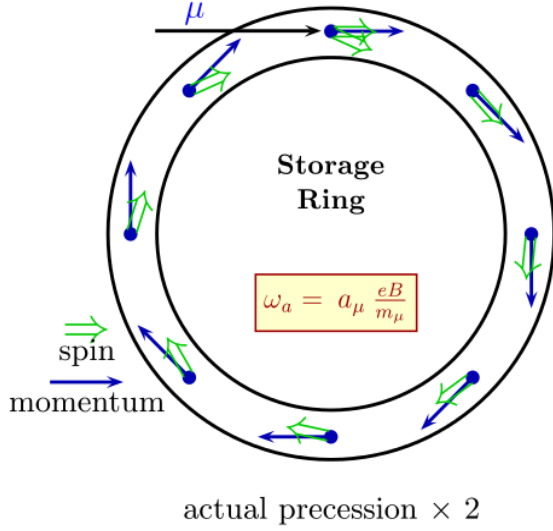


Figure 2. Spin precession in the $g-2$ ring ($\sim 12^\circ/\text{circle}$).

The measurement of a_μ is illustrated in Fig. 2 [6]. When polarized muons travel on a circular orbit in a constant magnetic field, then a_μ is responsible for the Larmor precession of the direction of the spin of the muon, characterized by the angular frequency

$$\omega_a = a_\mu \frac{eB}{m_\mu} \quad (6)$$

From comparison standard model theory and experiment one could obtain:

$$a_\mu^{\text{exp}} - a_\mu^{\text{th}} = 27.6 \pm 8.1 \cdot 10^{10} \approx 3.4\sigma \quad (7)$$

Is there “new physics”?

The various components of the $g-2$ is QED, weak contribution, hadronic vacuum polarization and hadronic light by light. The most problematic set of hadronic corrections is that related to hadronic light-by-light scattering. Such contributions can be dramatically enhanced and thus represent an important contribution which has to be evaluated carefully. The problem is that even for real-photon light-by-light scattering, perturbation theory is far from being able to

describe reality, showing sharp spikes of π^0 , η and η' production, while pQCD predicts a smooth continuum.

Experimental set-up

The new experimental setup of the recently established BGOOD collaboration consists of the combination of an open-dipole forward spectrometer and the BGO ball of the former GRAAL collaboration to cover the central angular region. This configuration is ideally suited to investigate the photoproduction of multi-particle final states with mixed charges. In addition it will allow nucleon polarization measurements in single-meson photoproduction. Due to the excellent forward acceptance it opens the possibility to investigate vector-meson production in order to understand the reaction mechanism and the role of resonances.

The BGOOD collaboration presently includes individuals and groups from Germany (Bonn), Italy (Rome, Frascati, Pavia, Messina), Russia (Gatchina, Moscow), UK (Edinburgh, Glasgow) and Ukraine (Kharkov), and is open for further extension.

The experimental set-up consists of a large 90 ton dipole magnet, tracing detectors, two scintillating fiber detectors, MOMO and SciFi2 (to allow for momentum reconstruction of charged particles bent through the magnetic field), an aerogel Cherenkov detector (discriminates pions against protons and particularly improves the K^\pm -identification substantially), a time-of-flight (TOF) detector (provides flight-time measurements for charged particles and neutrons), the BGO Ball hermetically encloses the target (polar angular range 25- 155 degrees). The BGO ($Bi_4Ge_3O_{12}$) Ball is made of 480 truncated pyramidal crystals, mechanical structure consists 24 carbon fibre baskets (each containing 20 crystals) and external steel support. The baskets keeps crystals separated, mechanically and optically. The photomultiplier tubes (readout of the crystals) coupled directly to the crystals. By this way obtains an excellent energy resolution also at low energies.

The target cell is a 4 cm diameter aluminum cylinder, closed by thin mylar windows at the two sides, filled by liquid Hydrogen (H_2) or Deuterium (D_2). The target placed along the photon beam direction and surrounded by BGO Ball hermetically. The hydrogen/deuterium gas is cooled down by the helium using heat exchangers and liquefied inside the cell. The working temperature of the liquid Hydrogen or Deuterium is about 17 K and 22 K respectively.

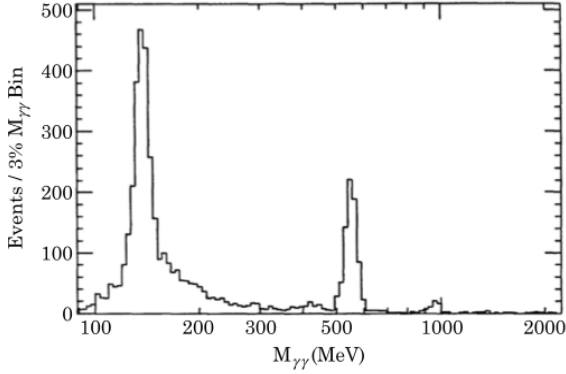


Figure 3. The invariant $\gamma\gamma$ mass spectrum obtained with the Crystal Ball detector.

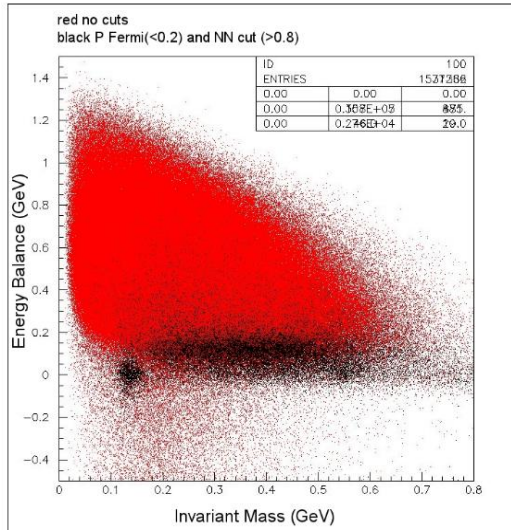


Figure 4. Energy balance (all quantity was directly measured) and invariant mass in the final state: no cut (red), a cut on Fermi momentum of Spectator in Deuteron Target lower than 0.2 GeV/c and on Neural Network variable higher than 0.8 were applied (black).

We are interesting in the channel with pseudoscalar meson $\gamma p \rightarrow PS p'$, wich decay to $PS \rightarrow \gamma\gamma^* \rightarrow \gamma e^+ e^-$ or $PS \rightarrow \gamma\gamma^* \rightarrow e^+ e^- e^+ e^-$. Where pseudoscalar meson (π^0 , η and η') as much as possible near threshold. Our goal is to identify (PS) thanks to the missing mass of the system ($\gamma p - p'$) and then study the PS decay product (Fig.3).

Recent relevant results of our analysis

By analysing the experimental data of Graal experiment we identify the invariant mass of π^0 and η from Dalitz decay $\gamma e^+ e^-$. About η' : it is not possible to measure with enough statistics because at Graal the energy E_γ is up to 1.5 GeV, only 50 MeV over the threshold of η' production. By looking the invariant mass obtained without any cuts application, the meson reconstruction by two charged particle and one neutral particle in the BGO is strongly dominate by $\pi^+ \pi^- \pi^0$ or similar multiple pion channels (Fig.4).

Finally by applying our cuts, we was able to measure and distinguish the π^0 and η events, see the reconstructed invariant mass in Fig.5. The statistics available at Graal is not enough to extract the observables presented in this measurement, but this work result very promising at BGO-OD for the higher intensity of the beam and the larger solid angle of detection available in the new experiment.

