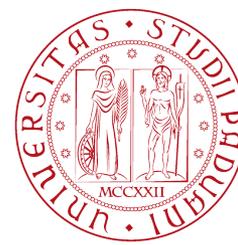


ENUBET



A. Longhin, F. Pupilli, G. Brunetti
Universita` di Padova e INFN-Padova

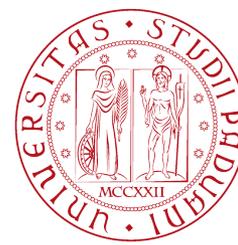
<http://enubet.pd.infn.it>



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).



ENUBET: identikit



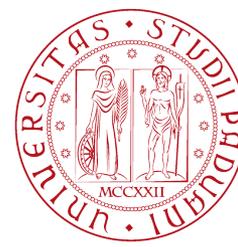
ENUBET e' una proposta scientifica approvata su base competitiva dal prestigioso **European Research Council (ERC)** nel 2015 per 5 anni.



The ERC's mission is to encourage the highest quality research in Europe through competitive funding and to support investigator-driven frontier research across all fields, on the basis of scientific excellence.



ENUBET: il nome



E' l'acronimo di:

Enhanced **N**e**U**trino **BE**ams from kaon **T**agging
Fasci di neutrini potenziati dalla misura dei Kaoni

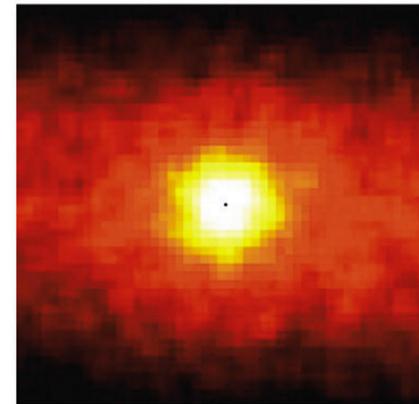
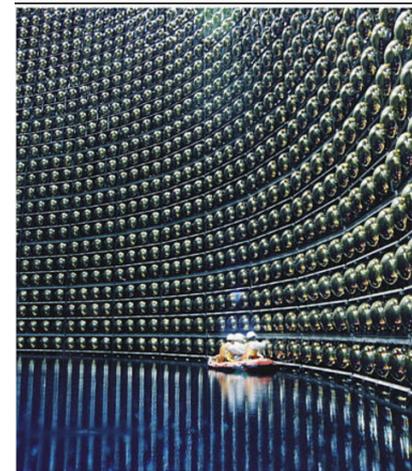
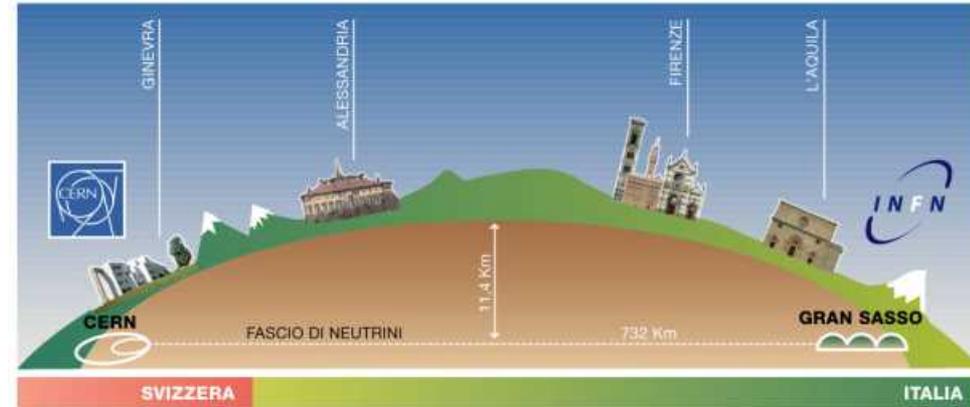
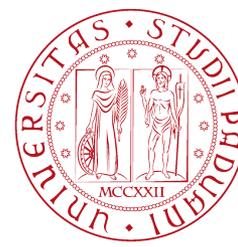


Il neutrino?!

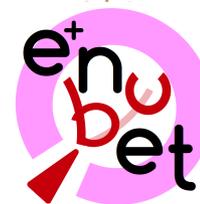
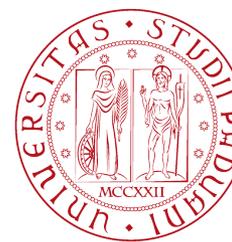
E' tra le particelle elementari meno esplorate e piu' interessanti.

I **neutrini** sono **sfuggenti**.
Passano indisturbati centinaia di km di roccia senza attenuazioni significative.

Sono **abbondatissimi**. Dal sole ce ne arrivano 10 miliardi al secondo per ogni cm^2 !



Il problema da superare

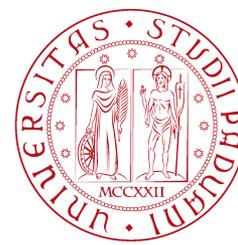


Le sorgenti tradizionali di neutrini sono “complicate”.
Non si riesce a determinare a meglio del 10% quante di queste
particelle vengano prodotte.

Questo rappresenta un **limite** notevole al progresso nel settore.
Le domande attuali richiedono di avere delle **sorgenti ben
controllabili!!!**

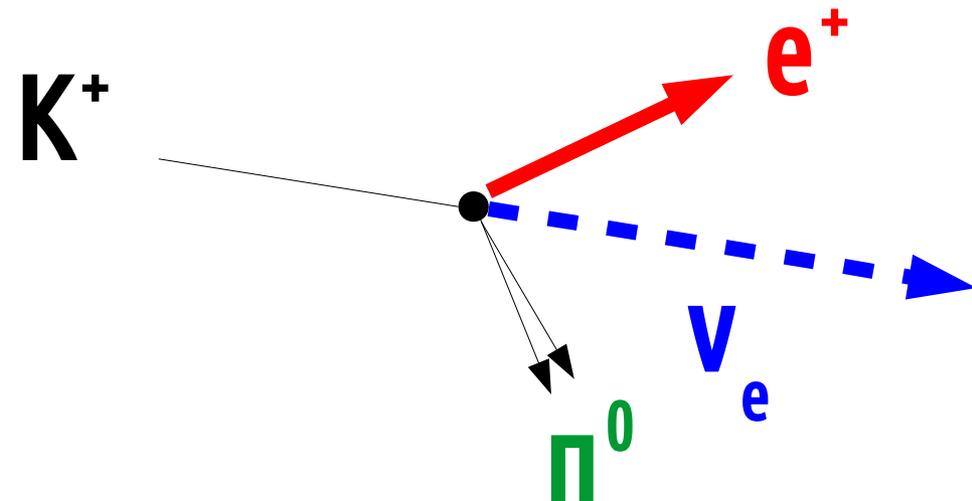


E i Kaoni ?

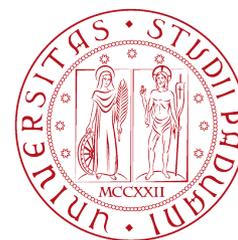


I **Kaoni** sono delle particelle **instabili** dai cui **decadimenti** (trasmutazioni) si producono **neutrini**.

Ma... in cosa ci possono aiutare i Kaoni ?



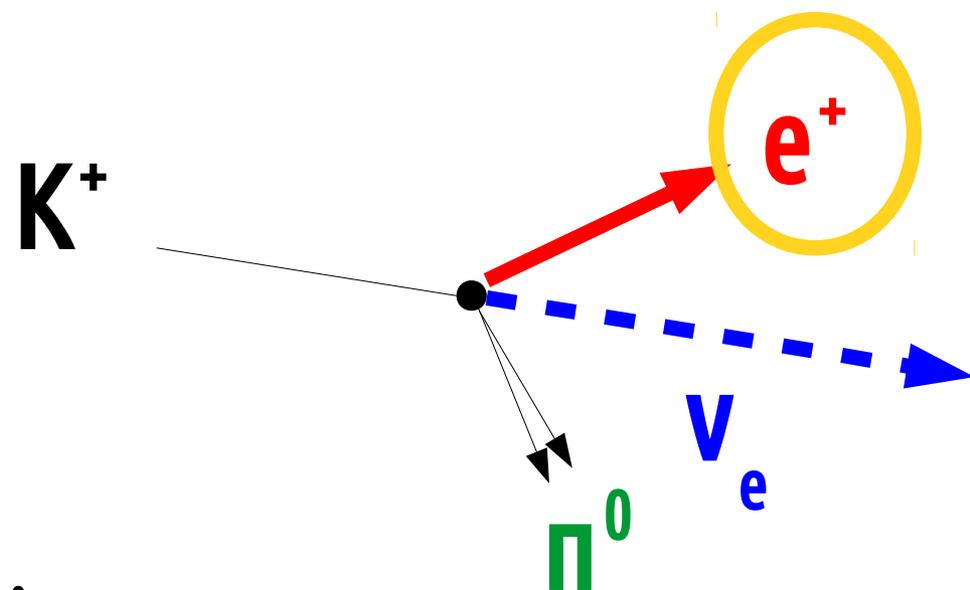
E i Kaoni ?



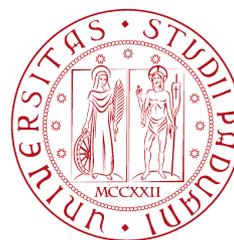
Ogni volta che un Kaone produce un neutrino si produce anche un **positrone!**

Il positrone e' parente stretto del piu' familiare elettrone ma ha carica positiva (e^+).

A differenza dei neutrini i positroni si possono rivelare "facilmente" (**vedremo come**).

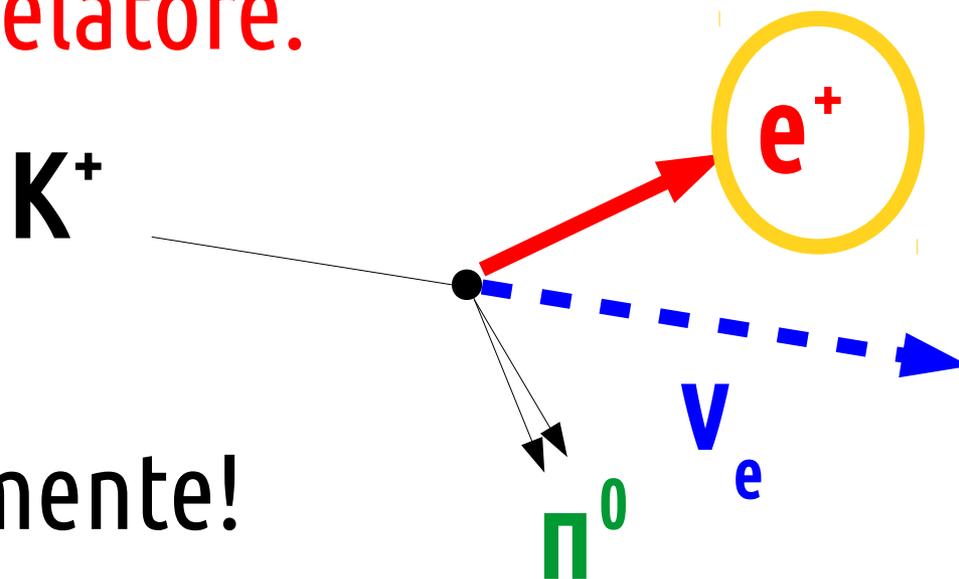


L'idea di ENUBET



L'idea di ENUBET e' di realizzare **una sorgente di neutrini innovativa con una precisione sul numero di particelle prodotte mai raggiunta.**

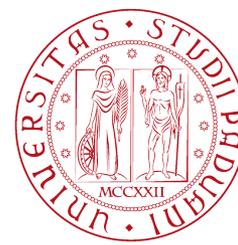
Come ? “contando” i positroni dai decadimenti dei Kaoni con un grande rivelatore.



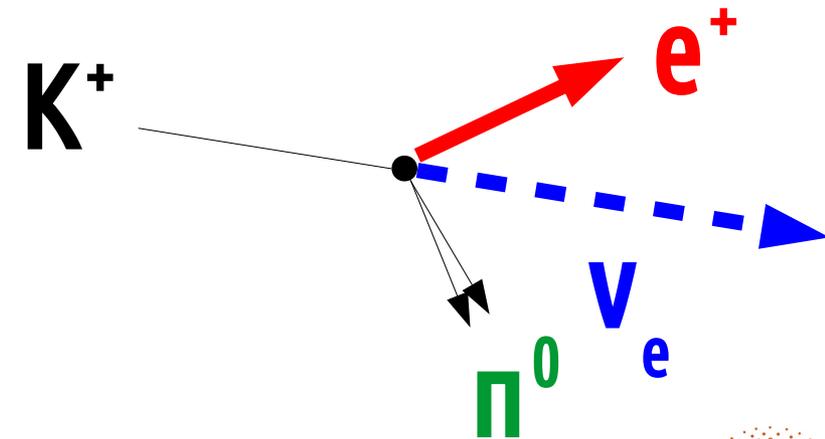
Semplice ... concettualmente!



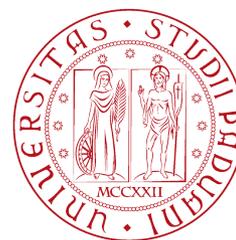
Peccato che i Kaoni...



- “vivono” mediamente solo **12 miliardesimi di secondo**
→ occorre “manipolarli” molto rapidamente (in meno di ~ 20 m)
- sono prodotti con **molte direzioni/energie** → “selezionarli” e focalizzarli modo che producano abbastanza neutrini con le caratteristiche desiderate.
- si disintegrano in molti modi, **non solo producendo positroni** → rivelatori capaci di distinguere i tipi di particella



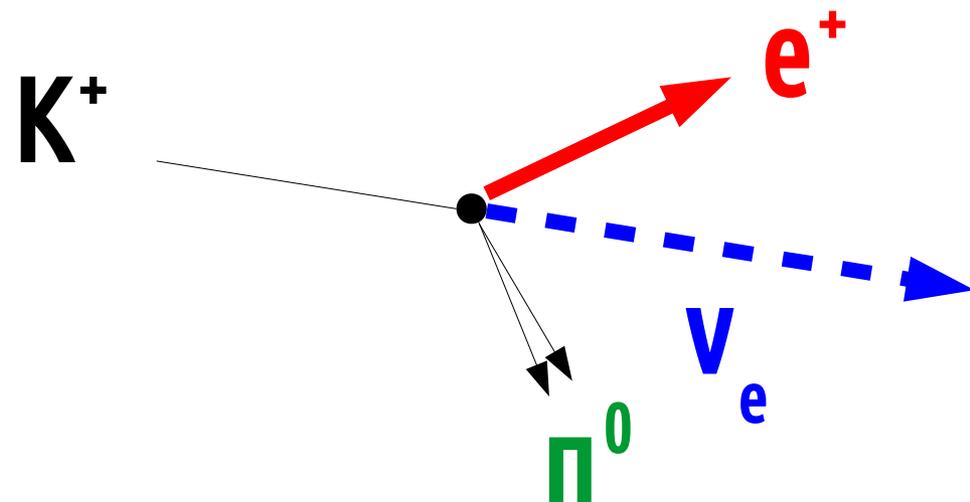
Inoltre ...



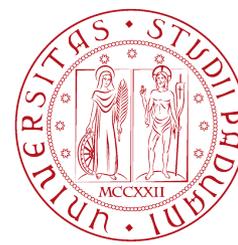
possono decadere “dove vogliono” su volumi di decine di metri → rivelatori grandi e non troppo costosi!

Per avere abbastanza neutrini, si generano fino a 500.000 particelle al centimetro quadro al secondo → ambiente “ostile”, rivelatori resistenti e veloci!

