

Pavia, 15 giugno 2022

Consuntivi esperimenti GR3

ALICE

FAMU

JLAB12

LEA

MAMBO

N-ToF

Esperimenti di GR3-Pavia, sommario finanziamenti per il 2018

Sigla	FTE	Assegnazioni totali (kE)	Missioni (kE)	Cons (kE)	Inv (kE)	Altro (kE)
ALICE	5.7	24.5	24.5			
FAMU	1.6	17	7.5	2	7.5	
JLAB12	3.2	18.5	13.5			5
LEA	7.1	90	58			32
MAMBO	1.6	22	13		9	
n-ToF	1	11.5	4.5	2		5
TOTALE	20.2	183.5	121	4	16.5	42

ALICE

A Large Ion Collider Experiment



Gianluigi Boca, Germano Bonomi, Susanna Costanza,
Ramona Lea, Davide Pagano, Nicolò Valle, Nicola
Zurlo

Inner Tracking System (ITS)

- L'ITS1, rimosso all'inizio del 2019, è stato sostituito nel 2021 con un inner tracker (ITS2), composto da 7 strati cilindrici
 - sensore monolitico CMOS a pixel attivi denominato ALPIDE
 - 12.5 billion pixels con pixel pitch di $27 \mu\text{m} \times 29 \mu\text{m}$
- La sezione INFN di Pavia ha contribuito al Detector Control System, ai turni di presa dati (sia test beam che cosmici) e allo sviluppo del software di calibrazione e caratterizzazione
- Alla fine di ottobre 2021 LHC ha fornito alcuni cicli di collisioni pp a 900GeV di energia nel Sistema del centro di massa.
- I dati raccolti sono stati utilizzati per studiare in dettaglio le prestazioni dell'ITS, la calibrazione, l'efficienza del clustering e del tracking, nonché l'allineamento dei sensori

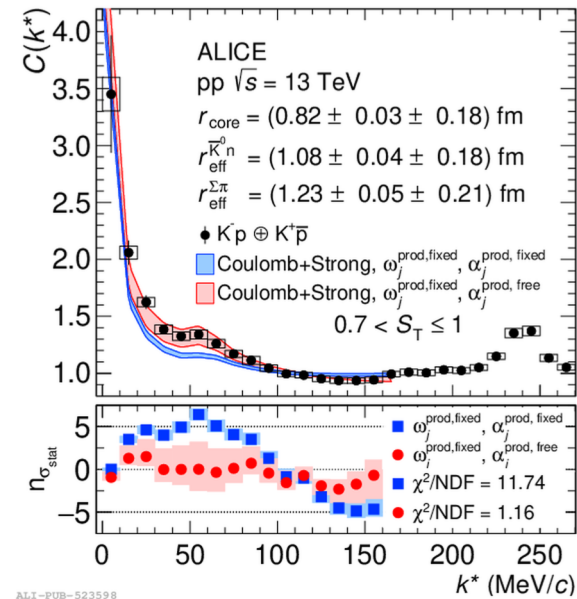
ITS3

- Nel 2020 sono iniziati i primi studi di per un nuovo ITS (ITS3) da installarsi durante LS3
- Sostituirà i tre strati più interni del sistema di ITS2
 - Material budget di $0.05\% X_0$ per layer
 - Il layer più interno sarà posizionato a soli 18 mm di distanza radiale dal punto di interazione
 - Forma (realmente) cilindrica costituita da singoli chip pixel di grandi dimensioni, curvati a forma (semi)cilindrica.
- La sezione INFN di Pavia è coinvolta in questi studi preliminari

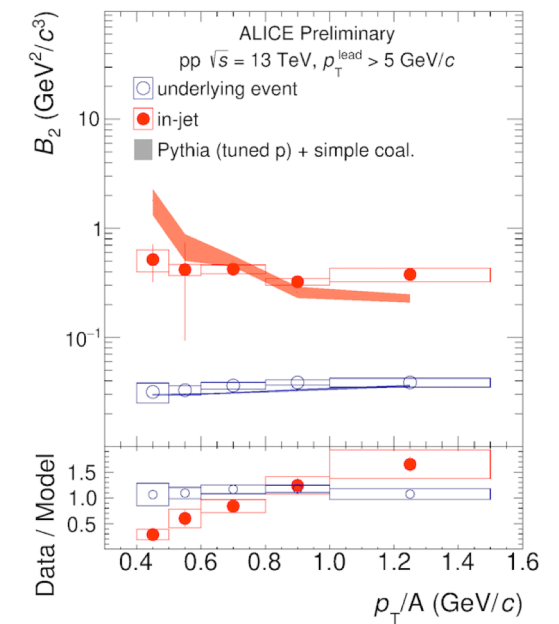
Attività di Analisi di Fisica - Brescia

Light Flavour:

- (Anti)Nuclei and (Anti)Hypernuclei:
Flow di (Anti)ipertritone,
(Anti)deutone e (Anti)³He,
Produzione del deutone dentro e
fuori il jet
- Femtoscopia K-protone e
K⁰_sprotone
- Ricerca di particelle esotiche
prodotte in collisioni
ultrarelativistiche



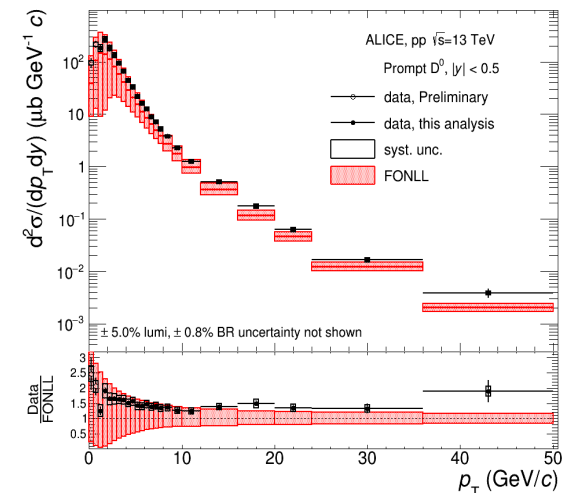
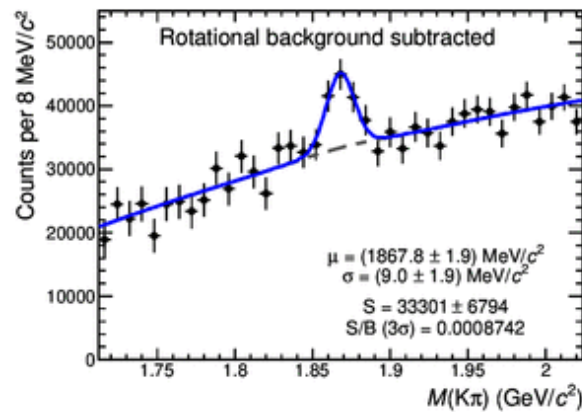
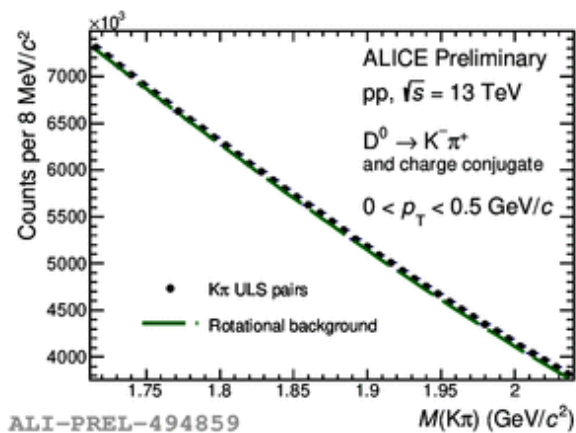
arxiv:2205.15176



Attività di Analisi di Fisica - Pavia

Heavy flavour: produzione di mesoni charmati (D^0) in collisioni pp @ 13 TeV

- Analisi a basso p_T , fino a 0, con tecniche di analisi basate sugli studi di massa invariante delle coppie $K\pi$ che soddisfano criteri di selezione cinematici, di qualità di traccia e di identificazione di particelle \rightarrow approvata come Preliminary results (07/21)
- Analisi topologica in bin fini, nel range di p_T da 0 a 50 GeV/c, per aggiornare e completare i risultati approvati nel 2017 con un dataset ridotto \rightarrow finalizzazione dell'analisi, in vista di pubblicazione



Publicazioni

- 33 pubblicazioni nel 2021
- 17 pubblicazioni nel 2022

Talks

- Nicolò Valle, *Electroweak-boson production in pp, p--Pb and Pb--Pb collisions with ALICE*, Particles and Nuclei International Conference 2021

Responsabilità

- Convenership del PWG-LF (Ramona Lea)
- ITS Run Coordinator (Nicolò Valle)
- Partecipazione agli shift di data taking nel Quality Control, Detector Control System, Experiment Control System

FAMU





Consuntivi FAMU 2021

CdS, 15 giugno 2022



La Collaborazione FAMU (2021)

- Spokesperson: *Andrea Vacchi (Univ. Udine)*
- Responsabile Nazionale: *Emiliano Mocchiutti (INFN Trieste)*
- Sezioni INFN di: *Bologna, Milano, Milano Bicocca, Pavia, Roma 3, Trieste, Napoli*
- Collaborazioni estere: *Krakow (Pol.), Sofia (Bul.), RIKEN (Jap.). RAL (UK)*
- **FAMU-Pavia***: *1.6 FTE, 5 persone (3 ricercatori, 2 tecnologi)*

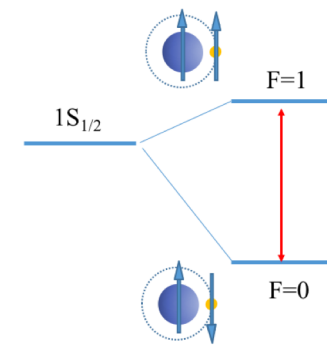
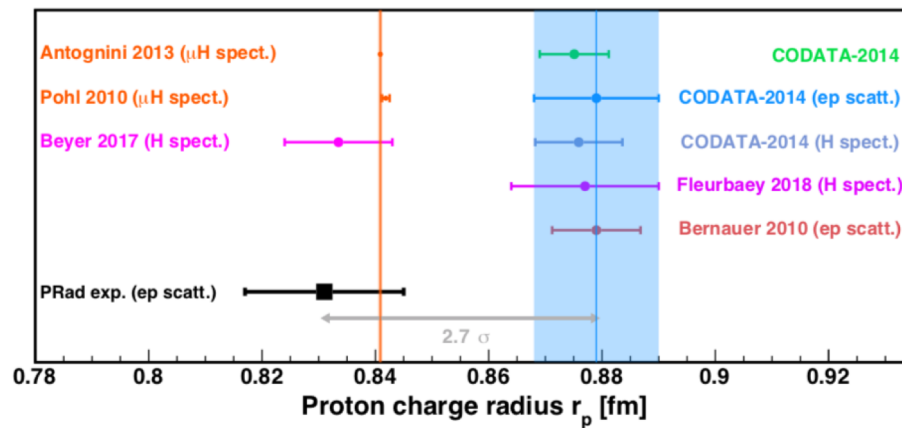
[Alessandro Menegolli](#)

Membri del gruppo: A. De Bari, C. De Vecchi, A. Menegolli, M. Rossella, R. Rossini

* *dal 2022: 6 persone, 2.6 FTE*

FAMU: un recap sugli obiettivi

- Gli atomi muonici sono sistemi atomici legati simili all'idrogeno, con raggio di Bohr 200 volte più piccolo rispetto ai normali atomi elettronici. Ciò si traduce in una sovrapposizione tra le funzioni d'onda muonica e nucleare causando spostamenti dei livelli di energia atomica.
- Le misurazioni ad alta precisione delle frequenze di transizione negli atomi muonici possono essere utilizzate quindi come sonde precise delle proprietà a bassa energia dei nuclei.



