

D'Agata G.^{1,2}, Pizzone R.G.¹ Spitaleri C.^{1,2}, Blagus S.⁴, Figuera P.¹, Grassi L.¹, Guardo G.L.¹, Gulino M.^{1,3}, Hayakawa S.⁵, Indelicato I.^{1,2}, Kshetri R.⁶, La Cognata M.², Lamia L.², Lattuada M.^{1,2}, Mijatović T.⁴, Milin M.⁷, Miljanic D.[†], Prepolec L.⁴, Sergi M.L.¹, Skukan N.⁴, Soic N.⁴, Tokic V.⁴, Tumino A.^{1,3}, Uroic M.⁴

¹ INFN-LNS, Via Santa Sofia, 62, 95123 Catania CT, IT

² Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università degli Studi di Catania, Via Santa Sofia, 64, 95123 Catania CT, IT

³ Kore University, Viale delle Olimpiadi, 1, 94100 Enna EN, IT

⁴ Rudjer Boskovic Institut, Bijenička cesta, 54, 10000, Zagreb, HR

⁵ RIKEN, CNS, 2-1 Hirosawa, Wako, Saitama 351-0198, Japan

⁶ Department of Physics, Sidho-Kanho-Birsha University, Purulia - 723104, WB, India

⁷ Department of Physics, University of Zagreb, Bijenicka 32, Zagreb, Croatia

MOTIVAZIONE ASTROFISICA

Scarsa comprensione della nucleosintesi del fluoro

^{19}F , unico isotopo stabile del fluoro, può essere prodotto in:

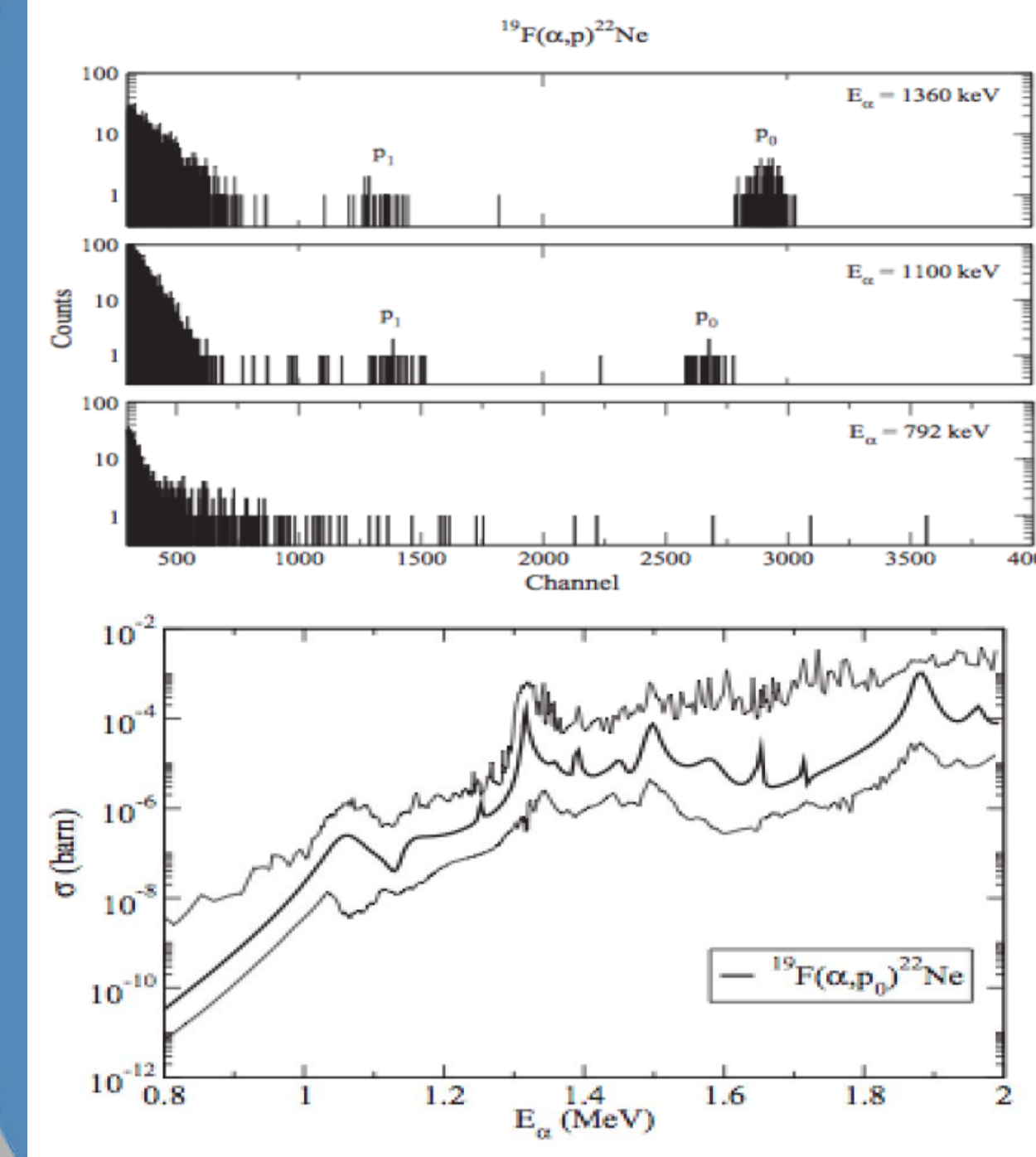
- AGB di piccola massa ($2 \div 4 M_{\odot}$) (unici dati osservativi) [1] [2]
- Supernovae SNe II [3]
- Stelle di Wolf Rayet [4]