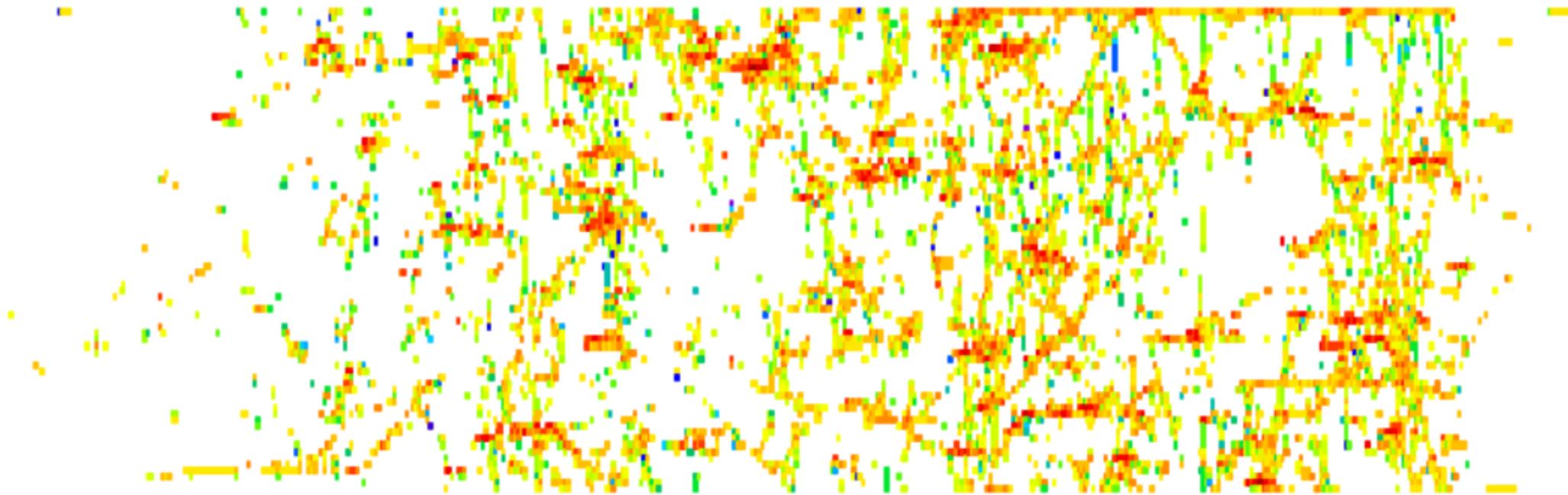
E non e' tutto ...



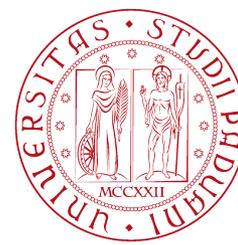
Flussi di particelle attesi



Positroni in 2 nanosecondi (2 miliardesimi di secondo) su un tunnel lungo 40 m e con 40 cm di raggio



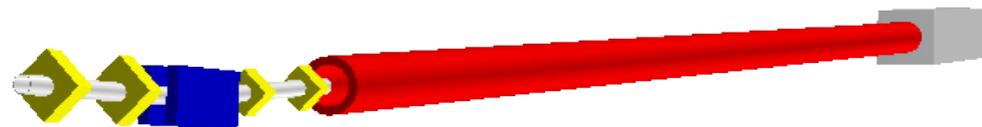
ENUBET



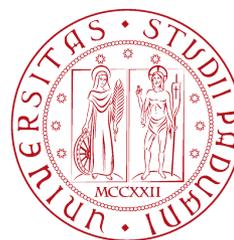
L'idea di ENUBET e' **molto promettente** e potrebbe dare una spinta notevole al settore della fisica del neutrino

presenta **notevoli sfide tecnologiche e scientifiche**

nello **spirito dei progetti ERC**



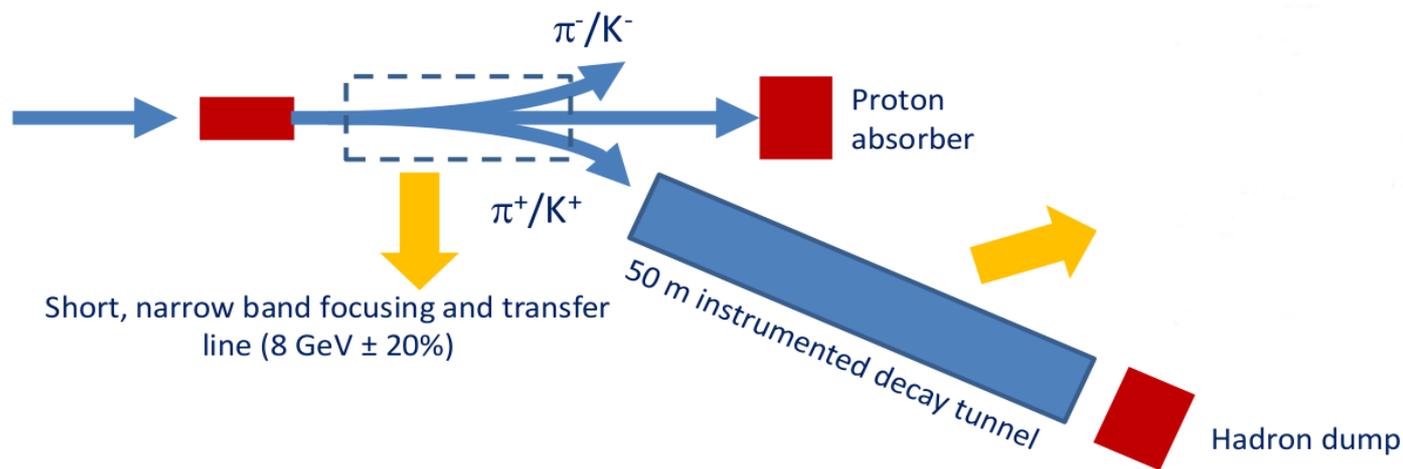
Il programma di ENUBET



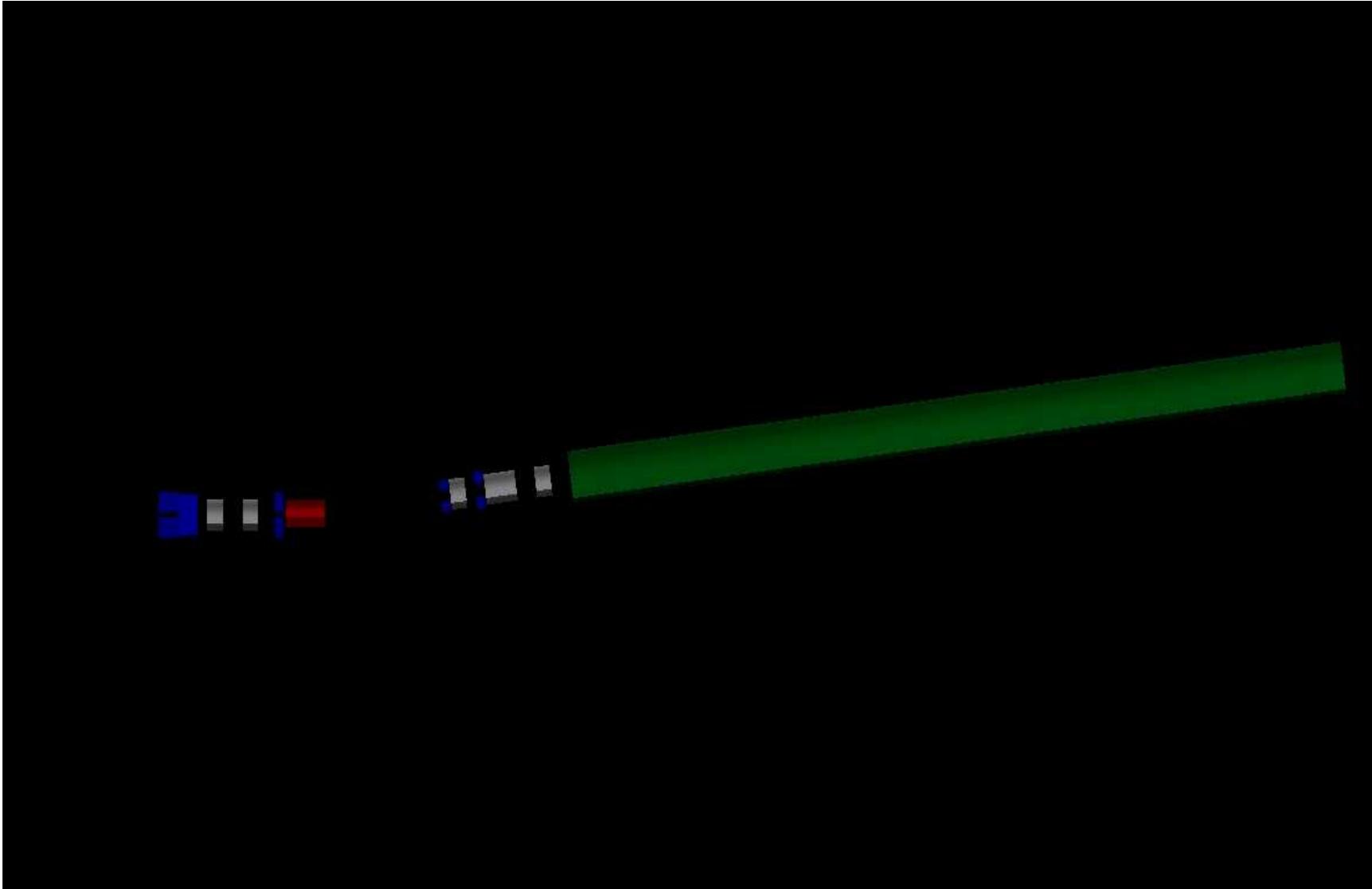
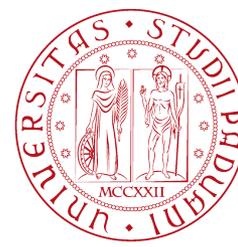
Dimostrare che/se questa idea funziona per mettere le basi per un grosso esperimento internazionale dopo il 2021

1) costruendo un rivelatore di positroni con le specifiche richieste e testandolo in condizioni realistiche

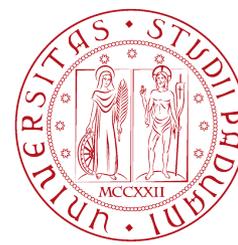
2) ideando un sistema magnetico adeguato a guidare i Kaoni



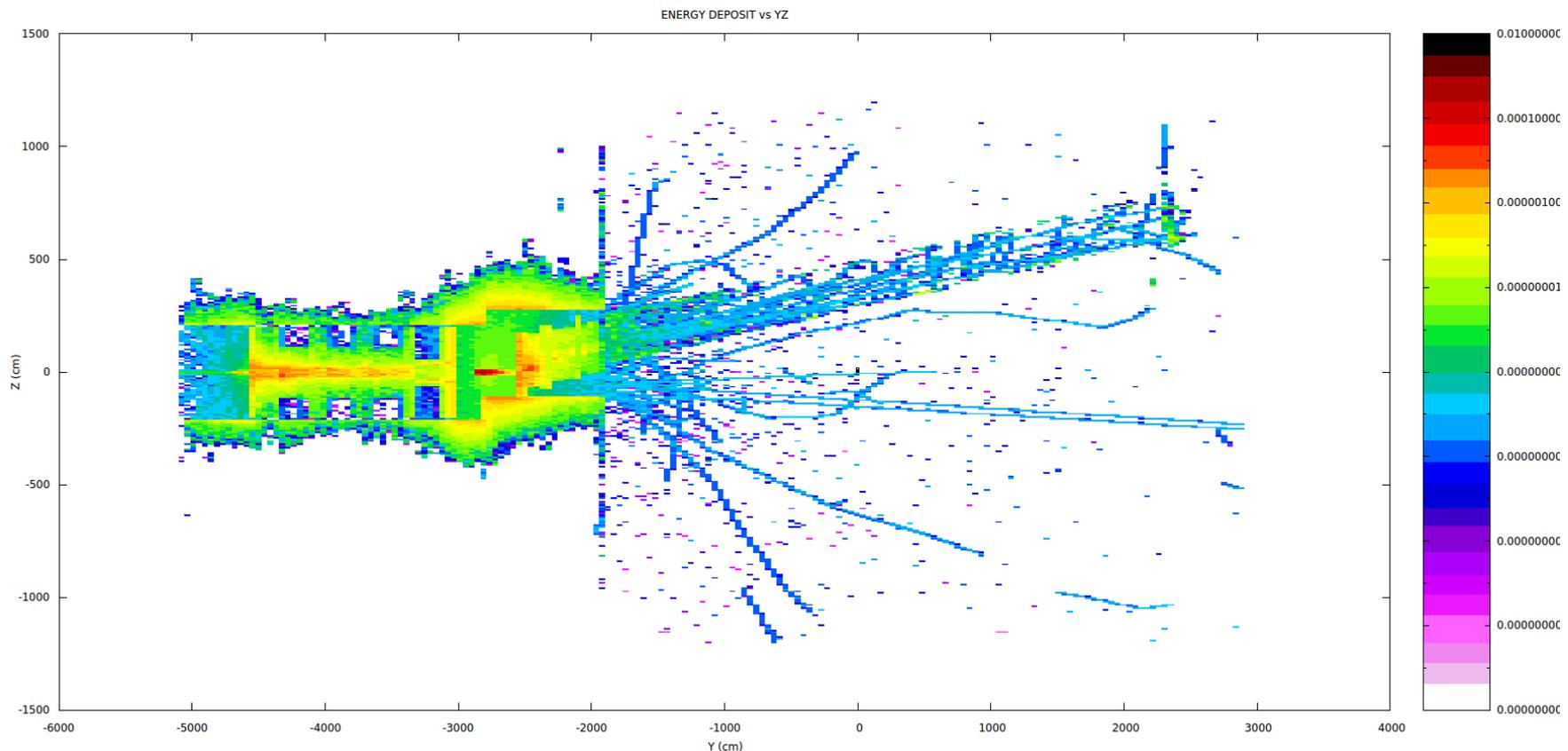
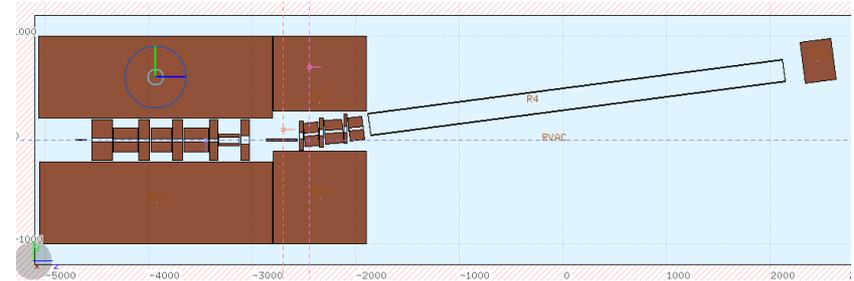
Il sistema di trasporto e focheggiamento dei Kaoni



Il sistema di trasporto e focheggiamento dei Kaoni



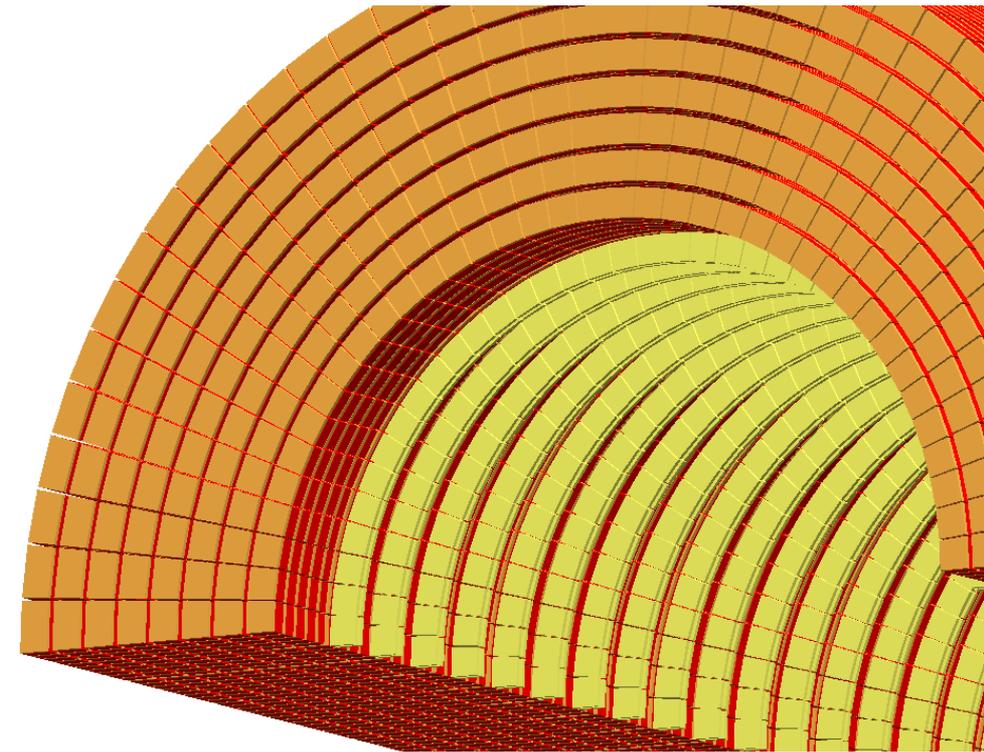
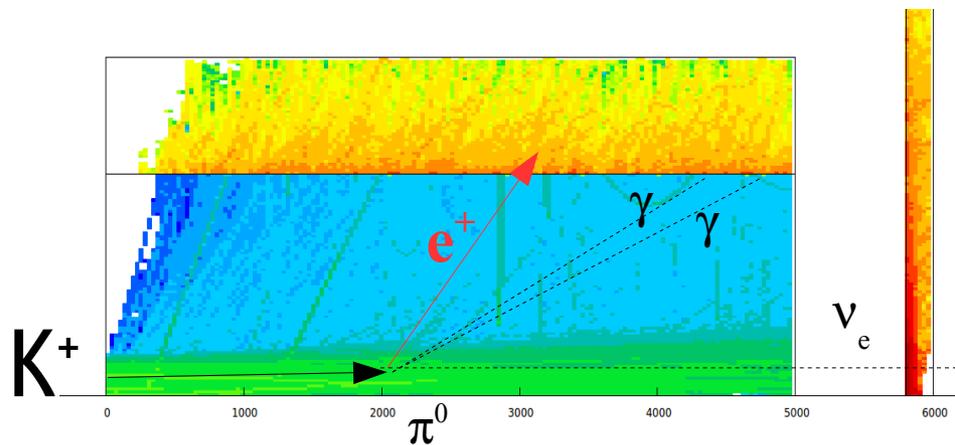
Simulazione al computer dell'energia depositata sui magneti della linea di fascio



