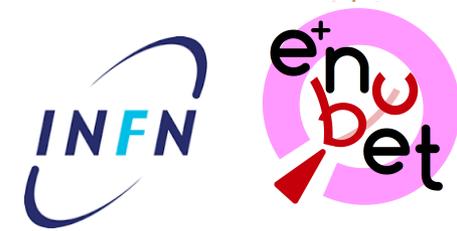
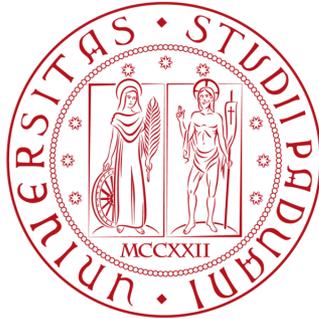


Determinazione del flusso dei neutrini con i monitored beams: ENUBET



Michelangelo Pari
(Univ. e INFN-Padova)



This project has received funding from the European Research Council (ERC) under the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme (grant agreement No 681647).



Outline

- Il problema dell' incertezza sul flusso → monitored beams
- Sfide, obiettivi e risultati del progetto ERC ENUBET
- Il mio contributo e i prossimi passi

Come affrontare il problema del flusso ?



Ultimi 10 anni: la conoscenza di $\sigma(\nu_\mu)$ e' migliorata enormemente

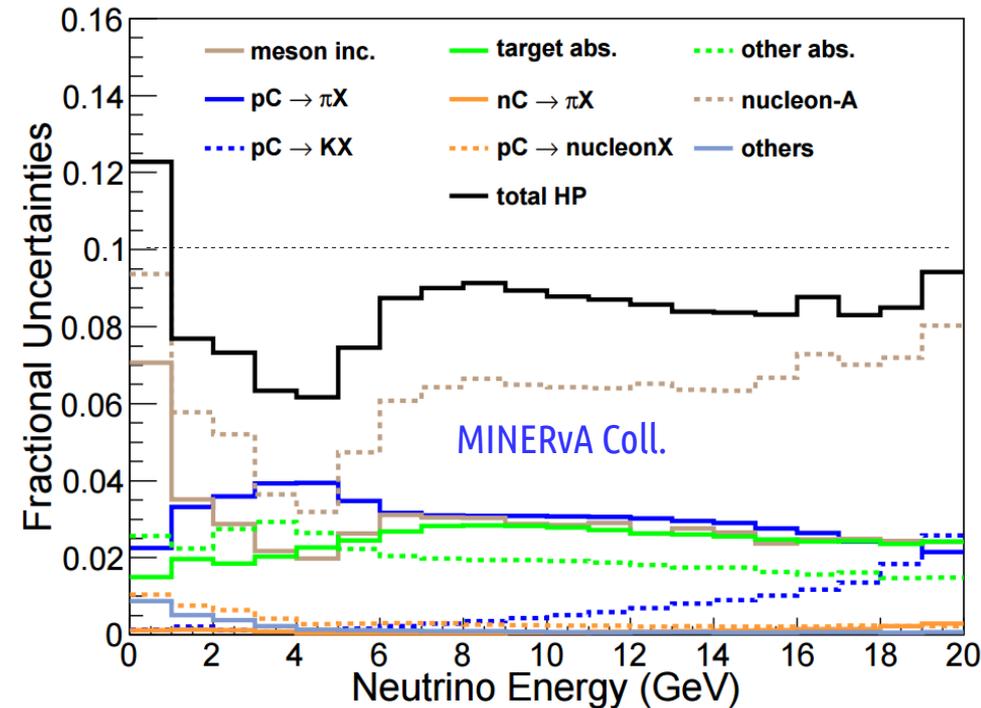
MiniBooNE, SCIBooNE, T2K, MINERvA, NOvA ...

- Vincoli sperimentali sul flusso gia` in uso

- ✓ Monitoring dei muoni e protoni
- ✓ Esp. di hadro-produzione
- ✓ Interazioni sugli elettroni ($10^{-4} \nu_\mu^{CC}$)

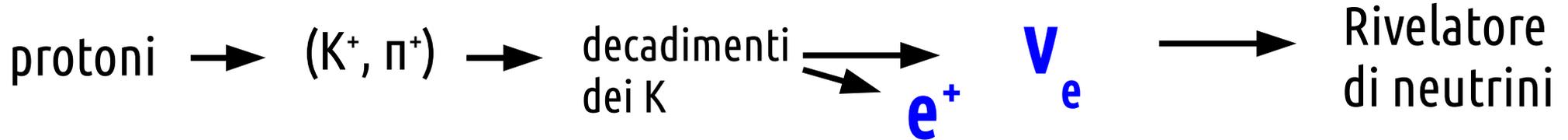
tuttavia ...

- Il “muro” della sistematica sul flusso e' solido ed e' l'incertezza **dominante** per le misure **assolute delle sezioni d'urto**
- Nessuna misura assoluta con errore sotto il ~7-10%



I “monitored beams”