Misura dello splitting iperfine (hfs) nello stato base dell'idrogeno muonico con precisione $\sim 10^{-5}$

- Misura del raggio Zemach del protone con precisione dell'1%.
- benchmark per modelli del protone.

FAMU: metodologia

- L'atomo di μp assorbe un fotone da un laser IR alla lunghezza d'onda della risonanza $\lambda_0 = hc/\Delta E_{\text{HFS}}^{1S} \approx 6.8 \mu\text{m}$ della transizione da singoletto a tripletto (spin flip).
- Quando l'atomo viene de-eccitato collisionalmente allo stato $1S$, viene accelerato di 0.12 eV ($\approx 2/3$ dell'energia di transizione iperfine).
- Questa sequenza di processi viene rivelata tramite i prodotti di reazioni la cui rate dipende dalla velocità del μp . In particolare, viene osservato il trasferimento del μ dal protone a nuclei di un gas pesante appropriato, che abbia una dipendenza importante dell'energia dalla rate di trasferimento.
- Il trasferimento del μ è identificato da raggi X caratteristici emessi durante la diseccitazione dell'atomo muonico più pesante. λ_0 (da cui si ricava $\Delta E_{\text{HFS}}^{1S}$) viene identificata dalla risposta massimale.

Transfer rate di μ dal protone all'Ossigeno misurata per la prima volta da FAMU nei test run 2016-2018.

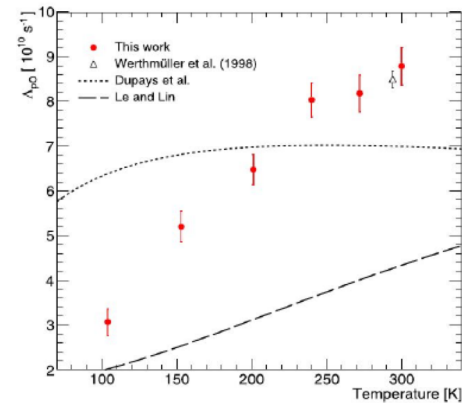
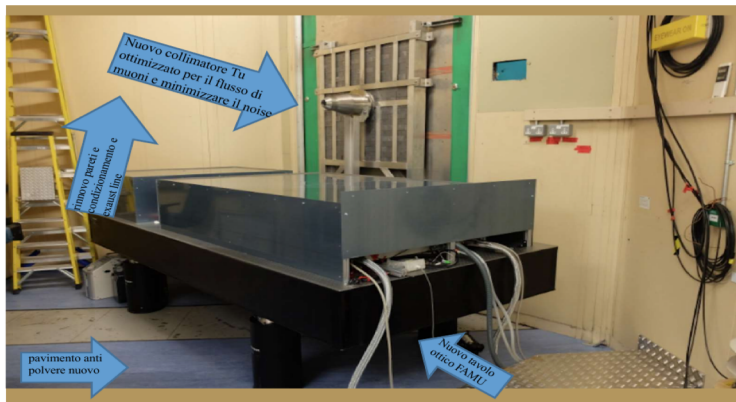


Fig. 4. Transfer rate from muonic hydrogen to oxygen: comparison of the present work with the experimental [5], and the theoretical results [8,9] converted in their temperature dependence using Maxwell-Boltzmann distributions.

Progressi verso il run spettroscopico

- **Inizio 2020:** tavolo ottico e sistema laser consegnati al RAL. **Laser montato nella posizione prevista** con le strutture di schermaggio di sicurezza. Il COVID ha impedito ulteriori lavori a RAL nel 2020/2021.
- Il run spettroscopico per la prima misura dello splitting iperfine dello stato 1S dell'idrogeno muonico **non è stato effettuato** nemmeno nel 2021. Nel 2021 sono stati effettuati alcuni test di integrazione dell'apparato a Trieste, alcune modifiche del bersaglio criogenico e un upgrade dei rivelatori X con lettura PMT e SiPMs.
- A giugno 2021 la facility ISIS ha inoltre iniziato un major upgrade -> niente fascio e accesso alla sala sperimentale per un anno. Inizio installazione apparato FAMU previsto per **luglio 2022 e run spettroscopico in autunno 2022.**

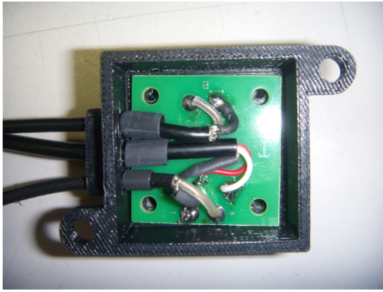


Tavolo laser installato al Port1 a RAL

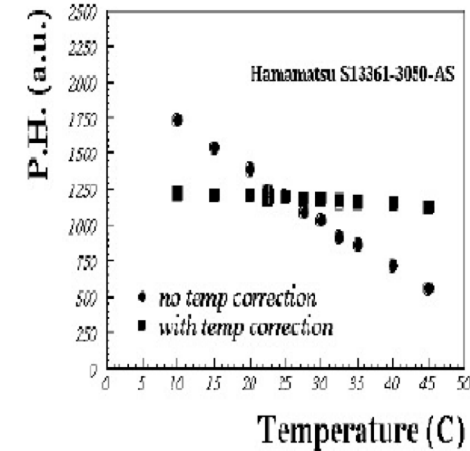
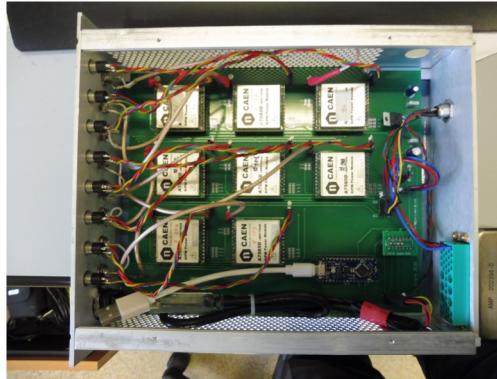


Test integrazione meccanica a Trieste.

Attività FAMU-PV 2021: Rivelatori LaBr_3 letti da SiPMs



- Lettura segnale SiPM
- Controllo temperatura.
- Regolazione automatica dell'alimentazione vs $^{\circ}\text{C}$.



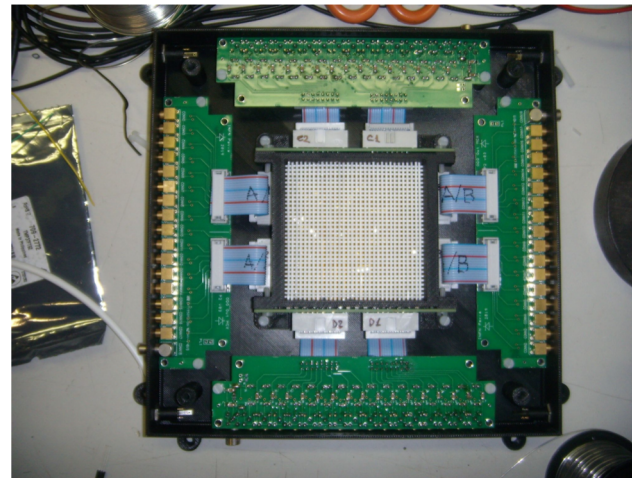
- Terminata la costruzione del modulo a 8 canali NIPM12 per regolazione automatica dell'alimentazione vs $^{\circ}\text{C}$ tramite bus interno I2C e porta USB.
- Previsto, oltre il controllo tramite software via USB, un nuovo sistema tramite Arduino montato sulla scheda. Inoltre: montate altre basette per cristalli da $\frac{1}{2}$ pollice modificando anche un sensore di temperatura tipo TMP37.

Realizzazione e test (MiB+PV) di nuovi rivelatori LaBr_3 da 1 pollice, per sfruttare gli spazi liberi attorno al nuovo bersaglio criogenico di FAMU.



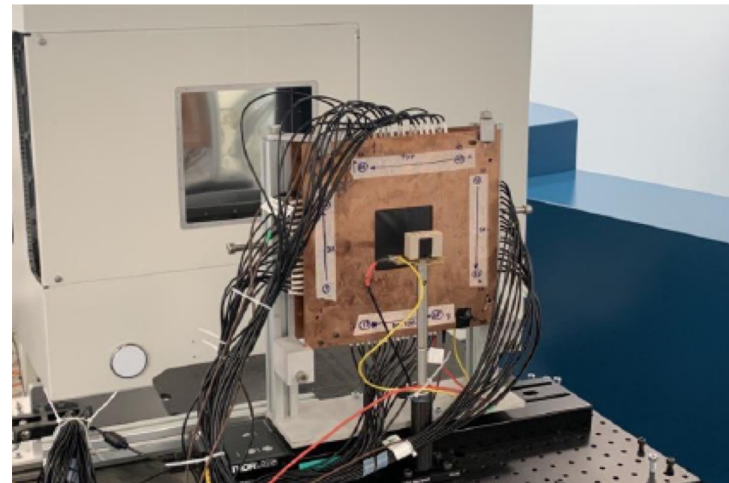
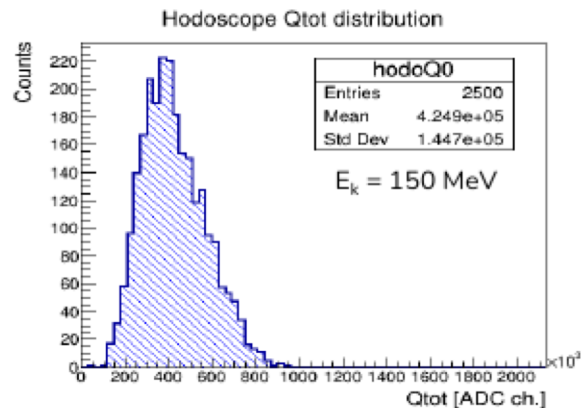
Attività FAMU-PV 2021: odoscopio (monitor fascio muoni)

- Nuovo odoscopio 7.2 x 7.2 cm² per finestra di ingresso nuovo target FAMU (32+32 fibre X/Y con lettura SiPM).
- PV: elettronica di front-end per la versione con i nuovi SiPM da 1 mm².
- PV: stampa 3D per il montaggio delle fibre da 1 mm² e da 0.5 mm².



Attività FAMU-PV 2021/2022: setup per test odoscopio a CNAO

- Idea: approfittare del tempo a disposizione prima dell'installazione a RAL per una calibrazione delle fibre scintillanti dell'odoscopio di FAMU usando singoli protoni da 150 MeV (che hanno energy loss simile a quella di un muone da 60 MeV/c). Questo permette il conteggio dei muoni di RAL a rate elevate.
- Per questo è stato costruito un sistema di supporto e movimentazione dell'odoscopio per una sua esposizione al fascio di protoni di CNAO.sdsd
- Primi run a primavera 2022: analisi in corso.