Il rivelatore di positroni “tagger”



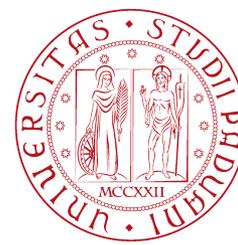
Ecco come potrebbe apparire:



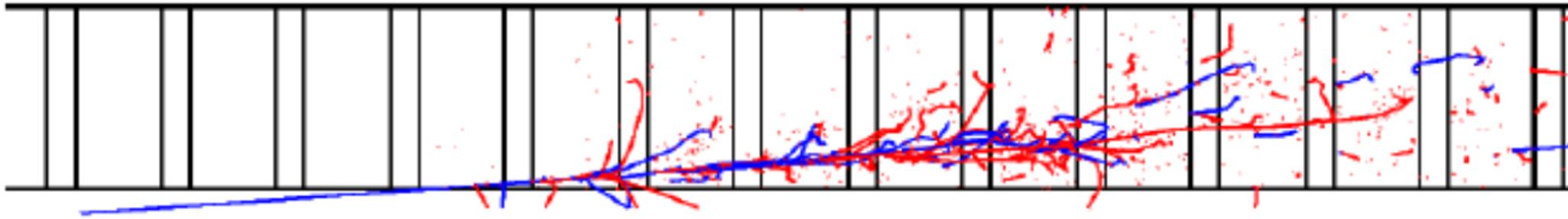
Nel seguito cercheremo di capire meglio come funziona (dando qualche dettaglio in piu' sui positroni)



Positroni: come rivelarli



Una simulazione mostra cosa accade ad un positrone quando si “schianta” contro il rivelatore



Si produce uno “sciame” ovvero una specie di cascata di **positroni-elettroni** con energie sempre piu' piccole.

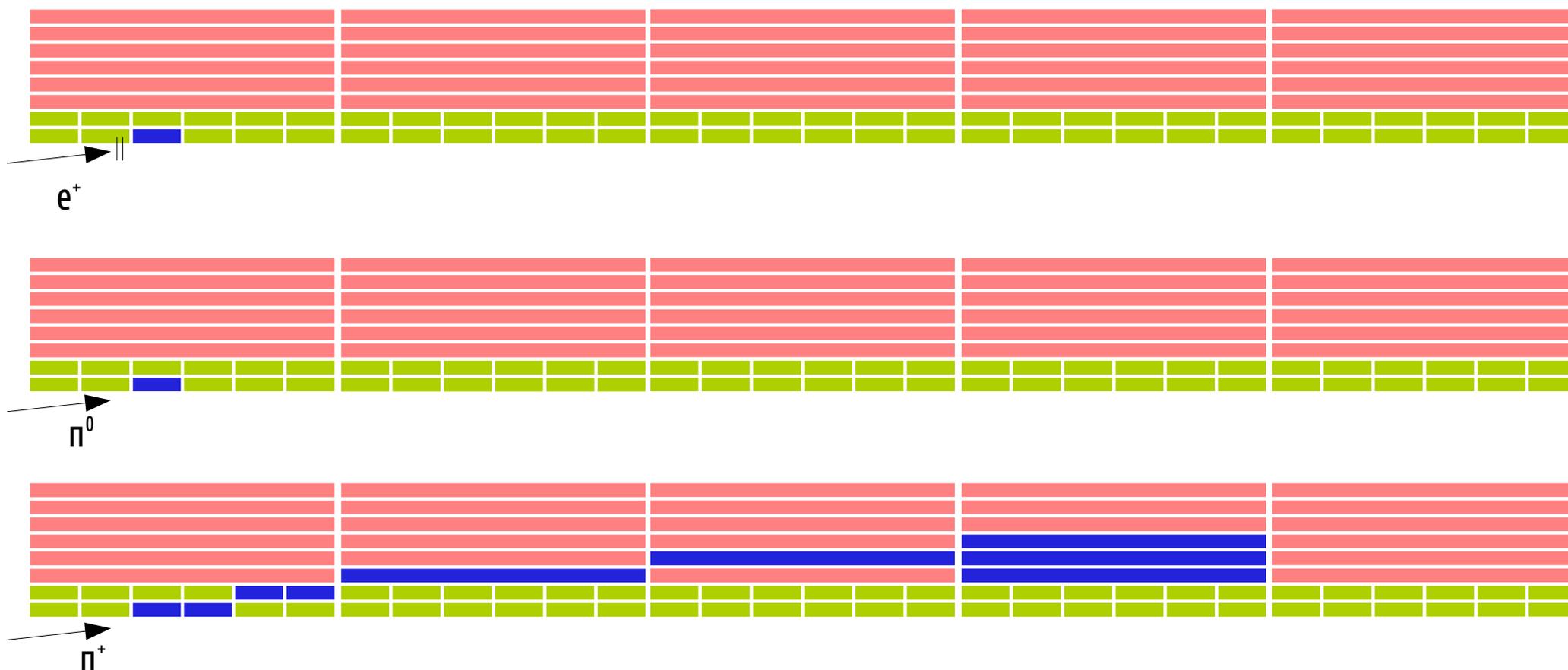
In poche decine di centimetri si localizza tutta l'energia
→ questa e' la chiave per distinguere i positroni da altre particelle!





Differenti particelle “accendono” Il rivelatore con caratteristiche diverse

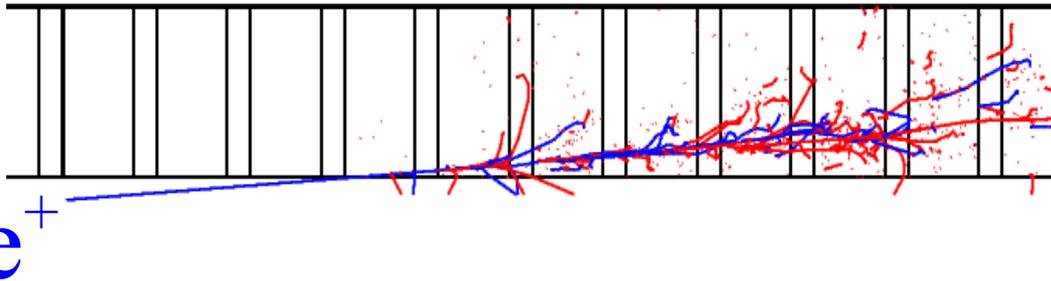
Celle accese



Il modulo ultra-compatto (UCM)

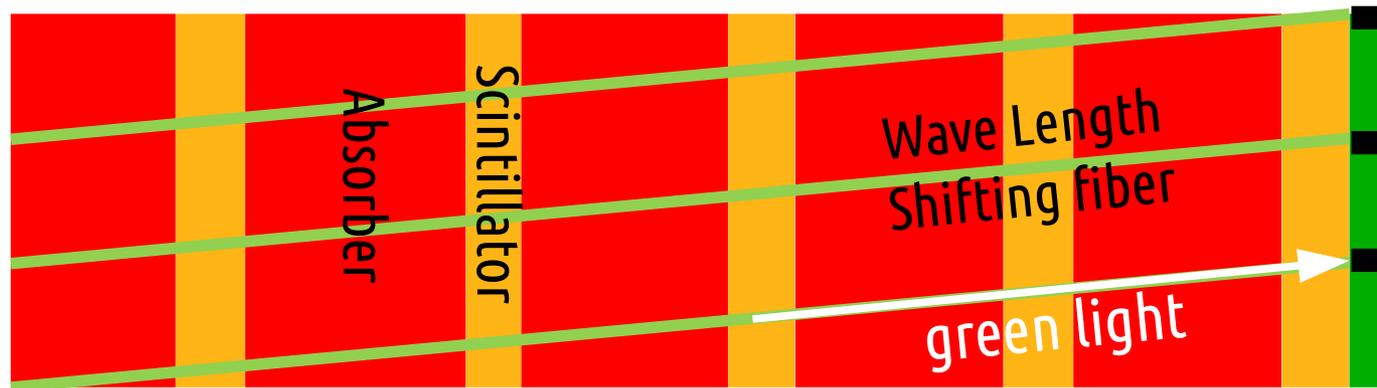


Sciame da positrone

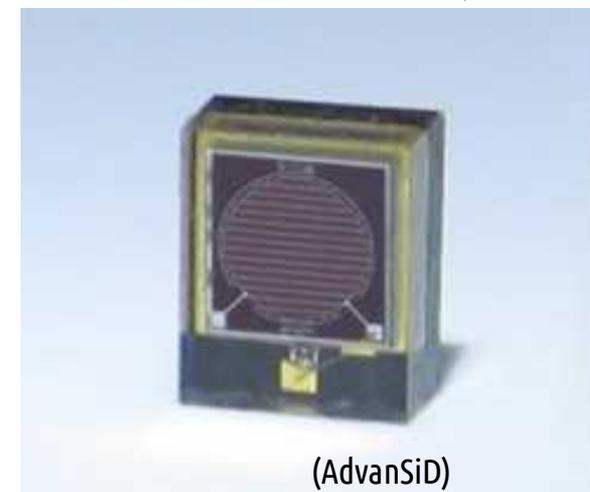


La luce di scintillazione

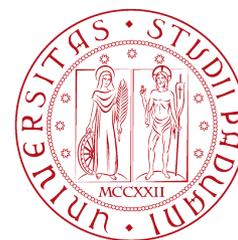
- Raccolta da: fibre "WLS"
- Letta da sensori al Silicio "SiPM"



SiPM



L'UCM: il “mattoncino elementare” del rivelatore



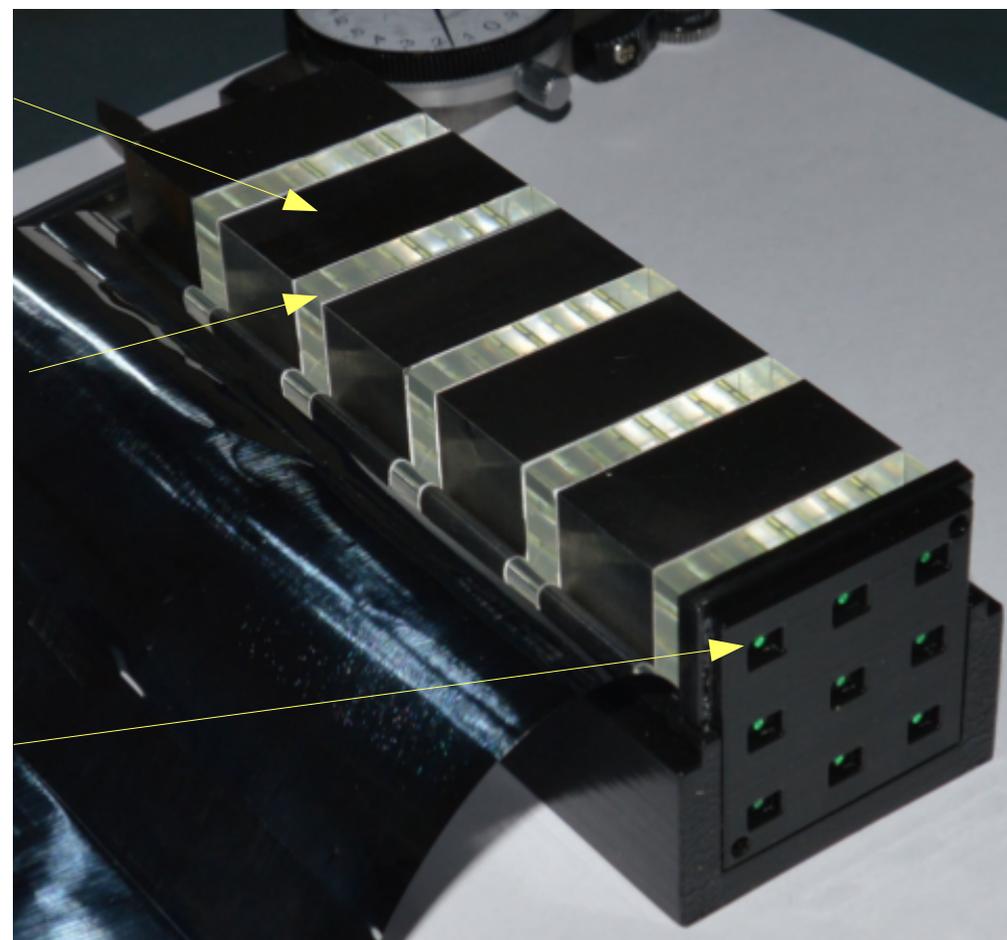
Un “panino” di 5 strati di **ferro** (15 mm) e 5 strati di **scintillatore plastico** (5 mm).

“calorimetro shashlik”

Il **ferro** favorisce lo **sviluppo della cascata di particelle**

Lo **scintillatore plastico** e' una speciale plastica trasparente che **produce luce al passaggio di particelle cariche**.

Fibre a spostamento di lunghezza d'onda: convogliano (e modificano) la luce portandola fuori del mattoncino dove la luce viene misurata da appositi **sensori al silicio**.



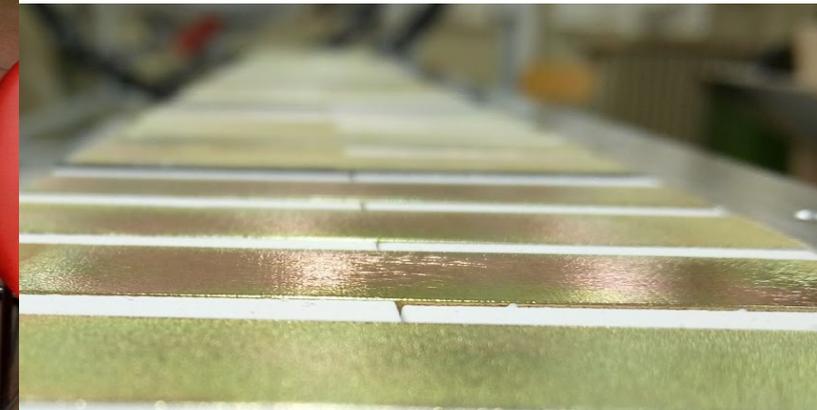
Gli ingredienti: gli assorbitori



Dentro il ferro il positrone si “frantuma” producendo lo sciame elettromagnetico



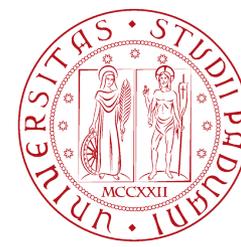
Fori da 1.2 mm ogni cm per uno spessore di 15 mm per ospitare le fibre (~ 400.000 per il prototipo finale!)