Basati su tecnologie “convenzionali” → **precisione dell'1%** sul flusso di ν_e



- Monitorare (~ inclusivamente) i **decadimenti** in cui i ν sono prodotti
- “aggirate” le incertezze su: **hadro-prodzione, protoni su bersaglio, efficienza di raccolta della linea di fascio**

fascio tradizionale

- Regione di decadimento passiva
- La predizione sui ν_e prodotti dipende da simulazioni **ab-initio** del processo
- **Grandi sistematiche**

fascio monitored

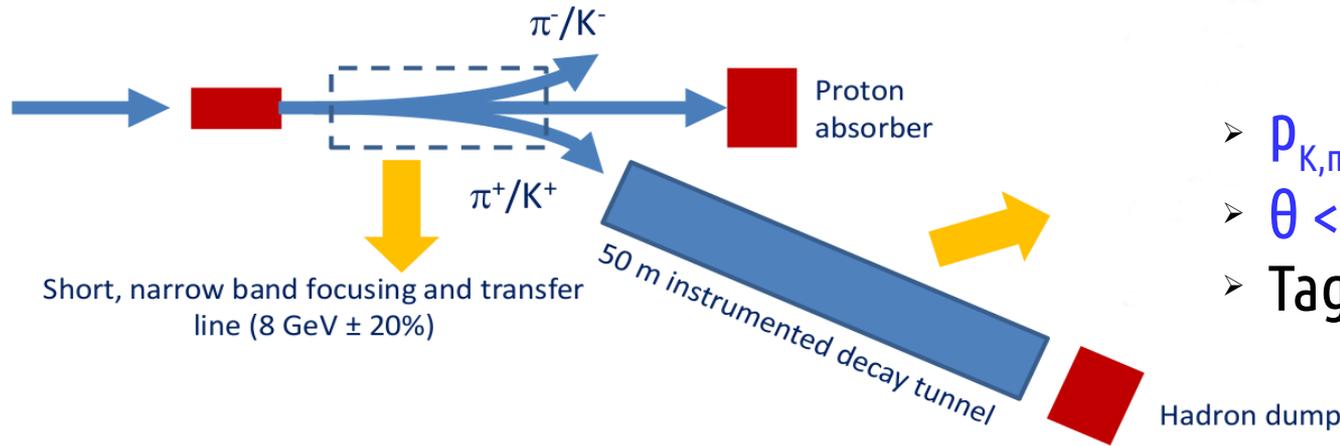
- **Instrumentata**
- **$K^+ \rightarrow e^+ \nu_e \pi^0 \rightarrow e^+$ (alto angolo)**
- **predizione flusso $\nu_e \sim$ conteggio e^+**



Il monitored beam di ENUBET



- **Beam-line**: selezione in q, focusing, trasferimento (veloce) dei π^+/K^+
- **Tagger**: monitoring inclusivo in real-time dei prodotti di dec. dei K



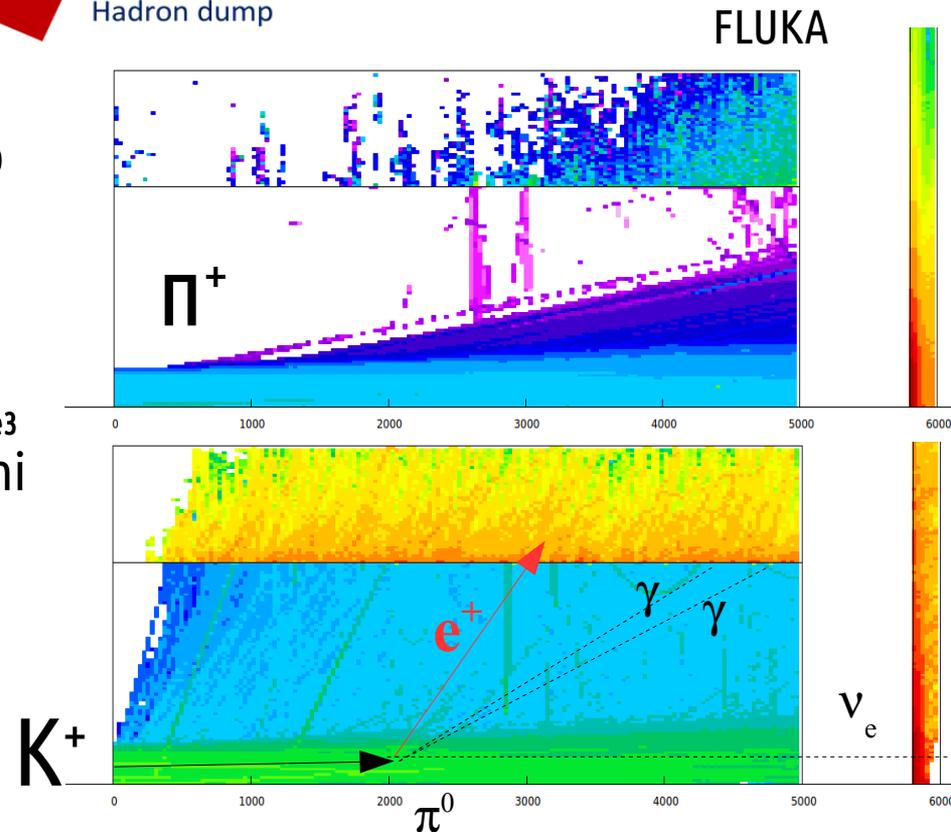
- $p_{K,\pi} = 8.5 \pm 20\% \text{ GeV}/c$
- $\theta < 3 \text{ mrad}$ su $10 \times 10 \text{ cm}^2$
- Tagger: $L = 40 \text{ m}$, $r = 100 \text{ cm}$

✓ Con un **focusing adeguato solo i prodotti di decadimento dei K** arrivano ne tagger being essendo emessi ad **alti angoli** (diversamente che per i pioni) consentendo:

✓ un **controllo** completo dei ν_e prodotti dai e^+ dal K_{e3} (~98%). Piccolo contributo dai decadimenti dei muoni grazie alle piccole dimensioni del tunnel

✓ **Rates e tassi di irradiazione sostenibili**

$< 500 \text{ kHz}/\text{cm}^2$, $O(\sim 1 \text{ kGy})$



Il "tagger"

- 1) Calorimetro ("shashlik")
 - Ultra-Compact Module (UCM)
 - Readout della luce integrato
→ **rieiezione dei n^\pm**