JLAB12

Jlab12: Sigla che accorpa tutte la attività INFN al Thomas Jefferson Laboratory, Virginia. Centro di ricerca attorno ad un acceleratore di elettroni con varie sale bersaglio fisso. Noto per 20 anni attività fascio 6 GeV, poi upgrade a 12 GeV.

Gruppo Jlab PV/BS impegnato collaborazioni **CLAS** e **BDX**:

Ricercatori:

Andrea Bianconi 100 %,
Luca Venturelli 30 %,
Giulia Gosta 50 %,
Valerio Mascagna 40 %,
Giovanni Costantini 0,
Stefano Migliorati 0,

Tecnologi:

Marco Leali 50 %,
Luigi Solazzi 50 %.

Tot 3.2 FTE

(Costantini e Migliorati, dottorandi, non hanno percentuali in Jlab12 ma hanno collaborato a vari progetti Jlab e sono membri di CLAS).

Collaborazione **BDX** (+ spinoff):

Obiettivo di bandiera: **Dark Matter leggera** nel flusso secondario a valle del beam dump di Jlab.

Stato arte: fermo per la difficoltà a reperire fondi extra per ampliamento sito sotterraneo per apparato completo.

BDX-mini: versione prototipo, ha raccolto misure competitive su limiti superiori, destinate pubblicazione.

NuBDX: misure con neutrini e/o muoni, presenti a valle del beam dump. Fase simulazioni.

Positroni: La collaborazione BDX ha pubblicato studio su misure DM in caso realizzazione fascio positroni al Jlab.

CLAS: Collaborazione multipurpose su apparato sala B, misure sia esclusive a pochi adroni, sia semi-inclusive, polarizzazione elettroni ed L/T target, p, n, nuclei.

Attività recenti o in corso:

Ri-calibrazione (finalizzata “pass-2” = revisione dati 2019)

Integrazione hardware: recente montaggio Cerenkov RICH.

Sta per iniziare programma presa dati target polarizzato L.

Criticità:

Polarizzazione T: accantonato progetto iniziale “Dice” target HD. Ripiegherà su bersagli tradizionali --> ostacolo: ristrutturare campi magnetici e rivelatori in zona target.

Raccolta dati:

Dopo “Jeopardy” (lunga sosta programmata prima parte 2021), prese dati autunno 2021 - gennaio 2022, nuova sosta, ripresa da metà giugno 2022 e prosecuzione fino a inverno 2023.

Pubblicati 17 articoli da gennaio 2021 ad oggi, principalmente su vecchi dati 6 GeV.

Aprile 2021: **primo articolo con dati 12 GeV** ("Observation of Beam Spin Asymmetries in the Process $ep \rightarrow e' \pi^+ \pi^- X$ with CLAS12", di T. B. Hayward et al, PRL).

Attivita' 2021-22 del nostro gruppo in CLAS

Shift:

- Novembre 2021 - gennaio 2022 coperti 3 blocchi (1 blocco = 4 turni da 8 ore) da remoto.
- Tra giugno ed agosto copriremo 32 blocchi in presenza al Jlab.

Hardware:

- Lavoro/calibrazione su LTCC (Contatore Cherenkov ex CLAS-6 riadattato per CLAS12):
 - Calibrazione periodica: analisi dei segnali dovuti a singolo fotoelettrone, con aggiornamento periodico del database di parametri di CLAS.
 - Analisi dell'efficienza dell'LTCC nella rivelazione di pioni --> pubblicazione nota interna tecnica sul problema.
 - Lavoro per automatizzare calibrazione timing.
- Collaborazione con Ferrara lavoro/calibrazione RICH (altro Cherenkov, realizzato a Ferrara e recentemente installato CLAS12):
 - Ottimizzazione allineamento specchi con tecniche di AI.
 - Calibrazione offset temporale fotone.

Analisi dati:

- Partecipazione analisi dati MesonEx: dati 10.4 GeV (2019) per eventi esclusivi quasi-foto-produzione poche particelle piccolo angolo.

Review interne di analisi o draft:

- Review draft "Beam-Recoil Transferred Polarization in K+Y Electroproduction in the Nucleon Resonance Region with CLAS12", D. Carman et al, poi accettato da PRC.
- Review analisi dati CLAS-6 "Fermi-Unsmearing in Single Charged Pion Electroproduction Cross-Section Measurements for the Neutron and Proton in Deuterium".

Nostre attività in BDX:

- Simulazione di misure con flusso di muoni (circa 10 m a valle del beam dump).
- nuBDX: simulazione GEMC dello schermaggio attivo/passivo di neutroni.
- Studio per ricerca di DM con eventuale fascio di positroni a Jlab, pubblicato (M Battaglieri et al, Eur. Phys. J. A 57, 253, 2021).

Spese effettuate o in programma a breve:

2021:

Missioni: nessuna spesa causa covid. 16 Keuro stanziati ma interamente restituiti entro l'estate.

Hardware: 2 Keuro spesi per allestire postazione per shift a distanza in UniBS.

Giugno-agosto 2022:

Missioni: previsti circa 12 Keuro di spesa su 13.5 Keuro stanziati.

Attrezzature: 5 Keuro da spendere su BDX.

LEA

Low Energy Antimatter
sigla che comprende

AEGIS, ALPHA, ASACUSA,
PsICO, QUPLAS

ovvero, esperimenti con antiprotoni
a bassa energia

AEGIS 2021

Work on positron complex (accumulator, test set-up):

complete disassembly, refurbishment, re-assembly, commissioning and upgrades

Work on laser complex:

expanding need for lasers, consolidation additional laser hut, transfer line

Work on antiproton complex:

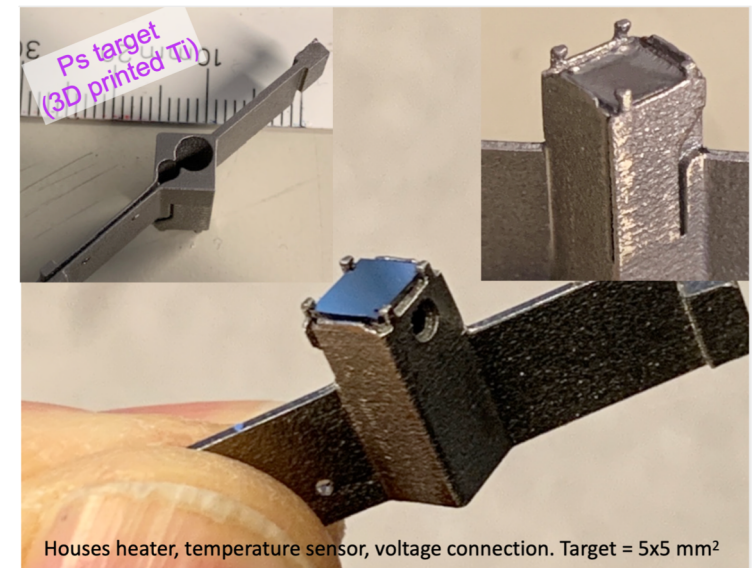
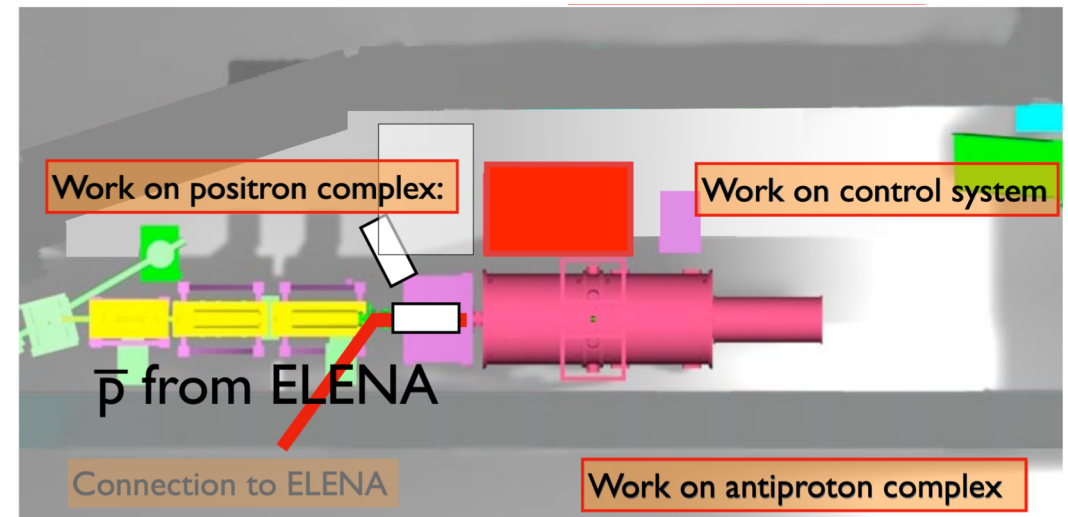
complete refurbishment / upgrade of all internal elements

Work on control system:

replace **control SW** of full experiment control (was custom built LabView code)

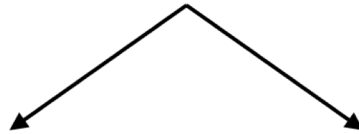
-> ARTIQ ecosystem of open source SW + LabView +Python

replace **electronics** of full experiment control (DAC, controller, ns-timing, DIO) -> **Sinara** family of HW



AEGIS 2021

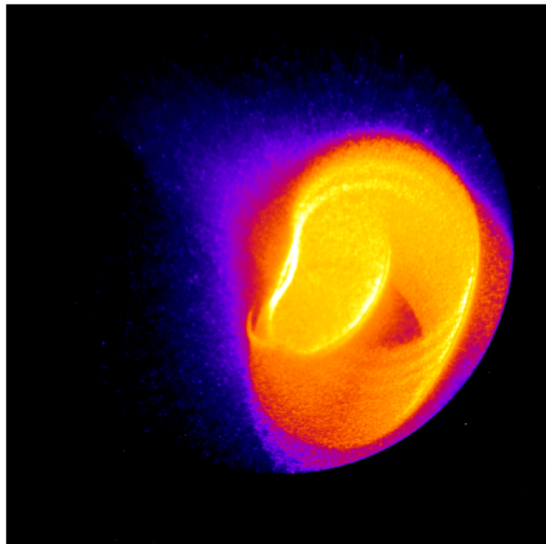
IT MCP as beam steering diagnostic:



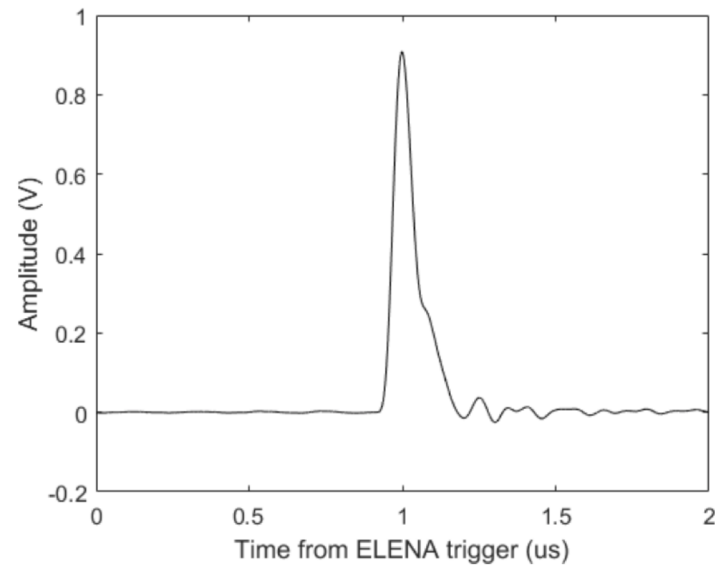
Goals of beam time:

- beam steering
- test control system
- test degrading
- test trapping
- test entrance region modifications
- test downstream region modifications

time-integrated 2D image of impact points of antiprotons at end of IT magnet



current on phosphor screen of MCP = arrival time of antiprotons at end of IT magnet

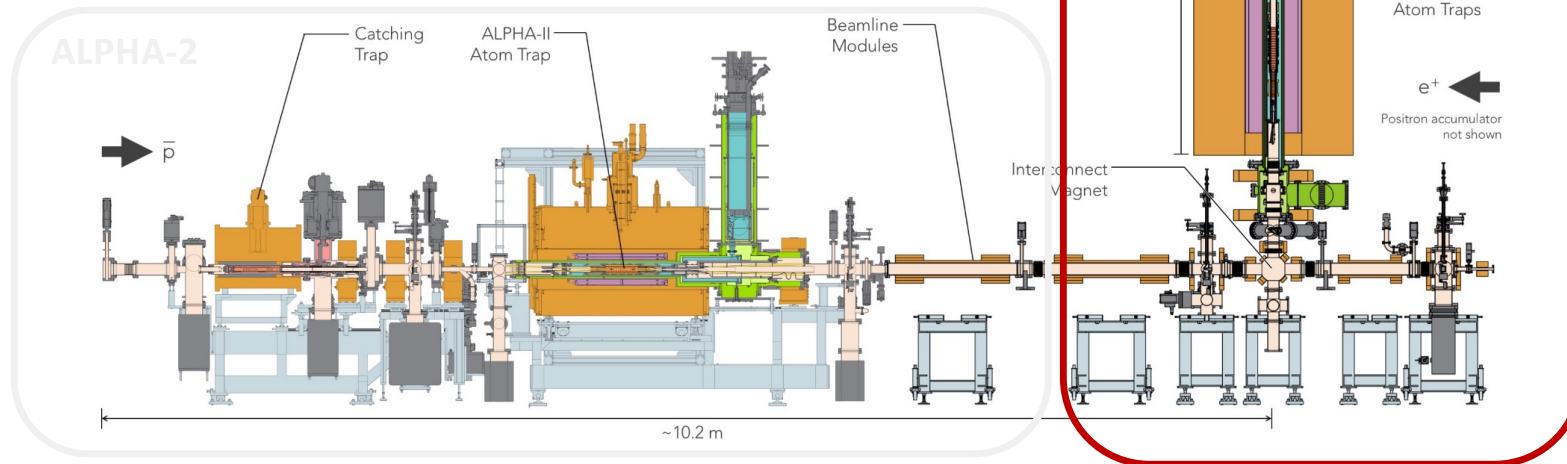




ALPHA-g and ALPHA-2/3 [INFN LEA]

Magnets	Outer Vacuum Chamber (OVC)
UHV Space	OVC (Heat Shielded)
Physical Supports	Liquid Helium Space
Electrodes under UHV	TPC / Silicon Detector Volumes

ALPHA-ITALIA ha avuto inizio formalmente il 01/01/2022 sotto il cappello della sigla **INFN LEA**. Grazie alla collaborazione con AEGIS, ASACUSA e ai fondi di Gr. III, ha però potuto anticipare la collaborazione già nella seconda metà del 2021



ALPHA (ALPHA-g) strategy for 2022

- trap some antihydrogen in a vertical trap
- release it
- see where it goes – radial time projection chamber annihilation detector



Run 2021 timeline

- TPC received at AD hall 28 January
- Solder repair of cryostat shield tube 29 April
- Babcock installed in its frame 6 May
- BNL magnets arrive at CERN 25 May
- Cryostat cold test reveals shield tube problem 2 July
- Last Babcock ramp before intervention 15 July
- Cryostat shield tube repaired 21 July
- Babcock moved across AD for repair by the factory 30 July
- Babcock modified, ramped, quench heater burns... 22 August
- **Beam from ELENA delivered** **23 August!!**
- Final cryostat test in assembly stand (magnets in place) 25 August
- **Pbars trapped in Catching Trap** **28 August**
- Final Babcock solenoid test (after quench heater repair) 13-15 September
- Insert detectors in Babcock 23 September
- Insert cryostat; put ALPHA-g in place on beamline 24 September
- **ALPHA-g leak-tight; start bakeout** **12 October**
- Babcock cold; ramped up; ALPHA-g bake complete 19 October
- First ALPHA-g cryostat *in situ* cooldown (53 l/hr!!) 20 October
- Change to transfer dewar filling (30 l/hr) 22 October
- Pbars to LDS and through ALPHA-g 25 October
- **Caught pbars in ALPHA-g** **28 October**
- **Caught positrons in ALPHA-g** **30 October**
- ALPHA-g thermal cycle 11 November
- **Mixing, detector studies, BNL magnet studies** **to 15 November**



INFN contributions - 2021 Run

INFN activities (Germano Bonomi, Simone Stracka, Marta Urioni)

Note: 2022 is the first year in which we are officially part of the ALPHA collaboration (in which we pay the common funds), nevertheless thanks to the advances of funds in 2021, we were able to contribute in the last part of 2021 (many thanks to CSN3!!)

- Monte Carlo revamping for the ALPHA-2 [whole new package based on Geant4 VMC]
- Improvements of the fit procedures in the ALPHA-2 software (from Minuit to Minuit2)
- Participation to the shift data taking



ALPHA-g and ALPHA-II (in 2022)



Next Steps and 2022 Run

Pre-run

- continue studies of particle temperatures in ALPHA-g
- prepare new degrading foils for the Catching Trap
- prepare alternative Penning traps in case we cannot work with the current one (plating, coating, etc.)
- continue magnet commissioning in ALPHA-g
- minor mods to ALPHA-g cryostat
- work on frequency metrology and spectroscopy: **ALPHA-3**
- work on magnetometry for ALPHA-g
- continue characterisation of the detectors
- prepare microwave hardware for ALPHA-g
- prepare Lyman-alpha light for ALPHA-g

Run 2022

- we aim to start up with ALPHA-g again in April. The priority is the up/down measurement
- distribution of beamtime between the experiments will be decided in March, based on progress with ALPHA-g
- hope to also improve the precision of the 1s-2s transition frequency measurement in 2022

INFN activities (Germano Bonomi, Simone Stracka, Marta Urioni)



The Barrel Veto (BV):

- 64 trapezoidal scintillating bars arranged in a barrel shape around the TPC;
- each bar is readout by two SiPM at the bar ends (ADC and TDC signals)
- barrel length 2.5 m, diameter of 0.5 m

- Barrel Veto analysis – use of the ADCs of the SiPM signals (to cope with the TDCs info)
- Monte Carlo improvements for the Barrel Veto
- Development of a ML strategy to distinguish between “antiproton annihilation events” and “cosmic muon events” with the Barrel Veto (background rejection)
- Discussing a possible participation to the design, construction (e.g., mechanics) and readout electronics of a scintillator-based pbar-loss monitoring detector for the antiproton catching traps
- Participation to the shift data taking (many shifts and not so many people)

INFN activities (Germano Bonomi, Simone Stracka, Marta Urioni)

- Discussing a possible participation to the design, construction (e.g., mechanics) and readout electronics of a scintillator-based pbar-loss monitoring detector for the antiproton catching traps
- Current concept / requirements:
 - Limited radial clearance (must fit in the bore of the SC solenoid, around the beamline)
 - To be installed without requiring disassembly of (the ALPHA section of) the beamline
 - Z resolution provided by longitudinal segmentation (to coarsely monitor the position of the losses, e.g. relative to HV and RW electrodes)
 - Readout electronics is for amplitude / charge (not TOF)
 - Azimutal segmentation may allow some phi, r reconstruction capabilities, but not a requirement

CONSUNTIVI SCIENTIFICI 2021



ASACUSA



La sigla ASACUSA comprende 2 esperimenti (dal 2020):

ASACUSA al CERN

3 different experiments:

$\bar{p}He^+$

\bar{H}

$\sigma_{ann}(\bar{p}A)$

QUPLAS a LNESS-Como

QUPLAS is a continuous SINGLE-PARTICLE interference experiment

- QUPLAS-0: Positron interferometry
- QUPLAS-I: Positronium Interferometry
- QUPLAS-II: Positronium Gravitation

SCIENCE ADVANCES | RESEARCH ARTICLE | 3 May 2019

PHYSICS

First demonstration of antimatter wave interferometry

S. Sala^{1,2}, A. Ariga³, A. Ereditato³, R. Ferragut^{4,2*}, M. Giammarchi^{2*}, M. Leone⁴, C. Pistillo^{3*}, P. Scamporrino^{3,5}

ASACUSA Brescia-Pavia

cognome nome	TIPO	Ricercatori	Tecnologi	FTE
Baù Marco	assoc	Ricercatore t.det.A		50
Costantini Giovanni	assoc.	Dottorando		100
Ferrari Marco	assoc	Prof. Ordinario		50
Ferrari Vittorio	assoc	Prof. Ordinario		50
Gosta Giulia	assoc	Ass. Ricerca		50
Leali Marco	assoc	Tecn. Laureato	x	50
Mascagna Valerio	assoc.	Ricercatore t.det.A		10
Migliorati Stefano	assoc.	Dottorando		100
Venturelli Luca	assoc.	Prof. Ordinario		70

ATTIVITÀ: ASACUSA-CERN e QUPLAS

Dal 2022 ASACUSA nella nuova sigla della CSN3 chiamata LEA (Low Energy Antimatter)

LEA include:

- **AEGIS** funded by INFN since 2010
- **ALPHA** new (for INFN)
- **ASACUSA** funded by INFN since 2005
- **PSICO** spin-off of AEGIS (+ long-term expertise on e+ from UniTN)
- **QUPLAS** spin-off of AEGIS-ASACUSA (+ long-term expertise on e+ from PoliMI)

Pubblicazioni ASACUSA 2021

ISI







Autori

Titolo

Rivista

1.	Kolbinger, B et al.	Measurement of the principal quantum number distribution in a beam of antihydrogen atoms WOS:000627841700008 10.1140/epjd/s10053-021-00101-y	EUR PHYS J D
2.	Pasino, E et al.	An Interferometric Method for Particle Mass Measurements WOS:000677164800001 10.3390/sym13071232	SYMMETRY-BASEL
3.	Aghai-Khozani, H et al.	Limits on antiproton-nuclei annihilation cross sections at similar to 125 keV WOS:000717475800007 10.1016/j.nuclphysa.2021.122170	NUCL PHYS A

