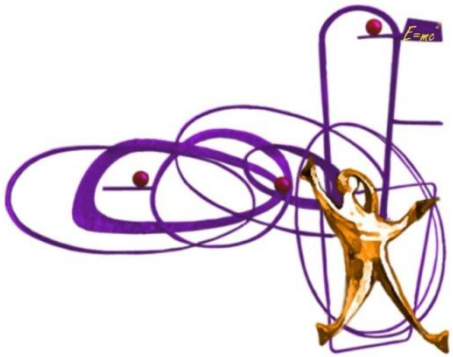
Studio delle sezioni d'urto di reazioni indotte dai neutroni nell'ambito Astrofisico presso la facility n_TOF al CERN

Dottorato di ricerca in Fisica XXXI ciclo

Università degli studi di Bari Aldo Moro, Bari, 9 Novembre 2015



Dottoranda:

Lucia Anna Damone

Sommario

- Motivazioni scientifiche
- La facility n_TOF
- Il lavoro di Tesi
- Programma di lavoro per i tre anni
- Conclusioni

La collaborazione n_TOF

~ 30 Istituzioni
>100 Ricercatori

S. Altstadt,[1] S. Andriamonje,[2] J. Andrzejewski,[3] L. Audouin,[4] M. Barbagallo,[5] V. Bécares,[6] F. Bečvář,[7] F. Belloni,[8] E. Berthoumieux,[8,2] J. Billowes,[9] V. Boccone,[2] D. Bosnar,[10] M. Brugger,[2] M. Calviani,[2] F. Calviño,[11] D. Cano-Ott,[6] C. Carrapiço,[12] F. Cerutti,[2] E. Chiaveri,[8,2] M. Chin,[2] N. Colonna,[5] G. Cortés,[11] M.A. Cortés-Giraldo,[13] M. Diakaki,[14] C. Domingo-Pardo,[15] N. Dzysiuk,[16] I. Duran,[17] R. Dressler,[18] C. Eleftheriadis,[19] A. Ferrari,[2] K. Fraval,[8] S. Ganesan,[20] A.R. García,[6] G. Giubrone,[15] K. Gobel,[1] M.B. Gomez-Hornillos,[11] I.F. Gonçalves,[12] E. González-Romero,[6] E. Griesmayer,[21] C. Guerrero,[2] F. Gunsing,[8] P. Gurusamy,[20] A. Hernández-Prieto,[2,11] D.G. Jenkins,[22] E. Jericha,[21] Y. Kadi,[2] F. Käppeler,[23] D. Karadimos,[14] N. Kivel,[18] P. Koehler,[24] M. Kokkoris,[14] M. Krtička,[7] J. Kroll,[7] C. Lampoudis,[8] C. Langer,[1] E. Leal-Cidoncha,[17] C. Lederer,[25] H. Leeb,[21] L.S. Leong,[4] S. Lo Meo,[26] R. Losito,[2] A. Manousos,[19] J. Marganiec,[3] T. Martínez,[6] C. Massimi,[27] P.F. Mastinu,[16] M. Mastromarco,[5] M. Meaze,[5] E. Mendoza,[6] A. Mengoni,[26] P.M. Milazzo,[28] F. Mingrone,[27] M. Mirea,[29] W. Mondalaers,[30] T. Papaevangelou,[8] C. Paradela,[17] A. Pavlik,[25] J. Perkowski,[3] A. Plompen,[30] J. Praena,[13] J.M. Quesada,[13] T. Rauscher,[31] R. Reifarth,[1] A. Riego,[11] F. Roman,[32,19] C. Rubbia,[2,33] M. Sabaté-Gilarte,[13] R. Sarmento,[12] A. Saxena,[20] P. Schillebeeckx,[30] S. Schmidt,[1] D. Schumann,[18] P. Steinneger,[18] G. Tagliente,[5] J.L. Tain,[15] L. Tassan-Got,[4] A. Tsinganis,[2] D. Tarrío,[17] S. Valenta,[7] G. Vannini,[27] V. Variale,[5] P. Vaz,[12] A. Ventura,[26] M.J. Vermeulen,[22] R. Versaci,[2] V. Vlachoudis,[2] R. Vlastou,[14] A. Wallner,[25] T. Ware,[9] M. Weigand,[1] C. Weiß,[21] T. Wright,[9] and P. Žugec[10]

[1] *Johann-Wolfgang-Goethe Universität, Frankfurt, Germany*
[2] *European Organization for Nuclear Research (CERN), Geneva, Switzerland*
[3] *Uniwersytet Łódzki, Lodz, Poland*
[4] *Centre National de la Recherche Scientifique/IN2P3 - IPN, Orsay, France*
[5] *Istituto Nazionale Fisica Nucleare, Sezione di Bari, V. Orabona 4, 70125 Bari, Italy*
[6] *Centro de Investigaciones Energeticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), Madrid, Spain*
[7] *Charles University, Prague, Czech Republic*
[8] *Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA) Saclay - Irfu, Gif-sur-Yvette, France*
[9] *University of Manchester, Oxford Road, Manchester, UK*
[10] *Department of Physics, Faculty of Science, University of Zagreb, Croatia*
[11] *Universitat Politecnica de Catalunya, Barcelona, Spain*
[12] *Instituto Tecnológico e Nuclear, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal*
[13] *Universidad de Sevilla, Spain*
[14] *National Technical University of Athens (NTUA), Greece*
[15] *Instituto de Física Corpuscular, CSIC-Universidad de Valencia, Spain*
[16] *Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Laboratori Nazionali di Legnaro, Italy*
[17] *Universidade de Santiago de Compostela, Spain*
[18] *Paul Scherrer Institut, Villigen PSI, Switzerland*
[19] *Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece*
[20] *Bhabha Atomic Research Centre (BARC), Mumbai, India*
[21] *Atominstitut, Technische Universität Wien, Austria*
[22] *University of York, Heslington, York, UK*
[23] *Karlsruhe Institute of Technology, Campus Nord, Institut für Kernphysik, Karlsruhe, Germany*
[24] *Department of Physics, University of Oslo, N-0316 Oslo, Norway*
[25] *University of Vienna, Faculty of Physics, Austria*
[26] *Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA), Bologna, Italy*
[27] *Dipartimento di Fisica, Università di Bologna, and Sezione INFN di Bologna, Italy*
[28] *Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Trieste, Italy*
[29] *Horia Hulubei National Institute of Physics and Nuclear Engineering - IFIN HH, Bucharest - Magurele, Romania*
[30] *European Commission JRC, Institute for Reference Materials and Measurements, Retieseweg 111, B-244Geel, Belgium*
[31] *Department of Physics and Astronomy - University of Basel, Basel, Switzerland*
[32] *European Organization for Nuclear Research (CERN), Geneva, Switzerland*
[33] *Laboratori Nazionali del Gran Sasso dell'INFN, Assergi (AQ),Italy*

La collaborazione n_TOF

~ 30 Istituzioni
>100 Ricercatori

Misure ad alta accuratezza di sezioni d'urto delle reazioni indotte dai **neutroni**

