

La fisica delle particelle nel Dipartimento di Milano Bicocca

Un bilancio (davvero positivo!) dell'ultimo biennio

Uno sguardo al futuro

Un augurio per il prossimo anno!

F. Terranova (Univ. di Milano Bicocca e INFN) a nome del gruppo di
fisica delle particelle elementari.

La fisica delle particelle elementari in Bicocca

- Raccoglie uno dei gruppi più numerosi all'interno del Dipartimento
 - 21 dipendenti universitari (PO, PA, RTD, EP) assieme alla **Sezione INFN di Milano Bicocca** (31 dipendenti, ricercatori e tecnici)
- Ha un programma di ricerca che molti ci invidiano perché offre:
 - un ruolo di **leadership consolidato** in grandi collaborazioni internazionali (CMS, LHCb, CUORE, GERDA, → CUPID, DUNE, JUNO, LBN-Fermilab)
 - Un centro propulsivo per idee e progetti nuovi **concepiti all'interno del nostro dipartimento** ma che già hanno un'ampia rilevanza internazionale (ENUBET, HOLMES, MOSCAB)
 - Molti R&D che alimentano questa filiera: gli R&D di oggi saranno gli esperimenti di mainstream di domani...

Dove dobbiamo cercare? Due possibilità:

[a] La naturalezza è corretta ma è un principio con limitate capacità predittive. La scala di nuova fisica potrebbe essere in un intorno della scala del TeV [proprio come il quark top si trovava a masse «un po' al di sopra delle nostre aspettative»]

Questa ipotesi può essere testata dalla **fisica di precisione del Modello Standard**, che permette di esplorare scale di energia non cinematicamente accessibili ai collider



CMS, LHCb, FAMU...

[b] La naturalezza non è rilevante per la descrizione della fisica delle interazioni fondamentali. Dobbiamo rivolgere la nostra attenzione alle osservabili in cui il Modello Standard è privo di capacità predittiva (o sbaglia clamorosamente!)

Il «settore di Yukawa» (**masse e mixing dei quark e dei neutrini**)

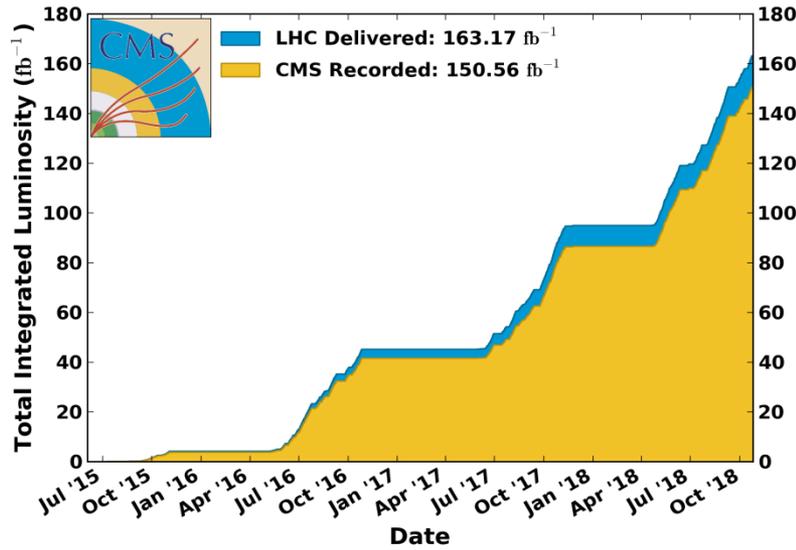
La dinamica dell'universo su grandi scale (**Dark Matter, Dark Energy**)



