



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

Collaborazioni in ambito fusione

Giornata di lavoro ENEA-INFN

Frascati, 1/7/21

Marco Ciotti, FSN-FUSPHY



SVILUPPO RIVELATORI PER FUSIONE E LASER PLASMA

ENEA-Frascati (**Danilo Pacella** lab NIXT) e

INFN-Frascati (resp. **Fabrizio Murtas**) e partecipazione a **INFN-Energy**

La collaborazione è iniziata nel 2012 con lo sviluppo di rivelatori a gas di tipo GEM per **Soft X-ray imaging** risolto in energia e l'impiego in esperimenti Tokamak nel mondo (tuttorà in funzione):

- KAIST (Corea del Sud) dal 2013
- EAST (Cina) dal 2015

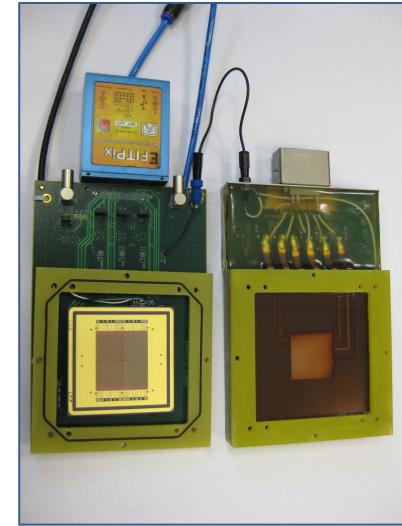
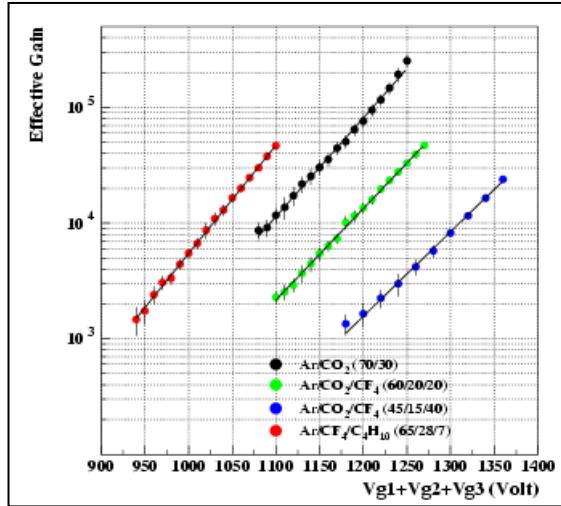
I rivelatori sono costruiti e calibrati a Frascati



SVILUPPO RIVELATORI: X Ray

Vantaggi:

- Camere con guadagno regolabile (fino a 10^5)
- Alta efficienza e alta sensibilità
- Versatilità nel design 2-D
- Grande area attiva
- Alta reiezione verso neutroni e gamma
- Range di energia in 2-D : **2- 20 keV**
- Range di energia in 1D: **2- 50 keV**



SVILUPPO RIVELATORI: spettroscopia gamma

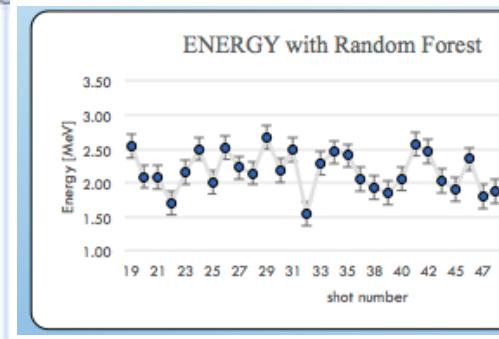
....a cui si sono aggiunti i rivelatori C-MOS al Silicio per **spettroscopia gamma** in esperimenti laser-plasma, provati su :

- Eclipse (Francia)
- Vega II (Spagna)
- Gekko XII (Giappone)