S. Altstadt,[1] S. Andriamonje,[2] J. Andrzejewski,[3] L. Audouin,[4] M. Barbagallo,[5] V. Bécares,[6] F. Bečvář,[7] F. Belloni,[8] E. Berthoumieux,[8,2] J. Billowes,[9] V. Boccone,[2] D. Bosnar,[10] M. Brugger,[2] M. Calviani,[2] F. Calviño,[11] D. Cano-Ott,[6] C. Carrapiço,[12] F. Cerutti,[2] E. Chiaveri,[8,2] M. Chin,[2] N. Colonna,[5] G. Cortés,[11] M.A. Cortés-Giraldo,[13] M. Diakaki,[14] C. Domingo-Pardo,[15] N. Dzysiuk,[16] I. Duran,[17] R. Dressler,[18] C. Eleftheriadis,[19] A. Ferrari,[2] K. Fraval,[8] S. Ganesan,[20] A.R. García,[6] G. Giubrone,[15] K. Gobel,[1] M.B. Gomez-Hornillos,[11] I.F. Gonçalves,[12] E. González-Romero,[6] E. Griesmayer,[21] C. Guerrero,[2] F. Gunsing,[8] P. Gurusamy,[20] A. Hernández-Prieto,[2,11] D.G. Jenkins,[22] E. Jericha,[21] Y. Kadi,[2] F. Käppeler,[23] D. Karadimos,[14] N. Kivel,[18] P. Koehler,[24] M. Kokkoris,[14] M. Krtička,[7] J. Kroll,[7] C. Lampoudis,[8] C. Langer,[1] E. Leal-Cidoncha,[17] C. Lederer,[25] H. Leeb,[21] L.S. Leong,[4] S. Lo Meo,[26] R. Losito,[2] A. Manousos,[19] J. Marganiec,[3] T. Martínez,[6] C. Massimi,[27] P.F. Mastinu,[16] M. Mastromarco,[5] M. Meaze,[5] E. Mendoza,[6] A. Mengoni,[26] P.M. Milazzo,[28] F. Mingrone,[27] M. Mirea,[29] W. Mondalaers,[30] T. Papaevangelou,[8] C. Paradela,[17] A. Pavlik,[25] J. Perkowski,[3] A. Plompen,[30] J. Praena,[13] J.M. Quesada,[13] T. Rauscher,[31] R. Reifarth,[1] A. Riego,[11] F. Roman,[32,19] C. Rubbia,[2,33] M. Sabaté-Gilarte,[13] R. Sarmento,[12] A. Saxena,[20] P. Schillebeeckx,[30] S. Schmidt,[1] D. Schumann,[18] P. Steinneger,[18] G. Tagliente,[5] J.L. Tain,[15] L. Tassan-Got,[4] A. Tsinganis,[2] D. Tarrío,[17] S. Valenta,[7] G. Vannini,[27] V. Variale,[5] P. Vaz,[12] A. Ventura,[26] M.J. Vermeulen,[22] R. Versaci,[2] V. Vlachoudis,[2] R. Vlastou,[14] A. Wallner,[25] T. Ware,[9] M. Weigand,[1] C. Weiß,[21] T. Wright,[9] and P. Žugec[10]

[1] *Johann-Wolfgang-Goethe Universität, Frankfurt, Germany*
[2] *European Organization for Nuclear Research (CERN), Geneva, Switzerland*
[3] *Uniwersytet Łódzki, Lodz, Poland*
[4] *Centre National de la Recherche Scientifique/IN2P3 - IPN, Orsay, France*
[5] *Istituto Nazionale Fisica Nucleare, Sezione di Bari, V. Orabona 4, 70125 Bari, Italy*
[6] *Centro de Investigaciones Energeticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), Madrid, Spain*
[7] *Charles University, Prague, Czech Republic*
[8] *Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA) Saclay - Irfu, Gif-sur-Yvette, France*
[9] *University of Manchester, Oxford Road, Manchester, UK*
[10] *Department of Physics, Faculty of Science, University of Zagreb, Croatia*
[11] *Universitat Politecnica de Catalunya, Barcelona, Spain*
[12] *Instituto Tecnológico e Nuclear, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal*
[13] *Universidad de Sevilla, Spain*
[14] *National Technical University of Athens (NTUA), Greece*
[15] *Instituto de Física Corpuscular, CSIC-Universidad de Valencia, Spain*
[16] *Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Laboratori Nazionali di Legnaro, Italy*
[17] *Universidade de Santiago de Compostela, Spain*
[18] *Paul Scherrer Institut, Villigen PSI, Switzerland*
[19] *Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece*
[20] *Bhabha Atomic Research Centre (BARC), Mumbai, India*
[21] *Atominstitut, Technische Universität Wien, Austria*
[22] *University of York, Heslington, York, UK*
[23] *Karlsruhe Institute of Technology, Campus Nord, Institut für Kernphysik, Karlsruhe, Germany*
[24] *Department of Physics, University of Oslo, N-0316 Oslo, Norway*
[25] *University of Vienna, Faculty of Physics, Austria*
[26] *Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA), Bologna, Italy*
[27] *Dipartimento di Fisica, Università di Bologna, and Sezione INFN di Bologna, Italy*
[28] *Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Trieste, Italy*
[29] *Horia Hulubei National Institute of Physics and Nuclear Engineering - IFIN HH, Bucharest - Magurele, Romania*
[30] *European Commission JRC, Institute for Reference Materials and Measurements, Retieseweg 111, B-2440Geel, Belgium*
[31] *Department of Physics and Astronomy - University of Basel, Basel, Switzerland*
[32] *European Organization for Nuclear Research (CERN), Geneva, Switzerland*
[33] *Laboratori Nazionali del Gran Sasso dell'INFN, Assergi (AQ),Italy*

La collaborazione n_TOF

~ 30 Istituzioni
>100 Ricercatori

Misure ad alta accuratezza di sezioni d'urto delle reazioni indotte dai neutroni

(n,f), (n,cp), (n,γ)