Lavorazione presso l'officina meccanica INFN di Padova e Milano Bicocca



Gli ingredienti: gli assorbitori



Foratura presso l'officina meccanica INFN Padova

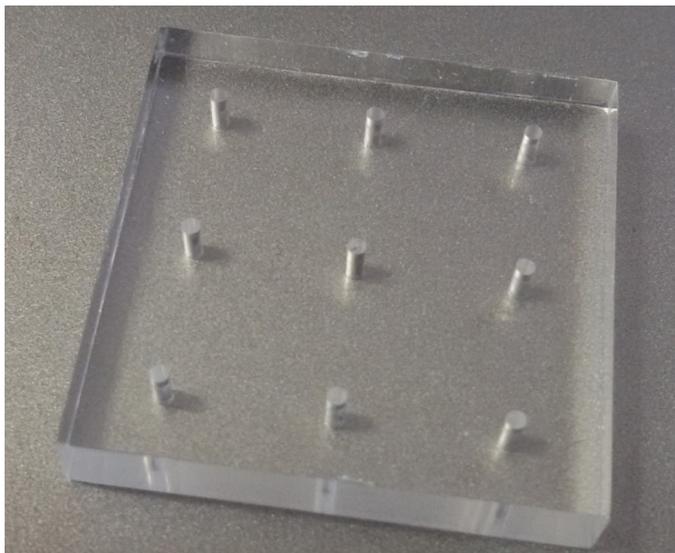
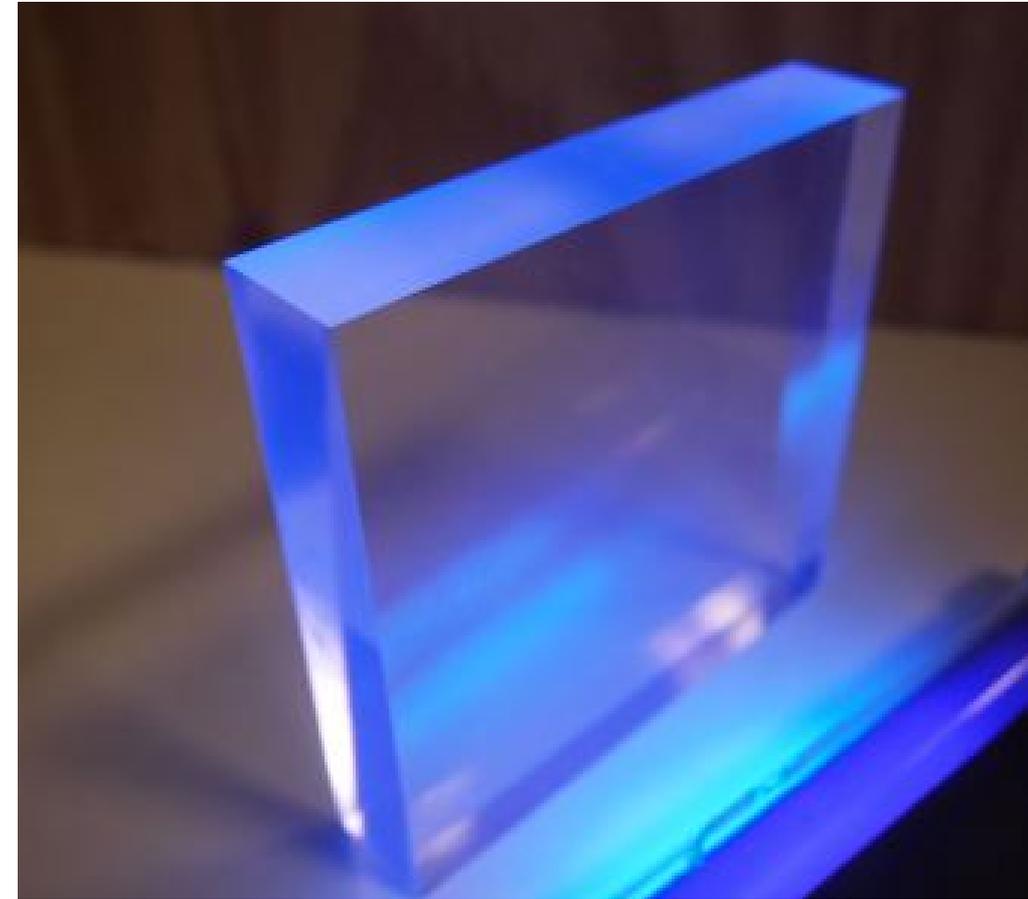


Gli ingredienti: scintillatori



E' una comune plastica (polistirene o poliviniltoluene) con disciolte delle molecole organiche.

Il passaggio delle particelle cariche "eccita" queste molecole che poi ritornano al loro stato originario rilasciando l'energia incamerata sottoforma di luce.



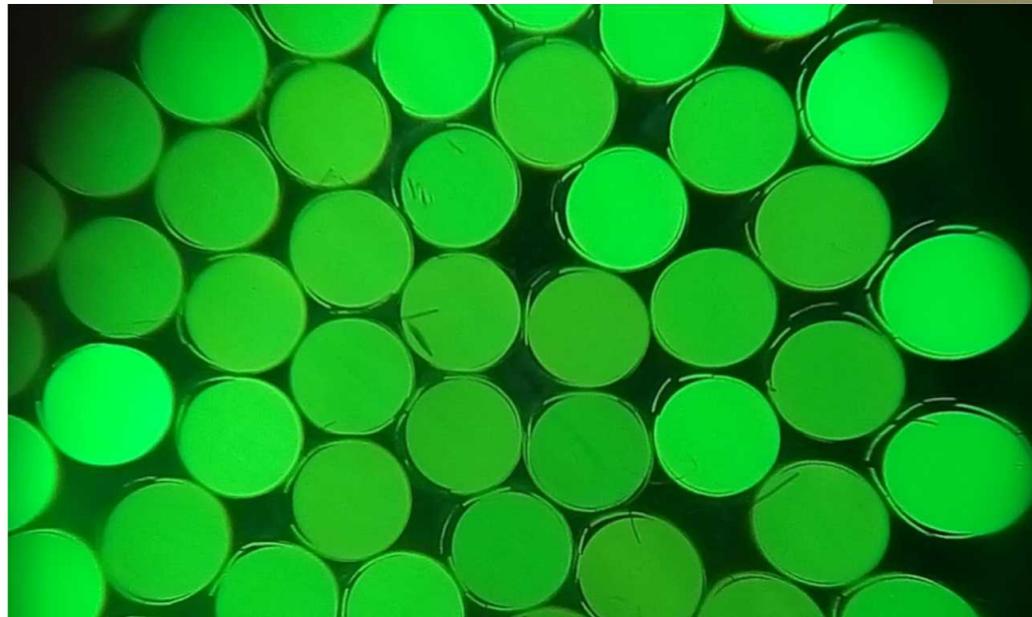
Gli ingredienti: le fibre



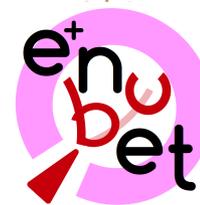
- Guidano la luce dello scintillatore fuori del “panino” dove puo' essere misurata



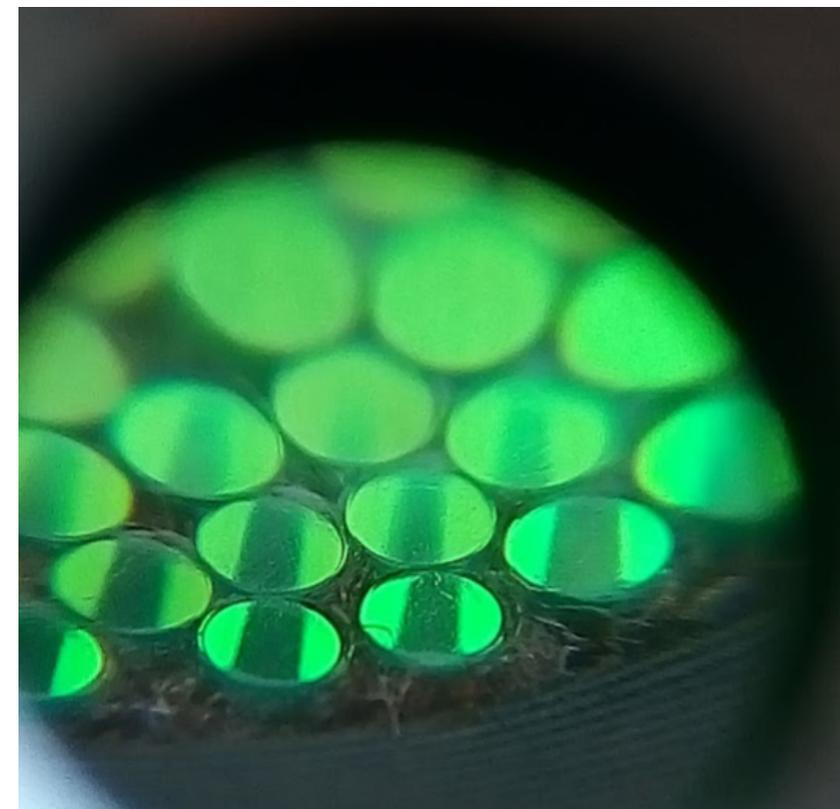
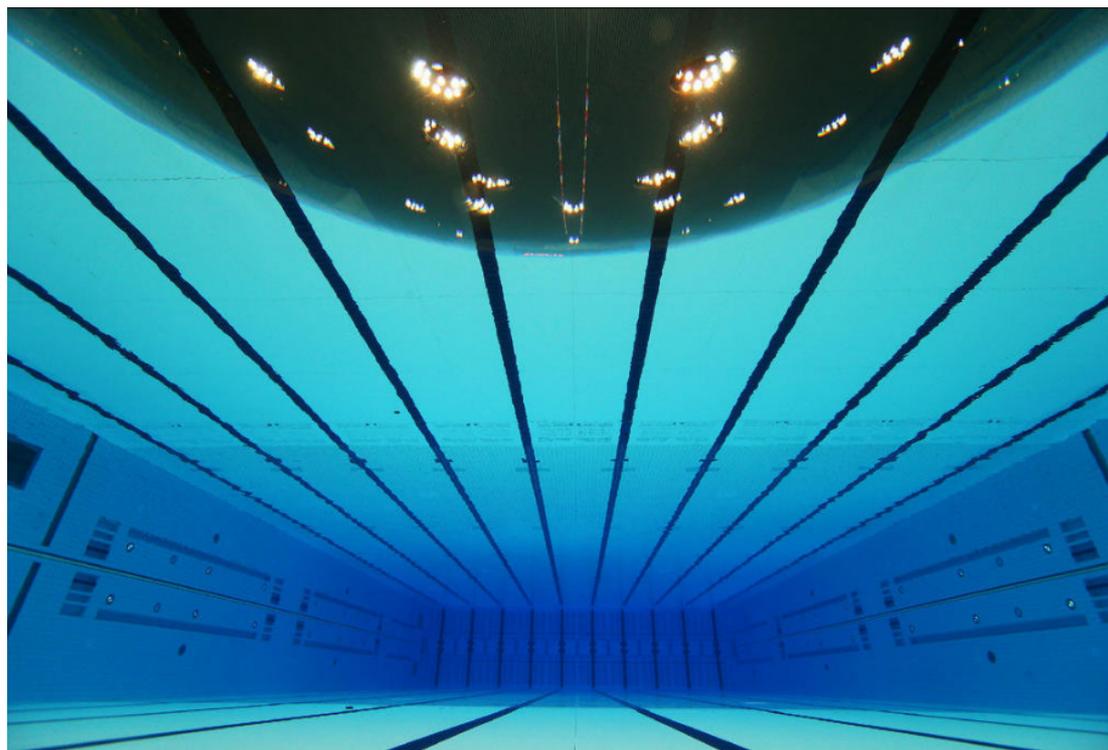
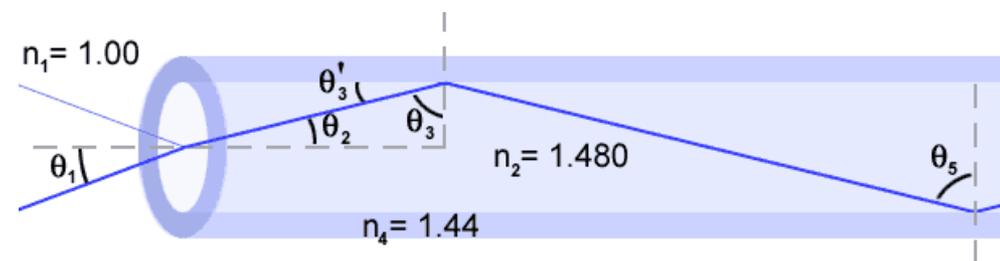
- La rendono piu' “verde” perche' i fotosensori sono piu' sensibili a queste lunghezze d'onda rispetto all'UV



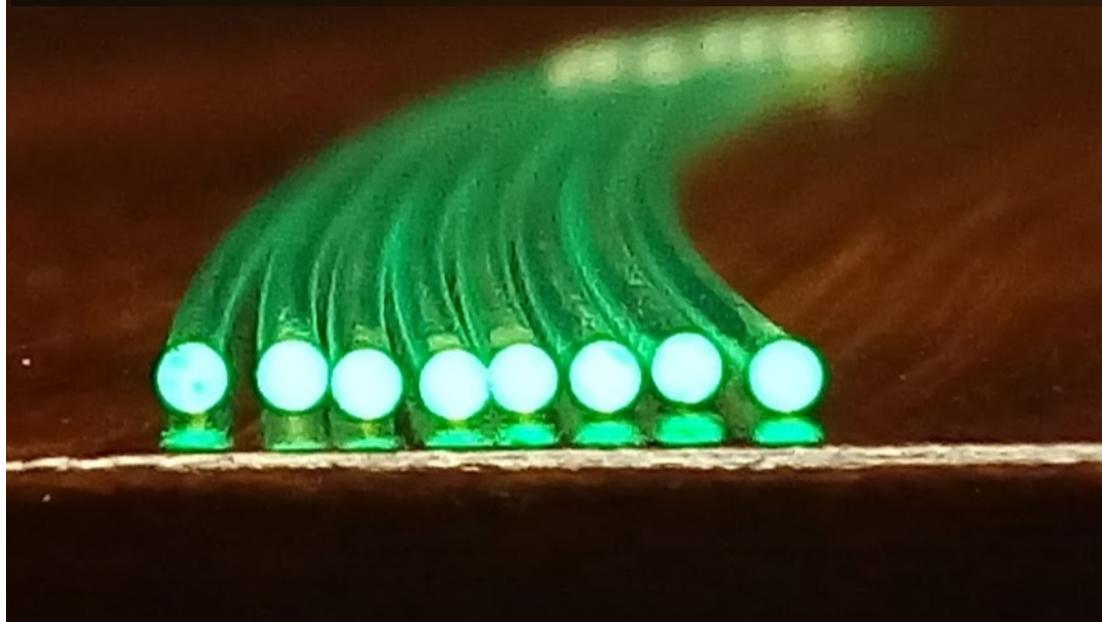
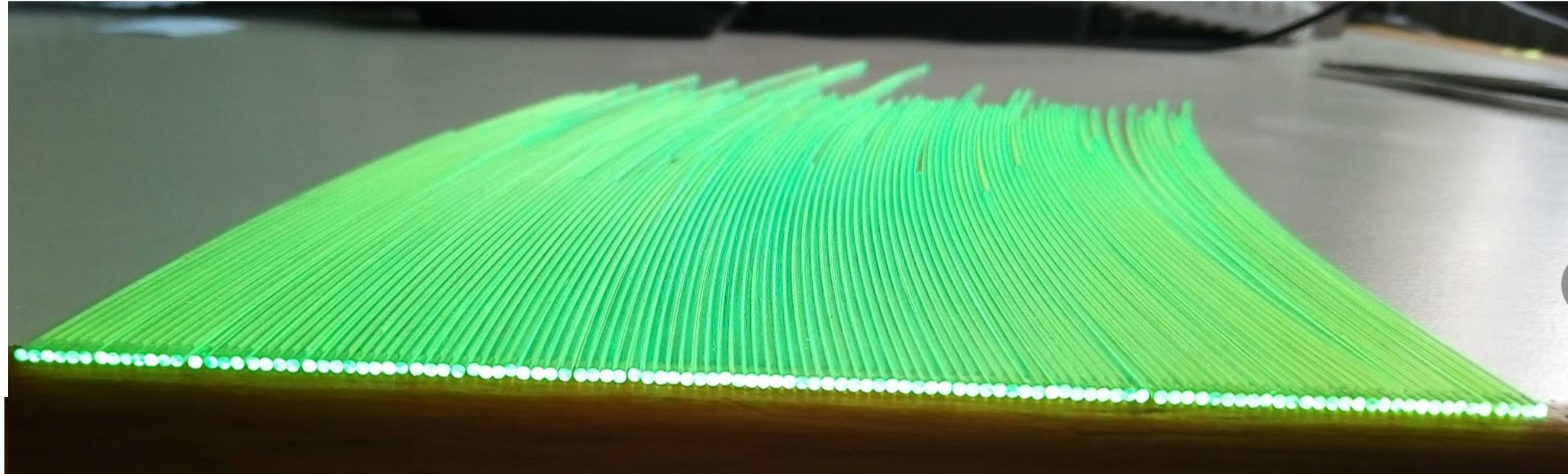
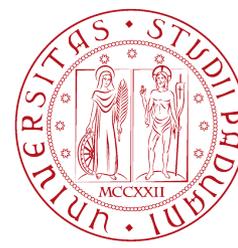
Gli ingredienti: le fibre a spostamento di lunghezza d'onda