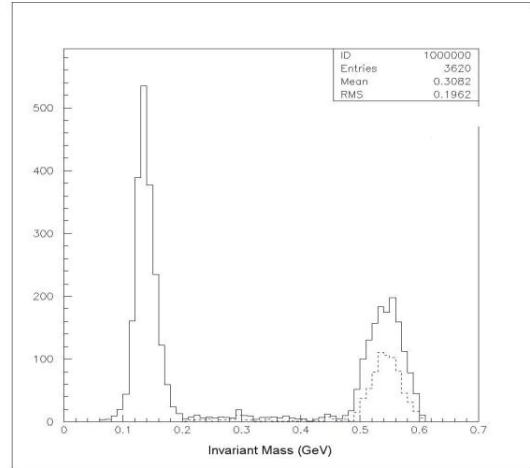


Figure 5. Reconstructed invariant mass of π^0 and η .

References

- [1] Koniuk, R., and N. Isgur, Phys. Rev. D 21 (1980) 1868;
- [2] Koniuk, R., and N. Isgur, Phys. Rev. Lett. 44 (1980) 845;
- [3] Klempt E. and Richard J.-M.: Baryon spectroscopy, Rev. Mod. Phys., Vol. 82 (2010) No. 2, 1-59;
- [4] Gerasimov S. B., 1966, Sov. J. Nucl. Phys. 2, 430, Yad. Fiz. (1966) 2, 598;
- [5] Drell, S. D., and A. C. Hearn, Phys. Rev. Lett. (1966) 16, 908;
- [6] F. Jegerlehner, A. Nyffeler, Physics Reports 477 (2009) 1–110.

STUDY OF NUCLEAR EQUATIONS OF STATE: THE ASY-EOS EXPERIMENT AT GSI

S. Santoro^{a,b} for ASY-EOS collaboration

a) Dottorato in Fisica dell'Università di Messina, Dip.to di Fisica, V.le F.S. D'Alcontres, 98166 S. Agata-Messina, Italy

b) INFN-Gruppo Collegato di Messina, Messina, Italy

The study of the symmetry energy at nuclear densities up to few times over the saturation value ($\sim 0.15 \text{ fm}^{-3}$) constitutes an important task to improve knowledge for the physics of heavy ion collisions (with stable and radioactive beams) and astrophysics due to the strict link with neutron stars studies. The AsyEos collaboration has proposed an experiment at GSI (S394) in order to study the nuclear collisions $^{197}\text{Au} + ^{197}\text{Au}$, $^{96}\text{Ru} + ^{96}\text{Ru}$ and $^{96}\text{Zr} + ^{96}\text{Zr}$ at 400 MeV/nucleon incident energy with the SIS accelerator. In this experiment the Land neutron detector, the Aladin ToFWall, the forward part of the Chimera device and the Si-CsI Krakow array have been used with the goal to study the neutron and protons elliptic flows in an optimized experimental conditions and with improved statistics respect to the previous Fopi experiments devoted to measure the observables that we want to study. The reaction Au+Au has been successfully performed in May 2011. We will present, after a brief summary of the main motivations of the experiment, the first results relative to the response of various devices used. In particular the preliminary results of the charge high identification obtained by means fast-slow technique in the Chimera CsI detectors will be shown.

Introduction

A key question in modern nuclear physics is the knowledge of the nuclear Equation Of State (EOS) and, in particular, of its dependence on density and on asymmetry, i.e., on the relative neutron-to-proton abundance [1, 2, 3, 4]. The EOS can be divided into a symmetric term (i.e., independent from the isospin asymmetry $I = \frac{N-Z}{N+Z}$, where N and Z are the numbers of neutrons and protons, respectively) and an asymmetric term (also known as the symmetry energy) that is proportional to the square of the isospin asymmetry I [3,4,5]. Measurements of isoscalar collective vibrations, collective flow and kaon production [1,6,7] in energetic nucleus-nucleus collisions have constrained the behaviour of the equation of state of isospin symmetric matter for densities up to five times the saturation density ρ_0 . On the other side, the EOS of asymmetric matter is still subject to large uncertainties. Besides the astrophysical

interest, e.g. neutron star physics and supernovae collapse [8,9], the density dependence of the symmetry term is of fundamental importance for nuclear physics. The thickness of the neutron skin of heavy nuclei reflects the differential pressure exerted on the core [10] and the strength of the three-body forces, an important ingredient in nuclear structure calculations [11], represents one of the major uncertainties in modeling the equation of state at high density [1,12]. Moreover, properties of exotic nuclei, i.e., nuclei far away from stability valley, and the dynamics of nuclear reactions rely on the density dependence of the symmetry energy [3,4]. In the last decade, measurements of the Giant Monopole [13], Giant Dipole [14] and Pygmy Dipole [15] resonances in neutron-rich nuclei, isospin diffusion [16,17], neutron and proton emissions [18], fragment isotopic ratios [17,19,20] and isospin dependence of competition between deep-inelastic and incomplete fusion reactions [21] have provided initial constraints on the density dependence of the symmetry energy around and below saturation density ρ_0 . It results that the best description of experimental data is obtained with a symmetry energy $S(u) = C_{\text{kin}}^{\text{sym}}(u)^{2/3} + C_{\text{pot}}^{\text{sym}}(u)^\gamma$ with γ in the range 0.6-1.1 [17] ($u = \rho / \rho_0$ is the reduced nuclear density). In the near future, extensions of these measurements with both stable and rare-isotope beams will provide further stringent constraints at sub-saturation densities. In contrast, up to now, very few experimental constraints exist on the symmetry energy at supra-saturation densities ($u > 1$). This is the domain with the greatest theoretical uncertainty and the largest interest for neutron stars. The behaviour of the symmetry energy at supra-saturation densities can only be explored in terrestrial laboratories by using relativistic heavy-ion collisions of isospin asymmetric nuclei. Reaction simulations propose several potentially useful observable which should be sensitive to the behavior of the symmetry energy at supra-saturation densities, such as neutron and proton flows (direct and elliptic) [4,22,23], neutron/proton ratio [4,17,24, 25], π^- / π^+ ratio and flows [4,22,26], K^+ / K^0 [27] and Σ^- / Σ^+ [26] ratios.

To this day the problem is still open. Few works have provided constraints on symmetry energy behaviour at supra-saturation densities. The double ratio

$(K^+/K^0)_{\text{Ru}}/(K^+/K^0)_{\text{Zr}}$ was measured in $^{96}\text{Ru} + ^{96}\text{Ru}$ and $^{96}\text{Zr} + ^{96}\text{Zr}$ collisions at 1528 MeV/nucleon using the FOPI detector at GSI [28]; the experimental results show good agreement with the prediction of a thermal model in the case of the assumption of a soft symmetry energy for infinite nuclear matter. More realistic simulations in the frame of transport theory, for finite nuclear matter, show a similar good agreement with the data, but also exhibit a quite insensitivity to the symmetry term. However, it has recently been pointed out that more experimental and theoretical work are needed to establish the effectiveness of the K^+/K^0 ratio in probing the symmetry energy [4]. The single ratio π^-/π^+ was measured in $^{197}\text{Au} + ^{197}\text{Au}$ [29] and analyzed using the hadronic transport model IBUU04 [30]. The results suggest that the symmetry energy is rather soft at supra-saturation densities; this finding, symmetry energy reaches its maximum at a density between ρ_0 and $2\rho_0$ and then starts decreasing at higher densities, is not consistent with the density dependence deduced from fragmentation experiments probing nuclear matter near or below saturation density [17] and with the slightly softer density dependence resulting from the analysis of the pygmy dipole resonance in heavy nuclei [15]. Moreover, other theoretical works [31] suggest a reduced sensitivity of π^-/π^+ ratio to the symmetry energy. Recently, the same set of FOPI data has been analyzed in the framework of the IMproved Isospin dependent Quantum Molecular Dynamics (Im-IQMD) [32]; it results a very stiff symmetry energy of the potential term proportional to u^γ with $\gamma \cong 2$, just the opposite of [30] results.