S. Altstadt,[1] S. Andriamonje,[2] J. Andrzejewski,[3] L. Audouin,[4] M. Barbagallo,[5] V. Bécares,[6] F. Bečvář,[7] F. Belloni,[8] E. Berthoumieux,[8,2] J. Billowes,[9] V. Boccone,[2] D. Bosnar,[10] M. Brugger,[2] M. Calviani,[2] F. Calviño,[11] D. Cano-Ott,[6] C. Carrapiço,[12] F. Cerutti,[2] E. Chiaveri,[8,2] M. Chin,[2] N. Colonna,[5] G. Cortés,[11] M.A. Cortés-Giraldo,[13] M. Diakaki,[14] C. Domingo-Pardo,[15] N. Dzysiuk,[16] I. Duran,[17] R. Dressler,[18] C. Eleftheriadis,[19] A. Ferrari,[2] K. Fraval,[8] S. Ganesan,[20] A.R. García,[6] G. Giubrone,[15] K. Gobel,[1] M.B. Gomez-Hornillos,[11] I.F. Gonçalves,[12] E. González-Romero,[6] E. Griesmayer,[21] C. Guerrero,[2] F. Gunsing,[8] P. Gurusamy,[20] A. Hernández-Prieto,[2,11] D.G. Jenkins,[22] E. Jericha,[21] Y. Kadi,[2] F. Käppeler,[23] D. Karadimos,[14] N. Kivel,[18] P. Koehler,[24] M. Kokkoris,[14] M. Krtička,[7] J. Kroll,[7] C. Lampoudis,[8] C. Langer,[1] E. Leal-Cidoncha,[17] C. Lederer,[25] H. Leeb,[21] L.S. Leong,[4] S. Lo Meo,[26] R. Losito,[2] A. Manousos,[19] J. Marganiec,[3] T. Martínez,[6] C. Massimi,[27] P.F. Mastinu,[16] M. Mastromarco,[5] M. Meaze,[5] E. Mendoza,[6] A. Mengoni,[26] P.M. Milazzo,[28] F. Mingrone,[27] M. Mirea,[29] W. Mondalaers,[30] T. Papaevangelou,[8] C. Paradela,[17] A. Pavlik,[25] J. Perkowski,[3] A. Plompen,[30] J. Praena,[13] J.M. Quesada,[13] T. Rauscher,[31] R. Reifarth,[1] A. Riego,[11] F. Roman,[32,19] C. Rubbia,[2,33] M. Sabaté-Gilarte,[13] R. Sarmento,[12] A. Saxena,[20] P. Schillebeeckx,[30] S. Schmidt,[1] D. Schumann,[18] P. Steinneger,[18] G. Tagliente,[5] J.L. Tain,[15] L. Tassan-Got,[4] A. Tsinganis,[2] D. Tarrío,[17] S. Valenta,[7] G. Vannini,[27] V. Variale,[5] P. Vaz,[12] A. Ventura,[26] M.J. Vermeulen,[22] R. Versaci,[2] V. Vlachoudis,[2] R. Vlastou,[14] A. Wallner,[25] T. Ware,[9] M. Weigand,[1] C. Weiß,[21] T. Wright,[9] and P. Žugec[10]

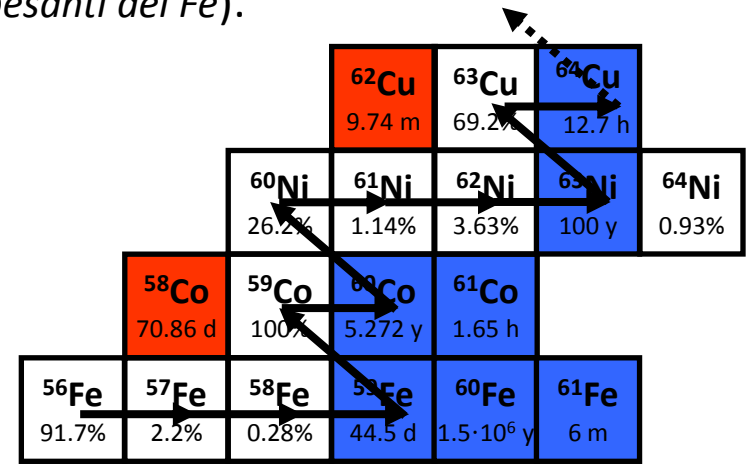
[1] *Johann-Wolfgang-Goethe Universität, Frankfurt, Germany*
[2] *European Organization for Nuclear Research (CERN), Geneva, Switzerland*
[3] *Uniwersytet Łódzki, Lodz, Poland*
[4] *Centre National de la Recherche Scientifique/IN2P3 - IPN, Orsay, France*
[5] *Istituto Nazionale Fisica Nucleare, Sezione di Bari, V. Orabona 4, 70125 Bari, Italy*
[6] *Centro de Investigaciones Energeticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), Madrid, Spain*
[7] *Charles University, Prague, Czech Republic*
[8] *Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA) Saclay - Irfu, Gif-sur-Yvette, France*
[9] *University of Manchester, Oxford Road, Manchester, UK*
[10] *Department of Physics, Faculty of Science, University of Zagreb, Croatia*
[11] *Universitat Politecnica de Catalunya, Barcelona, Spain*
[12] *Instituto Tecnológico e Nuclear, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal*
[13] *Universidad de Sevilla, Spain*
[14] *National Technical University of Athens (NTUA), Greece*
[15] *Instituto de Física Corpuscular, CSIC-Universidad de Valencia, Spain*
[16] *Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Laboratori Nazionali di Legnaro, Italy*
[17] *Universidade de Santiago de Compostela, Spain*
[18] *Paul Scherrer Institut, Villigen PSI, Switzerland*
[19] *Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece*
[20] *Bhabha Atomic Research Centre (BARC), Mumbai, India*
[21] *Atominstitut, Technische Universität Wien, Austria*
[22] *University of York, Heslington, York, UK*
[23] *Karlsruhe Institute of Technology, Campus Nord, Institut für Kernphysik, Karlsruhe, Germany*
[24] *Department of Physics, University of Oslo, N-0316 Oslo, Norway*
[25] *University of Vienna, Faculty of Physics, Austria*
[26] *Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA), Bologna, Italy*
[27] *Dipartimento di Fisica, Università di Bologna, and Sezione INFN di Bologna, Italy*
[28] *Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Trieste, Italy*
[29] *Horia Hulubei National Institute of Physics and Nuclear Engineering - IFIN HH, Bucharest - Magurele, Romania*
[30] *European Commission JRC, Institute for Reference Materials and Measurements, Retieseweg 111, B-244Geel, Belgium*
[31] *Department of Physics and Astronomy - University of Basel, Basel, Switzerland*
[32] *European Organization for Nuclear Research (CERN), Geneva, Switzerland*
[33] *Laboratori Nazionali del Gran Sasso dell'INFN, Assergi (AQ),Italy*

Interesse delle sezioni d'urto neutroniche

Astrofisica Nucleare (***nucleosintesi*** *stellare* ***elementi*** *più pesanti del Fe*):

- processi di **cattura neutronica** lenti (AGB stars) e veloci (Supernovae) e successivi **decadimenti β**;
- Produzione degli elementi più leggeri nella BBN

Sezioni d'urto di cattura fondamentali per capire l'abbondanza degli elementi pesanti nell'Universo e per modelli sull'**evoluzione** delle **stelle** e delle **galassie**.