- La luce entro certi angoli (non troppo lontani dall'asse della fibra) vengono intrappolati e si propagano rimbalzando sulla superficie interna (riflessione totale)



Gli ingredienti: le fibre a spostamento di lunghezza d'onda



Gli ingredienti: le fibre



Operazioni di fresatura ai
laboratori nazionali di
Legnaro (INFN)



Gli ingredienti: le fibre



Esposto un piccolo sistema per la caratterizzazione delle fibre

Permette di illuminare in modo puntiforme la fibra lungo tutta la sua lunghezza e misurare (attraverso un piccolo microscopio collegato ad una webcam) l'uniformità e la frazione della luce trasportata

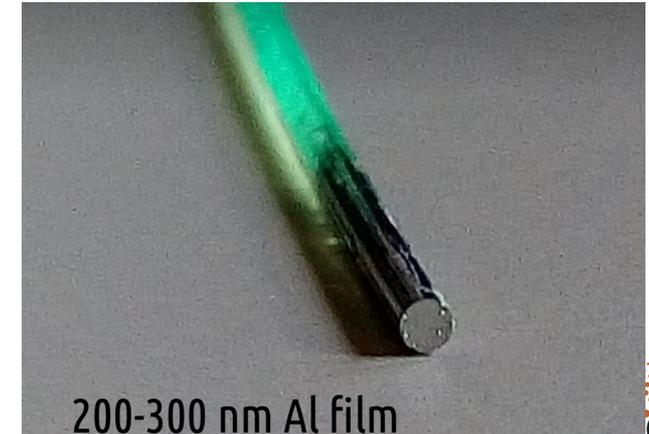
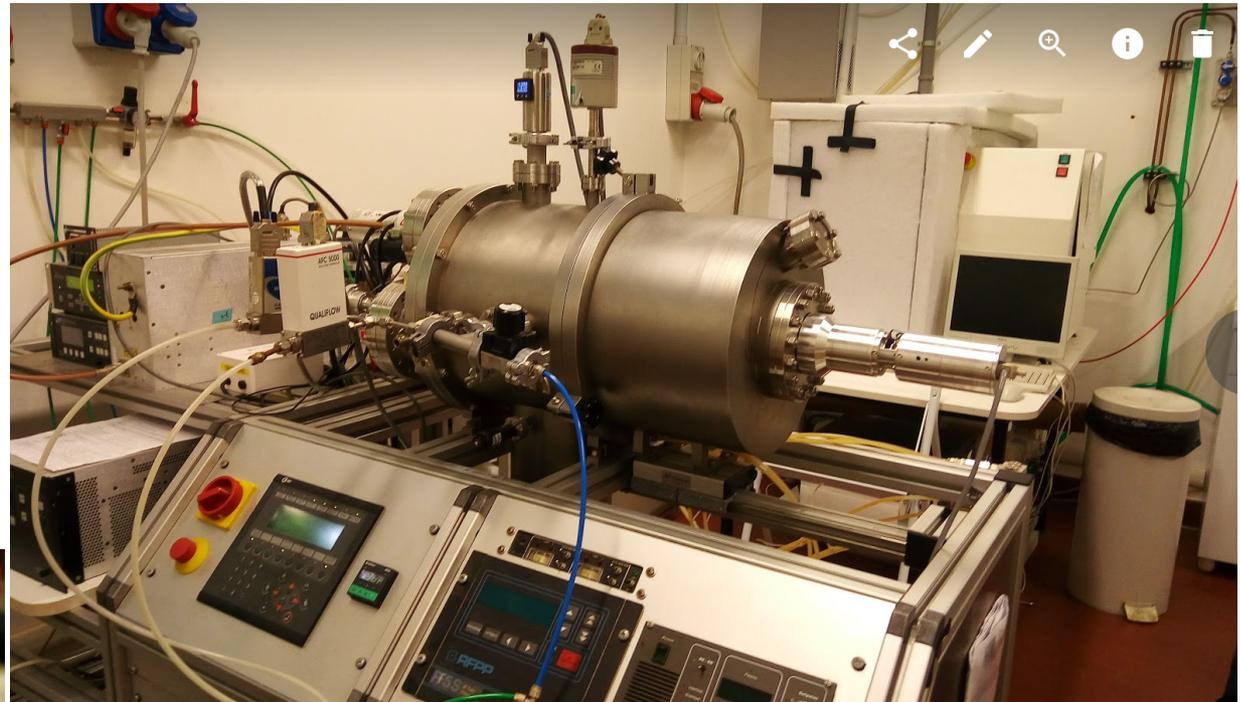


Fibre: aluminatura



Univ. Padova, lab. film sottili

Uno spessore di 200-300 nanometri di Alluminio per rendere il capo della fibra riflettente e recuperare la luce partita nella direzione "sbagliata" (dove non c'è il sensore).

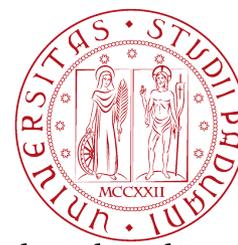


200-300 nm Al film

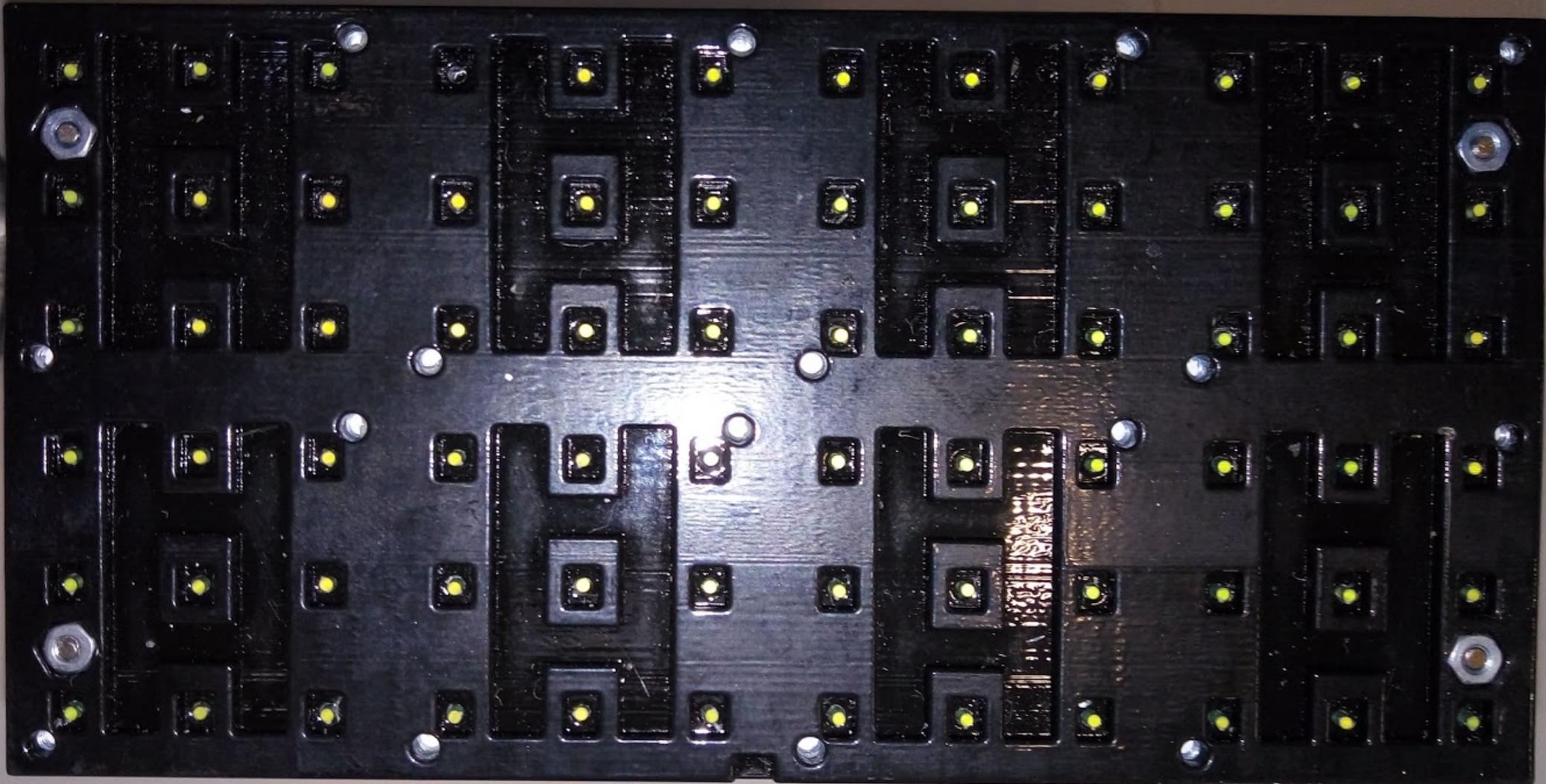
lucidatura a Bologna



Gli ingredienti: le fibre



Le fibre, inserite nel pacchetto. Sono alloggiare su una scheda di plastica dove si alloggiano i fotosensori che vengono “appoggiati” alle fibre



Gli ingredienti: i sensori di luce

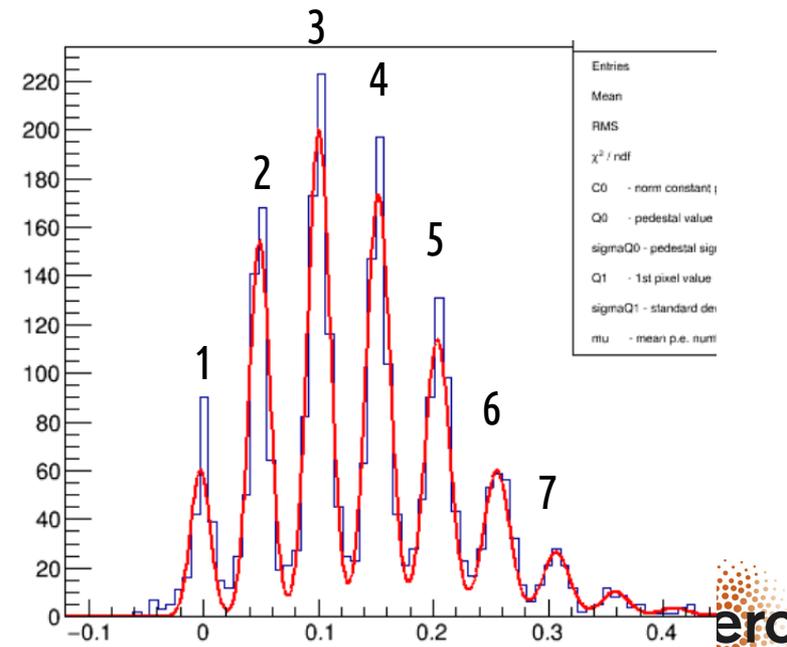


Ogni celletta e' (20x20 micrometri) e' un elemento di silicio che inizia a condurre corrente se colpito da un "grano di luce" (fotone)

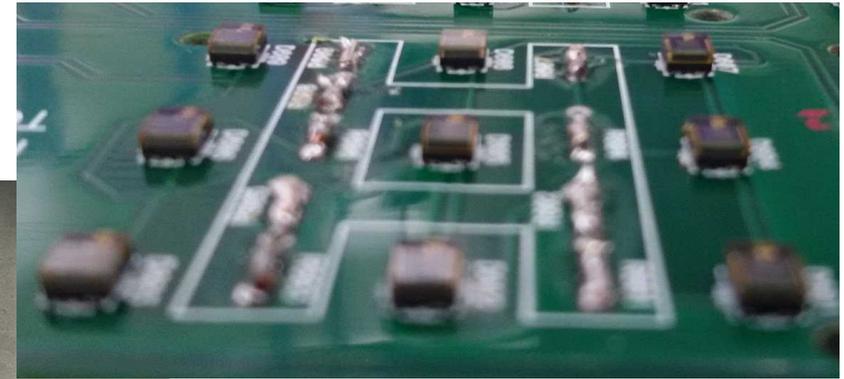
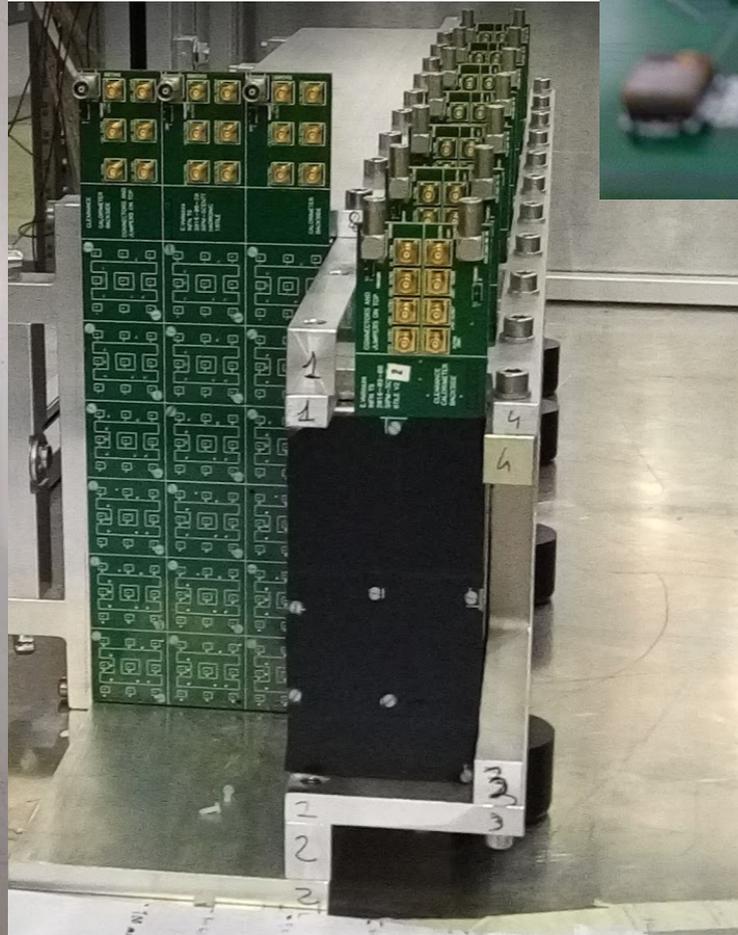
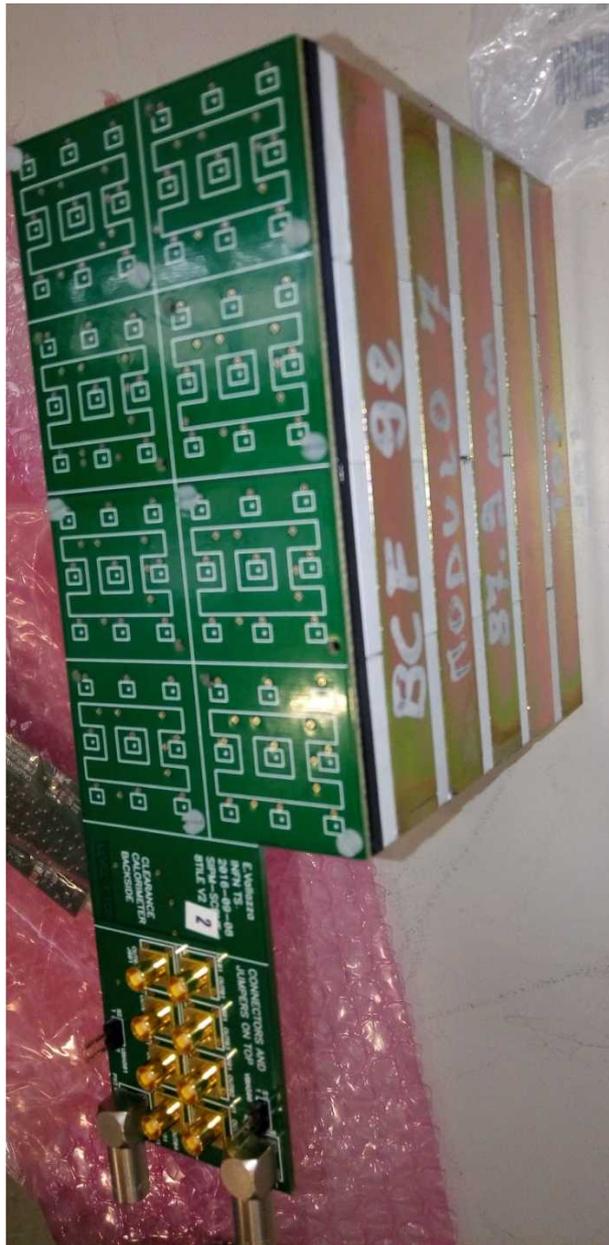
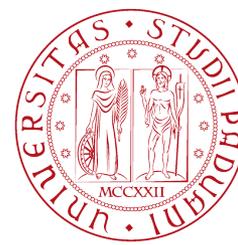
Ci sono 2500 cellette in un quadrato di 1x1 mm² su cui si appoggia la fibra

Misurando la corrente si capisce quante celle si sono accese ~ quanti fotoni sono arrivati.