Tre catene di produzione proposte

- $^{14}\text{N}(\alpha, \gamma)^{18}\text{F}(\beta^+ \nu)^{18}\text{O}(p, \alpha)^{15}\text{N}(\alpha, \gamma)^{19}\text{F}$ (prevalent)
- $^{14}\text{N}(n, \gamma)^{15}\text{N}(\alpha, \gamma)^{19}\text{F}$
- $^{14}\text{N}(\alpha, \gamma)^{18}\text{F}(\beta^+ \nu)^{18}\text{O}(n, \gamma)^{19}\text{O}(\beta^- \nu)^{19}\text{F}$

La sezione d'urto per la reazione $^{19}\text{F}(\alpha, p)^{22}\text{Ne}$ è conosciuta tramite estrapolazione ad energie di interesse astrofisico

STATO DELL'ARTE



Misure dirette della sezione d'urto si spingono fino a $E_{\text{lab}} = 1.1 \text{ MeV}$, per un fascio di ^4He incidente su ^{19}F . Si rendono necessari quindi misure indirette [5][6]

Temperatura $\rightarrow 2 \cdot 10^8 \text{ K}$

Finestra di Gamow $\rightarrow \sim 400 \div 800 \text{ keV}$

IL TROJAN HORSE METHOD

Tramite il Trojan Horse method (THM) [7][8][10] si è in grado di estrarre la sezione d'urto della reazione a due corpi di interesse astrofisico $A+x \rightarrow c+C$ a basse energie a partire da una opportuna reazione a tre corpi $a+A \rightarrow c+C+s$



In PWIA la sezione d'urto a tre corpi può essere fattorizzata come [9]:

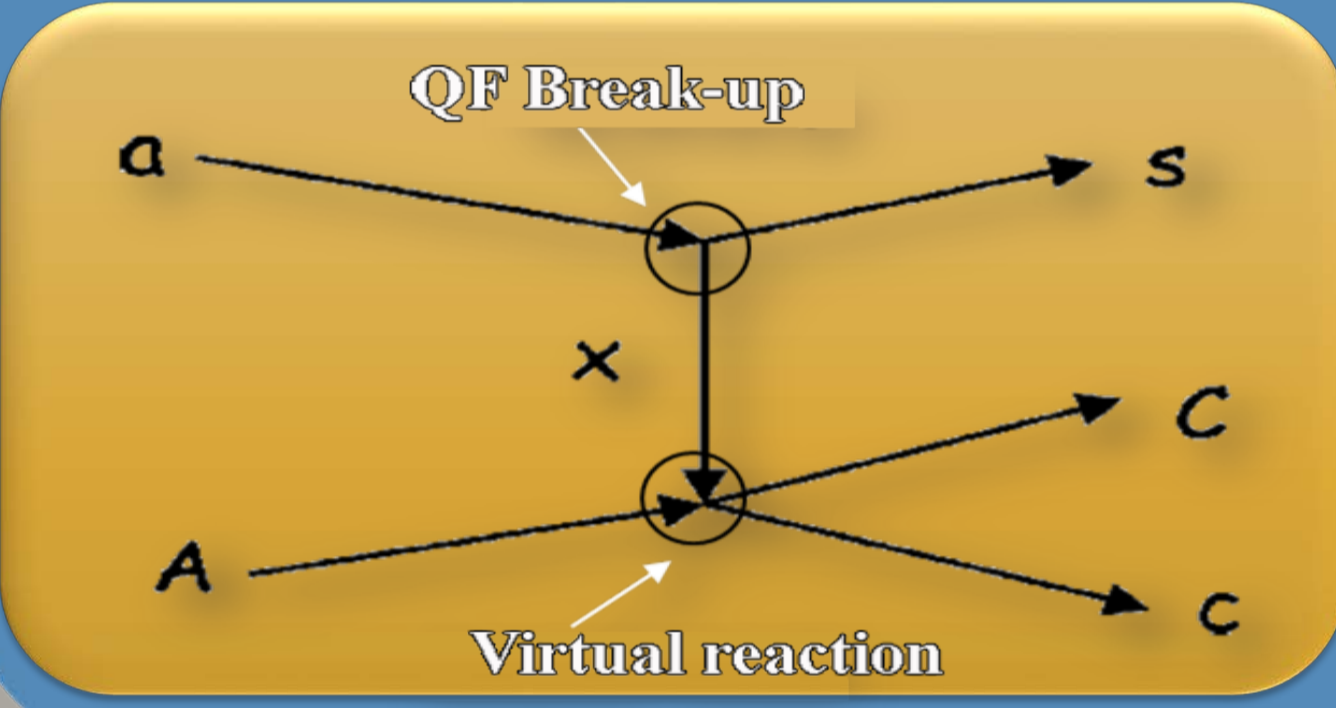
$$\frac{d^3\sigma}{d\Omega_c d\Omega_s dE_c} \propto KF \cdot |\Phi(p_s)|^2 \cdot \frac{d\sigma_{Ax}}{d\Omega}$$