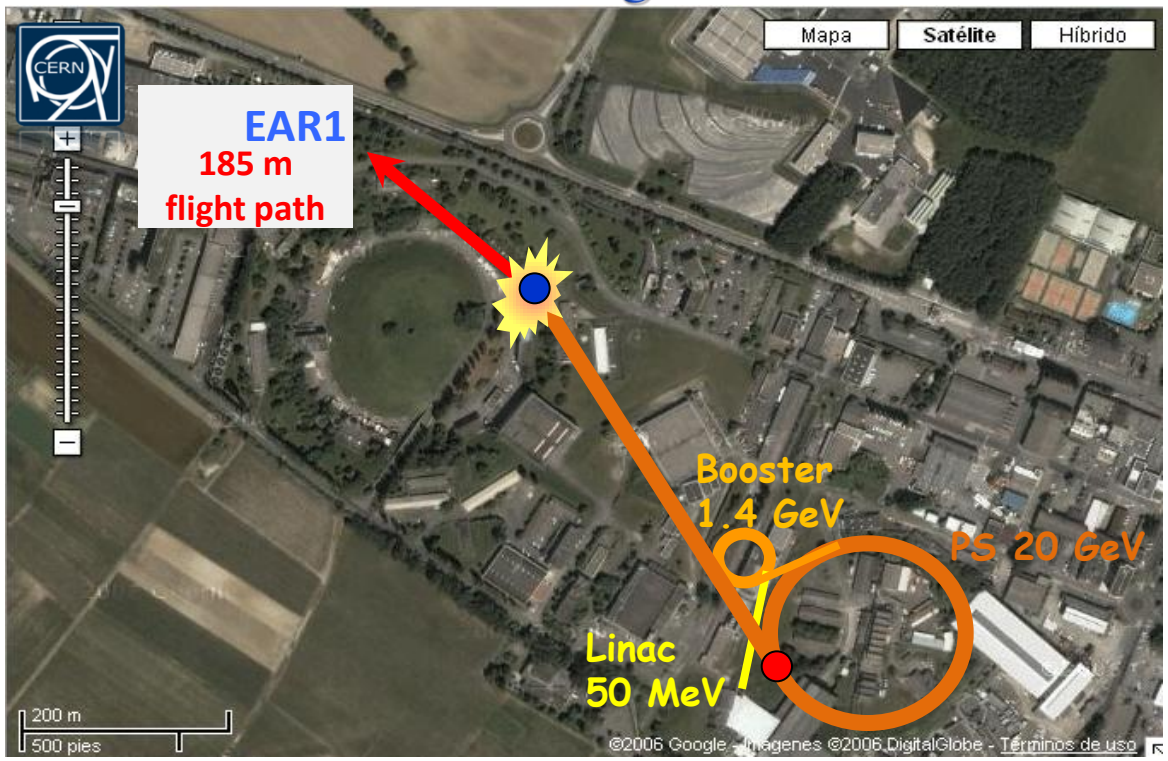


Applicazioni (energia da **fissione**, **fusione**, **Medicina Nucleare**, **Neutron imaging**)

Sezioni d'urto di **cattura** e **fissione** importanti per :

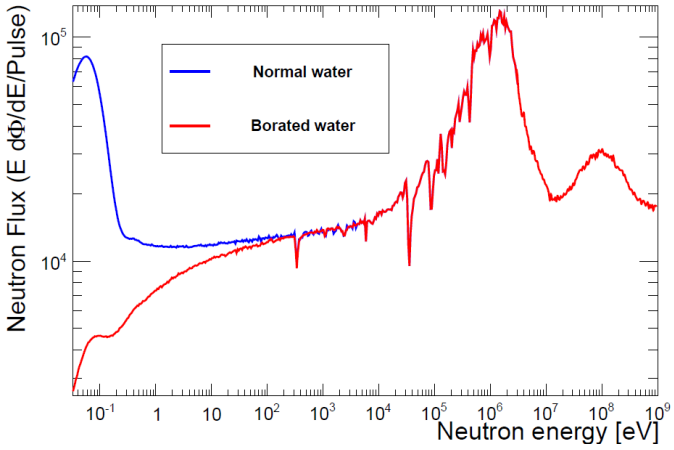
- migliorare sicurezza ed efficienza reattori nucleari attuali (termici) o sviluppare nuovi sistemi per **produzione di energia** e **trasmutazione scorie** (Gen IV e ADS);
- Stima dei danni da radiazione nei futuri reattori a fusione
- **Medicina nucleare**: nuove terapie, produzione di radioisotopi

La facility n_TOF

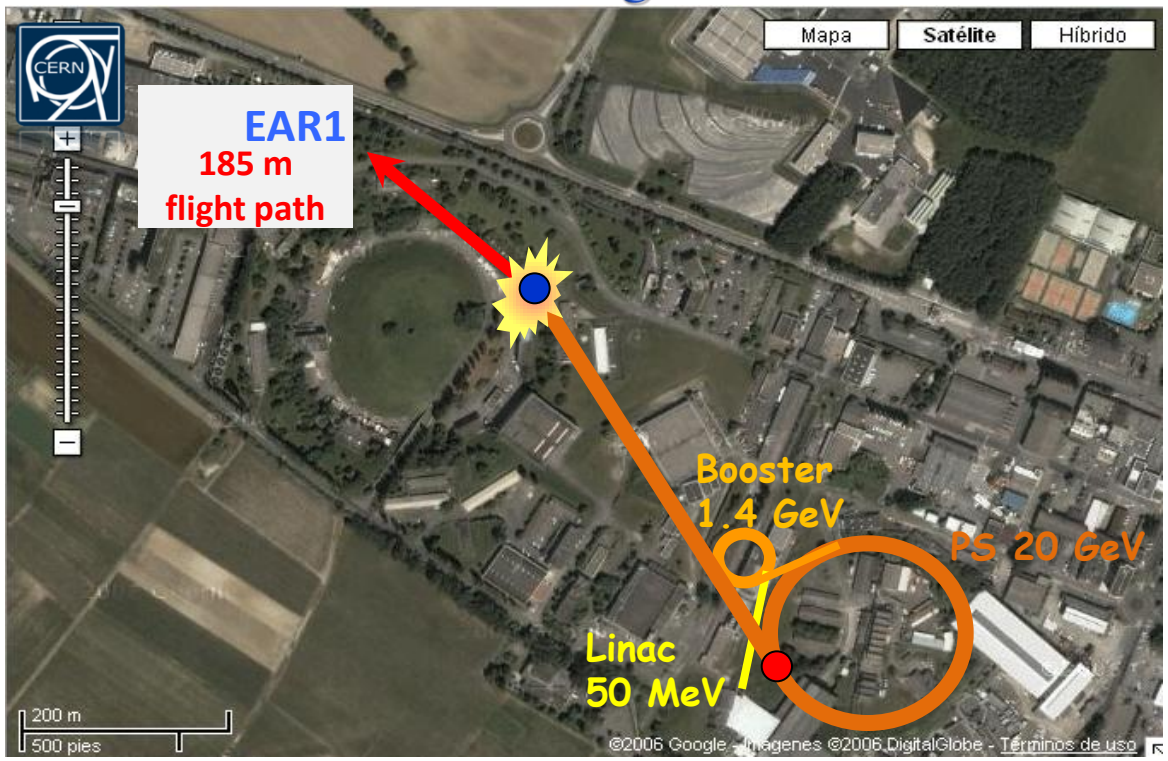


p*(20 GeV/c) → *Pb* → *n
(~360 neutroni per protone)

Fino al 2014 sala sperimentale **EAR1** a **185 m** dal target di spallazione.