Energy range : 40 keV – 10 Mev

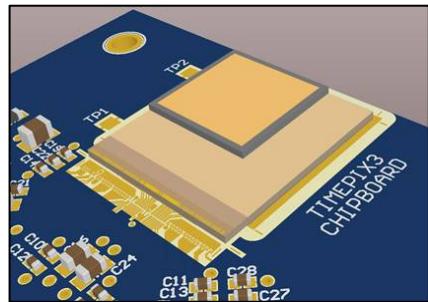


14 × 14 mm² detector

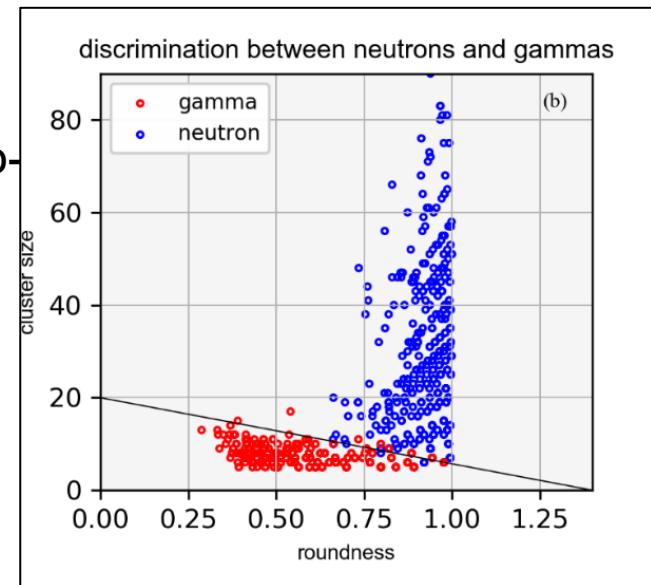
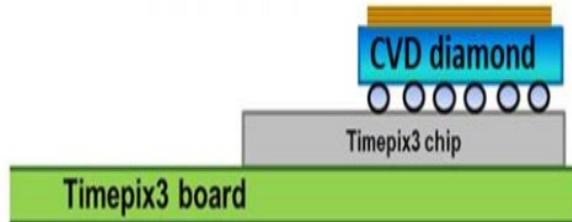


Energy of gammas produced
In laser plasma interaction at
Vega -2

SVILUPPO RIVELATORI: neutroni



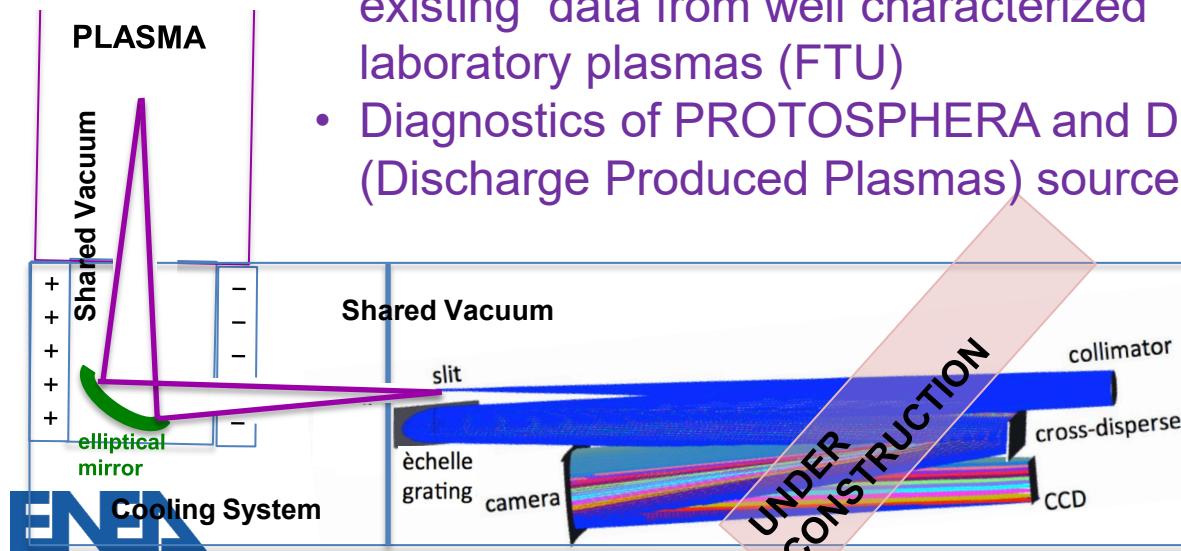
.....con l'ultimo prototipo C-MOS
accoppiato con diamante mono-
cristallino per la rivelazione di
neutroni veloci (fino a 14 MeV)



LAboratory Plasma Spectroscopy for Ultraviolet Space (LAPSUS)

Aim of Collaboration with ENEA:

- Calibration of spectrometer with available sources at ENEA
- Validation of CHIANTI, the atomic database for astrophysical plasmas, with existing data from well characterized laboratory plasmas (FTU)
- Diagnostics of PROTOSPHERA and DPP (Discharge Produced Plasmas) sources.