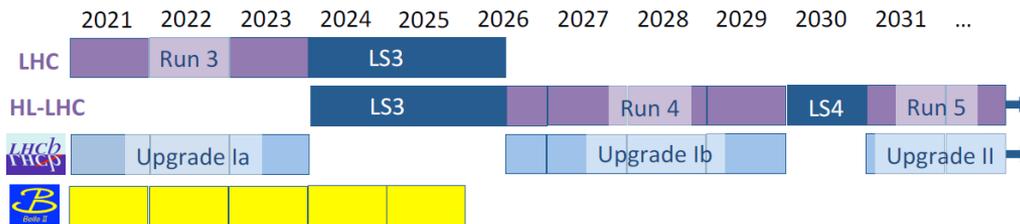
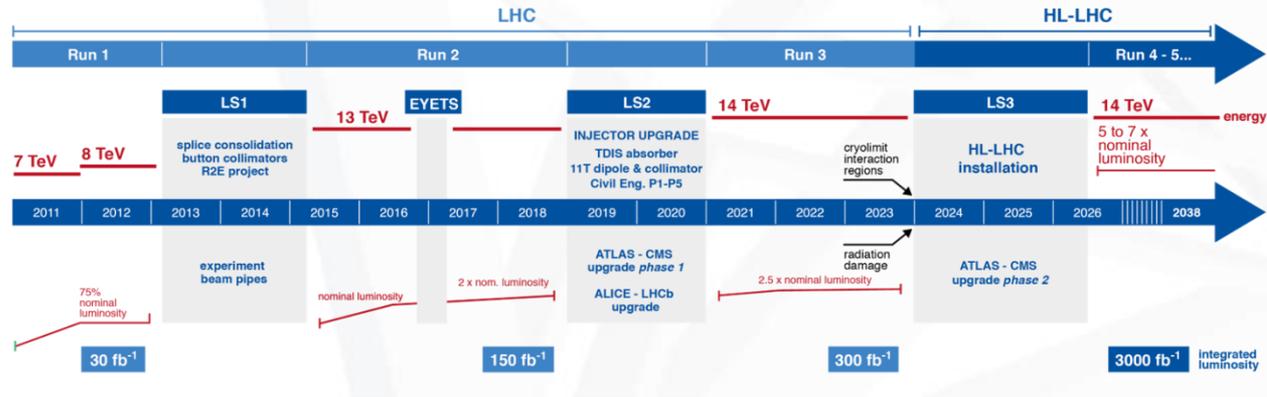
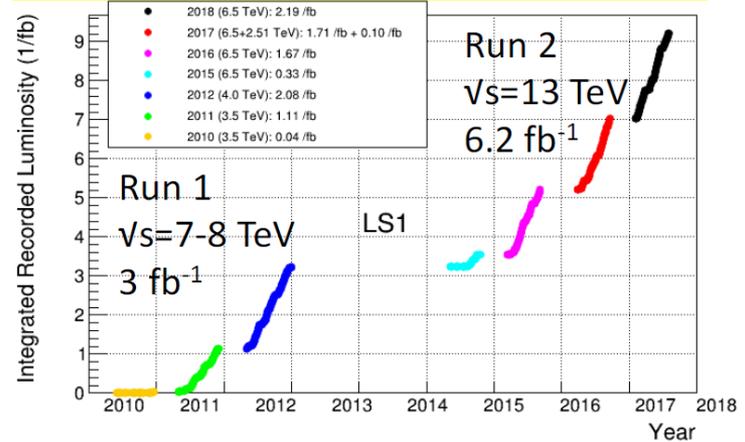
CMS, LHCb, CUORE, GERDA, DUNE, JUNO, MOSCAB (+AMS, VIRGO – v. talk di T. Sbarrato)



LHC @ CERN

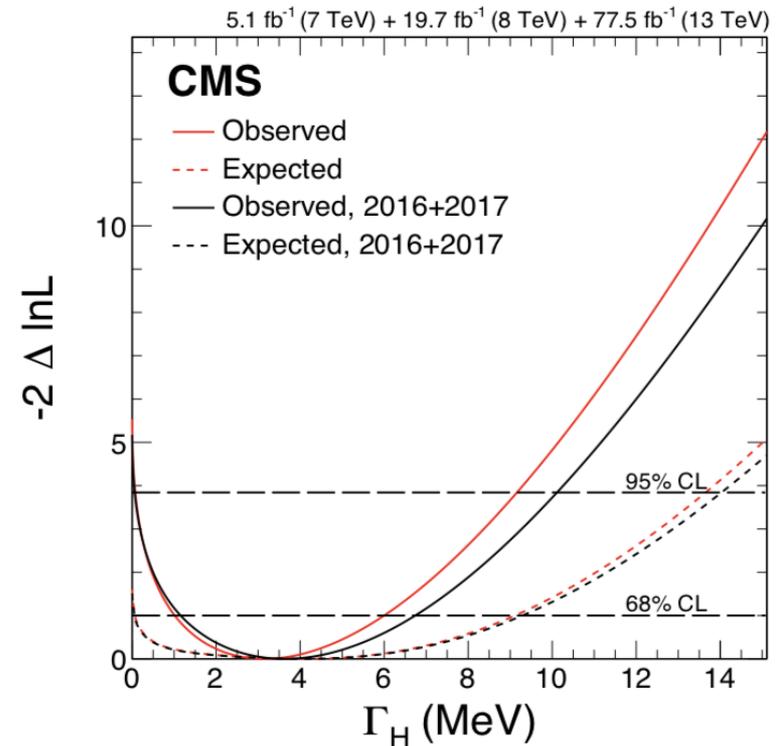
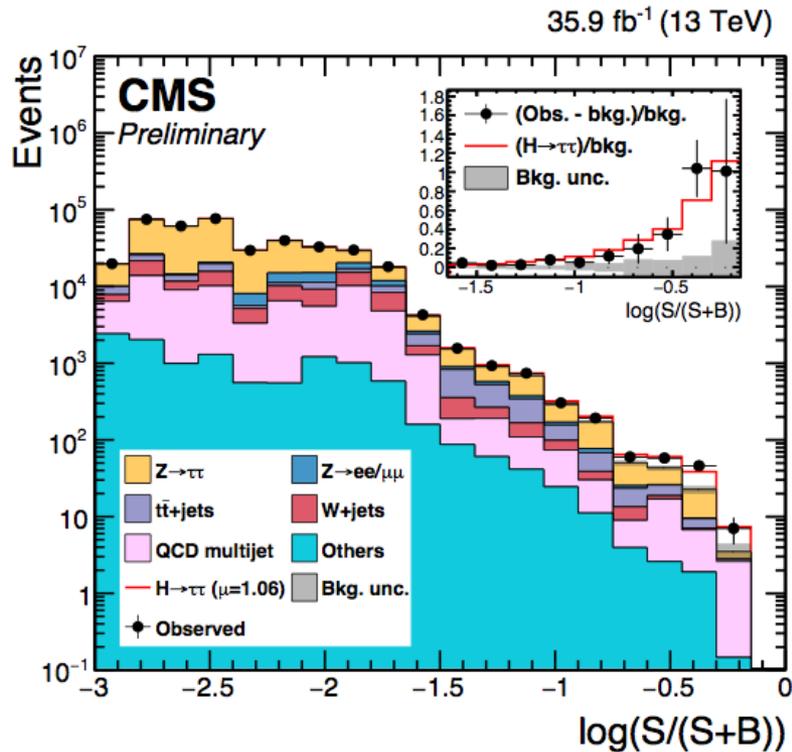