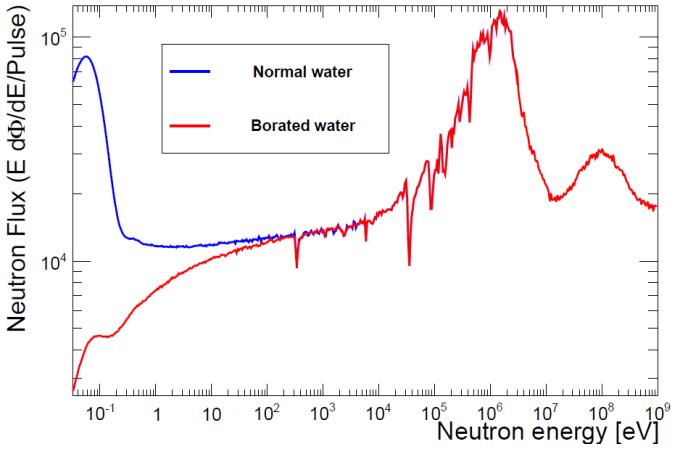


La facility n_TOF



p*(20 GeV/c) → *Pb* → *n
(~360 neutroni per protone)

Fino al 2014 sala sperimentale **EAR1** a **185 m** dal target di spallazione.



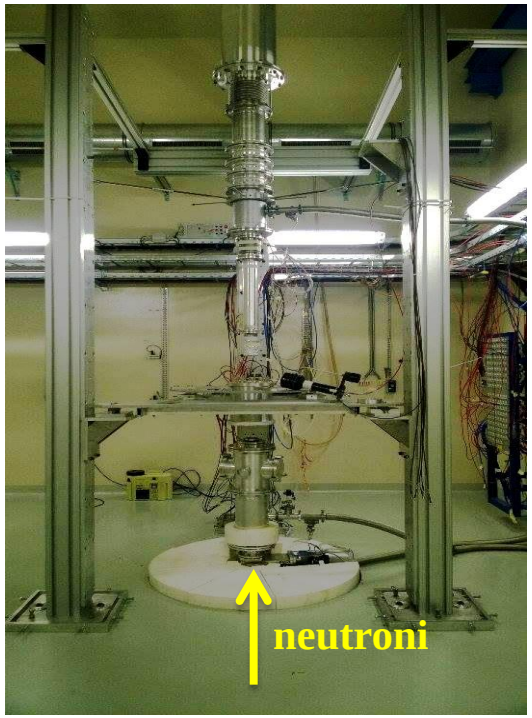
Principali caratteristiche:

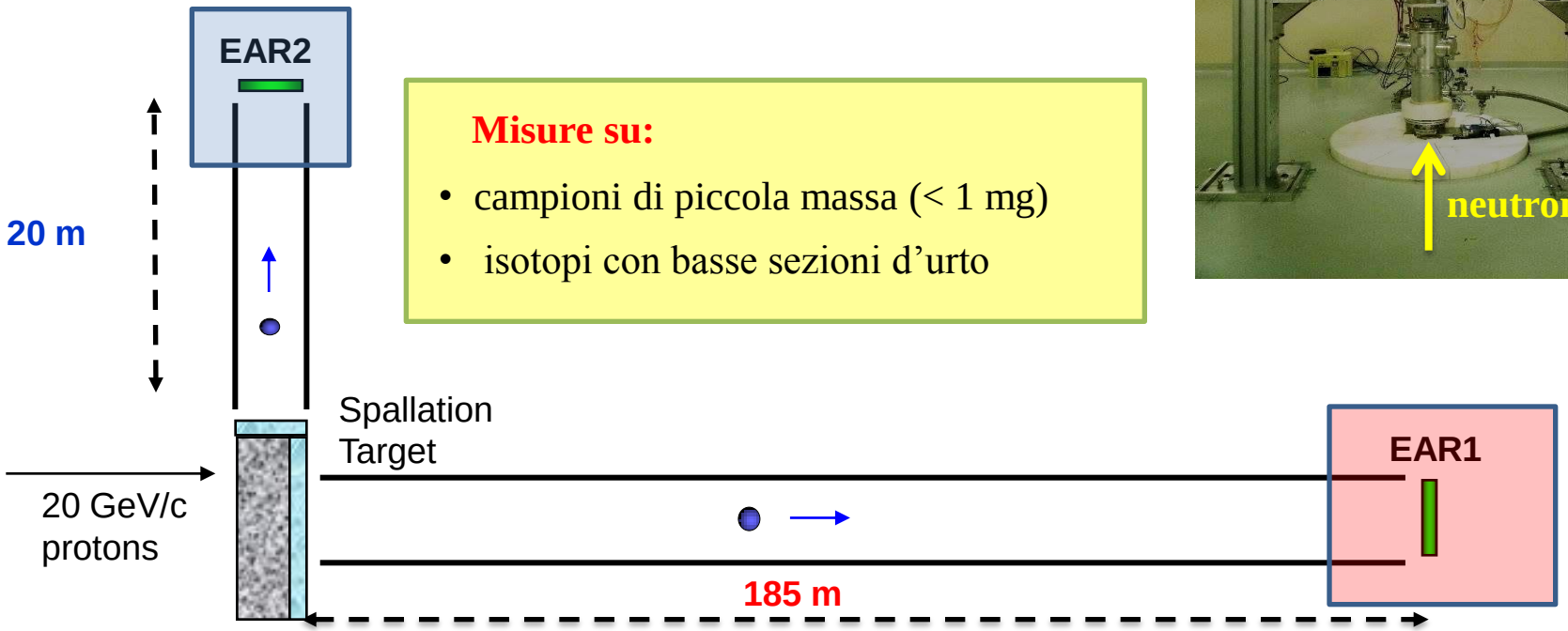
- **Flusso istantaneo di neutroni estremamente alto** (*10^5 n/cm^2/pulse*).
- **Ampio spettro energetico** (dal termico fino al GeV)
- **Alta risoluzione** ($\Delta E/E=10^{-4}$)

La facility n_TOF

Dal 2014 seconda area sperimetale (EAR2) a **20 m** dal target di spallazione.

- **Alto flusso** ~ fattore 30 più alto rispetto ad EAR1.
- **Flight path più breve** ⟶ tempo di volo 10 volte più piccolo.
- Aumento di un **fattore 300** nel rapporto **signal/background** per gli isotopi radioattivi!