Sezione d'urto a tre corpi misurata

Fattore cinematico (calcolato)

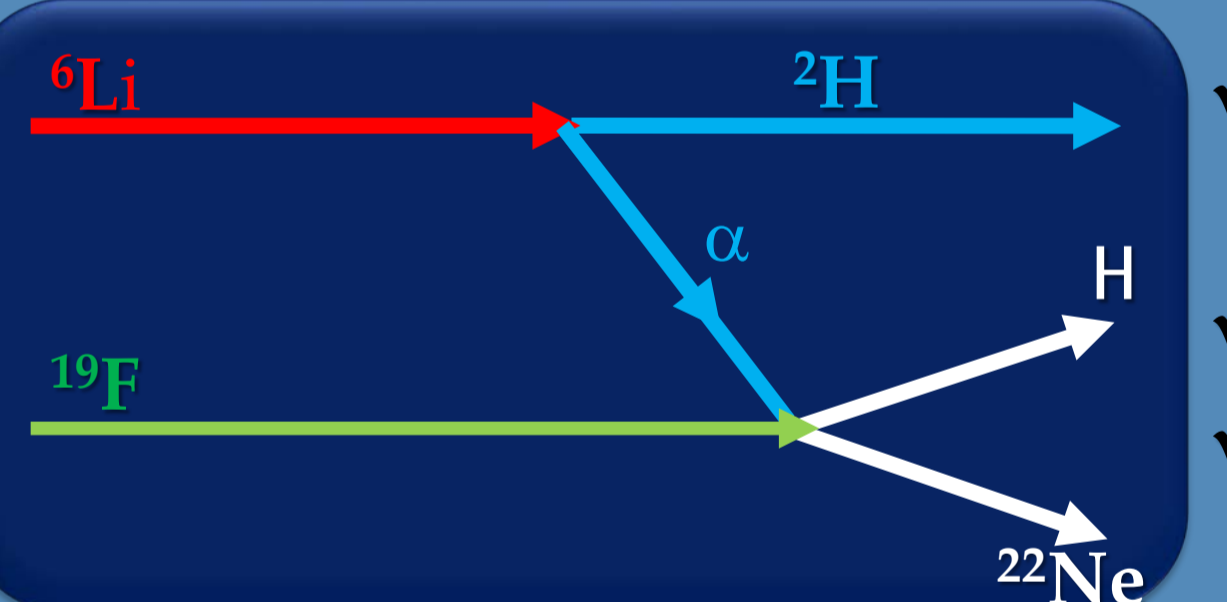
Distribuzione d'impulsi

Sezione d'urto a due corpi di interesse



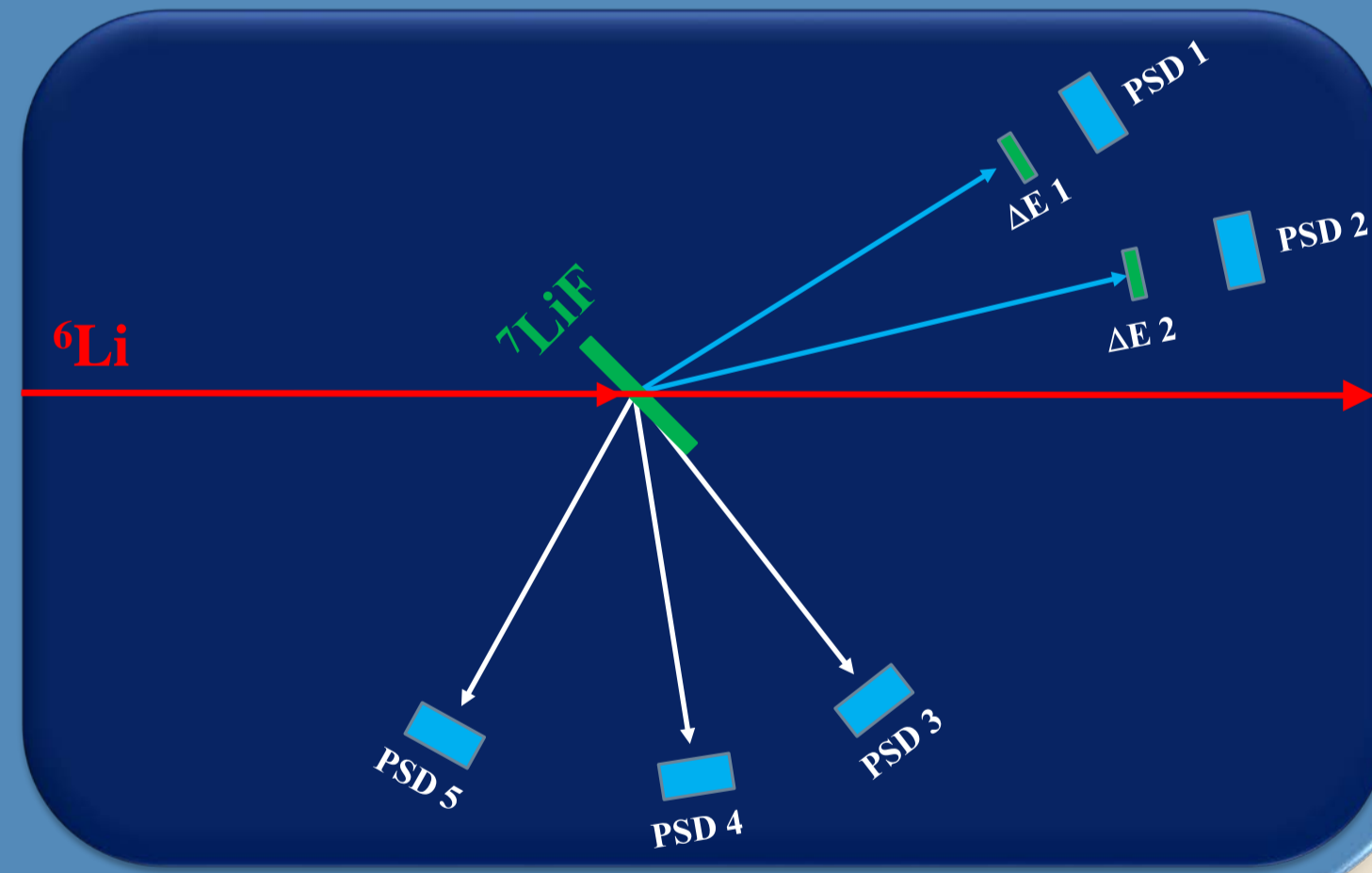
Il nucleo cavallo di Troia a (nel bersaglio o nel proiettile) è tale da avere una forte struttura a cluster $x \oplus s$, e in PWIA (Plane Wave Impulse Approximation)[11], solo x interagisce con A , mentre s funge da spettatore per la reazione.

SET-UP SPERIMENTALE



- ✓ Reazione $^{19}\text{F}(\alpha, p)^{22}\text{Ne}$ studiata a partire da $^6\text{Li}(^{19}\text{F}, p^{22}\text{Ne})d$
- ✓ $V_{\text{coul}} = 5.41 \text{ MeV}$
- ✓ ^6Li presenta struttura a cluster $\alpha + d$, $E_B = 1.47 \text{ MeV}$