Marina Giarrusso (P.I)
INFN – LNS, Catania, Italy

Francesca Bombarda
ENEA-FSN-FUSPHY-SDL,
Frascati, Italy

Francesco Leone
INAF/Uni. Catania, Italy

- UV spectrometer 70-420 nm
- $R = \lambda/\Delta\lambda = 20000$
- Portable
- Low cost

Reazioni di fusione nucleare a basso rate

H-¹¹B, iniziate da interazioni laser-materia, anche per interesse di tipo astrofisico;
relativo sviluppo e test di diagnostiche
impulsi elettromagnetici EMP iniziati da laser»

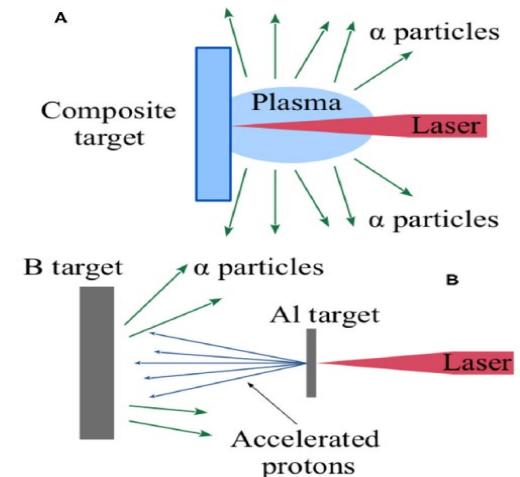
ENEA: F. Consoli, M. Cipriani, P. Andreoli, G. Cristofari, R. De Angelis, G. Di Giorgio, M. Scisciò, **FSN-FUSPHY**

INFN: A. Bonasera, G.A.P. Cirrone, G. L. Guardo, M. La Cognata, L. Lamia, D. Lattuada, S. Palmerini, R.G. Pizzone, S. Romano, A. Tumino

INFN Perugia, LNS Catania

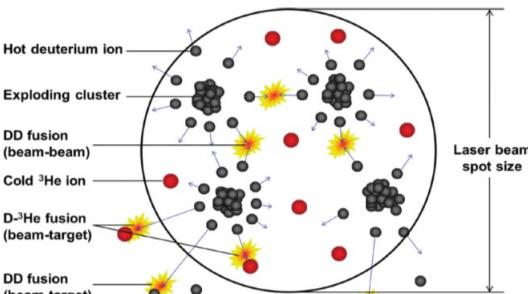
- Studio di reazioni di fusione nucleare a basso rate, quali ad esempio H-¹¹B, iniziate da interazioni laser-materia, anche per interesse di tipo astrofisico
- Impiego di target solidi ed in forma di cluster
- Relativo sviluppo e test di diagnostiche avanzate in tale specifico e difficile ambito
- Generazione di impulsi elettromagnetici (EMPs) ad alta intensità, nel dominio della radiofrequenza-microonde, generati da interazione laser-materia ad alta intensità.

Schemi interazione laser con bersagli solidi per reazioni di fusione nucleare

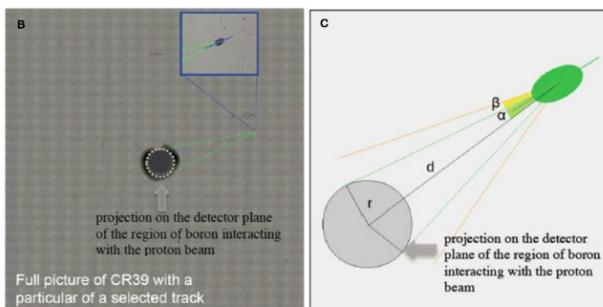


- Storica collaborazione del gruppo Fusione Inerziale di ENEA-Frascati con l'INFN.
- Partecipazione congiunta a diversi esperimenti negli anni passati, sia sul laser ABC (ENEA-Frascati) che all'estero al Texas Petawatt Laser a Austin e ultimamente (ottobre 2020) al laser PALS di Praga (analisi dati in corso).
- Una proposta di esperimento congiunto è stata presentata alla facility laser VEGA III di Salamanca (Principal Investigator: F. Consoli). Tale proposta è stata accettata, con finanziamento Laserlab-Europe. Data prevista al momento nel 2022.