Luminosità totale raccolta da LHCb 2010-18 in collisioni pp. Superate le aspettative.

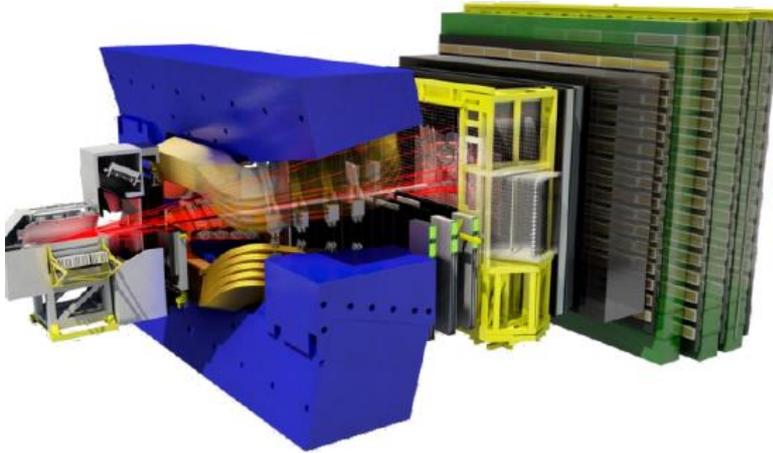


L'Higgs nel 2018 (CMS)

- Prima evidenza del decadimento $H \rightarrow \tau\tau$ a 5.9σ (CMS)
- Prima evidenza della produzione $t\bar{t}H$
- Misura di precisione della width del bosone di Higgs



La fisica del flavor nel 2018 (LHCb)



Scopo principale di LHCb: ricerca di nuova Fisica da effetti indiretti.

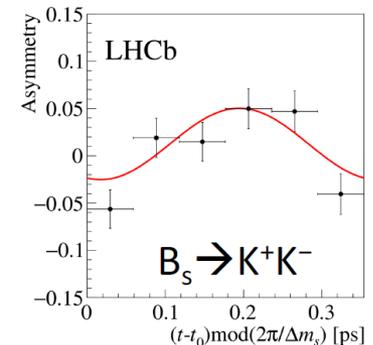
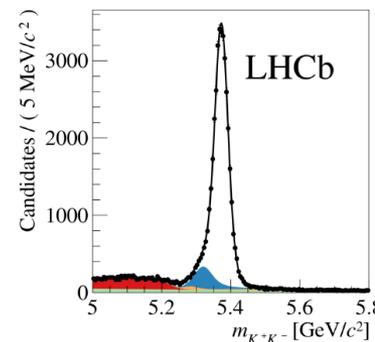
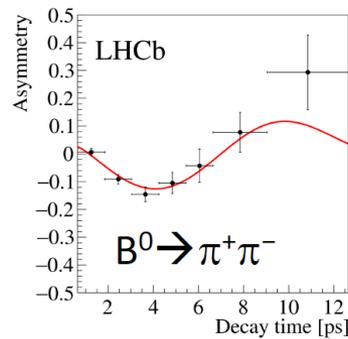
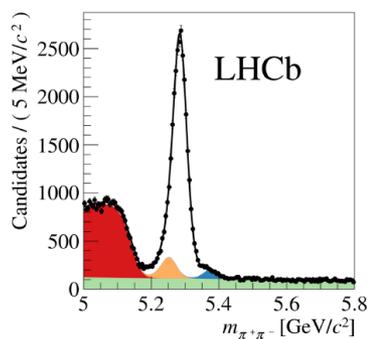
- Fisica del beauty and charm: decadimenti rari, violazione di CP, misura di elementi della matrice CKM, misure di massa e vita-media, spettroscopia.
- Fisica elettrodebole (top, W, Z⁰)
- Fisica degli ioni pesanti (collisioni pPb, PbPb) e targhetta fissa (collisioni pHe, pAr)

- In Bicocca 2017/18 studio CPV su $B^0 \rightarrow D^* D$ e $B^0_{(s)} \rightarrow h^+ h^-$. Misure di rateo in funzione del tempo, con tag di sapore.