CONFERENZE 2021

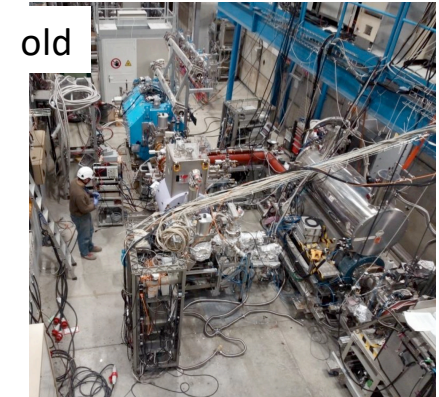
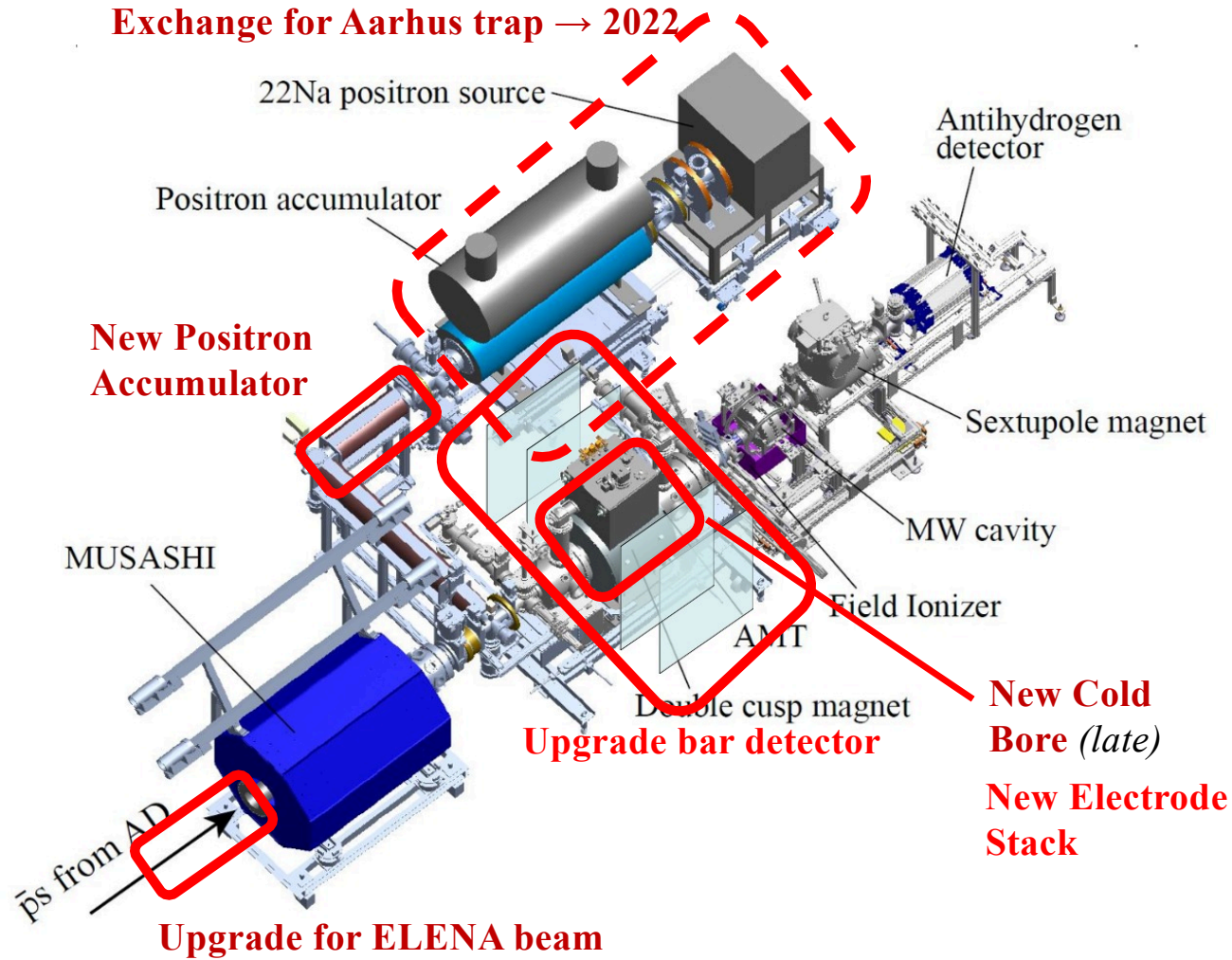
	Autore	Titolo	Tipo	Conferenza	Luogo
1.	Mascagna V. (M)	 Upgrade of the scintillator detector for particle...	Parallel	10th International Conference on New Frontiers in Physics	Crete Greece
2.	Migliorati S. (M)	 Annihilation and nuclear elastic scattering of low...	Parallel	10th International Conference on New Frontiers in Physics	Crete Greece
3.	Migliorati S. (M)	 Antinucleon reactions with nuclei at low energies	Parallel	International Conference on Exotic Atoms and Related Topics (EXA) 2021	Vienna Austria
4.	Gosta G. (F)	 Scintillating bar detector upgrade for the ASACUSA...	Poster	INTERNATIONAL CONFERENCE ON EXOTIC ATOMS AND RELATED TOPICS (EXA 2021)	Vienna Italy
5.	Costantini G. (M)	 Studies of anti-proton annihilation at rest with...	Plenary	Second Allpix squared user workshop	Hamburg Germany
6.	Giammarchi M. (M)	Low Energy Antimatter Physics	Plenary	EPS Conference on Gravitation	London UK
7.	Giammarchi M. (M)	Low Energy Antimatter	Plenary	Lomonosov Conference on Particle Physics	Mosca Russia
8.	Toso V. (M)	Verso il primo fascio continuo di Positronio	Plenary	SIF 2021	Bologna Italy
9.	Eleonora P. (M)	Interferometric techniques with high resolution em...	Poster	Position sensitive detectors Conference	Birmingham UK
10.	Ferragut R. (M)	Electron irradiation damage on tungsten, a Positro...	Parallel	International Conference on Positron Studies of Defects	Mumbai India
11.	Vinelli G. (M)	Real time positron beam diagnostic methods	Parallel	International Conference on Positron Studies of Defects	Mumbai India
12.	Ronchetti F. (M)	 L'upgrade del tracciatore a barre scintillanti di...	Parallel	107esimo Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica	Telematica Italia

2021 ASACUSA ACTIVITY

Despite the pandemic situation many progress on:

- the experimental apparatus
- the ability to handle the e^-/e^+ plasma
- antiprotons capture in MUSASHI after AD-ELENA restart (23th August 2021)

ASACUSA Upgrades in 2021

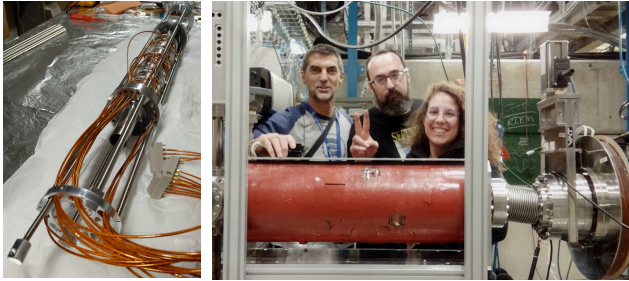


positron trap location was exchanged with the Cusp trap



ASACUSA Upgrades

new e⁺ accumulator



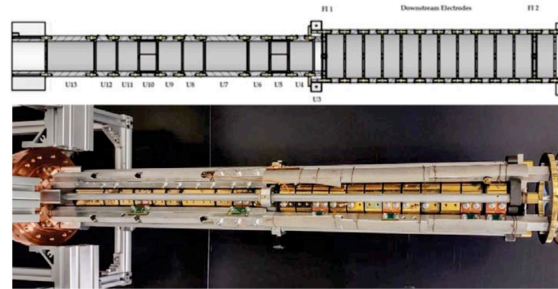
Multi-ring electrode Penning-Malmberg trap

- Compactness → flexibility in shaping potential, reduced gas conductance, ...
- Designed, developed by Milan group
- Installed and operational at 10⁻⁷ mbar
- Transmission and preliminary trapping tested

To be done (2022):

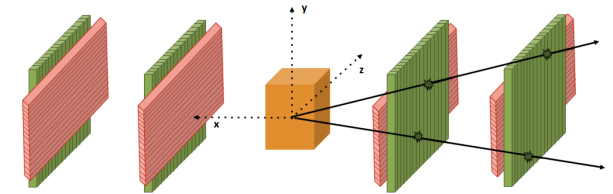
- Integrate in the (next) Aarhus trap control system
- Test and fine-tune trapping & cooling; stacking, RW compression of many bunches; macrobunch extraction

Cusp trap

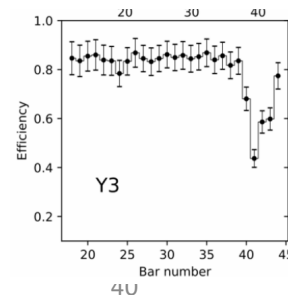


- Electrode diameter reduced from 80 mm to 34 mm in the mixing region
- FI grids placed inside the upstream section
- Coated in colloidal graphite – light absorbing, reduces variation in surface potentials, increases cryo pumping
- Microwave blocking
 - High transmission RF meshes at each side of trap
 - Metalized ceramic and stainless steel inserts
 - Suggested by F. Caspers
- **Electrodes reached 6 K** (previously 13 K)

Scintillator bar detector



- In charge to Bs-Pv
- PMTs replaced by SiPMs
- New front-end boards designed, produced and tested
- Mechanical structure reinforced
- Test with cosmic rays to spot any assembly defect

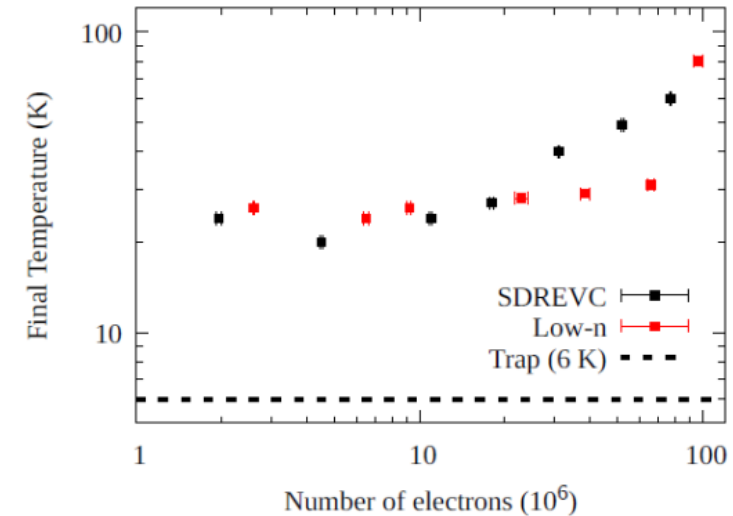


ASACUSA Results with e⁻

- Plasma studies:
 - Cold plasmas over a larger range of particle numbers
we can cool up to **40 x 10⁶ particles to T<30K** (previously T>100 K)
 - Temperature with 2 x 10⁶ e⁻ after evaporative cooling → **T = 8 K**