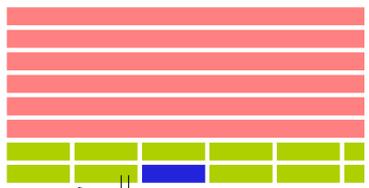
- 2) γ -veto
 - Scintillatori plastici
 - Radiatore Cherenkov, LAPPD

→ **rieiezione dei n^0**

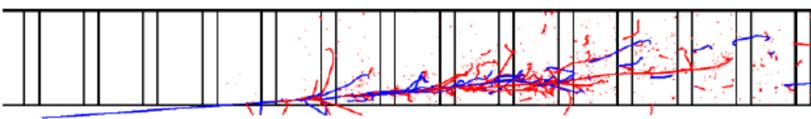
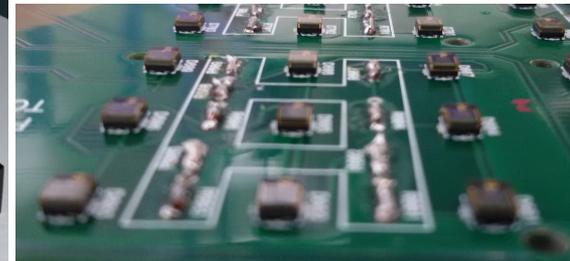
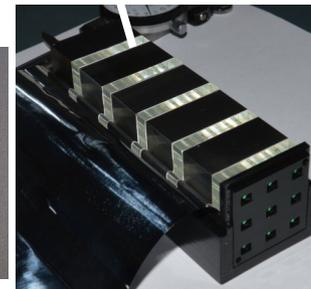
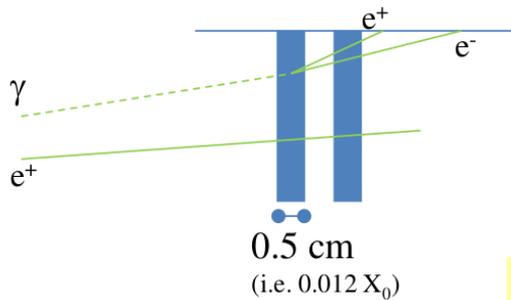
1) calorimetro compatto con segmentazione longitudinale