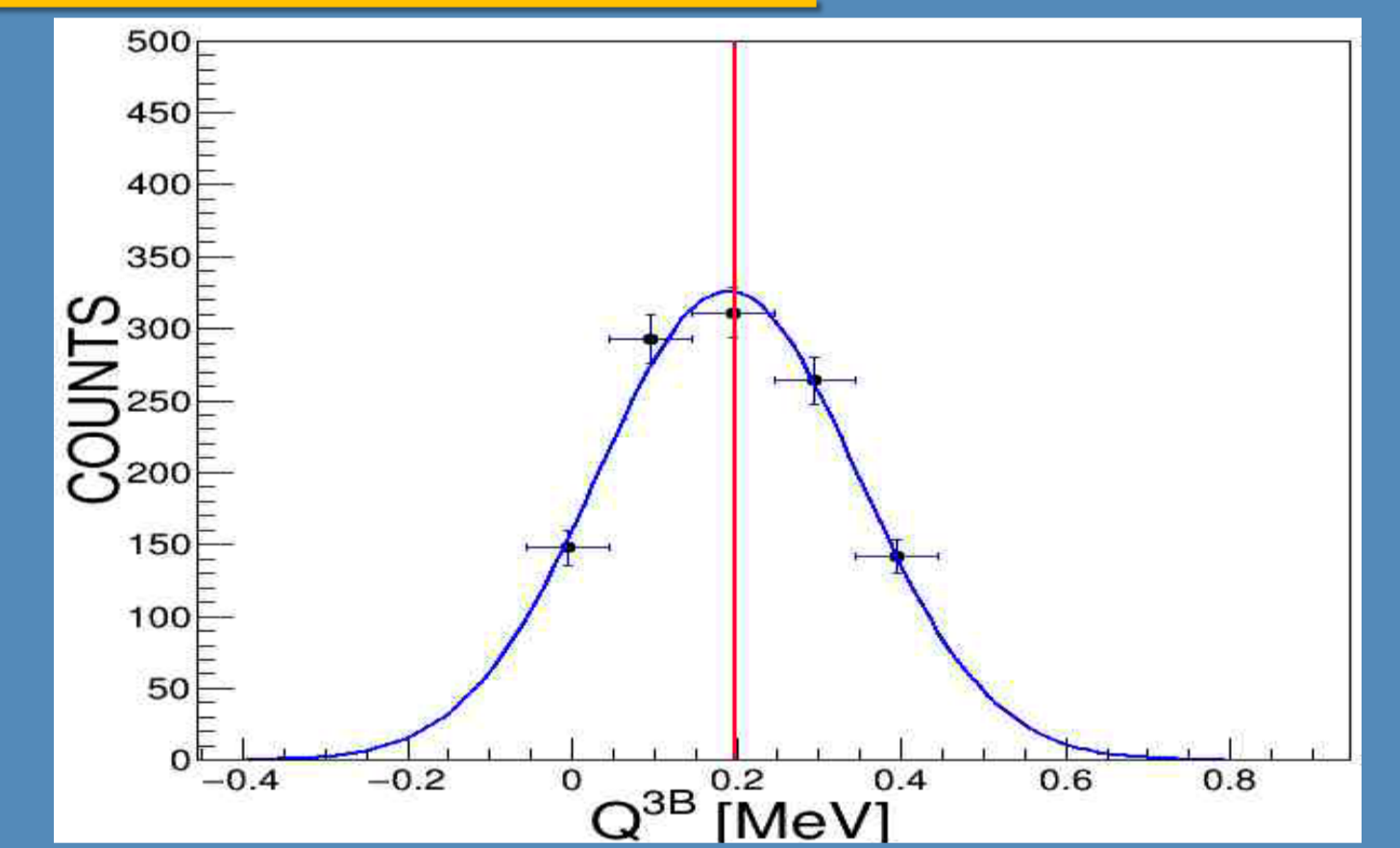
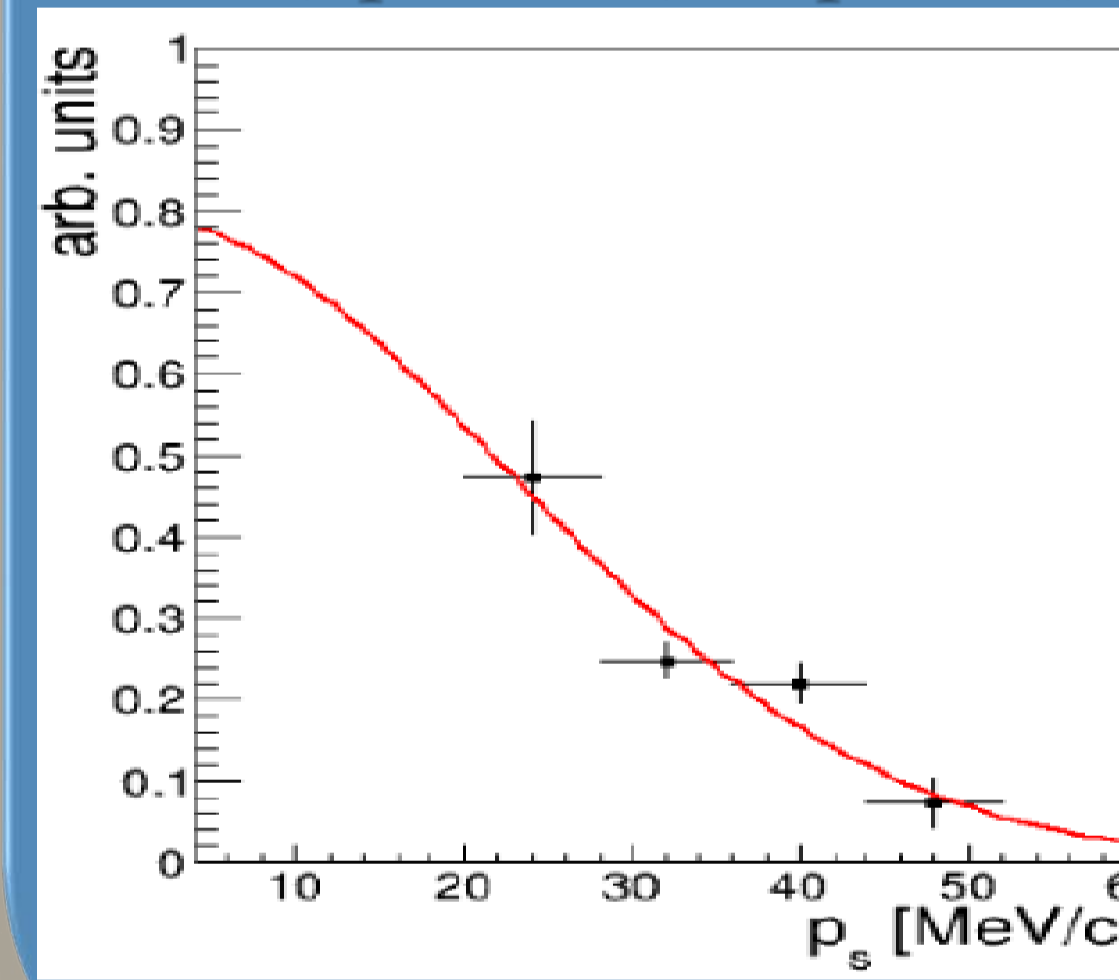
- ✓ Esperimento condotto al Rudjer Boskovic Institute (Zagabria)
- ✓ Fascio di ^6Li $E_{\text{beam}} = 6 \text{ MeV}$ ($i = 5 \text{ nA}$)
- ✓ Target ^7LiF da $100 \mu\text{g}/\text{cm}^2$
- ✓ Due telescopi $\Delta E-E$ (Silici da $9 \mu\text{g}$, e $500 \mu\text{g}$)