$$A_{CP}(t) = \frac{\Gamma(\bar{B}^0 \rightarrow h^+ h^-) - \Gamma(B^0 \rightarrow h^+ h^-)}{\Gamma(\bar{B}^0 \rightarrow h^+ h^-) + \Gamma(B^0 \rightarrow h^+ h^-)} = \frac{-C_f \cos \Delta m t - S_f \sin \Delta m t}{\cosh \Delta \Gamma t / 2 + A_f^{\Delta \Gamma} \sinh \Delta \Gamma t / 2}$$

C_f CPV diretta

S_f CPV mixing-induced

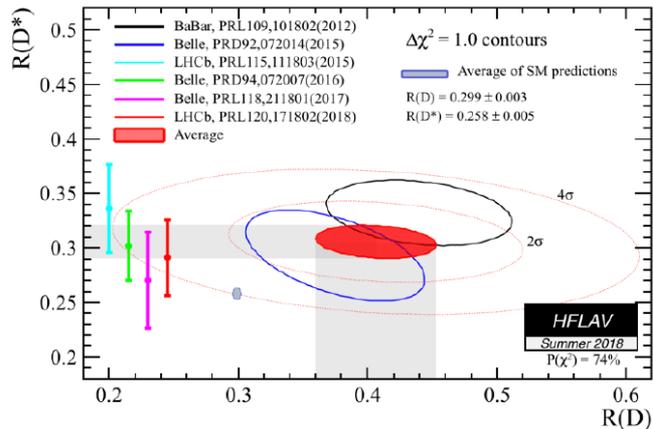


PRD 98 (2018) 032004

- L'osservazione sui $B_s \rightarrow K^+ K^-$ è la prima evidenza (4σ) di **violazione di CP nel B_s** (dati Run 1). In corso aggiornamento sui dati Run 2.

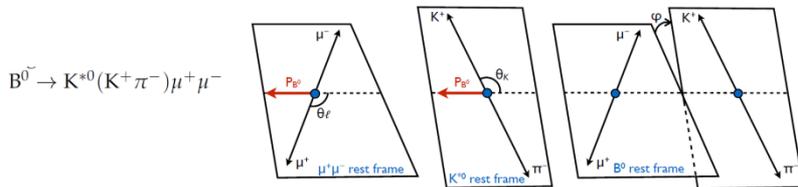
Sorprese e anomalie nella fisica del B

Anomalie al tree level



Deviazione globale dalla previsione del MS $\sim 3.8 \sigma$

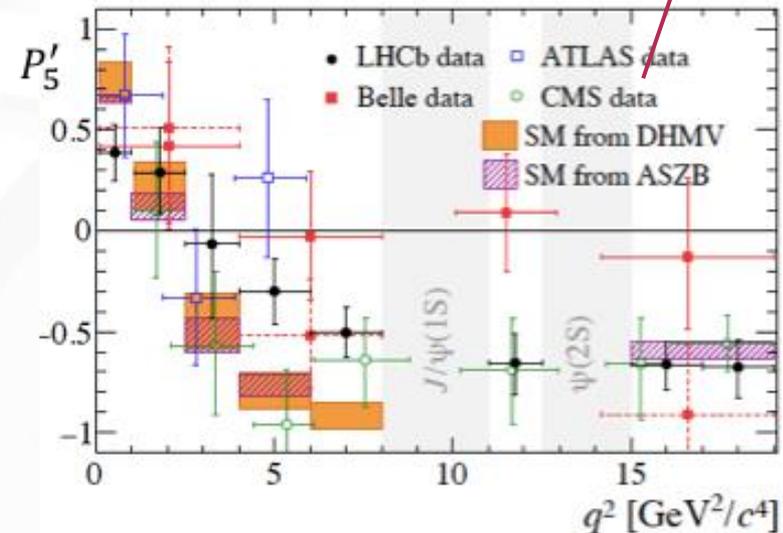
Anomalie nelle distribuzioni angolari



$$R(D^{(*)}) = \frac{\mathcal{B}(B \rightarrow D^{(*)}\tau\nu)}{\mathcal{B}(B \rightarrow D^{(*)}\ell\nu)}$$

- Nuova misura in corso in Bicocca con $B^0 \rightarrow D^- l^+ \nu$ (e $D^{*0} \rightarrow D^- \pi^0$), $\tau \rightarrow \mu \nu \nu$
- Dati Run 2: $\sim 5M$ di $B^0 \rightarrow D^- \mu^+ \nu$.

Analisi CMS MiB!