2) γ -veto integrato

Ultra Compact Module $3 \times 3 \times 10 \text{ cm}^3$, $4.3 X_0$



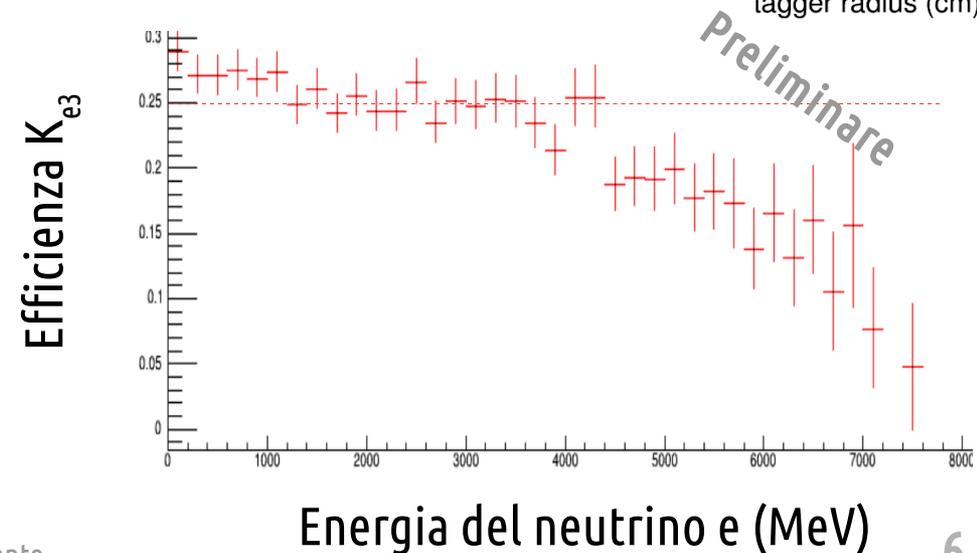
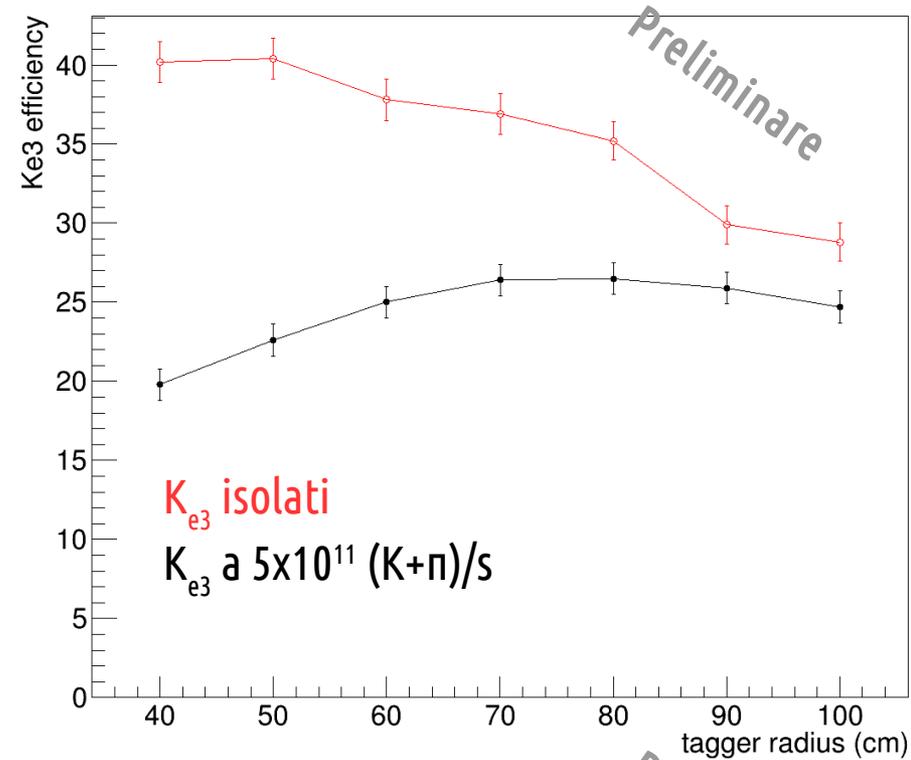
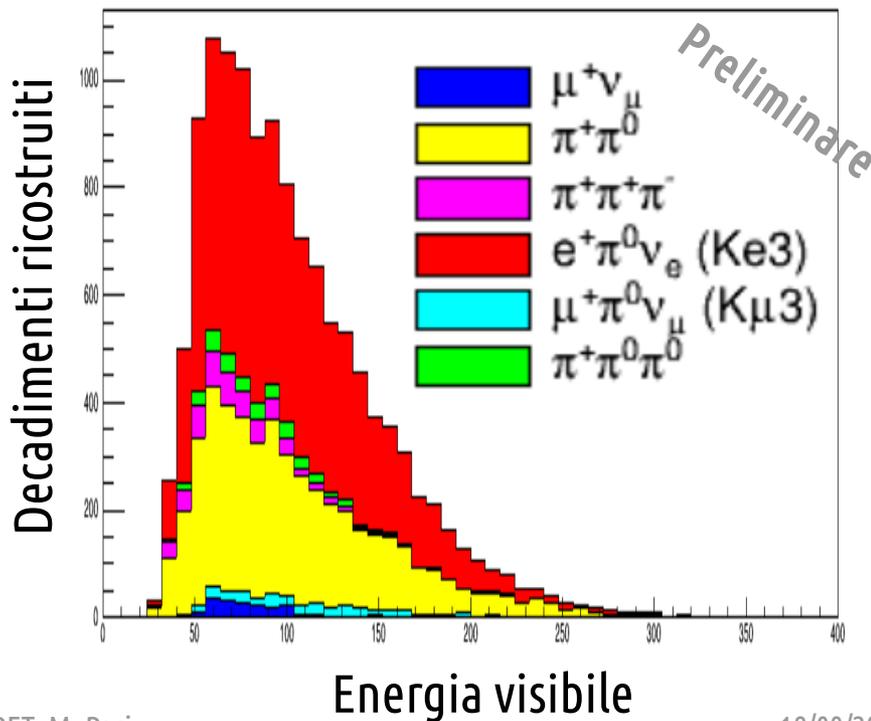
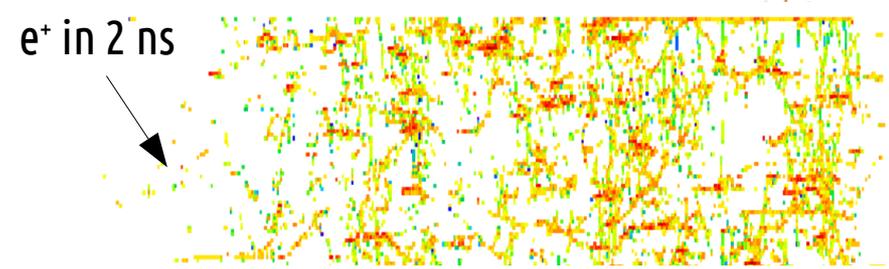
Topologia e^+



Entro il 2021 vogliamo costruire/testare un **dimostratore** scalabile corrispondente a una frazione di 3m del tunnel instrumentato