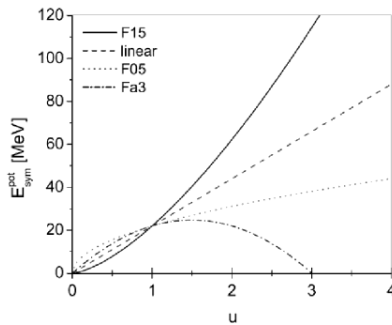


Fig. 1. - Asy-Stiff (F15) and Asy-Soft (F05) parameterizations of symmetry potential energy of nucleons as a function of the reduced nuclear density u , as used in UrQMD calculations; from ref. [36]

It follows that also for the π^-/π^+ ratio further work is needed to establish the effectiveness in probing the symmetry energy. In-medium absorption and re-

emission of pions can distort the asymptotic experimental signal and it is not clear which density of matter is explored by the pions signal. The analysis of another set of FOPI data is described in the third section of this paper.

Neutron and proton elliptic flows

One of the most promising probe of the symmetry energy strength at supra-saturation densities is the difference of the neutron and proton (or hydrogen) elliptic flows [33,34,35]. This has emerged mainly from calculations based on the Ultra-Relativistic Quantum Molecular Dynamics model (UrQMD) [37]. We report here some results obtained using UrQMD for the $^{197}\text{Au} + ^{197}\text{Au}$ collision at 400 MeV/nucleon. The calculations have been performed using both Asy-Stiff ($\gamma = 1.5$) and Asy-Soft ($\gamma = 0.5$) potential symmetry energies, indicated as F15 and F05, respectively, in Fig. 1. A realistic description of the clustering processes during the evolution of the reaction is crucial for predicting dynamical properties of free neutrons, protons and light charged particles. In the UrQMD, the clustering algorithm is based on the evaluation of the proximity of nucleons in the phase space by using two parameters: the relative nucleon coordinates (Δr) and the relative momenta (Δp). The results presented here have been obtained using the cluster distributions built after a reaction time of 150 fm/c. The proximity parameters were: $\Delta r = 3.0$ fm and $\Delta p = 275$ MeV/c which are typical for QMD models [38]. As an example of the clusterization procedure, the charge distribution obtained for central collisions of Au+Au is shown in Fig. 2 in comparison with the data of Reisdorf et al. [39]. With a normalization at $Z = 1$, the overall dependence on Z is rather well reproduced but the yields of $Z = 2$ particles are under predicted by about a factor 3. The strong binding of ^4He particles is beyond the phase-space clustering criterion used in the model. However, also the 4π integrated yields of deuterons and tritons in central collisions are underestimated by similar factors of 2 to 3.

The UrQMD predictions for the elliptic flow of neutrons, protons, and hydrogen as a function of rapidity in laboratory reference system Y_{lab} for mid-peripheral collisions (impact parameter $5.5 < b < 7.5$ fm) and for the two choices of the density dependence of the symmetry energy, are shown in Fig. 3. We remind here that direct v_1 and elliptic v_2 flows are obtained by the azimuthal particle distributions with the usual Fourier expansion:

$$f(\Delta\phi) \propto 1 + 2v_1 \cos(\Delta\phi) + 2v_2 \cos(2\Delta\phi) \quad (1)$$

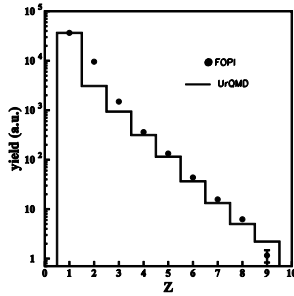


Fig. 2. - Fragment yields, integrated over the 4π solid angle, in central (equivalent to impact parameter $b < 2.0$ fm) collisions of $^{197}\text{Au} + ^{197}\text{Au}$ at 400 MeV/nucleon as a function of Z (dots, from Ref. [29]) in comparison with UrQMD predictions normalized at $Z=1$ (histogram); adapted from Ref. [40].

with $\Delta\phi$ representing the azimuthal angle of the emitted particle with respect to the reaction plane [41]. The dominant difference is the significantly larger neutron squeeze-out in the Asy-Stiff case (upper panel) compared to the Asy-Soft case (lower panel). The proton and hydrogen flows respond only weakly, and in opposite direction, to the variation of ν within the interval of interest. Another interesting observable is the ratio of neutron and proton yields as a function of the transverse momentum pt (i.e. the component of momentum perpendicular to the beam direction).

ASY-EOS experiment at GSI

The experiment S394, "Constraining the Symmetry Energy at Supra- Saturation Densities With Measurements of Neutron and Proton Elliptic Flows", was devoted to measurements of neutron and proton elliptic flows in isospin asymmetric systems $^{197}\text{Au} + ^{197}\text{Au}$, $^{96}\text{Ru} + ^{96}\text{Ru}$ and $^{96}\text{Zr} + ^{96}\text{Zr}$ at 400 MeV/nucleon. Simultaneous measurements of neutron-proton yield ratio, flow and isotopic ratio for light fragments was performed; all these measurements could allow to compare the symmetry energy as extracted by using several different nucleon-based observable. The $\text{Au}+\text{Au}$ system is heavy and neutron-rich. Simulations with UrQMD predict large sensitivity of the symmetry energy on the neutron-proton observable for this system. Using $\text{Ru}+\text{Ru}$ and $\text{Zr}+\text{Zr}$ systems could allow us to compare neutron-rich and neutron-deficient systems; the ^{96}Ru and ^{96}Zr combination is unique among available stable isotopes in that it is mass symmetric and isobaric. The measurement with these systems are very important in order to reduce systematic errors. Besides, the collected data could provide important information to pin up effects related

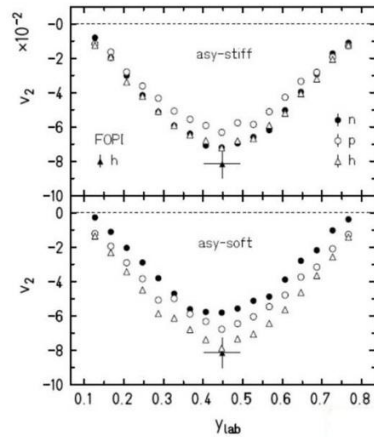


Fig. 3. - Elliptic flow parameter v_2 for mid-peripheral (impact parameter $5.5 < b < 7.5$ fm) $^{197}\text{Au} + ^{197}\text{Au}$ collisions at 400 MeV/nucleon as calculated with the UrQMD model for neutrons (dots), protons (circles), and all hydrogen isotopes ($Z=1$, open triangles), integrated over transverse momentum pt , as a function of the laboratory rapidity Y_{lab} . The predictions obtained with a stiff and a soft density dependence of the symmetry term are given in the upper and lower panels, respectively. The experimental result from Ref. [42] for $Z=1$ particles at mid-rapidity is represented by the filled triangle (the horizontal bar represents the experimental rapidity interval); adapted from Ref. [40].

to the size, the total charge and the surface of the nuclear system. This experiment aims to achieve high quality of the analysis by increasing the statistics by factor expected to be around 20-30 compared to the previous experiments.

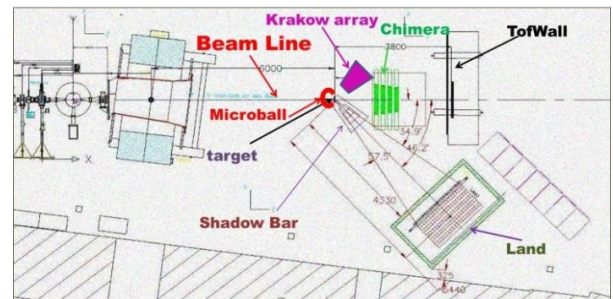


Fig. 4. - Schematic view of experimental setup.