ANALISI DATI

Selezione canale

Q-valore in buon accordo con quanto atteso ($Q_{\text{val}} = 0.199 \text{ MeV}$) per $^{19}\text{F}(^6\text{Li}, p^{22}\text{Ne})d$



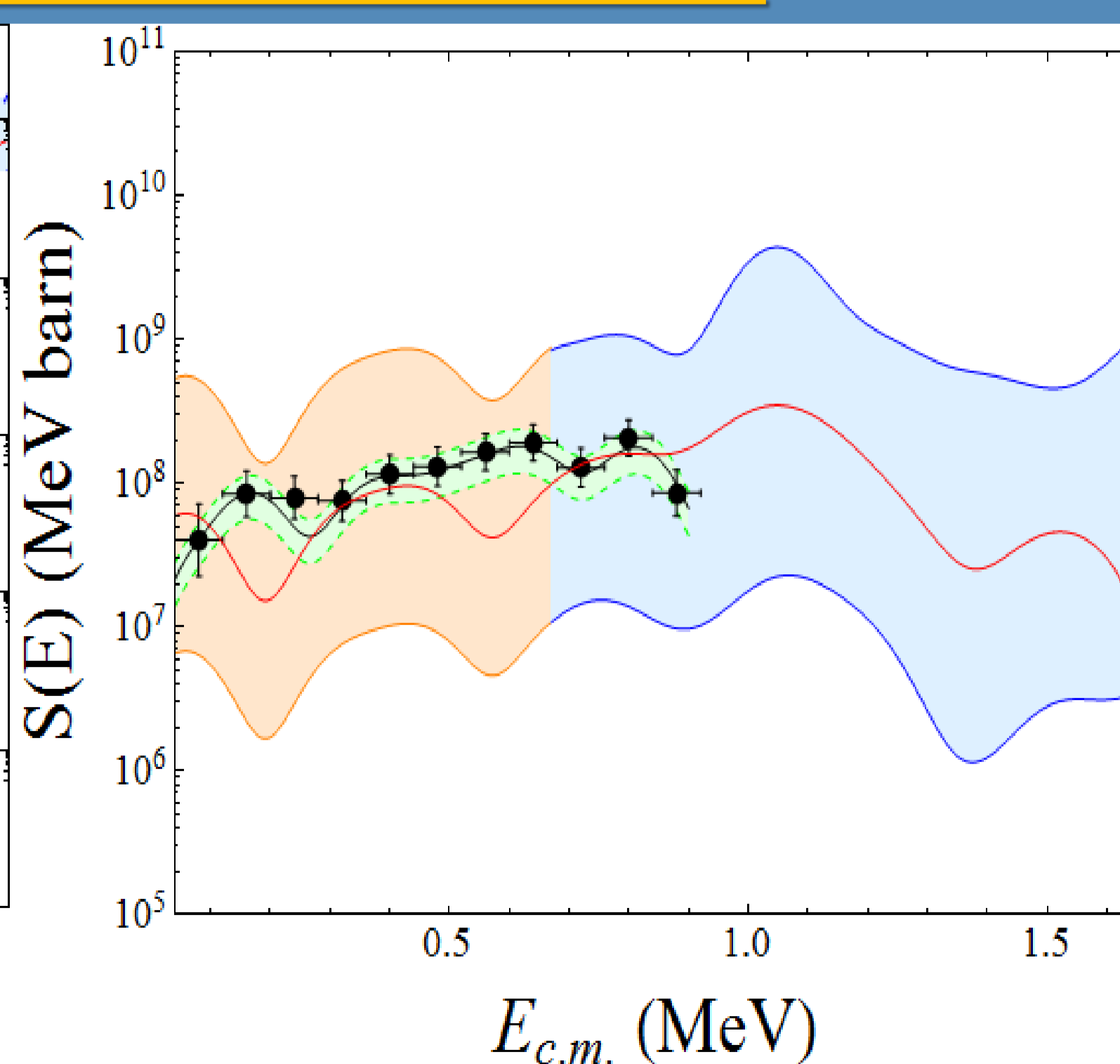
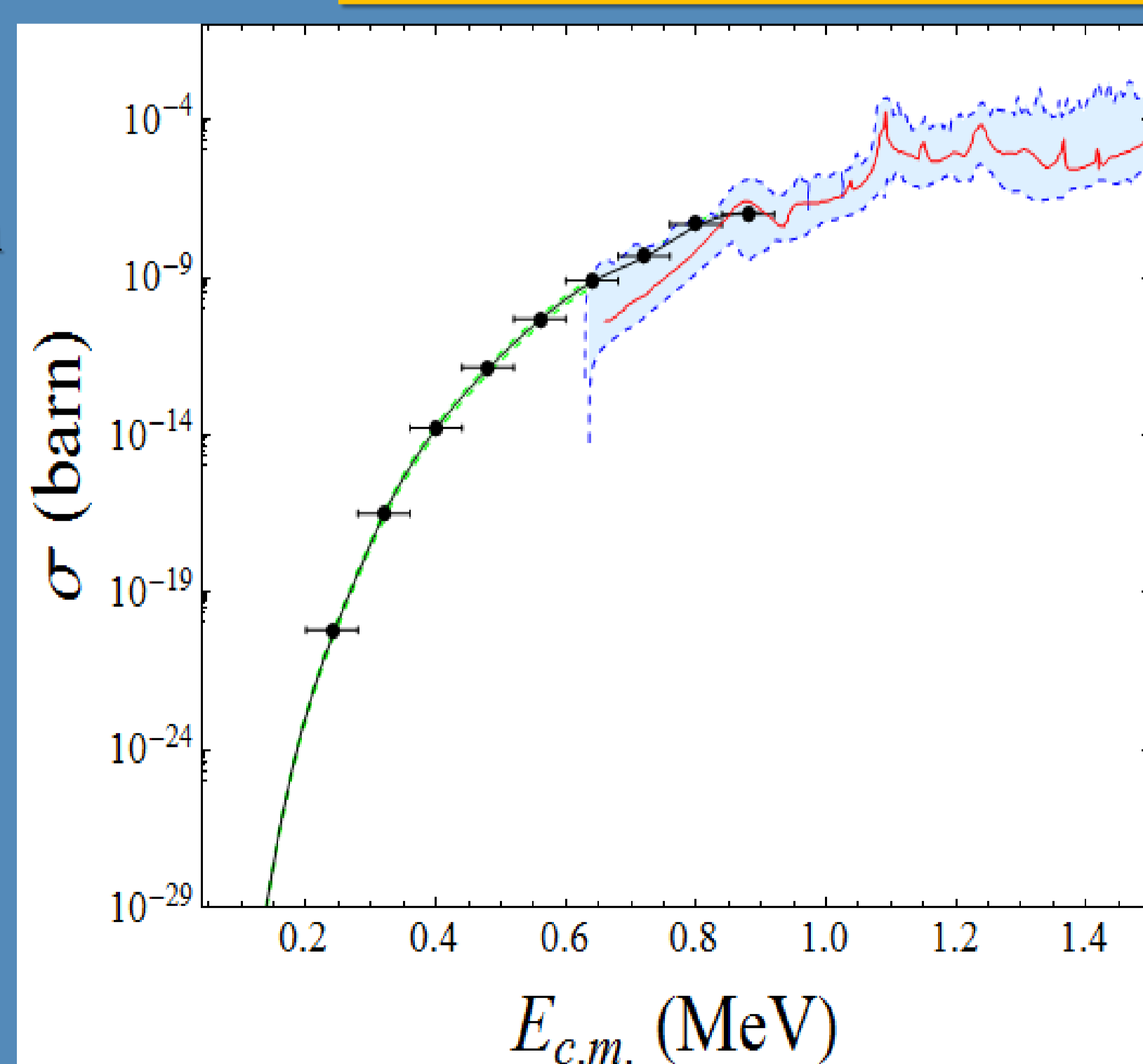
Selezione del contributo quasi libero