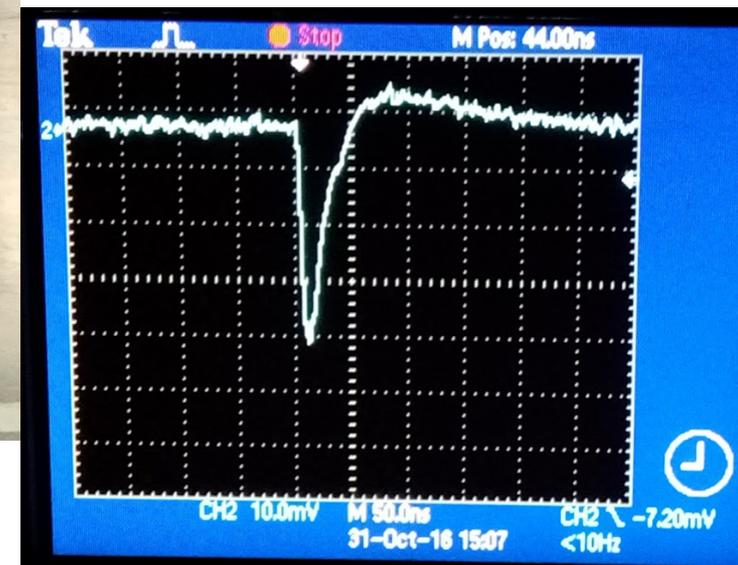
Possono vedere sorgenti debolissime: anche un solo fotone!

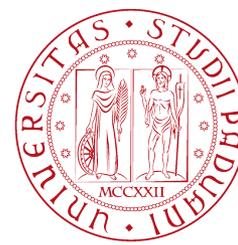


Gli ingredienti: l'elettronica



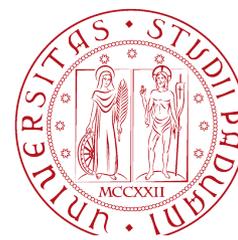
Segnale elettrico da particella (muone)
Dai raggi cosmici



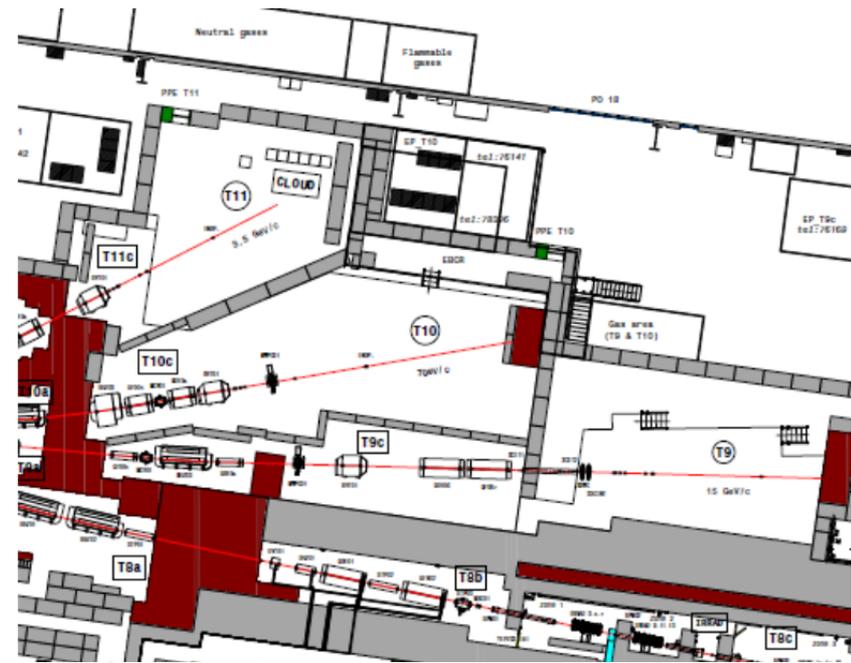


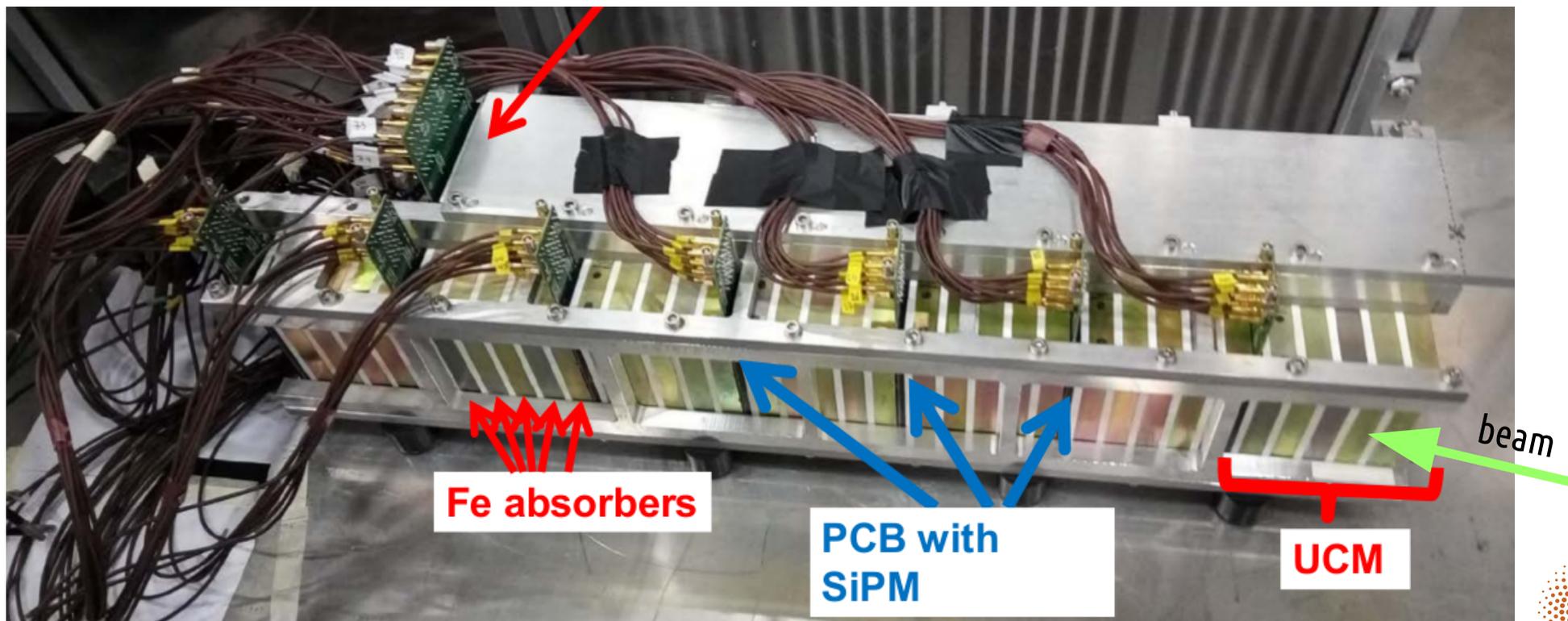
I test dei nostri rivelatori ai fasci di particelle del CERN di Ginevra



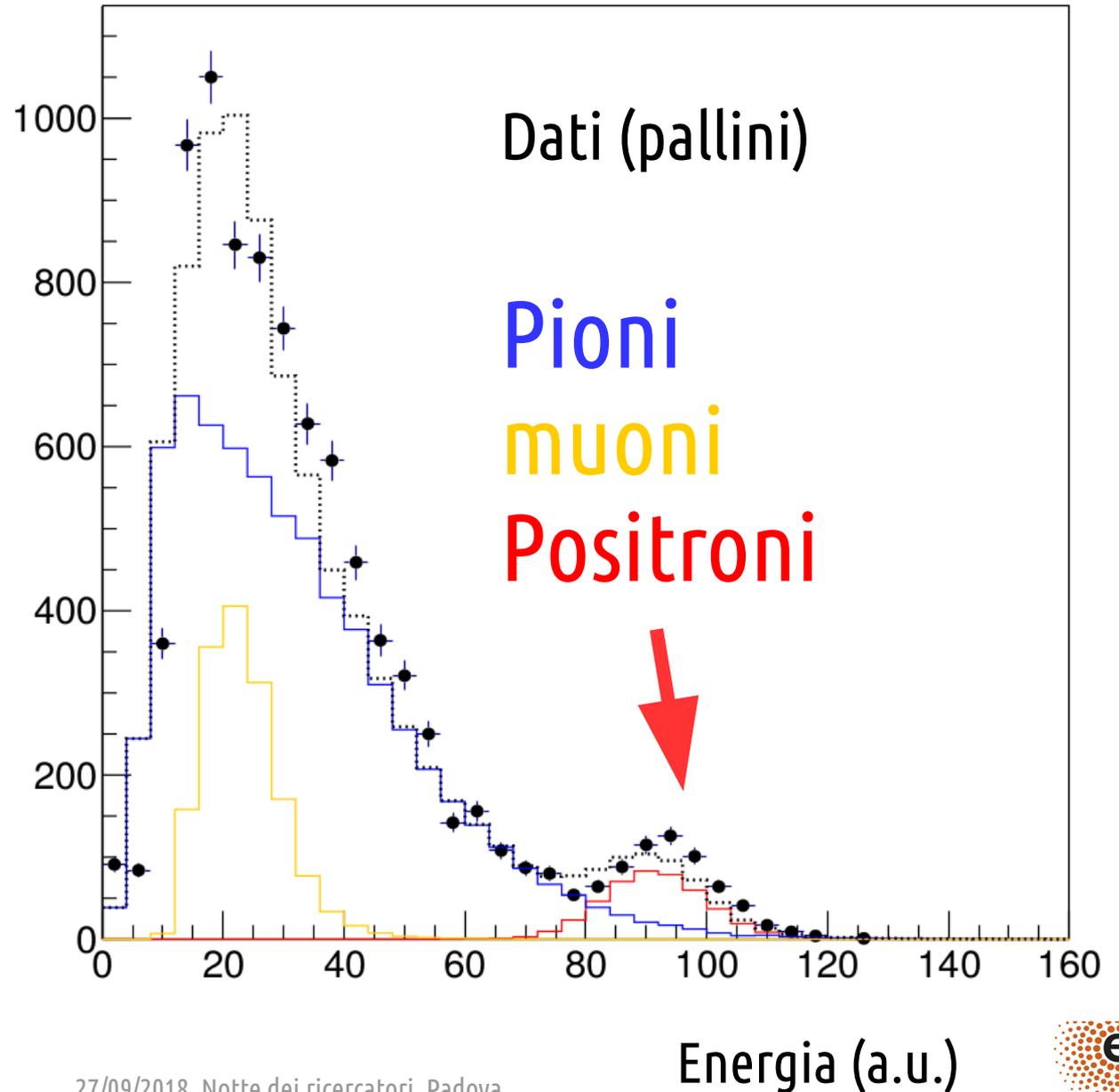
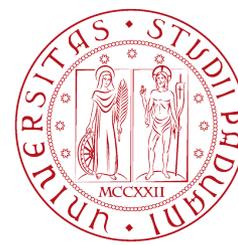


I test dei nostri rivelatori ai fasci di particelle del CERN di Ginevra

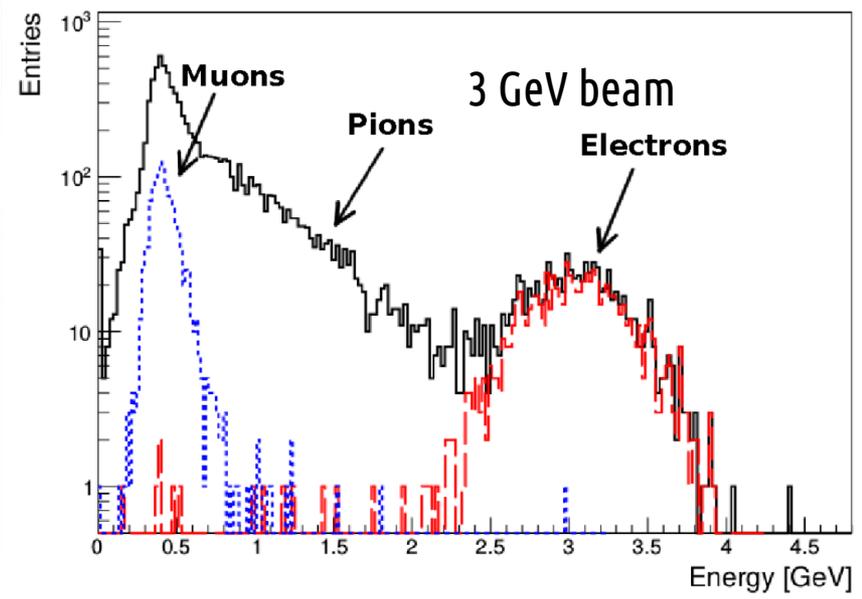
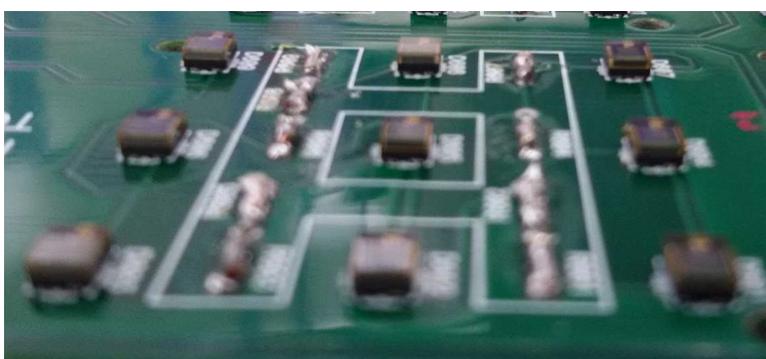
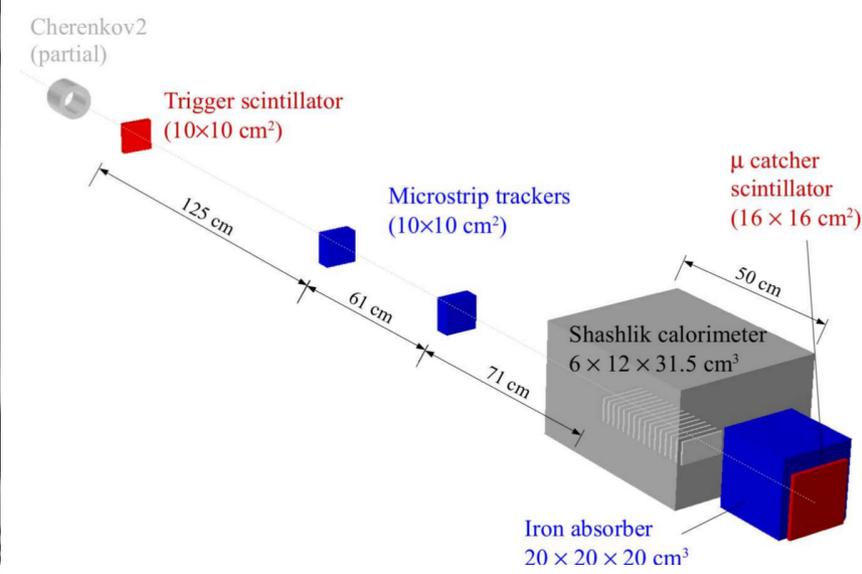