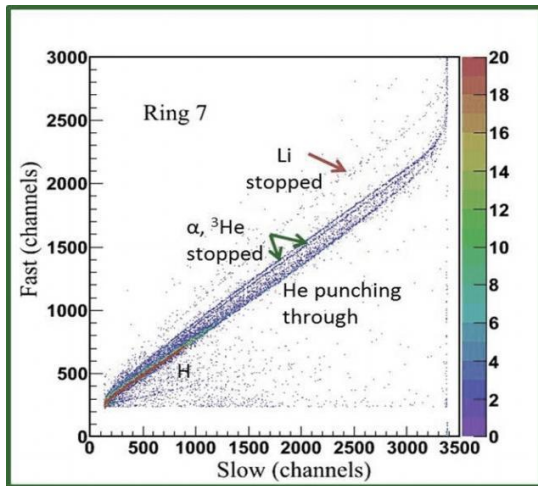


Fig. 5. - Fast vs Slow component scatter plot as obtained in a CHIMERA CsI(Tl) scintillator placed at a polar angle $\theta_{lab} \sim 9^\circ$ for Au+Au reaction at 400 MeV/nucleon at GSI; lines of particles stopped and passing through CsI detector are indicated by arrows.

During the experiment (see Fig. 4 for a schematic view) we used LAND [46], time-of-flight detector for high energetic neutrons and light charged particles in a similar geometry like in [43] to measure neutron squeeze-out. LAND has been positioned around $\theta_{lab} \sim 45^\circ$, to cover the mid-rapidity for a large transverse momentum region. Protons can be separated by employing the calorimetric properties of the neutron detector and the measured proton observable can be compared directly to the FOPI data measured in a similar angular acceptance. The simultaneous measurement of the atomic number Z and the azimuthal angle for fragment emissions in the forward direction will be essential for a precise determination of the modulus and orientation (reaction plane) of the impact parameter; this task has been accomplished by using a detection system with high granularity at forward angles ($7^\circ \leq \theta_{lab} \leq 20^\circ$) consisting of 8 CsI rings (352 modules) of the CHIMERA multi-detector [47] and the ALADIN Time-Of-Flight wall [48]. Preliminary results revealed a good charge identification performance for light charged particles using the fast-slow technique in the CsI detectors (Fig.5) and the capability of reconstructing the reaction plane. In addition, flow of light fragments have been measured with the Krakow telescope array positioned on the opposite side of LAND, at angles ($21^\circ \leq \theta_{lab} \leq 60^\circ$). The use of digital acquisition techniques [49] in about 10 % of the detectors, in

parallel to standard analogical one, has been of fundamental importance allowing us to store directly the shape the electronic signals; an off-line analysis is then useful in order to study the best processing system and to develop new electronic solutions.

Conclusions

New experiments on symmetry energy at supra-saturation densities are expected to take place during the next few years, in Europe as well as worldwide. It is likely that providing definitive constraints on the symmetry energy will require simultaneous measurements of several observable. However, the isospin signals at supra-saturation densities appear to be controversial and strongly model dependent; to clarify these points, we need a better understanding of volume, Coulomb and surface effects, production and reabsorption of resonances, reaction dynamics, in-medium nucleon-nucleon cross section, splitting of neutron and proton effective masses in momentum dependent iso-vectorial interactions. Neutron and proton elliptic flows appear to be as one of the most interesting observable with strong sensitivity to symmetry energy. The ASY-EOS experiment at GSI was performed properly to measure such and other isospin sensitive observable in reactions of isospin asymmetric systems at pre-relativistic energies, in order to provide quantitative information on the density dependence of symmetry energy at supra-normal saturation density.

The author would like to thank the people that made this work possible: the whole INFN-CHIMERA-EXOCHIM collaboration in Catania, Messina, Naples and Milano, the GSI-Group and the ASY-EOS collaboration for their support and exceptional work.

References

- [1] Fuchs C. and Wolter H.H., Eur. Phys. J. A, 30 (2006) 5;
- [2] KlÄahn T. et al., Phys. Rev. C, 74 (2006) 035802;
- [3] Baran V. et al., Phys. Rep., 410 (2005) 335;
- [4] Li B.-A. et al., Phys. Rep., 464 (2008) 113;
- [5] Lattimer J.M. and Prakash M., Science, 304 (2004) 536;
- [6] Danielewicz P. et al., Science, 298 (2002) 1592;
- [7] Youngblood D.H. et al., Phys. Rev. Lett., 82 (1999) 691;
- [8] Lattimer J.M. and Prakash M., Phys. Rep., 333 (2000) 121;
- [9] Botvina A.S. and Mishustin I.N., Phys. Lett. B, 584 (2004) 233;
- [10] Horowitz C.J. and Piekarewicz J., Phys. Rev. Lett., 86 (2001) 5647;
- [11] Wiringa R.B. and Pieper S.C., Phys. Rev. Lett., 89 (2002) 182501;
- [12] Chang Xu and Li B.-A., Phys. Rev. C, 81 (2010) 064612;
- [13] Li T. et al., Phys. Rev. Lett., 99 (2007) 162503;
- [14] Trippa L. et al., Phys. Rev. C, 77 (2008) 061304;
- [15] Klimkiewicz A. et al., Phys. Rev. C, 76 (2007) 051603;
- [16] Tsang M.B. et al., Phys. Rev. Lett., 92 (2004) 062701;
- [17] Tsang M.B. et al., Phys. Rev. Lett., 102 (2009) 122701;
- [18] Famiano M. et al., Phys. Rev. Lett., 97 (2009) 052701;
- [19] Igljo J. et al., Phys. Rev. C, 74 (2006) 024605;

- [20] Tsang M.B. et al., Phys. Rev. Lett., 86 (2001) 5023;
- [21] Amorini F. et al., Phys. Rev. Lett, 102 (2009) 112701;
- [22] Yong G.-C. et al., Phys. Rev. C, 74 (2006) 064617; Yong G.-C. et al., Phys. Rev. C, 73;
- [23] Greco V. et al., Phys. Lett. B, 562 (2003) 215;
- [24] Li B.-A. et al., Phys. Lett. B, 634 (2006) 378;
- [25] Li Q. et al., Phys. Rev. C, 73 (2006) 051601;
- [26] Li Q. et al., Phys. Rev. C, 71 (2005) 054907;
- [27] Ferini G. et al., Phys. Rev. Lett., 97 (2006) 202301;
- [28] Lopez X. et al., Phys. Rev. C, 75 (2007) 011901;
- [29] Reisdorf W. et al., Nucl. Phys. A, 781 (2007) 459;
- [30] Xiao Z. et al., Phys. Rev. Lett., 102 (2009) 062502;
- [31] Li Q. et al., J. Phys. G, 32 (2006) 407;
- [32] Zhao-Qing Feng, Gen-Ming Jin,, Phys. Lett. B, 683 (2010) 140;
- [33] Trautmann W. et al., arxiv:0907.2822, (2009);
- [34] Trautmann W. et al., Prog. Part. Nucl. Phys., 62 (2009) 425;
- [35] Trautmann W. et al., Int. J. Mod. Phys.E, 19 (2010) 1653;
- [36] Li Q. et al., J. Phys. G, 31 (2005) 1359;
- [37] see UrQmd homepage, www.urqmd.org;
- [38] Yingxun Zhang and Zhuxia Li,, Phys. Rev. C, 74 (2006) 014612;
- [39] Reisdorf W. et al., Nucl. Phys. A, 612 (1997) 493;
- [40] Russotto P. et al., in Proceedings of the XLVI International Winter Meeting On Nuclear Physics, edited by Iori I. and Tarantola A. (Università degli Studi di Milano) 2008, pp. 54-62;
- [41] Andronic A. et al., Eur. Phys. J. A, 30 (2008) 31;
- [42] Andronic A. et al., Phys. Lett. B, 612 (2005) 173;
- [43] Leifels Y. et al., Phys. Rev. Lett., 71 (1993) 963;
- [44] Lambrecht D. et al., Z. Phys. A, 350 (1994) 115;
- [45] Li Q. et al., Mod. Phys. Lett. A, 9 (2010) 669;
- [46] Blaich Th. et al., Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A, 314 (1992);
- [47] Pagano A. et al., Nucl. Phys. A, 734 (2004) 504;
- [48] SchÄuttauf A. et al., Nucl. Phys. A, 607 (1996) 457;
- [49] Amorini F. et al., IEEE Trans. Nucl. Sci., 55 (2008) 717;