Expected (in 2022):

- Large increase of antihydrogen production rate
- Higher ground state fraction



ASACUSA antiproton run

Switch from RFQD (120 keV) to ELENA (100 keV)

Keep existing foil detector (beam profile and vacuum separation)

Pulse tube to accelerate by 20 keV

antiprotons capture in MUSASHI **capture efficiency: 17%**

Vacuum chamber delayed by 5 months: no pbar in Cusp trap

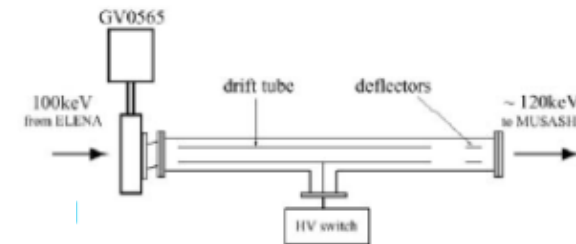


Figure 15 - Schematic view of the drift tube (not to scale)

Misalignment in ELENA beam line corrected in 2022

MAMBO

MAMBO

MAMiBO_{nn}

**Studio di fotoreazioni indotte
su nucleoni e nuclei utilizzando gli acceleratori**

- **MAMI $E_\gamma \leq 1.6$ GeV (Mainz)**
A2 Collaboration (spokepersons : A. Thomas Mainz
(circa 60 persone) P. Pedroni INFN-PV)
- **ELSA $E_\gamma \leq 3.0$ GeV (Bonn)**
BGO-OD collaboration (spokepersons : H. Schmieden Bonn
(circa 50 persone) P. LeviSandri INFN-LNF)

Sezioni INFN Partecipanti: RM1, LNF, PV, RM2, TO

COLLABORAZIONE MAMBO -2021

Responsabile Nazionale: PAOLO LEVI SANDRI

Sezioni INFN partecipanti:

ROMA TOV	Responsabile Locale	ALESSIA FANTINI
LNF	Responsabile Locale	PAOLO LEVI SANDRI
PAVIA	Responsabile Locale	PAOLO PEDRONI
ISS-RM	Responsabile Locale	FRANCESCO GHIO

15 ricercatori; 9.3 FTE

Pavia

Braghieri Alessandro 20 %

Costanza Susanna 20 %

Montagna Paolo 30 %

Pedroni Paolo 90 % (10% EU-STRONG2020)

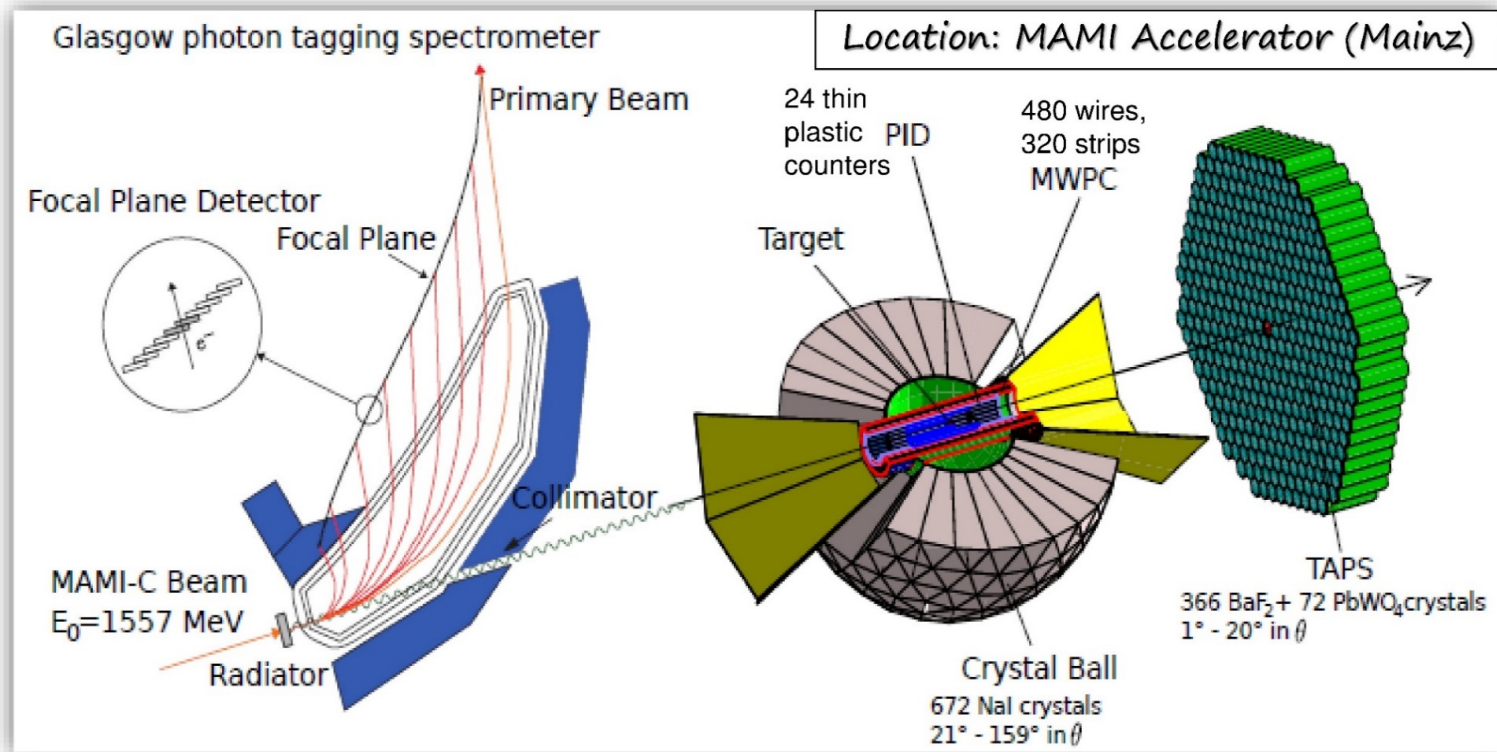
MAMBO- Physics Topics

(mainly involving low cross sections and/or precision measurements)

- **Threshold meson production:** (test of LET/ ChPT):
Strangeness ($\gamma N \rightarrow \Lambda K$)
 π^0 meson photoproduction at threshold
- **Ambiguity free amplitude analysis of meson photoproduction**
Requires Double polarization measurements:
 $\gamma N \rightarrow N\pi(\pi)$; $N\eta$ (ρ, \dots) channels
- **Tests of fundamental symmetries (C,CP,CPT...)**
(Rare) η, η' decays
- **In medium properties of hadrons & nuclear physics:**
Meson photo production on nuclei
- **Search for “missing” baryon resonances**
Vector meson (ϕ, ω) photo production

Use of state-the-art technology (circularly and linearly polarised photon beams; longitudinally and transverse polrised proton/deuteron/ ^3He targets) is required

A2@MAMI: detector overview



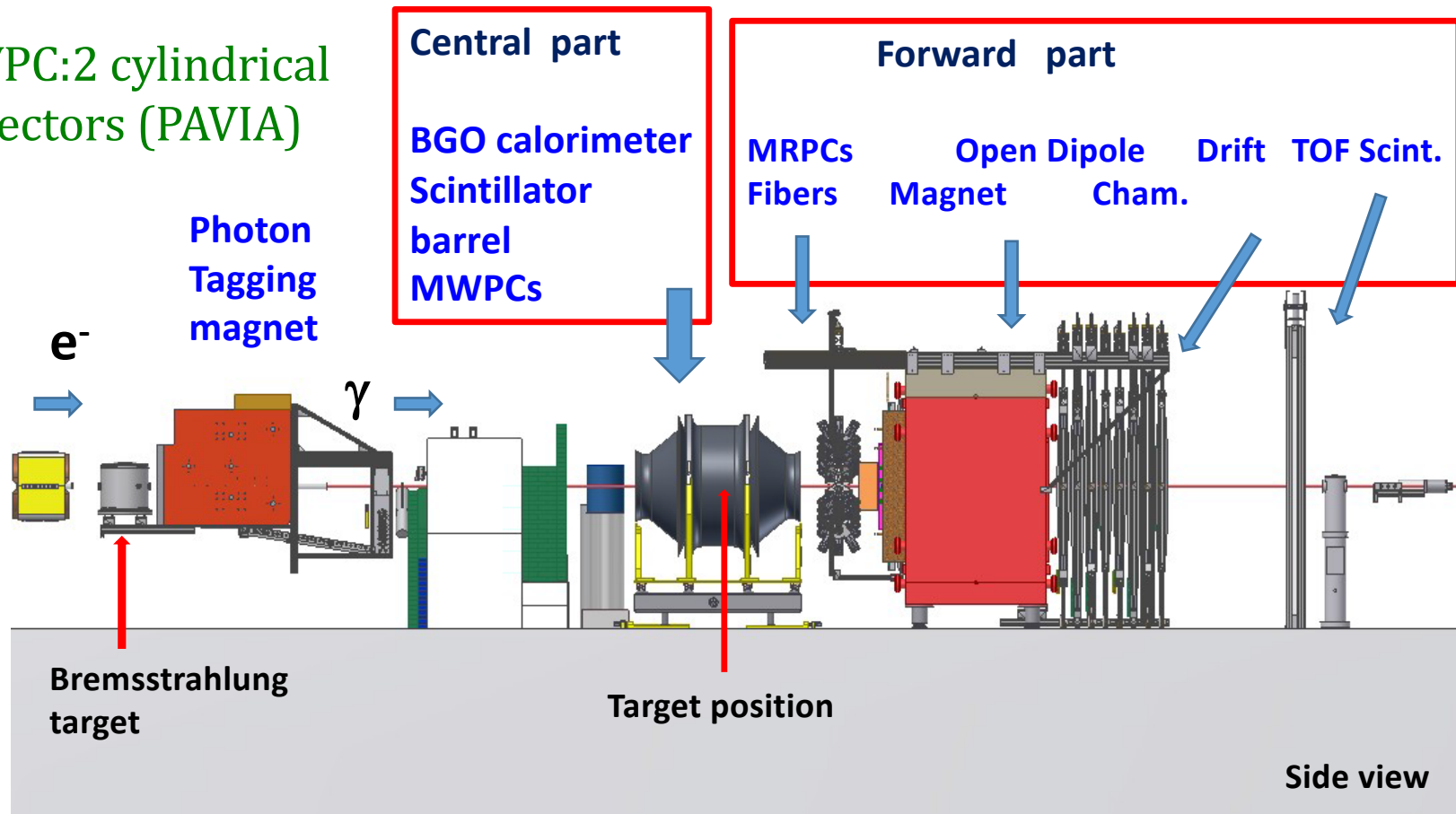
MWPC: 2 cylindrical detectors (PAVIA)

Beam:

- photon beam produced by bremsstrahlung process and tagged by the magnetic spectrometer
- $E_\gamma < 1.5 \text{ GeV}$, $\Delta E_\gamma = 2 - 4 \text{ MeV}$
- Linear and circular polarisations available

MAMBO – Bonn - Apparato

MWPC: 2 cylindrical detectors (PAVIA)