La fisica del neutrino

E' il settore in cui il Modello Standard ha il minimo potere predittivo:

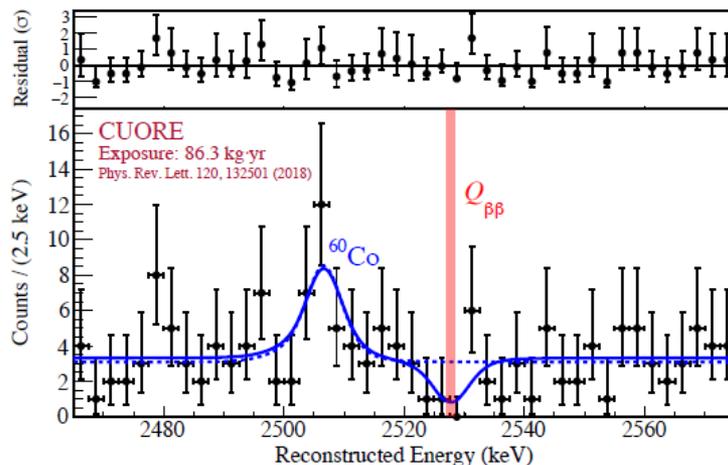
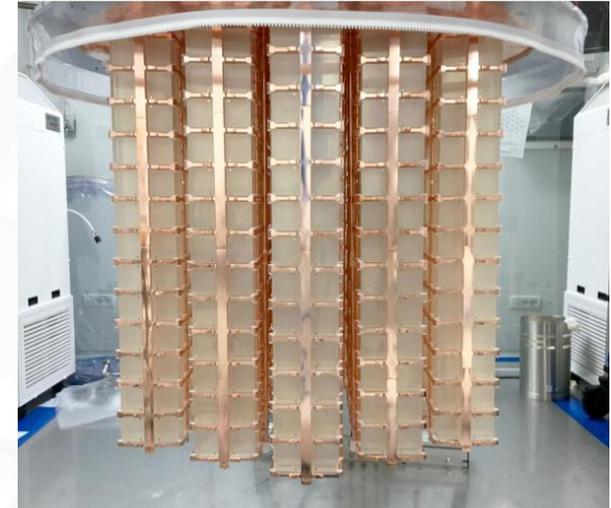
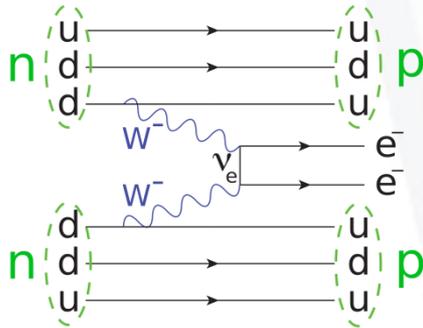
- Masse **enormemente più piccole** rispetto agli altri fermioni. E' un argomento semi-inesplorato perché:
 - masse assolute ignote al momento (constraint dalle oscillazioni e dalla cosmologia osservativa)
 - Meccanismo di generazione della massa potrebbe essere diverso dal meccanismo di Higgs (neutrini di Majorana: **doppio decadimento beta senza emissione dei neutrini**)
- **Mixing completamente diverso dai quark**. Anche questo è un argomento sostanzialmente inesplorato:
 - Mixing dei quark noto con precisioni $<1\%$ mentre per i neutrini non sappiamo neppure se ci sono mixing massimali
 - Violazione di CP nei quark stabilita nel 1964. Nel 2018 abbiamo un hint a due sigma di una possibile violazione nei neutrini e niente di più
 - Altre sorgenti di violazione di CP: ignote perché non sappiamo ancora se i neutrini sono particelle di Dirac o di Majorana

CUORE

Principio di funzionamento: ricerca il decadimento doppio beta del ^{130}Te senza emissione di neutrini misurando l'energia degli elettroni in rivelatori termici

E. Fiorini, T. Niinikoski, NIM 224 (1984) 83

C. Alduino et al, PRL 120 (2018) 132501



E' un esperimento di cui andiamo particolarmente fieri perché **concepito presso il nostro dipartimento** e realizzato con il contributo determinante di Unimib-INFN Mib. Questi ultimi due anni sono stati davvero speciali....

GERDA

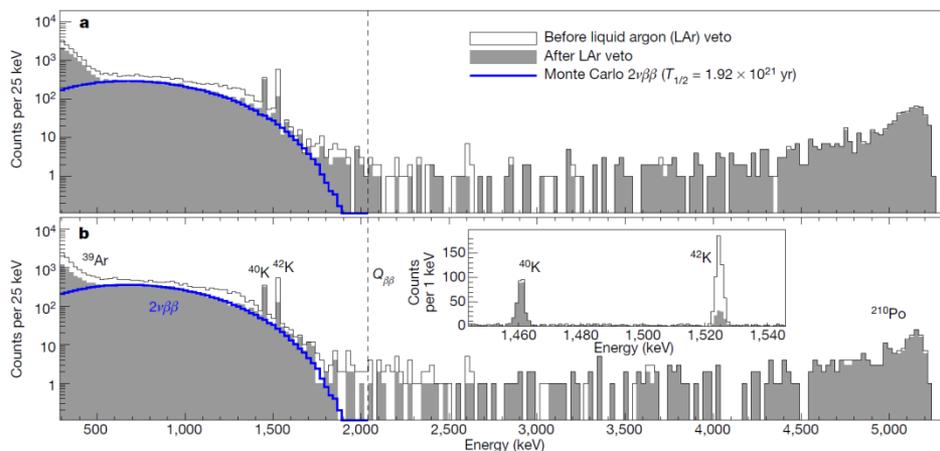
Principio di funzionamento: ricerca il decadimento doppio beta senza emissione di neutrini del ^{76}Ge misurando l'energia degli elettroni in rivelatori al germanio ultrapuri immersi in un veto attivo di argon liquido