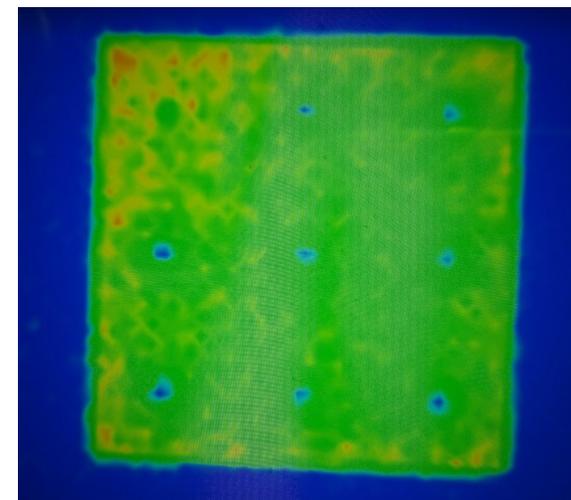
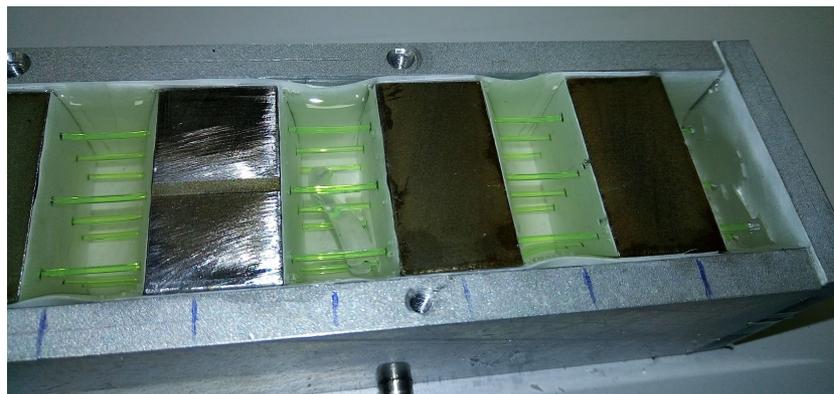
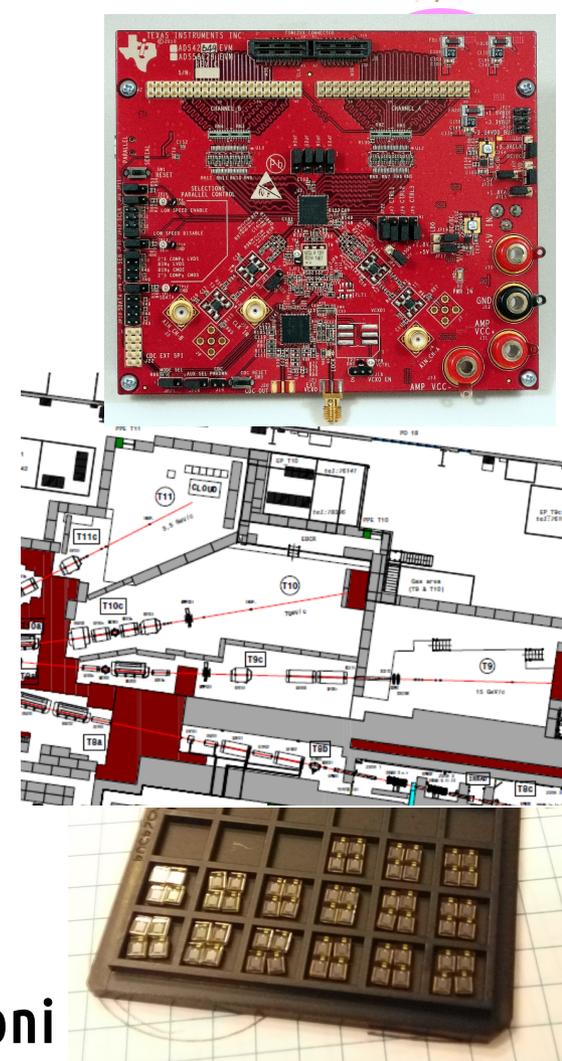
Ricostruzione dei positroni

- Rates fino a 500 KHz/cm²
- Gestione degli effetti di pile-up
- “Event-building”: clustering basato sulla posizione e tempo delle forme d'onda.
- Analisi multivariata: selezione e⁺ e reiezione simultanea di π⁺ e π⁰ su simulazione **GEANT4**



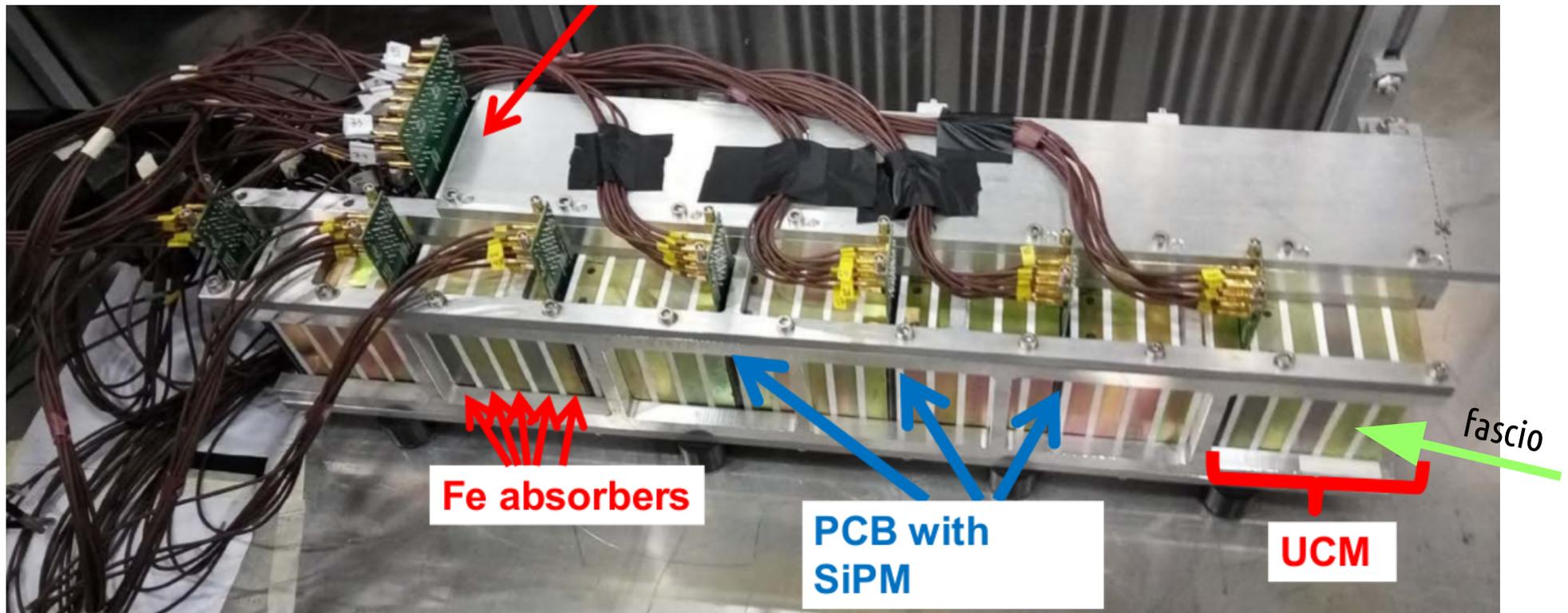
I miei contributi durante la tesi

- **Sviluppo elettronica:**
 - Digitalizzatori "custom": finestre temporali > alcuni ms e granularita` di qualche ns con soluzioni "cost-effective"
 - Ottimizzazione del sampling e design di filtri
 - Caratterizzazione parametri di possibili candidati ADC
 - Programmazione FPGA
 - Primi test su fascio al CERN previsti ad Ottobre!
- **R&D rivelatori**
 - Costruzione prototipi con scintillatori in polysiloxane e assorbitori in polvere
 - inedito in HEP e notevole semplificazione dal punto di vista realizzativo
- **Partecipazione a test su fascio**
 - al CERN-PS e a INFN-LNL per test di irradiazione SiPM con neutroni