La distribuzione di impulsi sperimentale per il momento relativo del deuterio all'interino di ^6Li è in accordo con quanto atteso dalla letteratura [12]

RISULTATI E CONCLUSIONI

$\sigma(E)$ a due corpi

Sezione d'urto sperimentale per la reazione $^{19}\text{F}(\alpha, p)^{22}\text{Ne}$ in unità assolute, ottenuta previa normalizzazione ai dati diretti (punti in nero con relativi errori). La linea rappresenta il best-fit sui dati calcolato tramite approccio di Modified R-Matrix. In figura è presente anche un confronto con i dati presenti in letteratura.



Fattore astrofisico

Fattore astrofisico per la reazione in esame, confrontato ai dati diretti. La linea rossa rappresenta i dati diretti e l'estrapolazione ad energie inferiori a $E_{\text{C.M.}} = 0.66 \text{ keV}$, con relativa incertezza (banda azzurra). I punti sperimentali e il fit di R-Matrix sono ottenuti dalla sezione d'urto mediante le usuali formule

BIBLIOGRAFIA

- [1] Jorissen, A., Smith, V. V., & Lambert, D. L. 1992, A&A, 261,164
 [2] S. Lucatello et al. 2011, ApJ, 729, 40
 [3] S.E. Woosley an W.C. Haxton 1988, Nature, 334, 45
 [4] S.E. Goriely, A. Jorissen and M. Arnould 1989, Proceedings of the 5th Workshop on Nuclear Astrophysics, MPA/PI, edited by W. Hillebrandt and E. Muller, p. 60
 [5] Ugalde C, Azuma R, Gorres J, Heil M, Sheller K, Stech E, Tan W and Wiescher M, 2005, Nuc. Phys. A, 758, 577.
 [6] Ugalde C, Azuma R, Coutre A, Gorres J, Lee H Y, Stech E, Strandberg E, Tan W and Wiescher M, 2008, Phys. Rev. C, 77.
 [7] Spitaleri C, 1991, in Problems of Fundamental Modern Physics, II: Proceedings, Ed. by R. Cherubini, P. Dalpiaz, and B. Minetti (World Sci., 1991), p. 21.
 [8] Baur G, Typel S, 2004 Progress of Theoretical Physics Supplement, 154, 333-340
 [9] Spitaleri C, Mukhamedzhanov A M, Blokhintsev L D, La Cognata M, Pizzone R G and Tumino A, 2011, Physics of Atomic Nuclei, 74, 12, 1725-1739.
 [10] Tribble R E, Bertulani C A, La Cognata M, Mukhamedzhanov A M and Spitaleri C, 2014, Reports on Progress in Physics, 77, 10.
 [11] Chew, G. F. and Wick, G. C. (1952). The Impulse Approximation. Physical Review, 85:636-642.
 [12] Pizzone R G, Spitaleri C, Mukhamedzhanov A M, Blokhintsev L D, Bertulani C A, Irgaziev B F, La Cognata M, Lamia L and Romano S, 2009, Phys. Rev. C, 80.