ARTICLE M. Agostini et al., Nature 544 (2017) 47

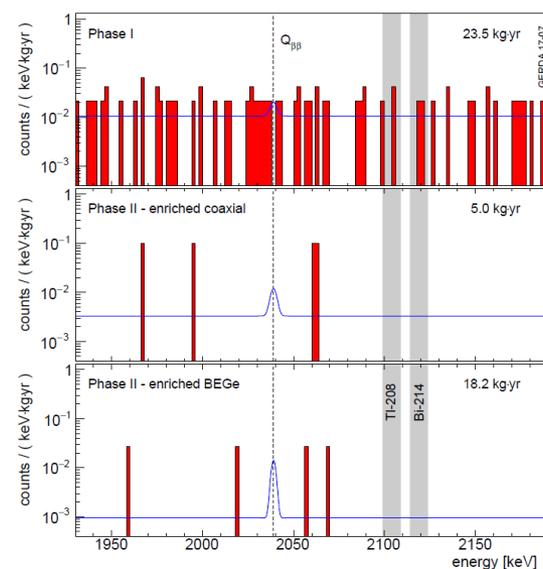
doi:10.1038/nature21717

Background-free search for neutrinoless double- β decay of ^{76}Ge with GERDA

The GERDA Collaboration*



M. Agostini et al., PRL 120 (2018) 132503



L'esperimento con la migliore sensibilità sul Germanio, il miglior livello di reiezione del fondo mai ottenuto in un esperimento doppio beta e uno dei protagonisti (LEGEND) della prossima generazione di esperimenti doppio beta

Uno sguardo al futuro

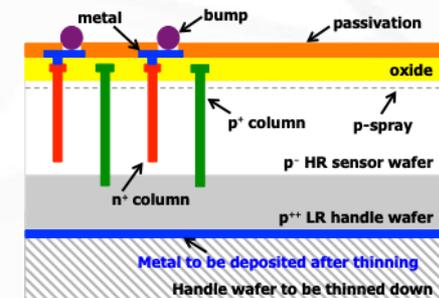
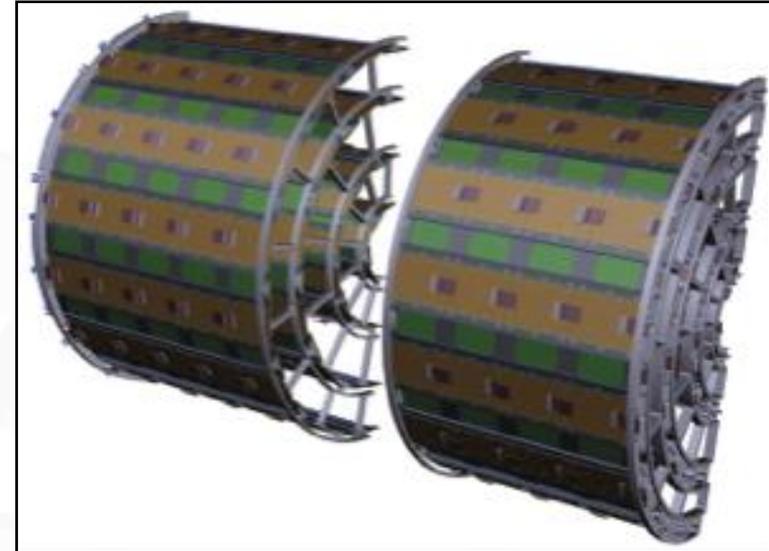
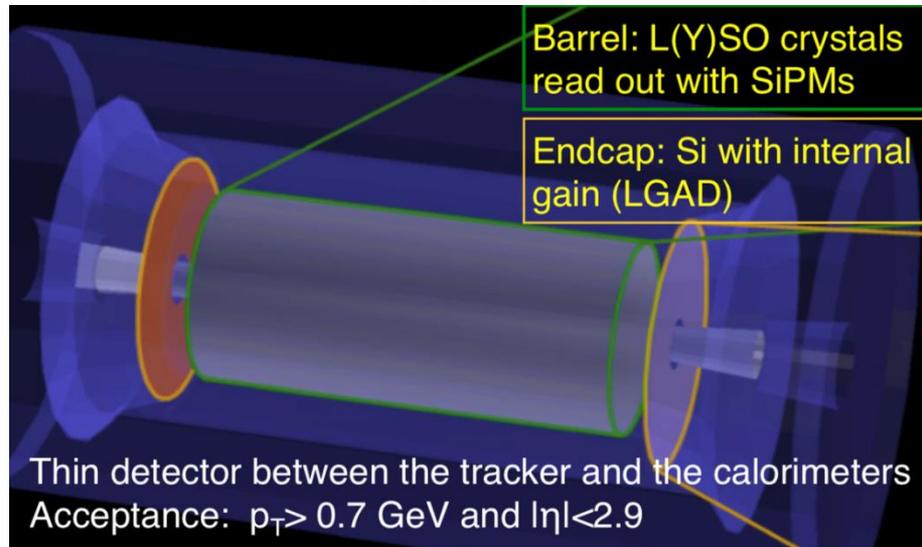
L'enorme bagaglio di esperienza acquisita in questi anni permette al nostro Dipartimento di rimanere leader a livello internazionale nella prossima generazione di esperimenti di fisica delle particelle