Separazione delle particelle con dati reali presi al CERN



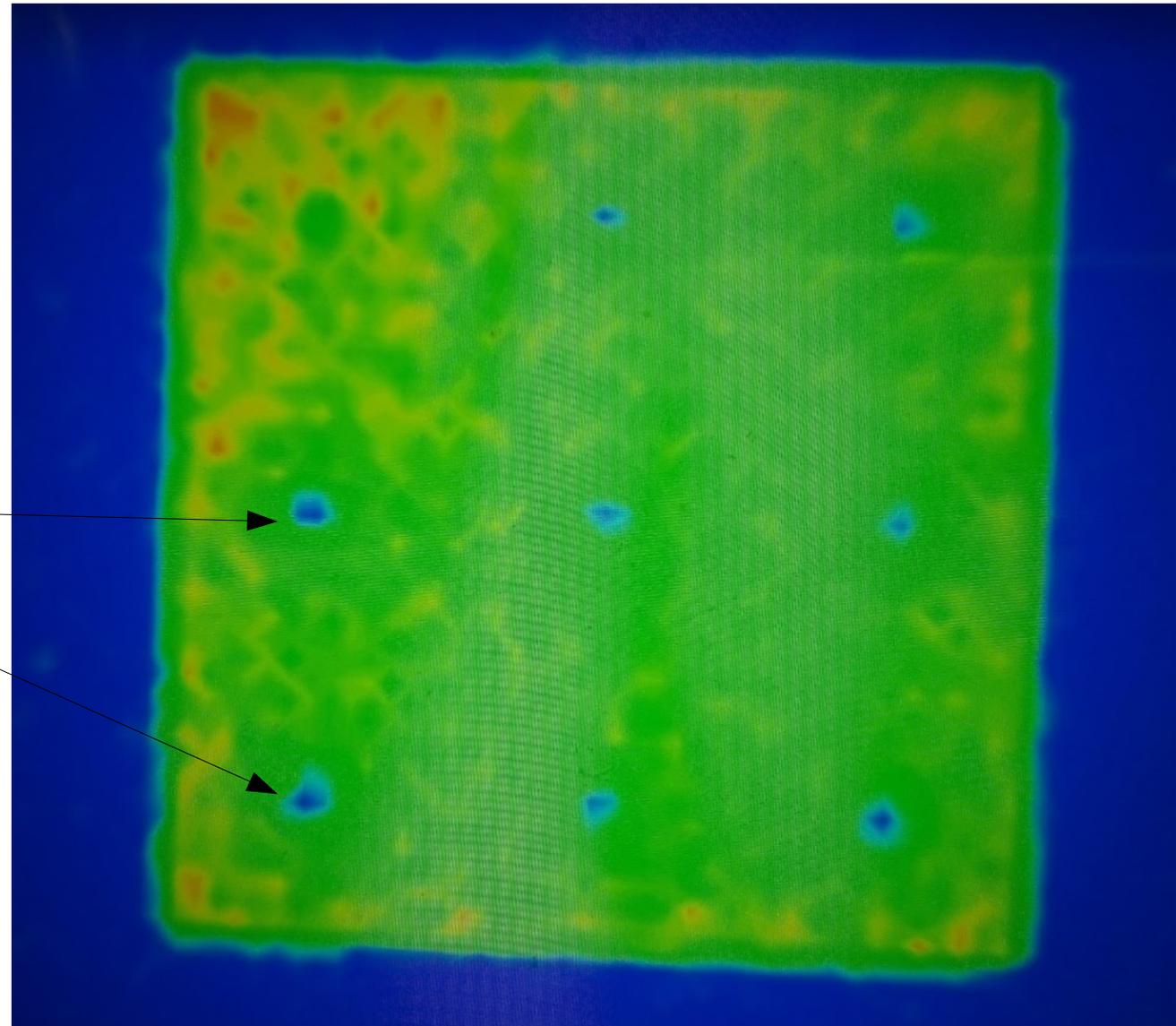
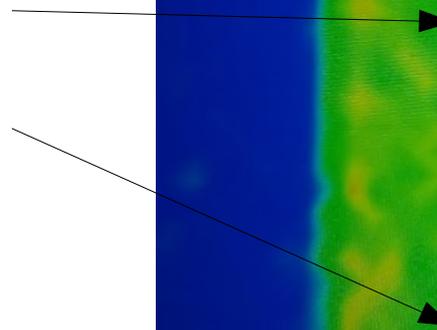
Altri test al CERN di Ginevra



Mappa di efficienza di uno scintillatore con le particelle del fascio al CERN



Dove ci sono i fori il rivelatore non vede le particelle



Il rivelatore durante il recente test al CERN (09/2018)

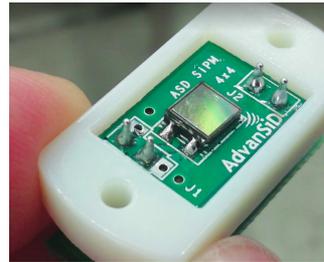


Photo-gallery

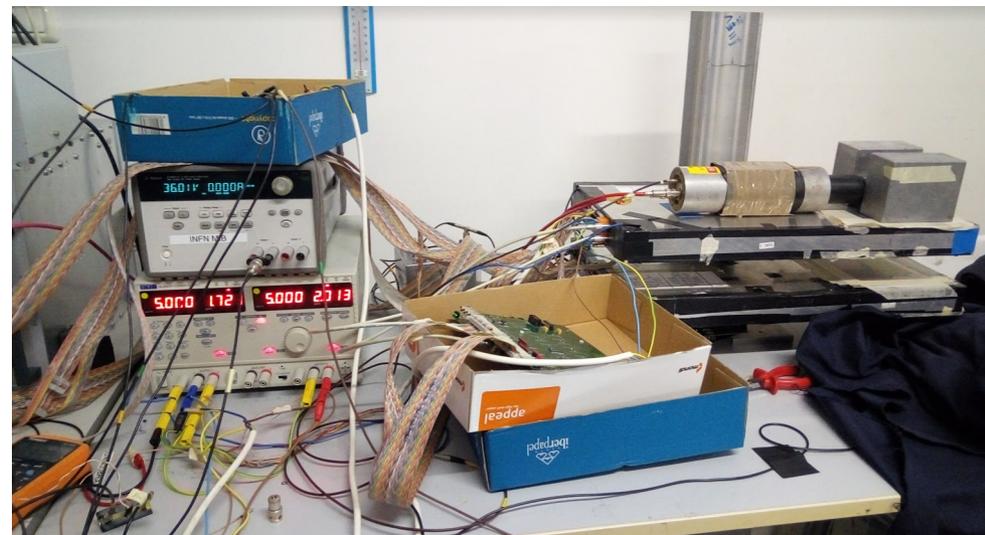
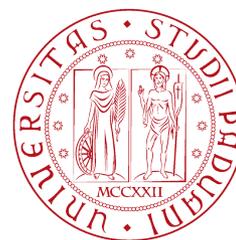


Photo-gallery

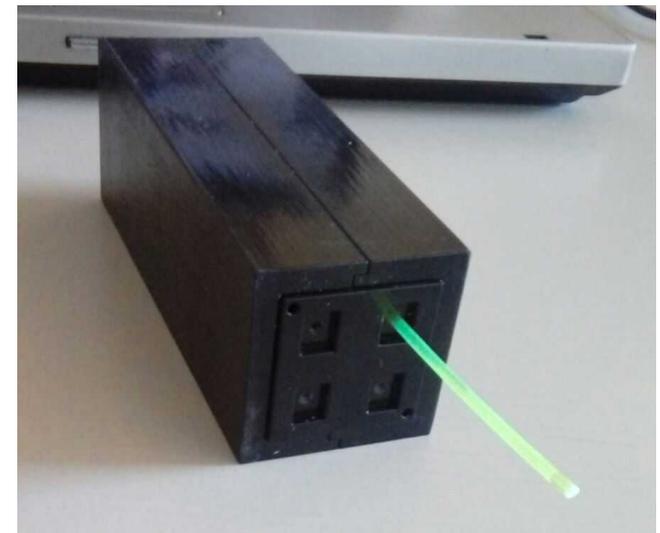
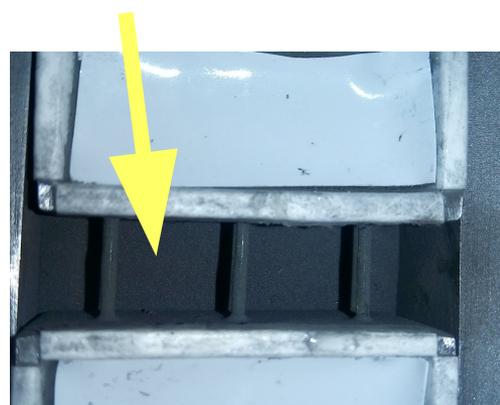
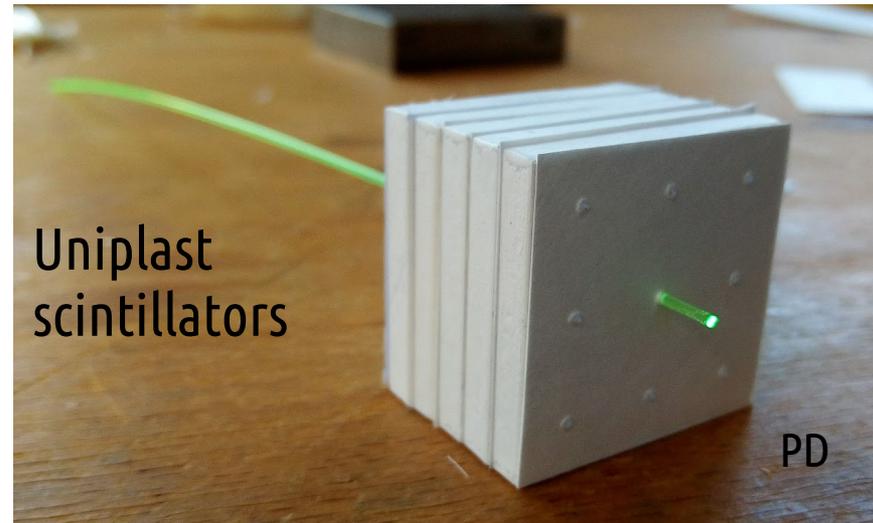
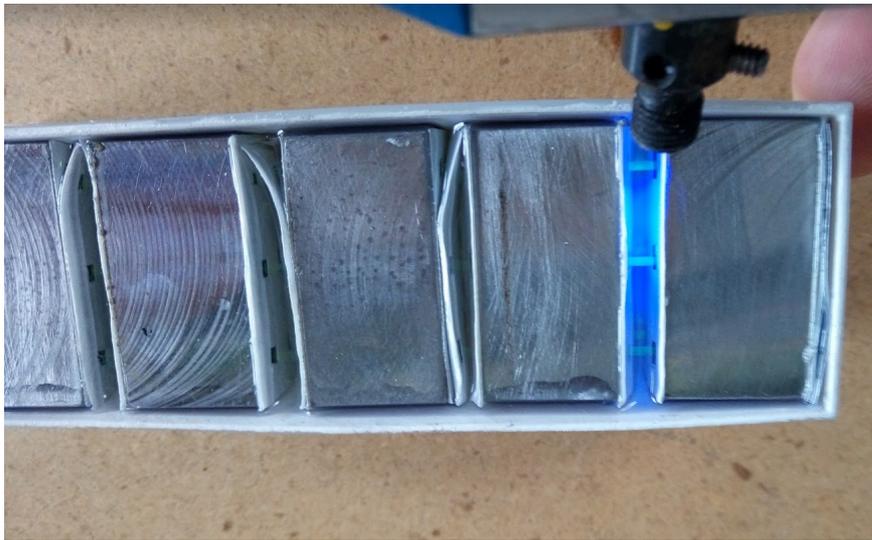
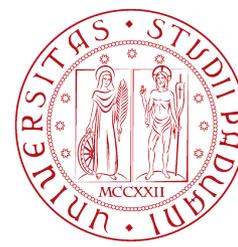
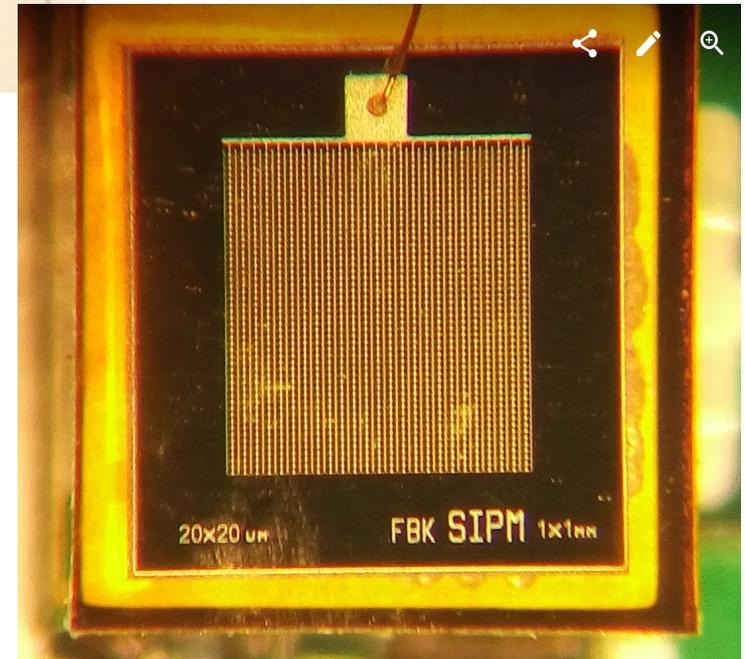
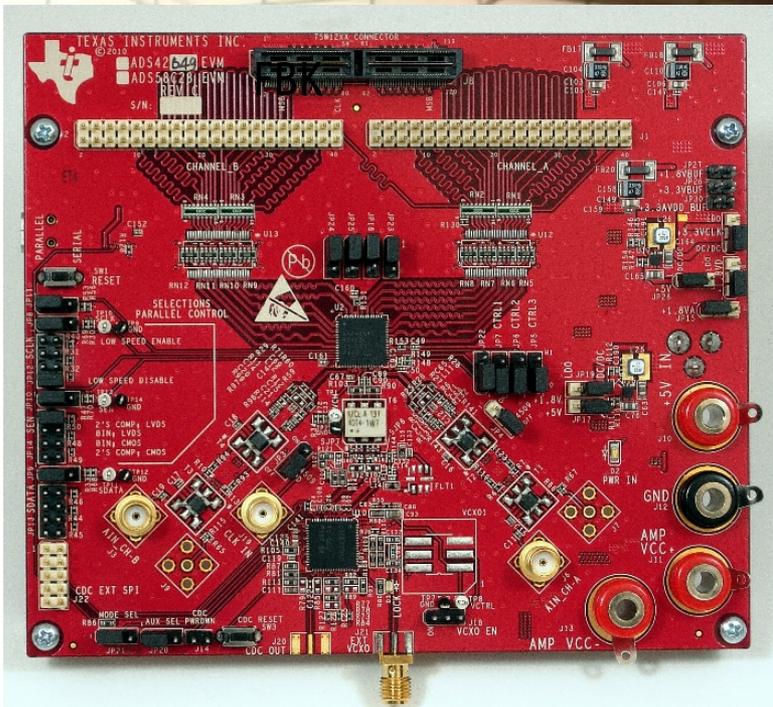
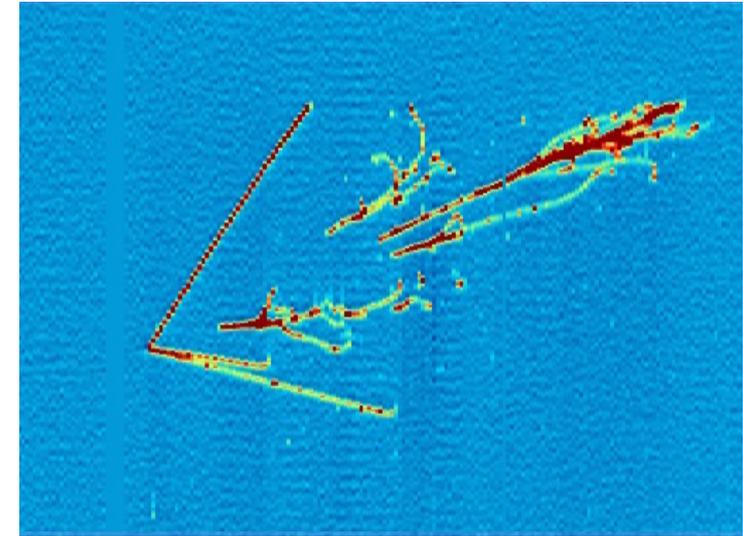
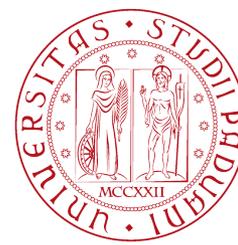


Photo-gallery



Il team di ENUBET

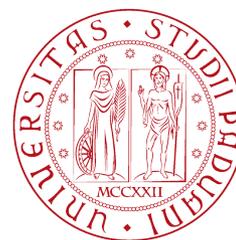
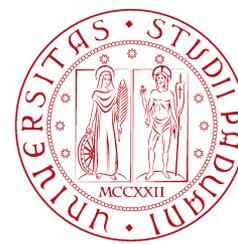