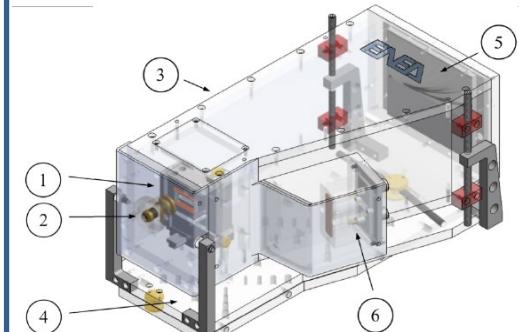
Interazione laser con cluster per reazioni di fusione nucleare



Sviluppo metodologie avanzate per la diagnostica dei prodotti di fusione con Solid State Nuclear Track Detectors



Sviluppo spettrometri Thomson avanzati per caratterizzazione ioni



- F. Consoli, et al, “Diagnostic Methodologies of Laser-Initiated $^{11}\text{B}(\text{p},\alpha)2\alpha$ Fusion Reactions”, *Frontiers on Physics* 8, 561492 (2020). **Review Paper**
- G. Di Giorgio, et al, “Development of advanced Thomson spectrometers for nuclear fusion experiments initiated by laser”, *Journal of Instrumentation* 15, C10013 (2020)
- M. Cipriani, et al, “Spectral characterization by CVD diamond detectors of energetic protons from high-repetition rate laser for aneutronic nuclear fusion experiments”, *Journal of Instrumentation* 14, C01027 (2019).
- F. Ingenito, et al, “Directional Track Selection Technique in CR39 SSNTD for low-yield reaction experiments”, *EPJ Web of Conferences* 167, 05006 (2018).
- D. Giulietti, et al, “Laser-plasma energetic particle production for aneutronic nuclear fusion experiments”, *NIM B*, 402, 373, 2017.
- M. Barbarino, et al “Thermal and log-normal distributions of plasma in laser driven Coulomb explosions of deuterium clusters”, *International Journal of Modern Physics E* 25 (2016) 1650063.
- F. Consoli, et al “Study on a compact and adaptable Thomson Spectrometer for laser-initiated $^{11}\text{B}(\text{p},\alpha)^8\text{Be}$ reactions and low-medium energy particle detection”, *Journal of Instrumentation* 11, C05010, 2016.
- D. Lattuada, et al “Model-independent determination of the astrophysical S factor in laser-induced fusion plasmas”, *Physical Review C* 93, 045808, 2016.
- A. Curcio, et al, ”Fast ion emission and parametric instabilities in laser-solid target interaction“, *J. Instrumentation* 11, C04006, 2016.
- M. Barbui, et al “A laser application to nuclear astrophysics”, *AIP Conference Proceedings* 1595, 168, 2014.
- W. Bang, et al, "Experimental study of fusion neutron and proton yields produced by petawatt-laser-irradiated D_2 - ^3He or CD_4 - ^3He clustering gases", *Physical Review E* 88, 033108, 2013.
- M. Barbui, et al, “Measurement of the Plasma Astrophysical S Factor for the $^3\text{He}(\text{d}; \text{p})^4\text{He}$ Reaction in Exploding Molecular Clusters”, *Physical Review Letters* 111, 082502, 2013, ‘**Suggested by Editors**’.
- W. Bang, et al, “Temperature Measurements of Fusion Plasmas Produced by Petawatt-Laser-Irradiated D_2 - ^3He or CD_4 - ^3He Clustering Gases”, *Physical Review Letters* 111, 055002, 2013,
- M. Barbui, et al “Study of the yield of D-D, D- ^3He fusion reactions produced by the interaction of intense ultrafast laser pulses with molecular clusters”, *Journal of Physics: Conference Series* 420, 012060, 2013.
- F. Consoli, et al, "Diagnostics improvement in the ABC facility and preliminary tests on laser interaction with light-atom clusters and $\text{p}+^{11}\text{B}$ targets", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 720, 149, 2013
- W. Bang, et al, "Temperature Measurements of Cluster Fusion Plasmas using D- ^3He or CD_4 - ^3He mixtures on the Texas Petawatt", *Proceedings of Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) - Quantum Electronics and Laser Science Conference*.