(*) v. talk di P. Carniti

Milano Bicocca... al CERN

Il progetto di Dipartimento di Milano Bicocca è focalizzato sul timing – un parametro chiave per l'upgrade di CMS (*) e di LHCb (*) a HL-LHC



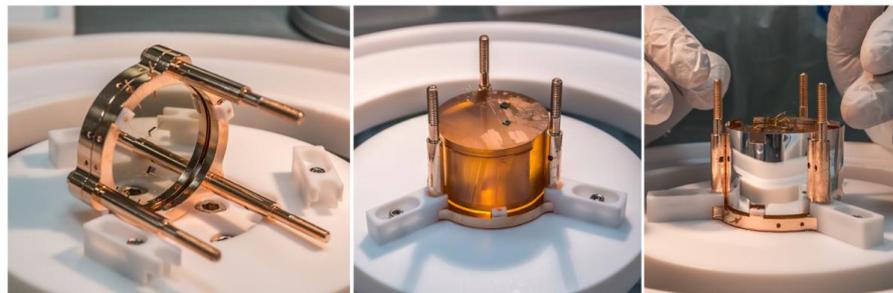
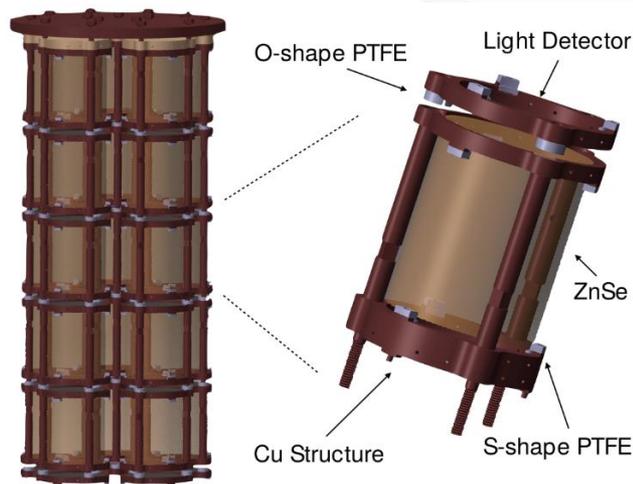
(*) v. talk di P. Carniti

e al Gran Sasso... CUPID

Principio di funzionamento: naturale evoluzione di CUORE ma basato su cristalli di Selenio. Affianca alla lettura del calore prodotto quella della **luce di scintillazione** per separare gli elettroni da doppio beta dal fondo radiattivo

A. Alessandrello et al., PLB 420 (1998) 109.

O. Azzolini et al., PRL 120 (2018) no.23, 232502



La lettura simultanea della luce di scintillazione del cristallo di Selenio e del calore rilasciato dalla particella ha permesso di raggiungere **il più basso livello di fondo mai ottenuto in esperimenti bolometrici**

$$(3.2^{+1.3}_{-1.1}) \cdot 10^{-3} \text{ cts}/(\text{keV} \cdot \text{kg} \cdot \text{yr})$$