Photo-gallery



15mm Polisyloxane scintillator

15 Polisyloxane scintillator + 5mm Pb-powder

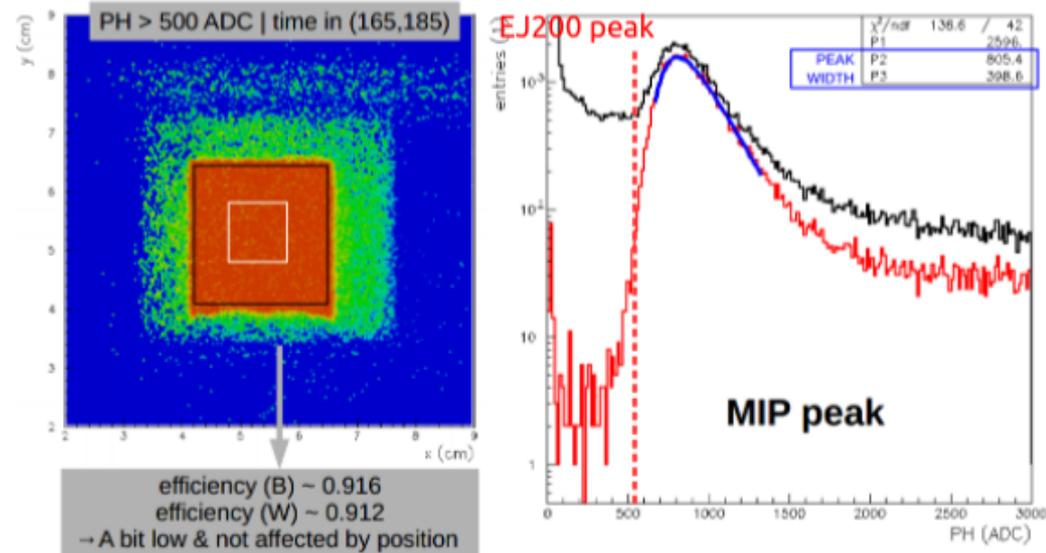
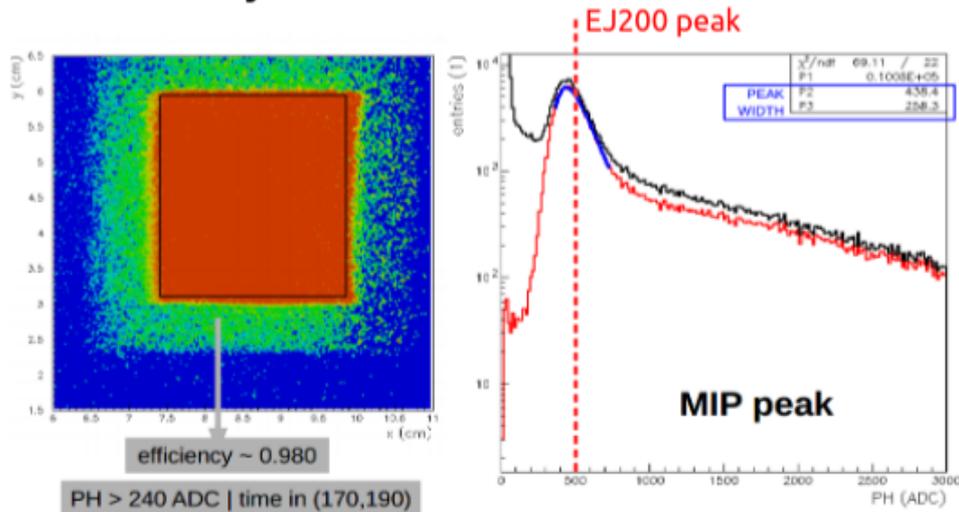
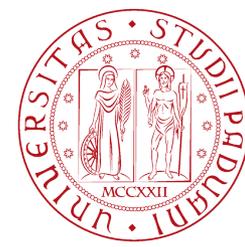
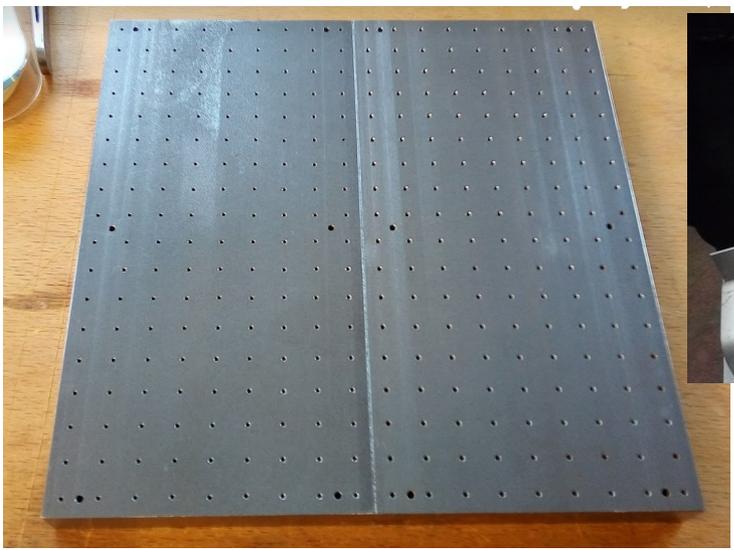


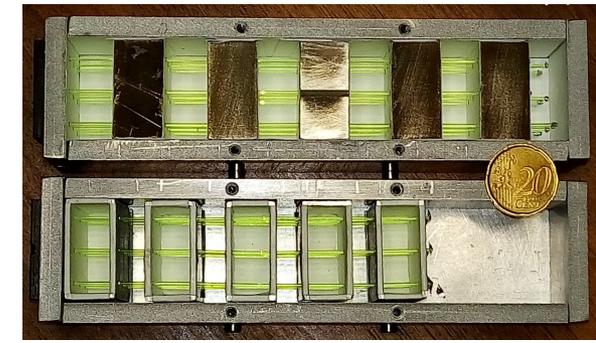
Photo-gallery



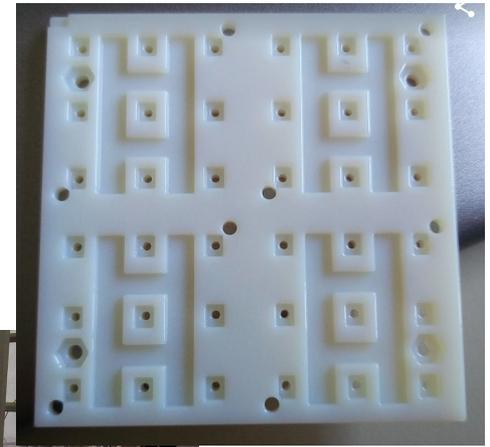
Drilling degli assorbitori cal. adronico (Nov. 2016)



Meccanica prototipi in polyxiloxane (Maggio 2017)



Stampa mascherine interfaccia tra WLS e SiPM (Lug. 2017)



Black box e cradle movimentazione per test beam (Nov. 2016)

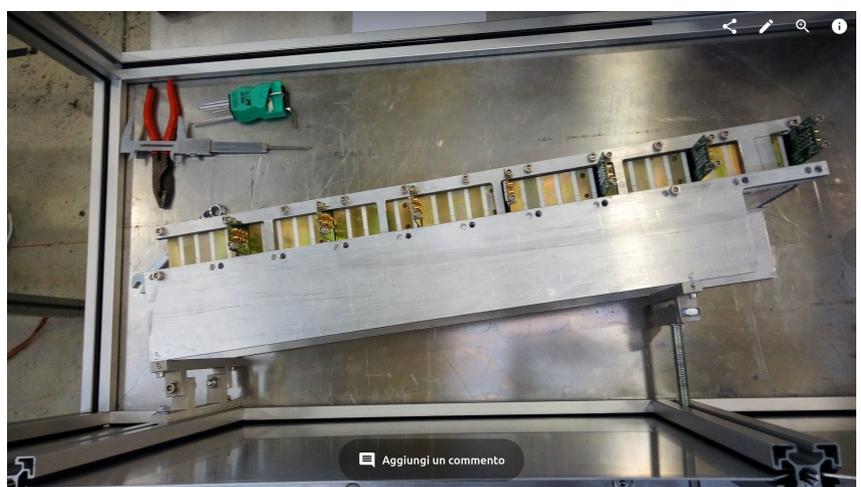


Photo-gallery

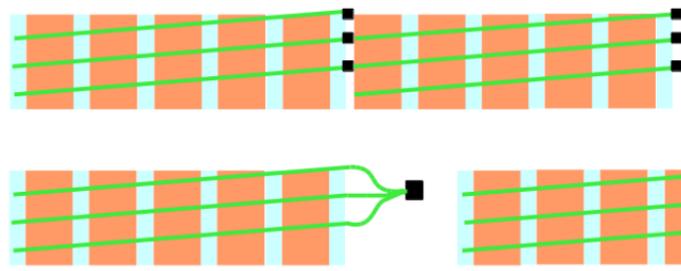
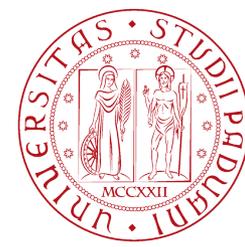
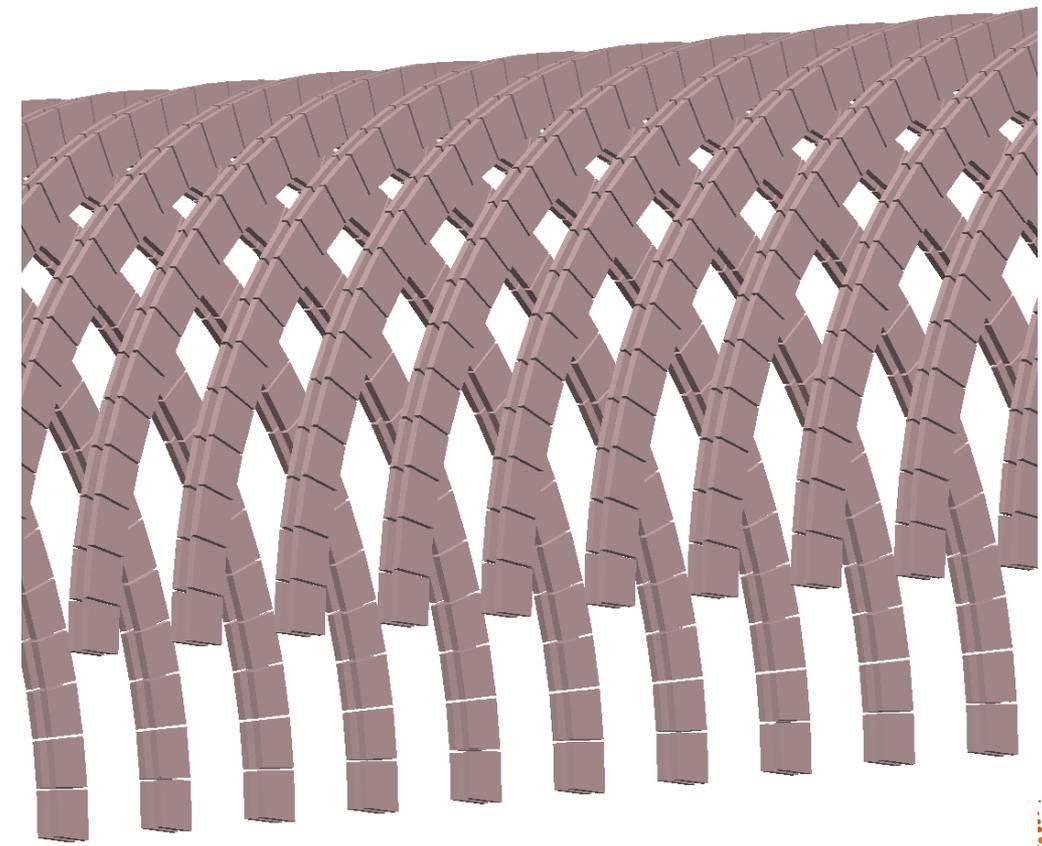
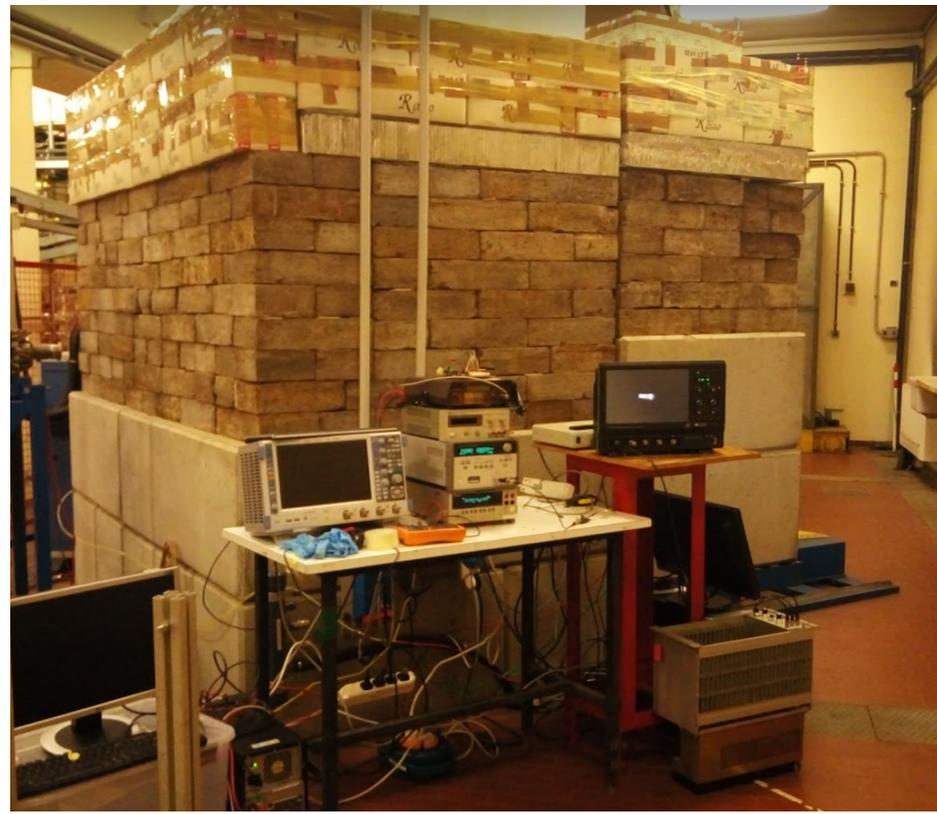
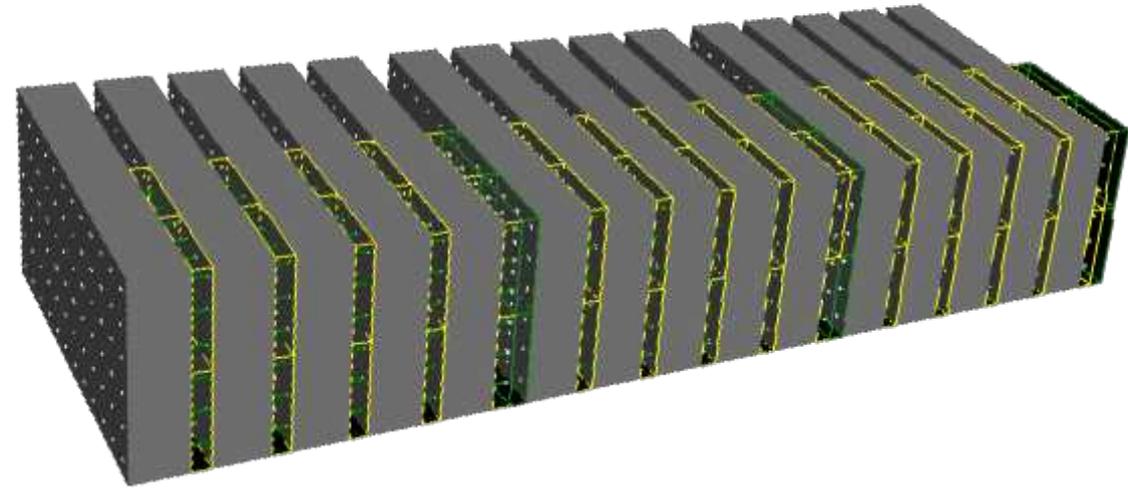
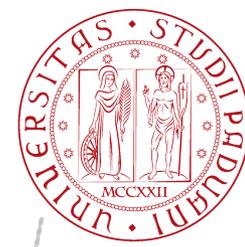


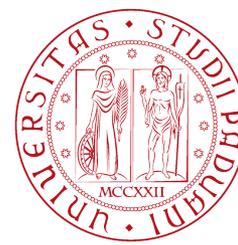
Photo-gallery



ENUBET

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

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



Progetto approvato dallo European Research Council (ERC)

5 anni (06/2016 – 06/2021)

budget: 2 MEUR

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

P.I.: A. Longhin

Host Institution: INFN



41 fisici, 10 istituti: 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^j, 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. Meregaglia^d, M. Mezzetto^j, M. Nessi^m, A. Paoloni^e, L. Pasqualini^{c,g}, G. Paternoster^o, L. Patrizzii^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

Nella CERN Neutrino Platform (NP03, PLAFOND)