TASK DTT: interferometria

Referenti Onofrio Tudisco (ENEA) ; Davide Mascali (INFN)

- L'INFN (Catania) partecipa assieme ad ENEA, RFX e UnivTV, al task sull'interferometria.
- In particolare l'INFN è coinvolta nel sub task 3 per il confronto dei codici di ray-tracing, presenti all'università di TV, con i loro codici full-wave.
- Il codice FW verrà adattato alla geometria di DTT e dovrà simulare il percorso di un fascio laser.
- Il coinvolgimento prevede una quota di 0.5 ppm per l'INFN e 6 per Enea su 14 totali
- Sono coinvolti 4 ricercatori INFN con esperienza di interferometrie a microonde.

ICH antenna conceptual design for DTT

Referenti: Alessandro Cardinali, Gianluca Ravera (ENEA);
Davide Mascali, Giuseppe Torrisi, Luigi Celona, Santo Gammino (INFN)

SCOPE

Choice of the most suitable IC antenna concept for DTT, refinement of its design and performance assessment with main plasma scenarios.

Develop and validate a simulation tools

Modeling tools

Simulation of the antenna design and the coupling optimization will be done by using the following numerical tools:

TOPICA (PoLiTo) : Antenna Design and Coupling

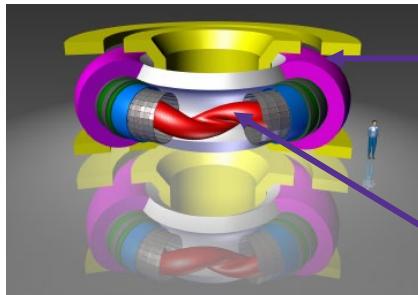
CST MWS code (INFN), and new COMSOL/MatLab code for IC antenna

HFSS code (Create)