PREMIO APP PER UNA TESI DI DOTTORATO

Paolo V. Giaquinta
Università degli Studi di Messina

Quest'anno è stata celebrata la prima edizione del premio conferito congiuntamente dall'Accademia Peloritana dei Pericolanti (APP) - segnatamente, dalla "Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali" della stessa Accademia - e dal Corso di Dottorato di Ricerca in Fisica all'autore della tesi di dottorato, afferente al XXIII ciclo, distintasi particolarmente per originalità e contenuti. La valutazione delle tesi presentate dai candidati al premio è stata effettuata da una commissione insediata ad hoc dal Collegio dei Docenti del Corso di Dottorato; la commissione era presieduta dal Prof. Lorenzo Torrisi, Coordinatore del Corso di Dottorato, ed era composta dai Proff. Giuseppe Carini, Giorgio Giardina, Domenico Majolino e Paolo V. Giaquinta, quest'ultimo anche nella qualità di Direttore della Classe di Scienze FF.MM.NN. dell'Accademia Peloritana dei Pericolanti.

La commissione, riunitasi il 20 aprile 2011, ha deliberato all'unanimità di assegnare il premio al Dott. Alessandro Ridolfo per la tesi intitolata "Quantum optical properties of strongly coupled systems", con la seguente motivazione:

"La tesi del Dr. Ridolfo, di cui si riporta in calce il sommario, riguarda una trattazione quantistica nel campo dell'opto-elettronica. Nanoparticelle e nanostrutture sono capaci di focalizzare fotoni a dimensioni più piccole della lunghezza d'onda. In tal modo è possibile aumentare la densità ottica degli stati anche in una microcavità. La tesi affronta lo studio teorico di questi sistemi quantici. Le indagini effettuate fanno prevedere la possibilità di migliorare in futuro dispositivi quanto-fotonici, basati su semiconduttori, di dimensione nanometrica che possono essere sensibili anche a fotoni singoli e che possono adoperarsi per emissioni di luce laser da dispositivi nanometrici. La trattazione approfondita del problema, l'approccio quantistico adoperato, l'originalità della tematica affrontata e le possibili ricadute applicative che i dispositivi a semiconduttore potrebbero avere, hanno contribuito a fare giudicare la tesi del Dr. Ridolfo di elevata qualità, originalità e approfondimento, ben meritevole dunque del premio in oggetto."

L'attestato di merito è stato consegnato dal Prof. Paolo V. Giaquinta al Dott. Alessandro Ridolfo in occasione della II Giornata di Studio del Dottorato di Ricerca in Fisica. Il premio conferito dà anche titolo alla pubblicazione di un ampio estratto della tesi sugli "Atti della Accademia Peloritana dei Pericolanti (AAPP) - Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali",

una rivista scientifica multidisciplinare pubblicata in formato elettronico e liberamente accessibile sul dominio internet: <http://www.actapeloritana.it>.

Sommario della Tesi

QUANTUM OPTICAL PROPERTIES OF STRONGLY COUPLED SYSTEMS

"The realization of solid state devices able to control the single photon states is of great importance in the field of Quantum Information and Opto-electronics. Recently, significant developments have been achieved by coupling single quantum emitters (QEs) in optical microcavities with high Q factor. The main limitation of these devices is represented by the size of the cavities that can not be smaller than half wavelength, and in practice are much larger because of the presence of mirrors or photonic crystals required to obtain the optical confinement. However, nanoparticles (NPs) and metallic nanostructures are able to focus the electromagnetic waves to spots much smaller than a wavelength. In this way, it is possible to increase the optical density of states, as well as with the microcavity, but with more compact structure. The ability of metal NPs to control the radiative decay of the QEs nearly positioned has been widely demonstrated both theoretically and experimentally. In this thesis I've been studied, from the theoretical point of view, the optical properties of these quantum systems, in various coupling regime. In the first part it was developed a theoretical framework based on the calculation of the Master Equation (ME), which has helped to investigate the photoluminescence's properties of micro-cavity coupled to QEs optically excited via incoherent pumping. In such systems, under low excitation density, it was possible to obtain analytical formulas that describe the processes associated with the first-order correlations (photoluminescence spectra). The results obtained from the fit of the experimental data show an excellent agreement with our theoretical results. In particular, it has been shown highly predictive nature in the case of photonic polaritons in an organic double microcavity: the fit of the photoluminescence of one of the two microcavities has enabled the calculation of the photoluminescence of the whole structure (A. Ridolfo et al. Phys. Rev. B 81, 075313 (2010)). At high-density excitation, calculation's technique in non-perturbative regime (based on the truncation of the number of photons) has led to some important results in the study of nonlinear optical processes. Subsequently, the ME formalism was extended to the case of structures made

of metal NPs coupled to QES that, because of their spectroscopic properties, are also called artificial hybrid molecules. The extension of the theoretical framework was made possible by modeling the appropriate electromagnetic field which arises from the presence of electronic excitations on the surface of metal NPs called plasmons. The results, which refer to the silver NPs, show that the inelastic part of the resonance fluorescence increases more than two orders of magnitude than the QE alone. It also reported a careful study of the statistical properties of the scattered light by calculating the second order correlation function, which is strongly influenced by the presence Fano effect, originating from the interaction between the QE discrete excitation and the continuous band of plasmon. The calculation of the scattering spectra and of the intensity correlations, shows that this system can be used as a single photon ultra-compact optical transistor: the scattering of a first photon of appropriate frequency, is able to activate (or inhibit) the scattering of a second photon (A. Ridolfo et al., Phys. Rev. Lett (in press)). In the next chapter, with accurate calculations of electromagnetic scattering based on the T-matrix, it has been demonstrated that it is possible to realize the strong coupling regime in the case of many QEs and single QE (S. Savasta et al., ACS Nano, 4, 6369 - 6376 (2010)). In the first case, the cross section of extinction, calculated for a structure consisting of a silver nanoparticle coated with a dielectric matrix doped with photoluminescent molecules, has showed the characteristic anticrossing typical of the strong coupling regime. In the second case, replacing the single-nanoparticle geometry with the two-nanoparticle geometry in order to obtain an increase of the plasmonic field in the center of the principal axis to obtain the strong coupling regime with a single QE. Again, calculations have showed the achievement of the regime of strong interaction in a structure whose maximum size is only 40 nm! From the results obtained thus good perspectives emerge for possible applications in Quantum Information or to create devices that can process individual photons. This will make it possible to implement devices for Photonic Quantum Computation without renounce to the nanometric dimensions of the compact modern nano-sized semiconductor logical gates. In the second-last chapter has been presented a theoretical analysis of all-optical control of the strong coupling regime (dynamic switching-on/off) between a single QE and an optically confined microcavity-mode, by sending optical pulses control of appropriate area, able to determine transitions to and from the third lower level energy of the QE (A. Ridolfo et al., Phys. Rev. Lett (in press)). The chosen scheme describes the system recently used in experiments on adiabatic-switching for inter-sub-polaritons (Guenter G. et al. Nature 458, 178 (2009)), but it can also be applied to the study of optical transitions exciton-biexciton cascade or other

transitions, in which are present the cavity polaritons. From our results, important conclusions are drawn about the possibilities and limitations of the important experimental design proposed: once Rabi oscillations have been induced with a first control pulse, depending on the time of arrival of a second control pulse, Rabi oscillations can be suppressed or not, also influencing the coherence properties of the whole system. The theoretical results obtained are very fascinating and will stimulate the achievement of new experimental and technology goals.