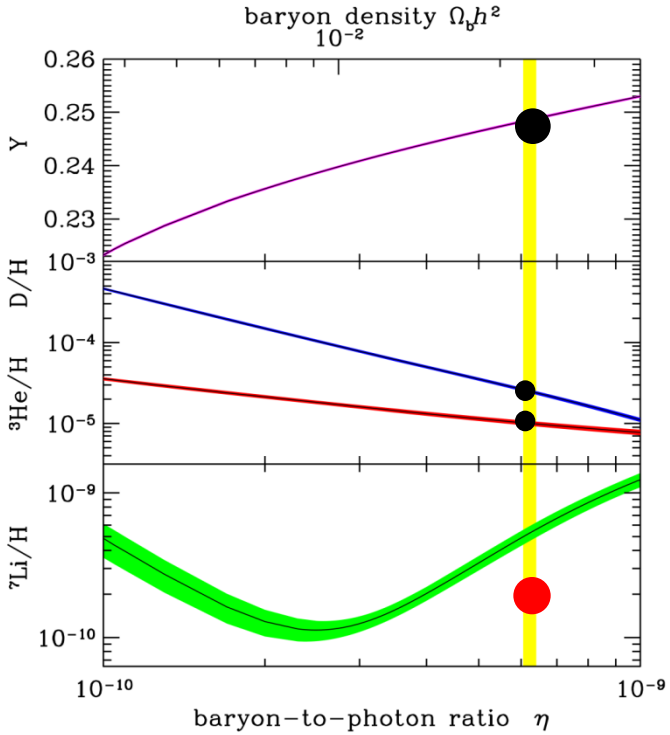




Misure su:

- campioni di piccola massa (< 1 mg)
- isotopi con basse sezioni d'urto

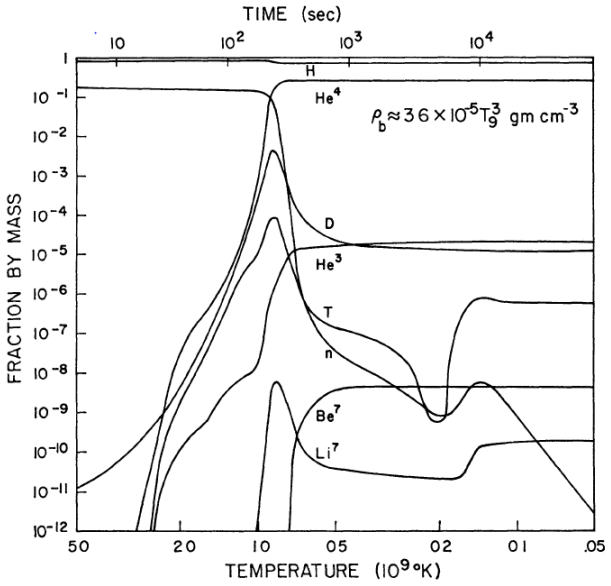
Il problema del Litio Cosmologico



^{7}Li sovrastimato di un fattore 3-5

Possibile spiegazione: teoria standard → 95% del ^{7}Li prodotto dal decadimento del ^{7}Be (tempo di dimezzamento 53.2 giorni).

Abbondanza del **^{7}Li** legata alla **produzione** e **distruzione** del **^{7}Be**.

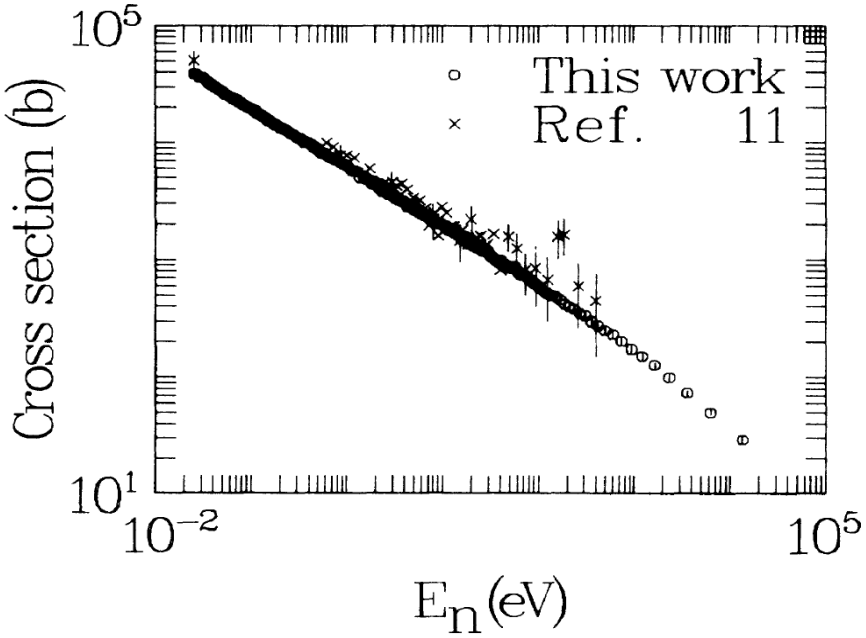


Reazioni indotte da **protoni**, **deutoni** e **^{3}He non responsabili** della distruzione del ^{7}Be.

Ruolo delle reazioni indotte dai neutroni

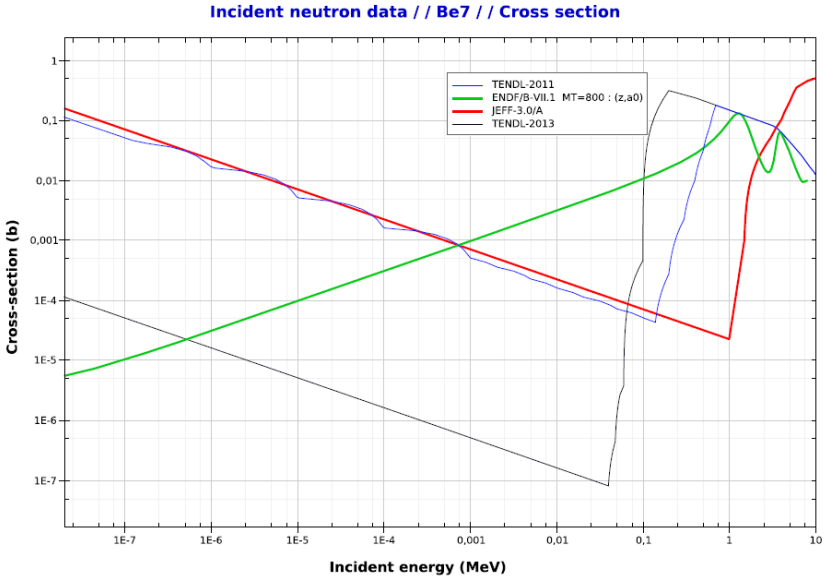
^{7}Be (n,p) ^{7}Li → dal **termico** a **13.5 keV**

(P. Koehler et al, Los Alamos 1988)



^{7}Be (n,α) ^{4}He → **valutazioni teoriche**

(P. Bassi et al., **ISPRA** '60)



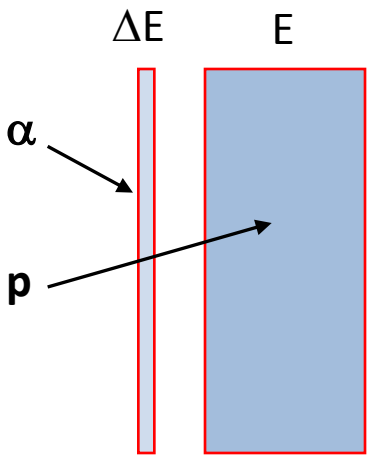
Dottorato di ricerca: studio della reazione **^{7}Be (n,p) ^{7}Li** nel range di interesse del problema (**20 - 100 keV**)