Test su fascio al CERN-PS

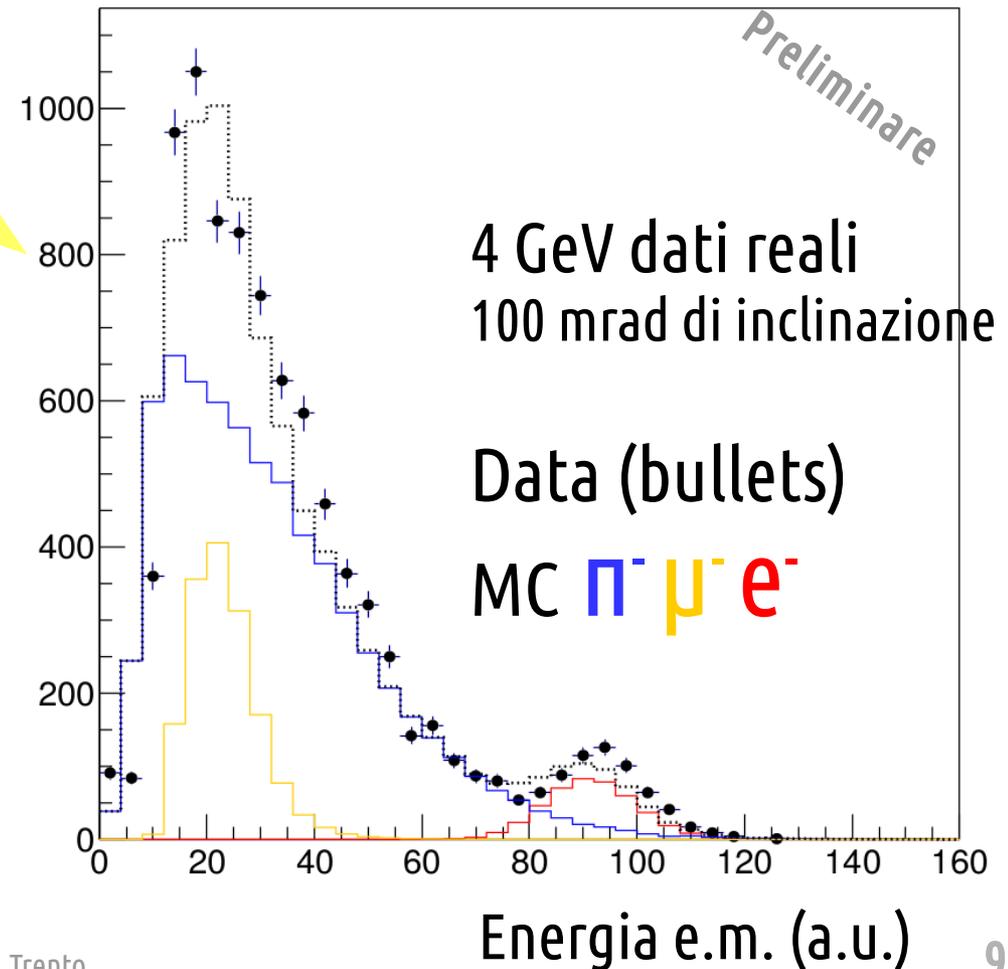
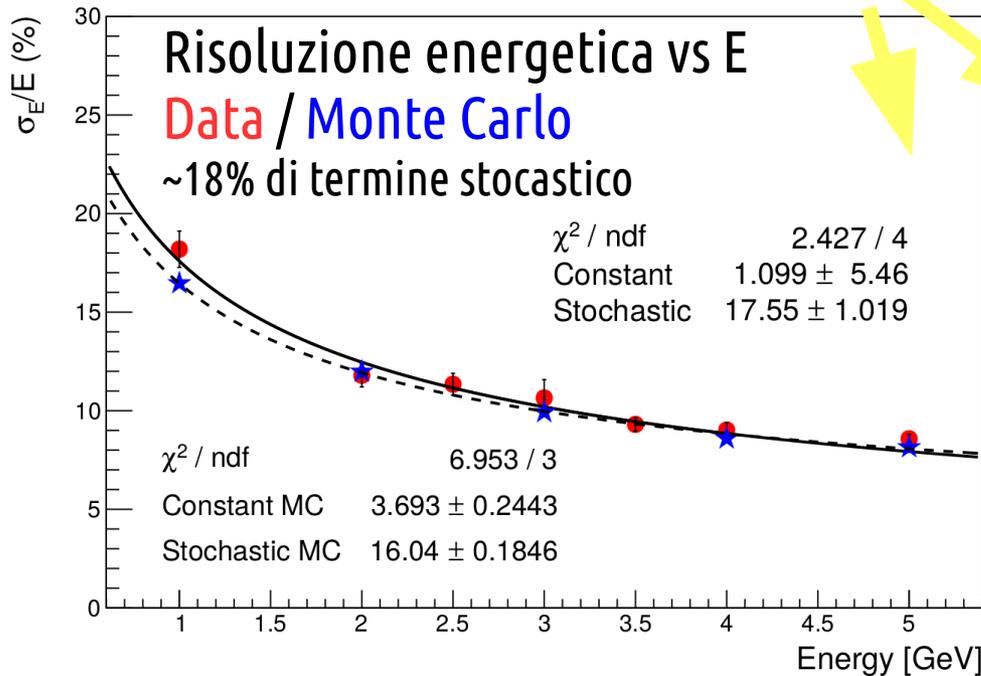
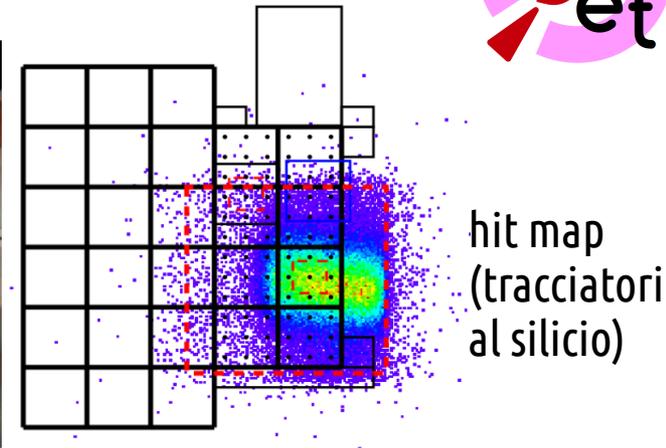
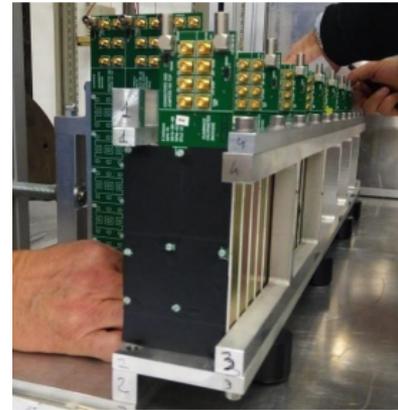
- Testare l'accordo dati/MC e la separazione e/n a incidenza radente ($\sim 30 X_0$, orientabile)
- 56 (e.m.) + 18 (had.) UCM, 666 SiPM