Finally, in the last chapter it has been studied the dynamic behavior of entanglement in a system consisting of two solid state QEs enclosed in two separate microcavities. In this solid state system, in addition to coupling with the cavity mode, the QE is coupled to a continuum of modes that provide a lossy channel to which is adds a further loss caused by the phases losses induced by interaction with thermal phonons. This configuration has been modeled as a multiparty system consisting of two independent subparts, each containing a single q-bit and a single cavity mode, subject to losses, radiative and non-radiative decay (pure-dephasing). The theoretical results obtained by the usual framework of ME already used in previous chapters have highlighted the important destructive impact on the evolution of entanglement-dynamics caused by pure-dephasing. The experimental information in these systems can be obtained from the detection of the light escaping from the cavity. With an appropriate choice of physical parameters of the model, corresponding to values that are extrapolated from the experiments, was simulated the dynamic evolution of entanglement in two realistic situations (K. Hennessy et al. Nature 445, 896 (2008) V. Loo V et al. arXiv: 1011.1155v1 [cond -mat.mes-hall] (2010)). Thus, the work places emphasis on the negative impact of pure-dephasing, always present in solid state devices, on the entanglement decay.”



PHD E MONDO DEL LAVORO: STATISTICHE SUL PLACEMENT POST – DOTTORATO

Paola Donato

Dipartimento di Fisica, Università di Messina

Dottorato di Ricerca in Fisica, Università di Messina

1. Introduzione

È stato sfruttato il database del dottorato di ricerca in Fisica per condurre un'indagine sul *placement* dei dottori di ricerca in Fisica dell'Università degli Studi di Messina relativamente ai cicli dal XIII al XXIII.

Occorre premettere che si è fatto in modo di curare e far crescere il database del dottorato, strumento indispensabile per questo tipo di analisi. Il database, infatti, è stato avviato sin dal primo ciclo di dottorato (1983) e, di anno in anno, aggiornato e integrato. Ritengo sia di importanza fondamentale curare e migliorare i dati in nostro possesso, poiché questi sono in grado di restituirci una visione globale del lavoro svolto dai docenti e dai dottorandi, oltre che una valutazione complessiva della funzione didattico-formativa del dottorato in vista della collocazione nel mondo della ricerca e del lavoro. Proprio di quest'ultimo aspetto mi sono occupata in questa breve indagine.

Altra importante premessa, inoltre, riguarda la scelta di collocare questa indagine all'interno di un *range* temporale ristretto agli effettivi impieghi dichiarati da sessanta dottori di ricerca in Fisica, dottorati negli ultimi dieci anni (dal XIII al XXIII ciclo) presso il Nostro Ateneo.

2. Macro-aree di impiego lavorativo post-doc

Per descrivere l'andamento dell'occupazione post-dottorato si è ritenuto opportuno suddividere la collocazione dei dottori di ricerca in Fisica in quattro macroaree di impiego. Se da un lato, infatti, le macroaree risultavano facilmente individuabili – i dati rilevati evidenziavano la presenza di queste quattro principali aree di impiego –, dall'altra parte si voleva tener conto di quegli sbocchi lavorativi meno presenti per localizzazione geografica e/o territoriale, in modo tale da rendere il futuro confronto con i dati statistici di altri atenei il più possibile coerente.

Le aree scelte sono state quattro:

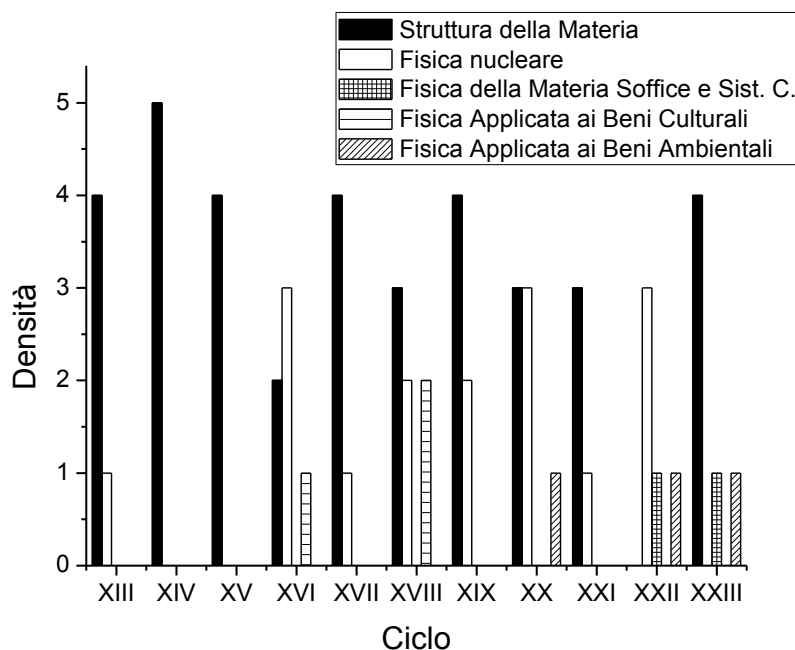
- Università: All'interno di questa macroarea sono stati considerati i dottori di ricerca che a oggi ricoprono il ruolo di ricercatori di ruolo, ricercatori a tempo determinato, gli assegnisti di ricerca, i borsisti post-doc;
- Scuola: All'interno di questa macroarea rientrano tutti quei dottori di ricerca che sono attualmente impiegati nella scuola secondaria superiore;
- Enti di ricerca e industrie: All'interno di questa macroarea abbiamo considerato quei dottori di ricerca che sono occupati presso: INFN, CNR, ENEA, Fondazioni, ST-Microelectronics;
- Altro: All'interno di questa macroarea abbiamo inserito tutte quelle attività lavorative che non rientrano nelle tre precedenti aree.

3. Densità dei cicli

Un aspetto importante che si è deciso di prendere in considerazione prima di addentrarci nel dettaglio delle collocazioni lavorative dei dottori di ricerca, è stato quello della scelta del *curriculum* all'interno del corso di dottorato. Il grafico (A) evidenzia che la principale scelta dei dottorandi riguarda il *curriculum* di Struttura della Materia, affiancato da quello di Fisica Nucleare e seguito a distanza dai curricula di più recente istituzione, cioè quelli di Fisica Applicata ai Beni Culturali, di Fisica Applicata ai Beni Ambientali e quello di Fisica della Materia Soffice e dei Sistemi Complessi. L'interesse del dato, ovviamente, risiede nella sua successiva declinazione in funzione dell'impiego lavorativo. Ci è sembrato interessante, in altre parole, rilevare come e in che misura la scelta del *curriculum* può condizionare la tipologia di impiego lavorativo post-doc. Occorre tenere presente che il dato analizzato, di per sé già interessante, risulterà più significativo quando disporremo di maggiori informazioni relative ai *curricula* di più recente istituzione.