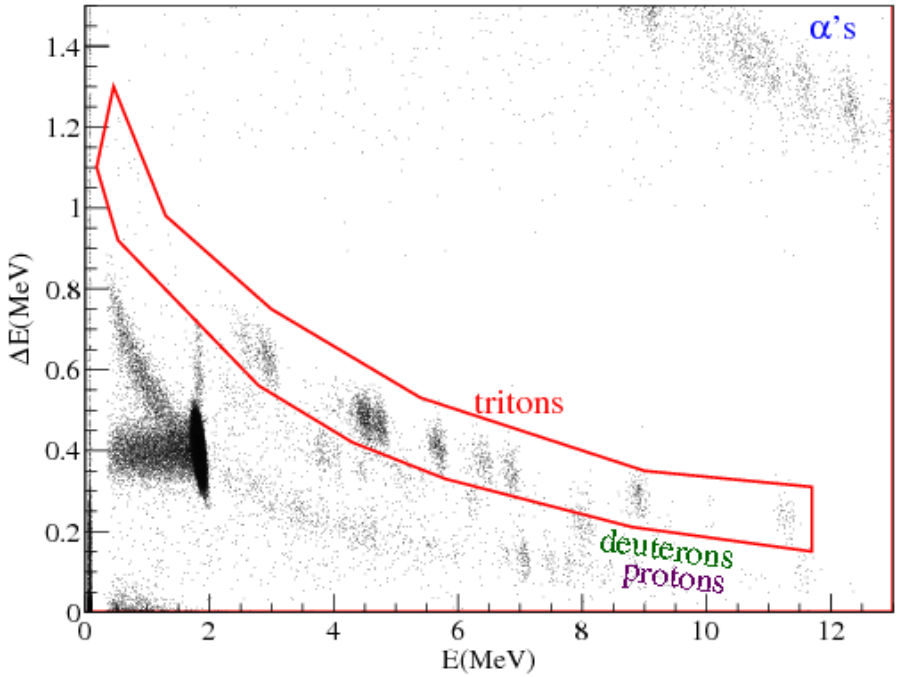
Nell'ambito del **lavoro di tesi** mi sono occupata del test dell'apparato usato nella **^{7}Be (n,α) ^{4}He**

Set-Up sperimentale relativo alla ^{7}Be (n,p) ^{7}Li

Tecnica per lo studio delle reazioni di particella carica indotte dai neutroni [**(n,p) (n,α)…**]: **Silicon Telescope ΔE-E**.

Due **rivelatori** a **strip di Silicio** (16 strips, 5x5 cm^2, spessore **20** e **300 μm**)

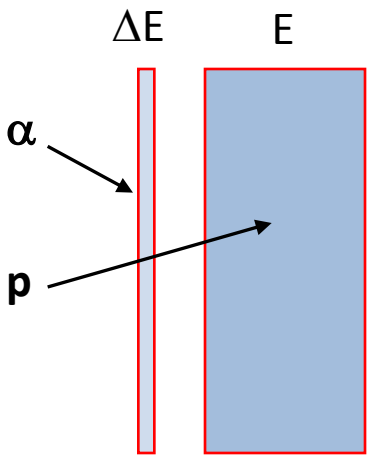


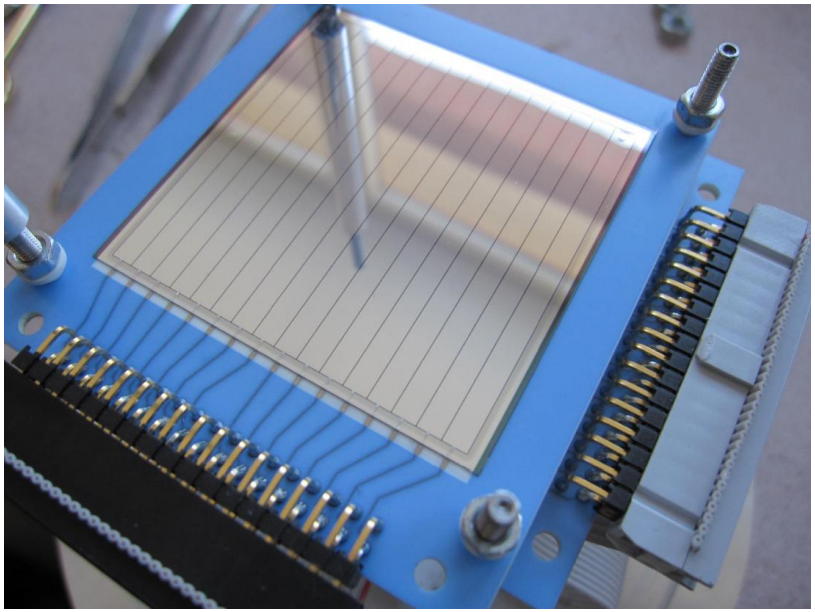


Set-Up sperimentale relativo alla ^{7}Be (n,p) ^{7}Li

Tecnica per lo studio delle reazioni di particella carica indotte dai neutroni [**(n,p) (n,α)…**]: **Silicon Telescope ΔE-E**.

Due **rivelatori** a **strip di Silicio** (16 strips, 5x5 cm^2, spessore **20** e **300 μm**)





Programma da svolgere nei tre anni

Primo anno

- montaggio e test dell'apparato sperimentale ;
- presa dati dell'esperimento;
- simulazioni Monte Carlo per la stima dell'efficienza dell'apparato;

Secondo anno

- Analisi dei dati per l'estrazione della sezioni d'urto;
- Studio di modelli di BBN e dell'impatto delle nuove misure ad n_TOF sui calcoli dell'abbondanza primordiale;