Separazione e/n coi dati al test beam



- Elettroni/muoni/pioni distinti dai contatori Cherenkov counters e un "muon catcher". Camere micro-strip al silicio per tracciamento μm e fiducializzazione.
- La simulazione GEANT4 corrente lavora già' ragionevolmente bene



A. Berra *et al.*, IEEE Trans. Nucl. Sci, April 2017, 64 – 4 (1,6)

Conclusioni

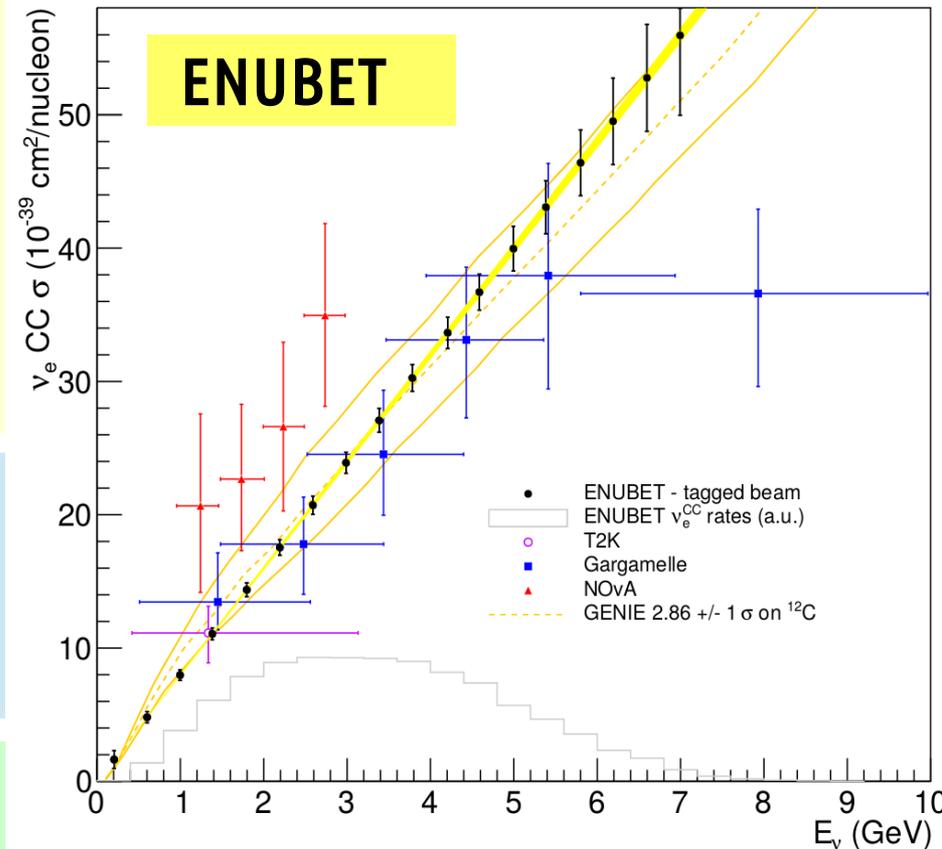


$\sigma(\nu_e)$

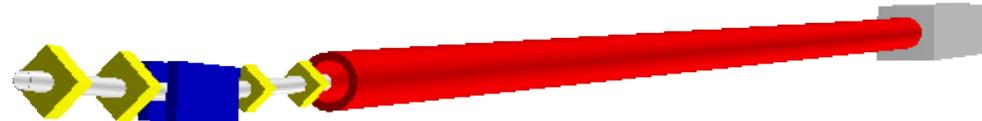
- Limite sull'incertezza del flusso: potrebbe essere **abbattuto di x 10** sfruttando i $K^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu_e$
- Nei prossimi **4 anni ENUBET** approfondirà questo approccio e la sua applicazione per una nuova generazione di esperimenti sulle **cross section**, per la **ricerca di neutrini sterili di II-fase** e un possibile fascio con **tagging temporale**

- 1° anno del progetto: un programma di prototipaggio e simulazione articolato. Risultati molto promettenti e alcune sfide aperte senza evidenti **"showstoppers"** finora.