DENSITA' DEI CICLI	CICLO	Struttura della Materia	Fisica Nucleare	Fisica della Materia Soffice e dei Sistemi Complessi	Fisica Applicata ai Beni Culturali	Fisica Applicata ai Beni Ambientali
	XIII	4	1			
	XIV	5				
	XV	4				
	XVI	2	3		1	
	XVII	4	1			
	XVIII	3	2		2	
	XIX	4	2			
	XX	3	3			1
	XXI	3	1			
	XXII		3	1		1
XXIII	4		1		1	

Grafico A: Numero dei dottorandi di ricerca in Fisica divisi per curriculum dal ciclo XIII al ciclo XXIII



4. Dottorandi divisi per curriculum scelto all'interno del Corso di Dottorato di Ricerca e loro placement.

Il rapporto tra la densità dei cicli e l'impiego lavorativo post-dottorato ha consentito di individuare quanto la scelta del curriculum abbia influenzato lo sbocco lavorativo. Il numero dei dottori di ricerca che hanno scelto il curriculum Struttura della Materia e Fisica Nucleare – maggiore perché questi curricula sono stati istituiti da maggior tempo rispetto agli altri – è preponderante in tutti gli ambiti lavorativi. Desidero evidenziare che sono i soli presenti nell'ambito universitario, probabilmente perché i relativi settori di

applicazione, a livello sia nazionale sia internazionale, offrono maggiori opportunità di impiego.

I dati sono indicativi anche per ciò che riguarda l'impiego nel settore scolastico. Pur non essendo storicamente l'insegnamento uno degli sbocchi naturali per i laureati in Fisica, nondimeno è possibile rilevare come il mondo scolastico rappresenti una risorsa lavorativa importante per coloro che conseguono un dottorato di ricerca. Il dato riportato nel grafico (B), più in particolare, ci restituisce una distribuzione nel settore scolastico pressoché equa tra tutti i curricula del dottorato.

Importante sbocco lavorativo, inoltre, è quello degli enti di ricerca, quali, ad esempio, INFN, CNR, ST

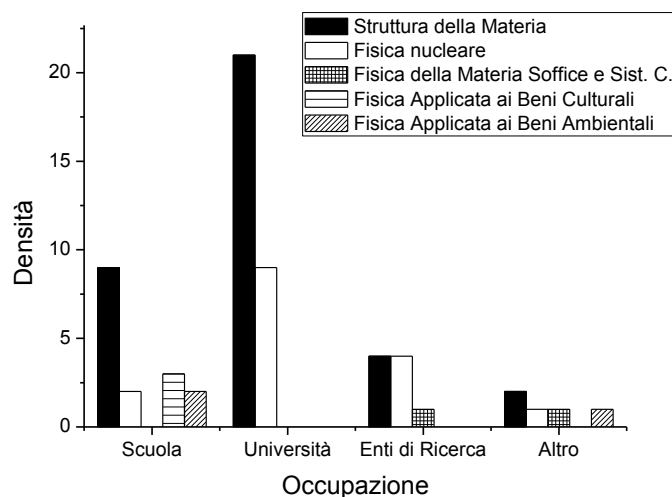
Microelectronics, Arpa. Non sono presenti in questa macroarea, come evidenzia il grafico B, dottori di ricerca in Fisica Applicata ai Beni Culturali e Beni Ambientali. Quasi sicuramente quest'ultimo dato è legato ad una scelta di specializzazione che, già a

monte, è orientata ad una implementazione maggiormente operativa delle conoscenze acquisite.

Quasi tutti i curricula, infine, contribuiscono alla macroarea che abbiamo definito "altro".

	Scuola	Università	Enti di Ricerca	Altro	Totale
Struttura della Materia	9	21	4	2	36
Fisica Nucleare	2	9	4	1	16
Fisica della Materia Soffice e dei Sistemi Complessi	/	/	1	1	2
Fisica Applicata ai Beni Culturali	3	/	/	/	3
Fisica Applicata ai Beni Ambientali	2	/	/	1	3
Totale	16	30	9	5	60

Grafico B: Dottorandi divisi per curricula scelto all'interno del Corso di Dottorato di Ricerca e loro placement.



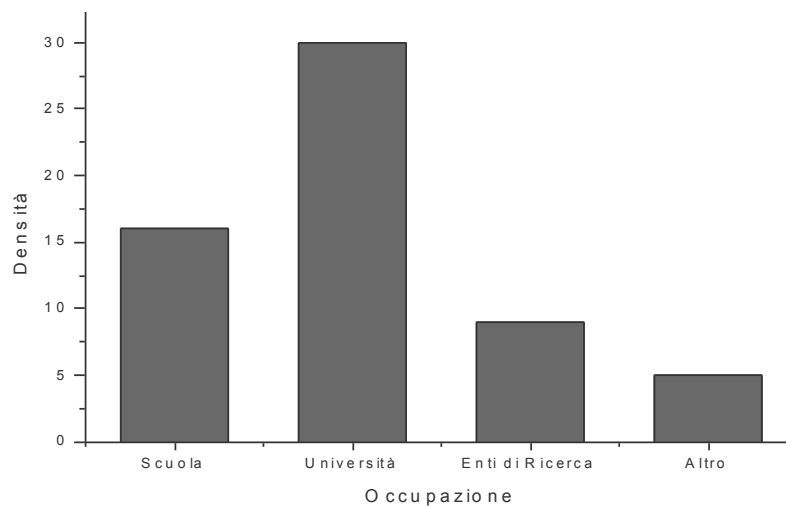
5. Densità occupazionale

Considerando in modo più generalizzato il dato relativo all'impiego dei dottori di ricerca, prescindendo

cioè dal curriculum scelto, risulta una suddivisione nelle macroaree come riportato nel grafico (C).

DENSITA' OCCUPAZIONALE	CICLO	SCUOLA	UNIVERSITA'	ENTI DI RICERCA	ALTRO	TOTALE	
	XIII	1	4			5	
	XIV	1	2	1	1	5	
	XV	3	1			4	
	XVI	3	2		1	6	
	XVII	1	2	2		5	
	XVIII	4	2	1		7	
	XIX	1	5			6	
	XX	1	3	2	1	7	
	XXI			3	1	4	
	XXII			2	1	2	5
	XXIII	1	4	1		6	
	TOTALE	16	30	9	5	60	

Grafico C: Numero dei dottori di ricerca in Fisica dal ciclo XIII al ciclo XXIII e loro placement.



Il ruolo principale nel *placement* dei dottori di ricerca viene svolto dall'istituzione universitaria. Nel grafico (D) si è cercato di evidenziare il rapporto tra i dottori di ricerca che sono stati assorbiti dal mondo universitario in modo strutturale e quelli che non hanno ancora una collocazione stabile. Ci siamo soffermati su questo aspetto sia per sottolineare come, in modo

analogo ad altri settori lavorativi della nostra società, anche nel mondo universitario il lavoro precario svolga una funzione preponderante rispetto a quello stabile, sia per confrontare il dato in nostro possesso con un'altra importante realtà universitaria nazionale.