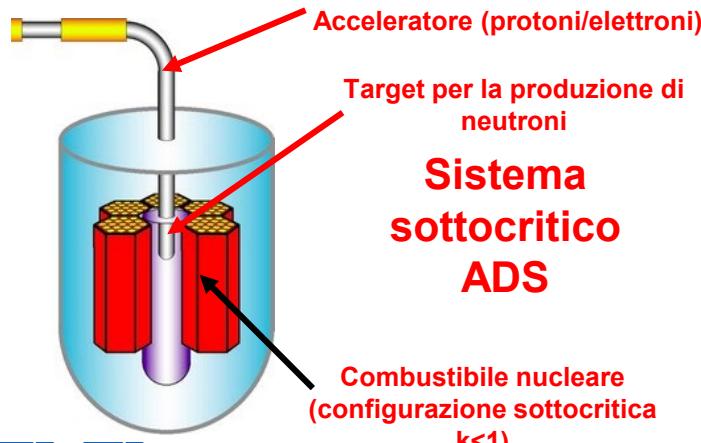
TORIC + SSQLF (ENEA): Antenna + Plasma

Reattori ibridi fusione-fissione

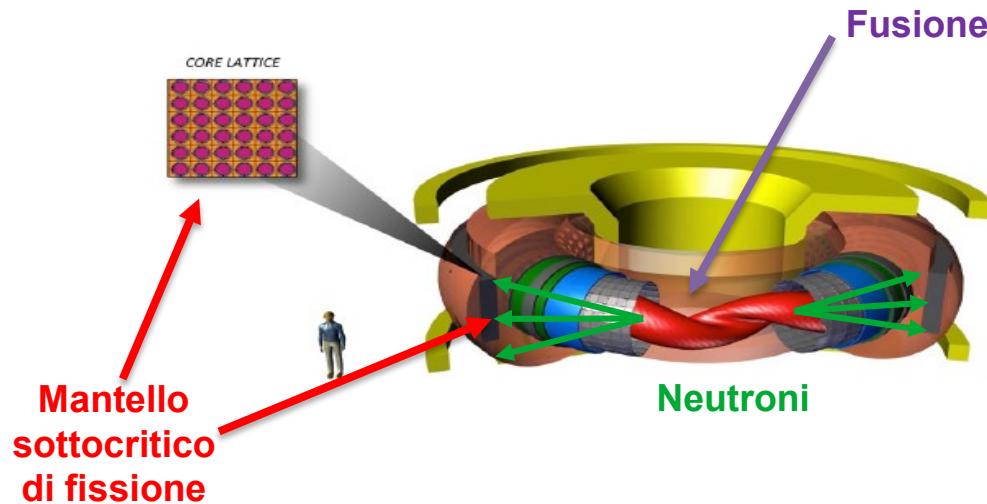
Riferimento: Fabio Panza (ENEA); Marco Ripani (INFN)



Sistema magnetico
Reattore a fusione (DT/DD)
Plasma

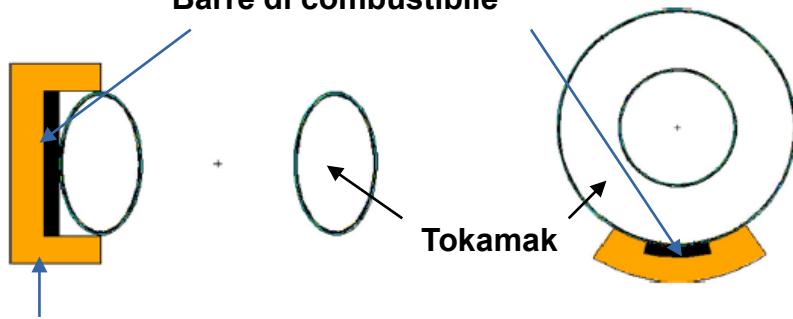


Un reattore ibrido fusione-fissione si basa sull'accoppiamento tra una macchina afusione, con la funzione principale di generare neutroni, ed un sistema sottocritico a fissione che genera la maggior parte dell'energia. Rispetto agli ADS il sistema di accelerazione è sostituito dal reattore a fusione



Reattori ibridi fusione-fissione: modelli studiati

Barre di combustibile



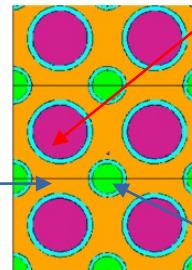
Sistema a bassa potenza

Combustibile MOX/esausto

Piombo solido

Sistema di raffreddamento

Acqua

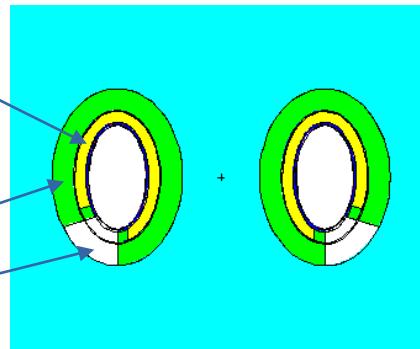


Riflettore in piombo/grafite

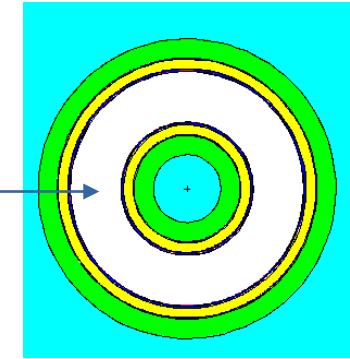
Mantello di sali fusi

Riflettore in piombo

Regione divertore



Tokamak compatto



Reattori ibridi fusione-fissioni: collaborazioni attive INFN-ENEA

Sono state studiate differenti configurazioni sia per il mantello di fissione che per la tipologia di sistema a fusione da utilizzare

- Mantello di fissione: bassa e alta potenza
- Tipologia di mantello di fissione: reattori al piombo, reattori ad acqua leggera, reattori a sali fusi
- Sistema a confinamento magnetico: Tokamaks, Reversed Field Pinch (RFP)