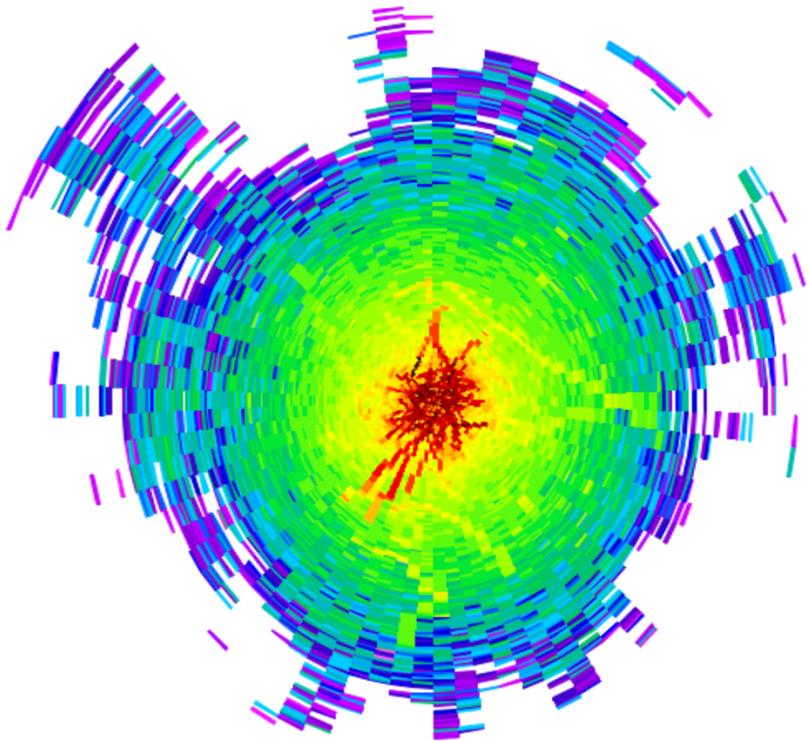
- **ENUBET** lavora per dimostrare che una sorgente di ν_e con positron monitoring si può costruire con le tecnologie esistenti al **CERN, FNAL o J-PARC** permettendo la **misura di $\sigma(\nu_e)$ al 1%** con un rivelatore di **piccola massa (~500 t)**



1% sys. + 1% errore stat. complessivo
(10.000 ν_e^{CC}) [Eur. Phys. J. C75 \(2015\) 155](#)



Grazie!



Work Packages (WP)

WP1 Conceptual design of the beamline see below

WP2 Design and prototyping of the positron taggers
WP coordinator: M. Pozzato

WP3 SiPM and front-end electronics for the instrumented decay tunnel
WP coordinator: V. Mascagna

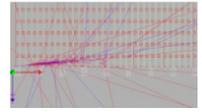
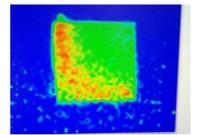
WP4 Design and prototyping of the photon veto (e/ γ separation)
WP coordinator: G. Sirri

WP5 Simulation and assessment of the systematics
WP coordinator: A. Meregaglia

PI A. Longhin



L. Ludovici



- A. Longhin, L. Ludovici, F. Terranova, Eur. Phys. J. C75 (2015) 155
- A. Berra et al., NIM A824 (2016) 693
- A. Berra et al., NIM A830 (2016) 345
- CERN-SPSC-2016-036 ; SPSC-EOI-014



ENUBET

<http://enubet.pd.infn.it>



Enhanced **N**eUtrino **BE**ams from kaon **T**agging

Project approved by the European Research Council (ERC)

5 years (06/2016 – 06/2021)

overall budget: **2 MEUR**

ERC-Consolidator Grant-2015, n° 681647 (PE2)

P.I.: A. Longhin

Host Institution: INFN



Expression of Interest
(CERN-SPSC, Oct. 2016)

CERN-SPSC-2016-036 ; SPSC-EOI-014

Enabling precise measurements of flux in accelerator neutrino beams: the ENUBET project

41 physicists, 10 institutions:
CERN, IN2P3 (Strasbourg), INFN
(Bari, Bologna, Insubria, Milano-
Bicocca, Napoli, Padova, Roma-I)

A. Berra^{a,b}, M. Bonesini^b, C. Brizzolari^{a,b}, M. Calviani^m, M.G. Catanesi^l,
S. Cecchini^c, F. Cindolo^c, G. Collazuol^{k,j}, E. Conti^j, F. Dal Corso^l, G. De Rosa^{p,q},
A. Gola^o, R.A. Intonti^l, C. Jollet^d, M. Laveder^{k,j}, A. Longhin^{i(*)}, P.F. Loverre^{n,f},
L. Ludovici^f, L. Magaletti^l, G. Mandrioli^c, A. Margotti^c, N. Mauri^c, A. Mereaglia^d,
M. Mezzetto^j, M. Nessi^m, A. Paoloni^e, L. Pasqualini^{c,g}, G. Paternoster^o, L. Patrizii^c,
C. Piemonte^o, M. Pozzato^c, M. Prest^{a,b}, F. Pupilli^e, E. Radicioni^l, C. Riccio^{p,q},
A.C. Ruggeri^p, G. Sirri^c, F. Terranova^{b,h}, E. Vallazzaⁱ, L. Votano^e, E. Wildner^m

In the **CERN Neutrino Platform (NP03, PLAFOND)**