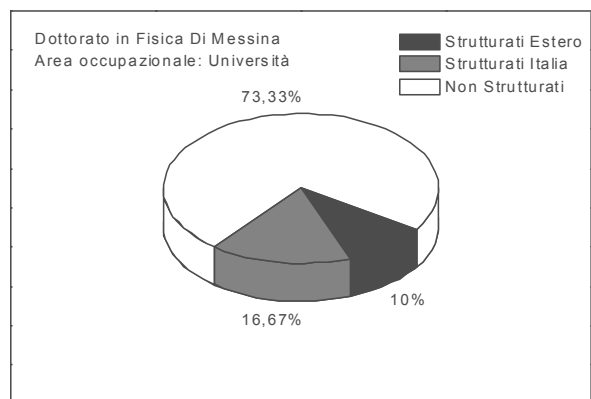


Grafico D

Come si può rilevare dal grafico (E), infatti, il dato tendenziale risultante dai dati messi a disposizione dall'Università degli Studi di Roma Tor Vergata dal XVIII al XXIII ciclo sono identici a quelli risultanti dagli undici cicli presi in considerazione nell'ateneo messinese. Questo conferma che solo circa un quarto dei dottori di ricerca riesce a rimanere in modo permanente all'interno del mondo universitario. Un

altro dato rilevante, a nostro parere, è che circa un terzo degli strutturati viene assorbito dalle Università straniere. Questo dato è importante perché conferma la spendibilità all'estero delle competenze acquisite nel nostro dottorato di ricerca, sebbene ci ricordi, nel contempo, che molte delle nostre migliori risorse non riescono a trovare spazio nel mondo del lavoro e della ricerca a livello nazionale.

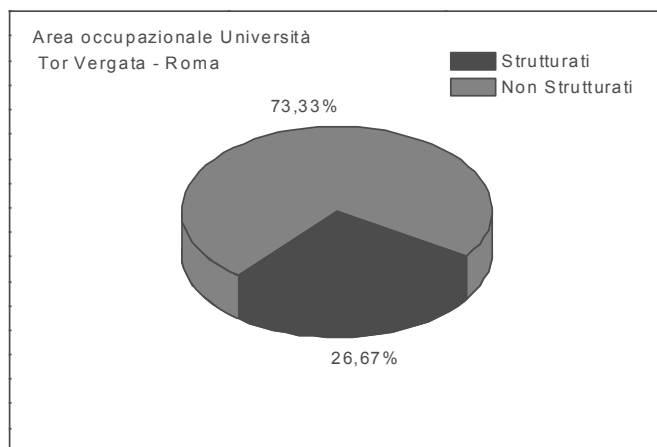


Grafico E

6. Placement dei dottori di ricerca: un confronto.

Nell'ultimo grafico sviluppato (F) abbiamo messo a confronto le tipologie occupazionali dei dottori di ricerca in Fisica dell'ateneo messinese e di quello romano (Università Tor Vergata). Questo confronto è finalizzato innanzitutto a comprendere le diverse opportunità che il territorio offre a coloro che proseguono gli studi universitari conseguendo il titolo di dottore di ricerca. Ovviamente il dato si basa su

indicazioni che non possono essere considerate esaustive, cosa che implicherebbe una ricerca a spettro molto più ampio rispetto a quello preso in considerazione in questa sede. Nondimeno, con il proposito di estendere ed approfondire in futuro i dati che ci saranno messi a disposizione da altri atenei italiani, riteniamo che questo grafico possa essere rappresentativo di una situazione di fatto comunemente nota. Il dato più evidente, in particolare, è il ruolo svolto dalla scuola nel *placement* post-dottorato nei due atenei. Se nella realtà messinese, infatti, più di un

dottore di ricerca su quattro trova impiego in ambito scolastico – un dato, quest’ultimo, che proietta la scuola al secondo posto tra le quattro macroaree prese in considerazione –, nella realtà romana il *placement* nella scuola è quasi nullo, occupando, in percentuale, meno di tre dottori di ricerca su cento. Il dato non evidenzia maggiori opportunità di lavoro geograficamente localizzate nel comprensorio messinese-siciliano rispetto a quello romano, considerando che parte di coloro che si dedicano all’insegnamento cercano e trovano la collocazione geografica della propria professione tanto a sud quanto al centro-nord d’Italia. Questo significa, in altre parole, che l’insegnamento, come sbocco di lavoro post-dottorato, non è un dato fortemente condizionato dal territorio, se non per un retaggio culturale che richiederebbe, tuttavia, una analisi alquanto diversa da quella sviluppata in questa sede.

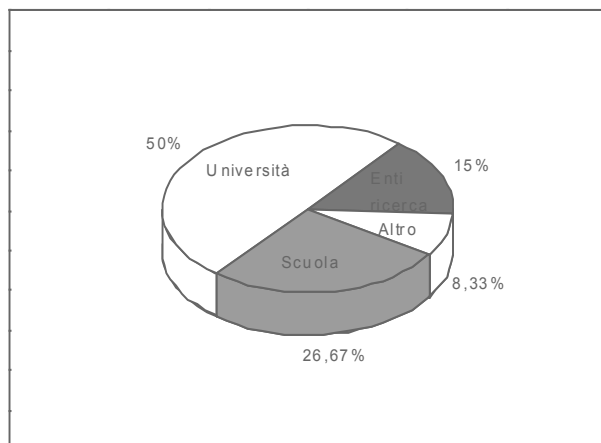
Il secondo dato che emerge in modo evidente è che mentre l’Università svolge un ruolo pressappoco uguale nella collocazione dei due atenei, diversa è la collocazione dei dottori di ricerca presso gli enti di ricerca. Benché, infatti, la macroarea dei dottori di ricerca messinesi che approdano agli enti di ricerca sia

significativa – il 15% è un dato sicuramente positivo – non si può fare a meno di notare che il dato tendenziale relativo a questa macroarea nell’ateneo romano sia di rilevanza assoluta, attestandosi intorno al 40%.

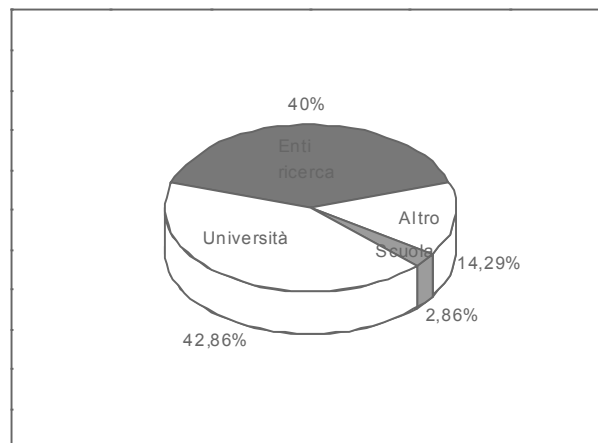
Non v’è dubbio che altre e più ampie riflessioni potrebbero essere sviluppate a partire dagli elementi in nostro possesso. Mi preme tuttavia sottolineare, in conclusione, che dati e analisi riportati in questa indagine vanno presi in considerazione in una prospettiva tendenziale e approssimativa, nel senso che quelli presentati in questa relazione sono soltanto i primi elementi di una ricerca che tende, per sua natura, ad un’ampia raccolta di informazioni che verrà approfondita nel corso dei prossimi mesi. Pur essendo parziali, tuttavia, i dati a disposizione appaiono già significativi, a condizione, evidentemente, che vengano declinati in una chiave di lettura volta a comprendere la continua e rapida evoluzione del mondo del lavoro e la necessità che l’istituzione universitaria riesca ad avere una sempre maggiore conoscenza e coscienza del *placement* di laureati e dottori di ricerca.

Grafico F: *Occupazione totale dei dottori di ricerca: un confronto*

Università degli Studi di Messina



Università degli Studi di Roma Tor Vergata



Bibliografia

[1] Activity Report 2010, Dottorato di Ricerca in Fisica dell’Università di Messina, L.Torresi Ed. ISSN n° 2038-5889, 2011-11-25

[2] Sito WEB Università degli Studi di Roma Tor Vergata: <http://dottorati.uniroma2.it/>