Attualmente stiamo collaborando con i seguenti enti e università: RFX and,CNR, Università La Sapienza, SOGIN and ROSATOM



Reattori ibridi fusione-fissione: pubblicazioni INFN-ENEA

F. Panza, I. Balog, A. Cemmi, I. Di Sarcina, F. Filippi, E. Mansi, F. P. Orsitto, M. Osipenko, G. Ricco, M. Ripani, M. Ciotti, "Simple FFH pilot experiment model based on DTT-like machine" Eur. Phys. J. Plus (2020) 135:665

M. Ciotti, F. Panza , A. Cardinali, R. Gatto, G. Ramogida, G. Lomonaco, G. Ricco, M. Ripani, M. Osipenko,c"NOVEL HYBRID PILOT EXPERIMENT PROPOSAL FOR A FUSION-FISSION SUBCRITICAL COUPLED SYSTEM", Problems of Atomic Science and Technology - Series Thermonuclear Fusion (in fase di pubblicazione)

F.P. Orsitto, M. Angelone, M. Tardocchi, "DIAGNOSTICS AND CONTROL OF FUSION-FISSION HYBRID TOKAMAKBASED REACTORS: THE TECHNOLOGY FOR MEASUREMENT SYSTEMS", Problems of Atomic Science and Technology - Series Thermonuclear Fusion (in fase di pubblicazione)

F. Panza, M. Carta, A. Cemmi, N. Cherubini, V. Fabrizio, L. Falconi, F. Filippi, G. Grasso, F.P. Orsitto, V. Peluso, "SET UP OF A DETERMINISTIC CALCULATION MODEL FOR THE ANALYSIS OF FUSION-FISSION HYBRID SYSTEMS", Problems of Atomic Science and Technology - Series Thermonuclear Fusion (in fase di pubblicazione)

R. Piovan, P. Agostinetti, C. Bustreo, F. Bruno, R. Cavazzana, A. Cemmi,4, N. Cherubini, M. Ciotti, D. F. Escande, E. Gaio1, R. Iacovacci, G. Lombardi, G. Lomonaco, F. Lunardon, G. A. Marzo A. Maistrello, E. Mancini, A. Mariani, G. Mingrone, M. Osipenko, F. Panza, M.E. Puiatti, G. Ricco, M. Ripani, M. Valisa, T. Vignaroli, G. Zollino, M. Zuin, "Pilot FFHR based on a RFP as fusion core", FUNFI-4 conference, 26th November 2020

C. Bustreo, P. Agostinetti, P. Bettini, R. Casagrande, R. Cavazzana, D. Escande, M. Osipenko, F. Panza, R. Piovan, M.E. Puiatti, G. Ricco, M. Ripani, M. Valisa, G. Zollino, M. Zuin,, "RFP based Fusion-Fission Hybrid reactor model for nuclear applications", Fusion Engineering and Design, Volume 146, Part B, 2019, Pages 2725-2728, ISSN 0920-3796,

Fabio Panza, Marco Ciotti, Nadia Cherubini, Valentina Fabrizio, Luca Falconi, Francesco Filippi, Luigi Lepore, Mario Carta, Alessandro Dodaro, Francesco Orsitto, Mikhail Osipenko, Giovanni Ricco, Marco Ripani, Massimo Salvatores, "Neutronic characterization of a TRIGA reactor in a sub-critical configuration", TCADS-4 confererence, *Antwerp, 16th October 2019*

Fabio Panza, Marco Ciotti, Nadia Cherubini, Valentina Fabrizio, Luca Falconi, Francesco Filippi, Luigi Lepore, Mario Carta, Alessandro Dodaro, Francesco Orsitto, Mikhail Osipenko, Giovanni Ricco, Marco Ripani, Massimo Salvatores, "Studies on fusion-fission pilot experiments, Coordinated Research Project (CRP) series on 'Steady-State Compact Fusion Neutron Sources', Vienna, 6th Febbruary 2020

Preparazione tesi di laurea "Studio della fertilizzazione del torio in un sistema ibrido" e "An MCNP-FISPACT neutronic analysis on a fusion-fission reactor model" di S. Murgo e di C. Romagnoli



Grazie per l'attenzione