Attività svolta 2021-2022

- **Mainz** : -) Anche durante il 2021 attività del laboratorio MAMI è stata pesantemente condizionata dal covid e si è operato in «safety mode» (solo manutenzione necessaria all'acceleratore e nessuna attività nelle sale sperimentali) per buona parte dell'anno
-) In tarda estate / autunno si è potuto accedere alle sale sperimentali con un minimo di continuità e sono stati completati i lavori di maintenance/upgrade del calorimetro TAPS VETO posto nella regione polare forward. Un breve test in fascio (24h) effettuato a dicembre ha consentito di verificare la funzionalità dell'intero set-up di misura
-) Ad inizio 2021, il gruppo sperimentale di PNPI-Gatchina (Russia) coordinato da E.Maev si è unito alla collaborazione A2 per costruire una (mini) TPC cilindrica (gas di idrogeno, deuterio o elio ad alta pressione) da utilizzare come active target inserita al centro del rivelatore CB. Questo nuovo bersaglio (primi test inizialmente previsti nel 2023) permetterà di estendere il programma di misure a reazioni di produzione mesonica nella regione di soglia, e scattering Compton su neutrone. Il gruppo ha una grossa esperienza sulle TPC con set-up già installati e funzionanti al CERN (AMBER-TPC/Compass) e GSI (IKAR-TPC).
(progetto congelato – per le note vicende – a marzo 2022)
-) Da Marzo 2022 attività acceleratore MAMI ripresa regolarmente. Ulteriore e positivo test in fascio a maggio 2022. A fine giugno run di presa dati con deuterio.
(sospensione della collaborazione con i gruppi di ricerca russi rende per il momento impossibile operare con il bersaglio di idrogeno/deuterio polarizzato – a responsabilità del gruppo di DUBNA. Colleghi di Mainz e Bonn stanno ora cercando di rendere di nuovo operativo il bersaglio)

Attività svolta 2021-2022

- **Bonn** :
-) I lavori di sostituzione del Klystron dell'acceleratore ELSA [fermo dal 2019] e dei suoi apparati di servizio, proseguiti a rilento causa covid, sono stati conclusi ad inizio 2021 e l'acceleratore ha poi effettuato con successo un run di test.
 -) A ottobre 2021 è stato effettuato con successo un run di presa dati su deuterio mirato allo studio della reazione $\gamma n \rightarrow K^0 \Sigma^0$
 -) Un ulteriore run previsto a fine marzo 2022 è stato cancellato per l'impossibilità dei colleghi provenienti da INR-Mosca di effettuare il commissioning della parte di apparato di loro competenza (drift chambers) e di garantire la presenza nei turni di misura
 -) Un nuovo run in fascio (tempo ridotto da 3 a 2 settimane) previsto per ottobre 2022

Mainz – risultati principali

Misura della reazione di scattering Compton su protone $\gamma p \rightarrow \gamma' p$

Determinazione delle polarizzabilità α (elettrica) e β (magnetica) del protone (parametri fondamentali –al pari di carica e massa– che ne descrivono la distribuzione interna di carica e magnetismo)

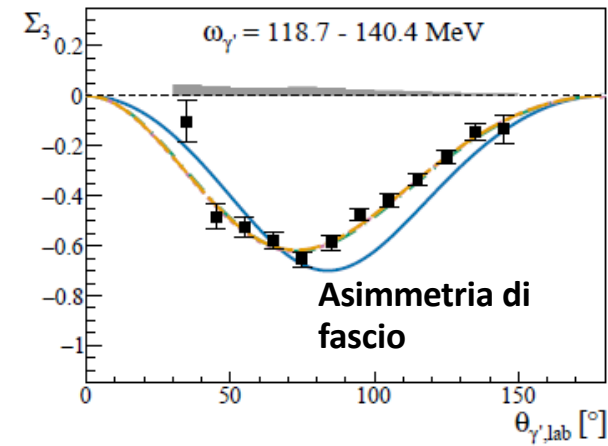
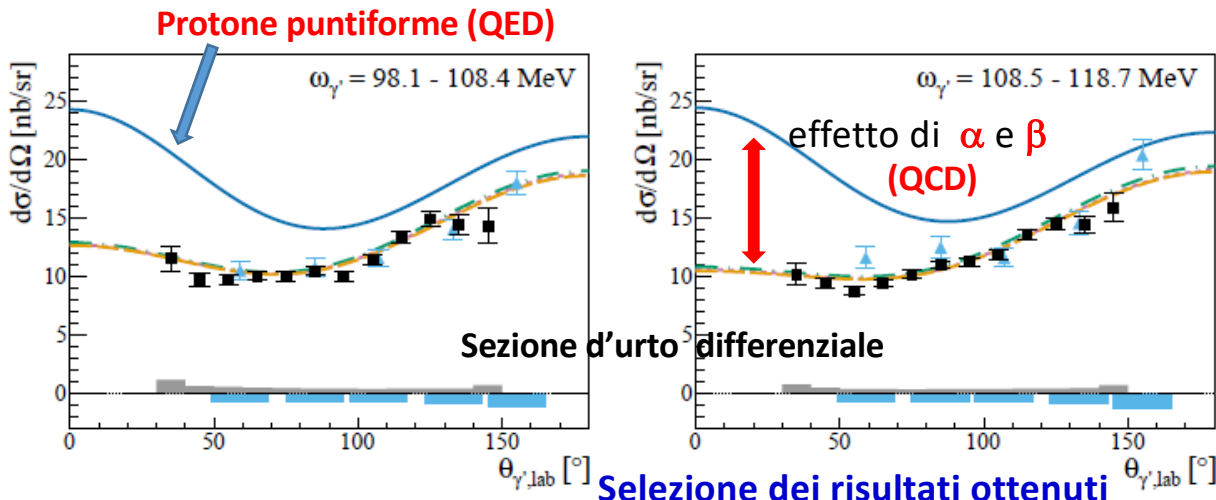
➔ Bassa sezione d'urto (nb/sr) ; elevato background

Espansione in energia dell'Hamiltoniana di scattering

- ordine 0 ➔ massa, carica
 - ordine 1 ➔ momento magnetico
 - ordine 2 ➔ $H_{eff}^{(2)} = -4\pi \left[\frac{1}{2} \alpha \vec{E}^2 + \frac{1}{2} \beta \vec{H}^2 \right]$
- } Protone puntiforme

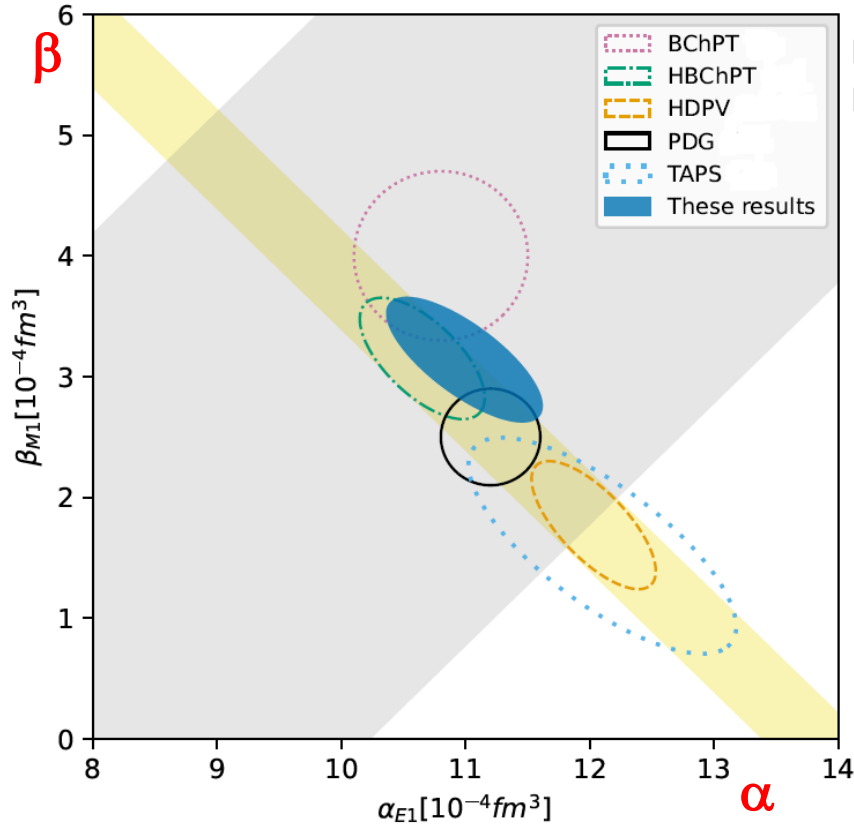
- Misurate sezione d'urto differenziale ed asimmetria di fascio (con fotoni linearmente polarizzati) tra 80 e 150 MeV
- Data set con 96 punti totali
- Significativo miglioramento rispetto a tutti i precedenti esperimenti

E. Mornacchi et al. PRL 128, 132403 (2022)




- Nuovi dati (rettangoli grigi: errori sist.)
- Dati precedenti (TAPS) (rettangoli azzurri: errori sist.)


dal best-fit dei dati estrazione (con relativi errori) dei valori delle polarizzabilità α e β




Fascia arancione: regione di valori (ad 1σ) data dalla regola di somma di Baldin (condizione su $\alpha + \beta$ ricavabile da dati di altre reazioni)

 Fit solo dati TAPS (migliore singolo data set finora esistente - circa 80 punti)

  Due diversi fit di tutti i dati finora esistenti

 **Fit solo dei nostri dati**
(si migliora di molto la precisione rispetto a TAPS e si ottiene -solo con un singolo data set- la stessa precisione di tutti i dati finora esistenti -circa 300 punti)

 Modello χ_{PT}

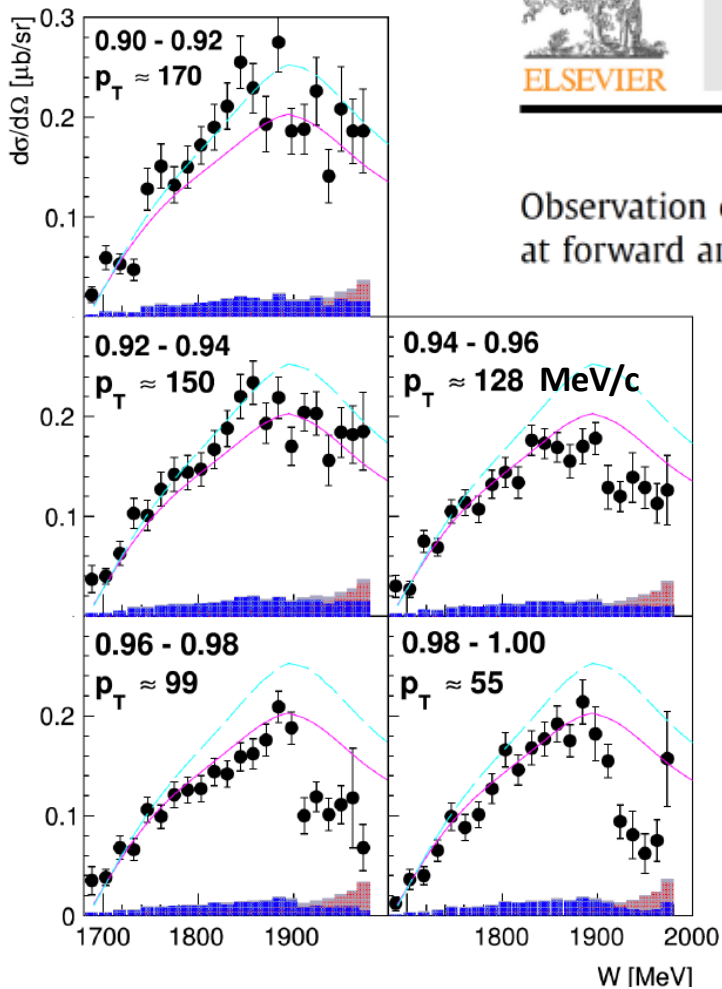
 Valore PDG (combinazione dati e previsioni di modelli χ_{PT})

Bonn - risultati principali



Physics Letters B

www.elsevier.com/locate/physletb



Observation of a cusp-like structure in the $\gamma p \rightarrow K^+ \Sigma^0$ cross section at forward angles and low momentum transfer

T. Jude et al., Phys.Lett.B 820 (2021) 136559

No other data available for this energy region.