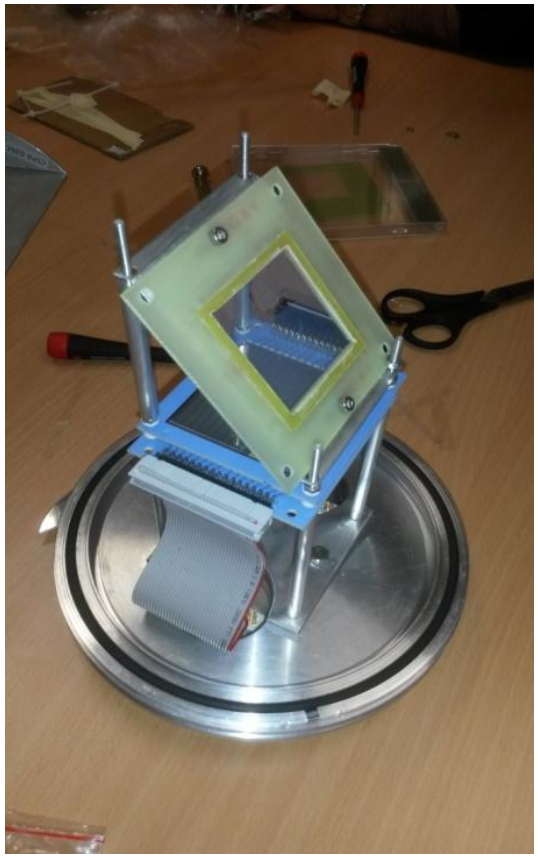
Terzo anno

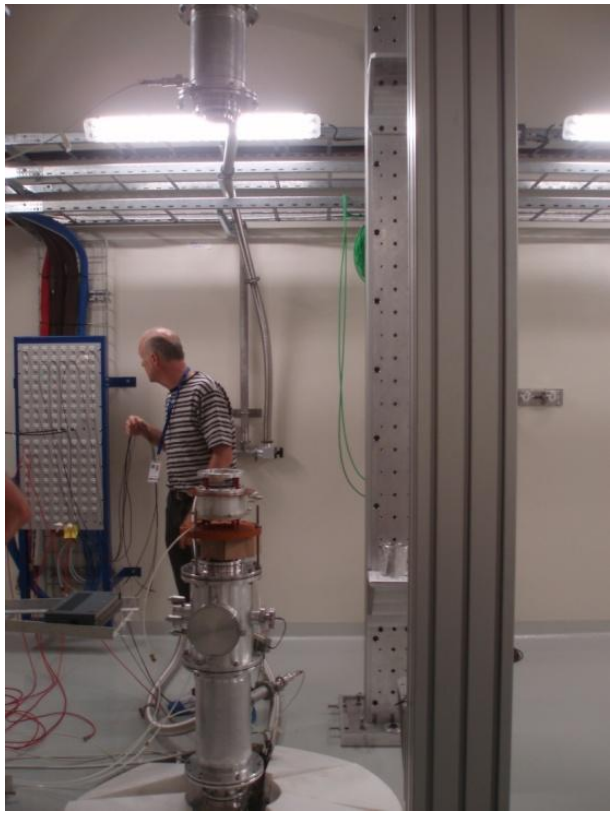
- Studio di una reazione di cattura neutronica di interesse astrofisico (Ca, Y, etc…)

Grazie per l'attenzione

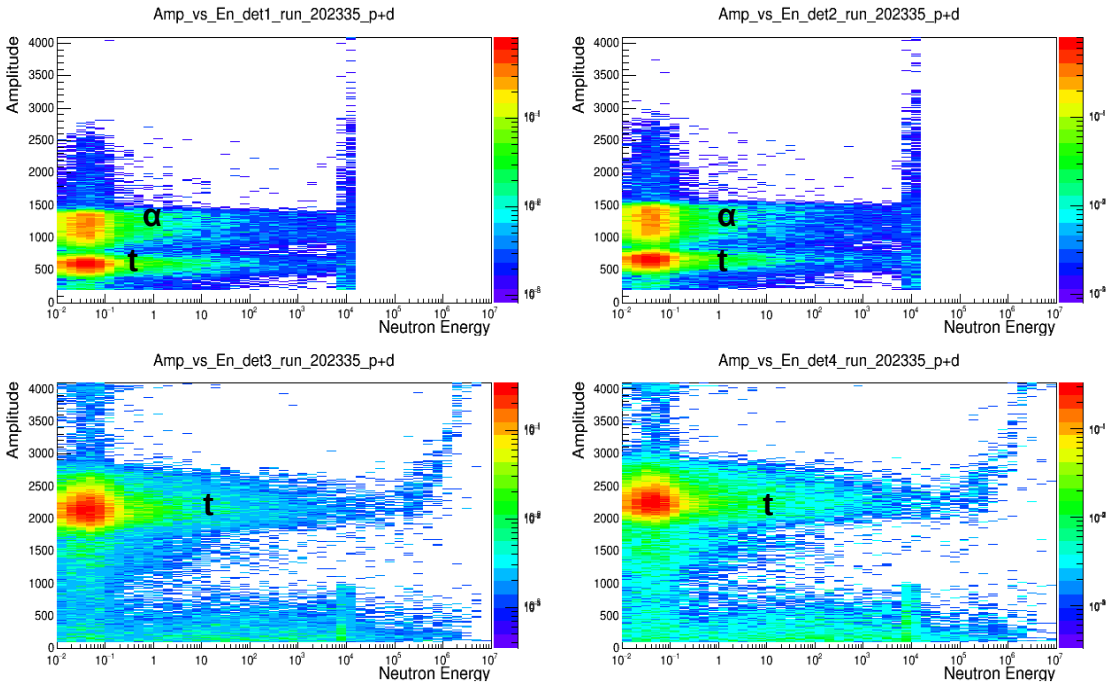
Test sul Silicon Telescope ΔE-E

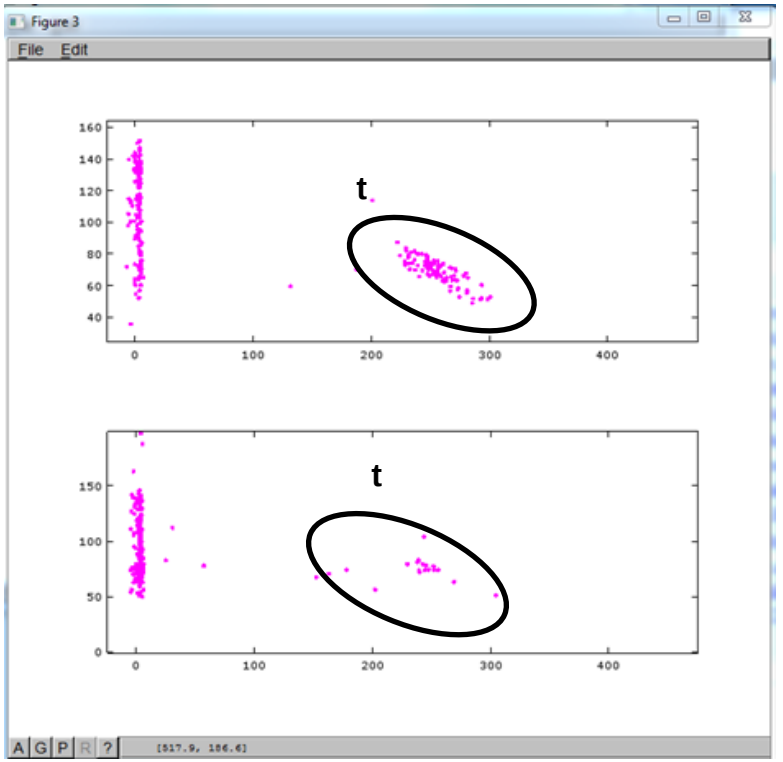
- Convertitore di **LiF** spesso **105 μg/cm²** (LNS) ($^{6}Li(n,t)^{4}He$)
- **Particelle α** da 2.05 MeV sono fermate nel rivelatore ΔE
- **Tritoni** da 2.73 MeV perdono ~ 1 MeV nel ΔE





Risultati del test





La regione dei tritoni è chiaramente visibile