Cusp-like structure not explained by existing models (continuous lines).

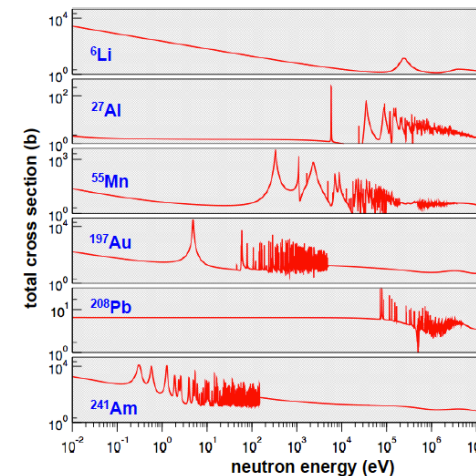
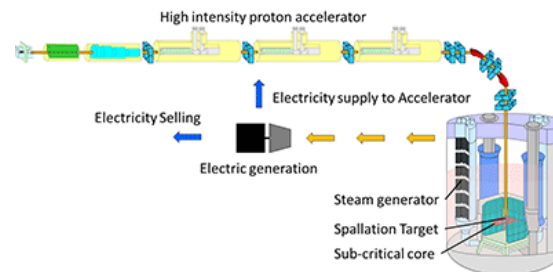
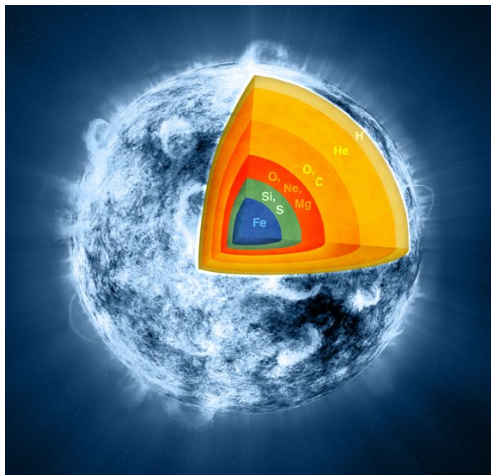
Unexpected interference between existing baryon resonances or effect to a new hadronic bound state ?

Publications (refereed journals)

2011	4	(1 PLB)
2012	4	(1 PLB)
2013	10	(2 PRL; 4 PLB)
2014	11	(4 PRL; 1 PLB)
2015	10	(1 PRL; 2 PLB)
2016	7	(1 PRL)
2017	6	(1 PRL; 1 PLB)
2018	6	(1 PLB)
2019	6	(1 PLB)
2020	7	(2 PRL)
2021	5	(1 PLB)

N-ToF

Ambiti di ricerca



Nuclear Astrophysics

- N**ucleosynthesis $A > 60$
- S**tellar evolution
- B**ig bang nucleosynthesis

Nuclear technology and medical application:

- F**ission reactors (Gen-IV, ADS)
- F**usion
- T**ransmutation of nuclear waste
- N**eutron capture therapy

Basic Nuclear Physics

- N**uclear interaction
- N**uclear structure effects on fission
- E**xcited states

Anagrafica PV

SEDE	NOMINATIVO	TIPO	CONTRATTO	QUALIFICA	RICERCATORI		TECNOLOGI	
PV	Altieri Saverio	ASSOC	Incarico di Ricerca scientific...	Prof. Associato	20			
	De Bari Antonio	ASSOC	Associazione Senior	Pensionato	30			
	Protti Nicoletta	ASSOC	Incarico di Ricerca scientific...	Ricercatore B Temp...	20			
	Zelaschi Fabio	ASSOC	Tecnologica Personale E.P.	Tecnico Categoria D			30	
					0.7 fte	3 pers.	0.3 fte	1 pers.
PV					1.0 fte / 4 pers. (media 0.25)			

Principali attività nel 2021

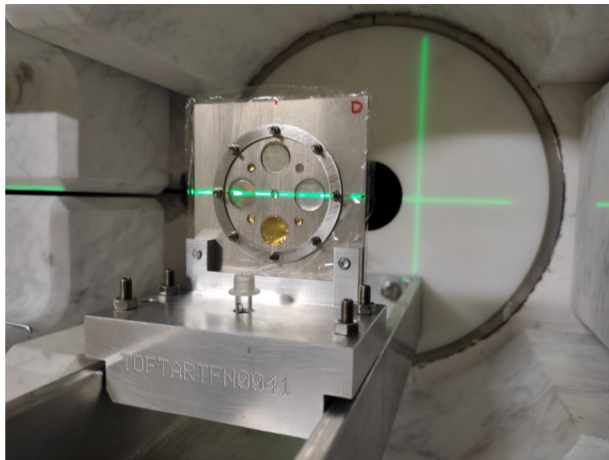
- completed the test of the C6D6 over a large interval of counting rate (this was a milestone of 2020, postponed because of COVID) and found the proper voltage divider with dynodes made of Sb-Cs, instead of Be-Cu, able to sustain high counting rates (up to MHz).
- completed the 2021 milestones, namely:
 - publication of ^{92}Zr article, <https://journals.aps.org/prc/abstract/10.1103/PhysRevC.105.025805>;
 - **borated GEM tested under a thermal neutron beam at LENA, their efficiency was derived**;
 - characterisation of the angular silicon detector, first using a alpha-particle source and secondly under neutron beam at EAR1;
 - commissioning of neutron beam at EAR1 and EAR2;
 - **preliminary evaluation of the neutron flux at the NEAR station (based on multi-foil activation, subsequently measurement of the gamma ray spectra and deconvolution analysis)**;
 - measurement of the $^{95}\text{Mo}(n,g)$ and $^{95}\text{Mo}(n,tot)$ at GELINA;
 - feasibility study for a measurement related to X17 at n_TOF (a LOI was submitted to CSN3).
- been working for the 2022 MILESTONES (characterisation of the HPGe detector funded by INFN, test of an active target at EAR1 and EAR2, test of detectors and of a high pressure ^3He target for X17, preparation of articles on ^{235}U and data analysis of the data collected during the commissioning);
- participated to the commissioning of the facility and to the measurement campaign ($^{94,95,96}\text{Mo}(n,g)$ measurements were lead by INFN);
- performed a test of the TARAT active detector under mono energetic neutron beams at DEMOKRITOS.
- **prepared the test under the LENA neutron beam of an AIF moderator to be possibly used at NEAR.**
- organised the Nuclear Physics in Astrophysics Conference at CERN,
- published several articles, among them $^{26}\text{Al}(n,p)$ and $^{26}\text{Al}(n,a)$: an hot topic in nuclear astrophysics.

Principali attività nel 2021 - PAVIA

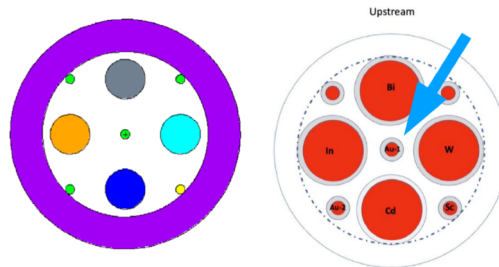
- borated GEM tested under a thermal neutron beam at LENA, their efficiency was derived;
- preliminary evaluation of the neutron flux at the NEAR station (based on multi-foil activation, subsequently measurement of the gamma ray spectra and deconvolution analysis);
- prepared the test under the LENA neutron beam of an AIF moderator to be possibly used at NEAR

Unfolding of the Spectrum- Bayesian approach

Neutron flux per proton pulse

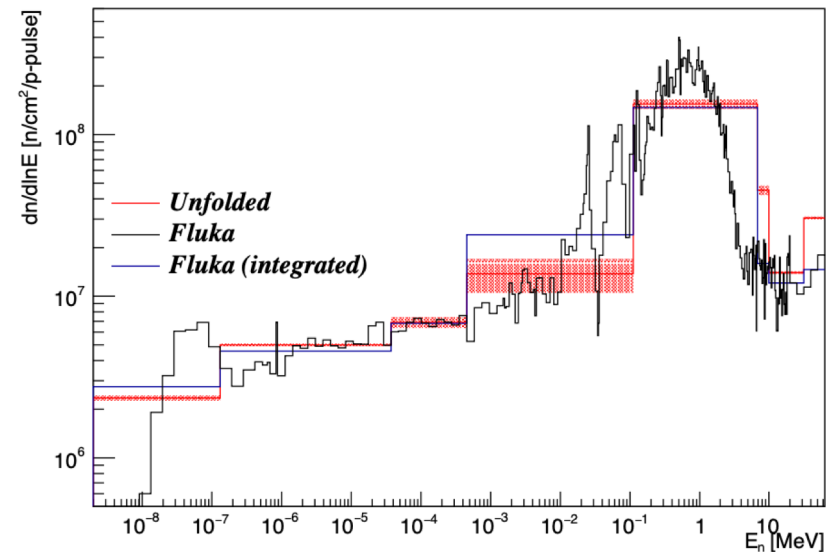


$$R_j = N_j \int \phi_j(E) \sigma_j(E) f_j(E) dE$$



Simulation of the MAM-1 irradiation geometry with the MCNP code

Laureanda Chiara Beltrami



Pubblicazioni e Tesi

N. 20 pubblicazioni nel 2021
n. 7 tesi

una pubblicazione grazie al lavoro svolto al LENA

Eur. Phys. J. Plus (2021) 136:742
<https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-021-01707-2>

THE EUROPEAN
PHYSICAL JOURNAL PLUS

Regular Article



MBGEM: a stack of borated GEM detector for high efficiency thermal neutron detection

A. Muraro^{5,6,10}, G. Claps^{1,4}, G. Croci^{5,6,10}, C. C. Lai^{3,8}, R. De Oliveira², S. Altieri⁷,
S. Cancelli^{5,6}, G. Gorini^{5,6,10}, R. Hall-Wilton^{6,8}, C. Höglund^{8,9}, E. Perelli Cippo⁵,
L. Robinson⁸, P. Svensson⁸, F. Murtas^{1,2,a} 