e il miglior limite sul doppio decadimento beta senza neutrini nel ^{82}Se

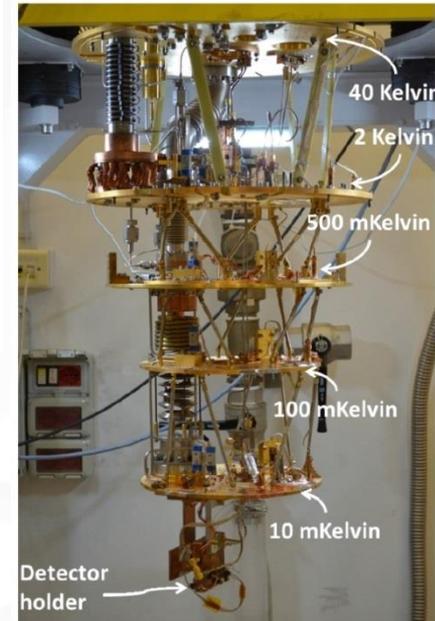
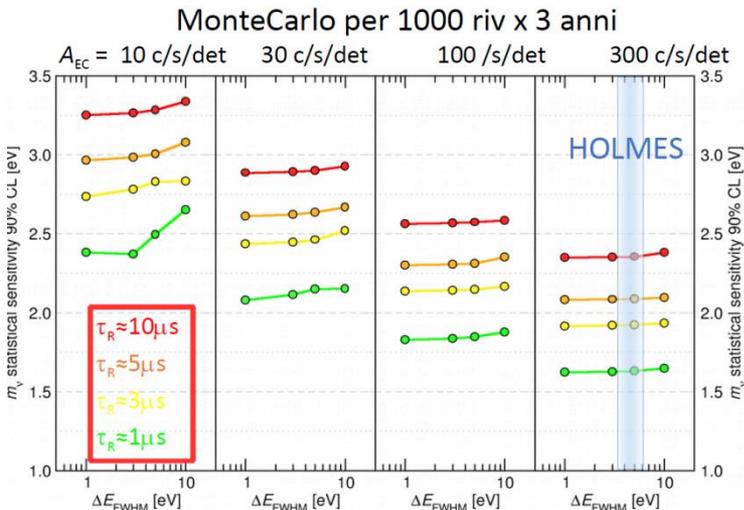
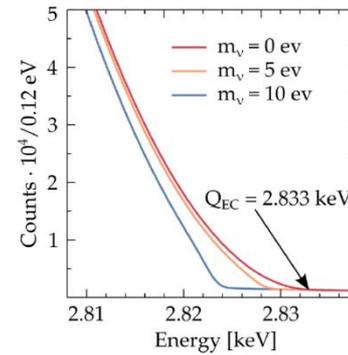
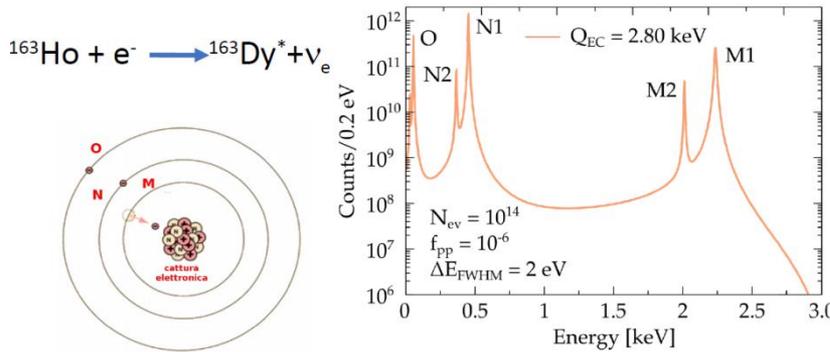
HOLMES



Principio di funzionamento: misurare la massa del neutrino attraverso l'energia massima deposta in un rivelatore termico dopo un processo di cattura elettronica a basso q-valore

A. De Rujula, M. Lusignoli, PLB 118 (1982), 429

B. Alpert et al., EPJC C75 (2015) 112



Rivelatori superconduttori a transizione di fase (TES)

Lab. di criogenia di Milano-Bicocca

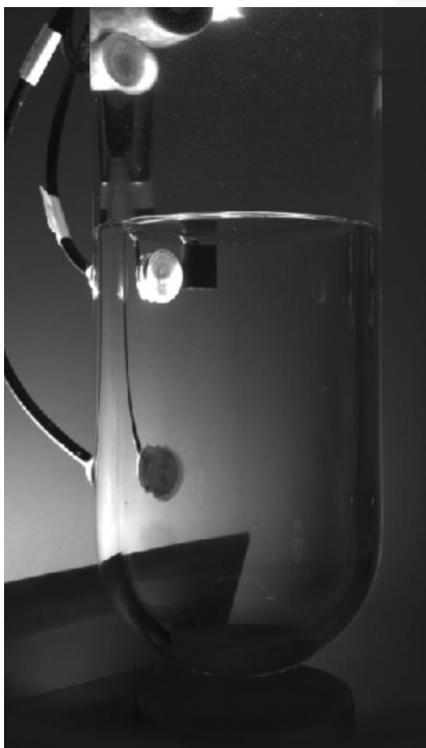
(ERC-Adv. Grant 340321) PI:S.Ragazzi



MOSCAB

Principio di funzionamento: rivelare lo scattering elastico di candidati materia oscura (spin-dependent interactions) attraverso l'uso di una variante («geyser technology») della camera a bolle

A. Antonicci et al., EPJ. C77 (2017) 752



- Il rivelatore **MOSCAB**, nella configurazione 2L e 18L, si trova nei LNGS dall'estate del 2017.
- Nel gennaio 2018 abbiamo ricevuto per la prima volta il permesso per lo riempimento in pressione.
- Dal 29 gennaio al 23 febbraio prima fase di **commissioning** - rivelatore riempito con **1 kg di C3F8**.
- Dal 23 Aprile seconda fase di **commissioning** con il rivelatore riempito con **2 kg di C3F8**.



La fisica del neutrino con sorgenti artificiali

E' un settore relativamente nuovo per il nostro dipartimento ma dal 2012 («scoperta di θ_{13} ») è il settore trainante della fisica del neutrino. Dal 2012, infatti, sappiamo che le oscillazioni di neutrino su distanze di 10-1000 km permettono di misurare:

- Tutti gli angoli di mixing con precisioni $<10\%$
- La violazione di CP nel settore dei neutrini
- Il pattern («gerarchia») delle masse dei neutrini («l'autostato di massa che maggiormente contribuisce al neutrino elettronico è l'autostato più pesante o più leggero?»)»)

Il nostro dipartimento è impegnato su questo fronte con:

DUNE (Fermilab)

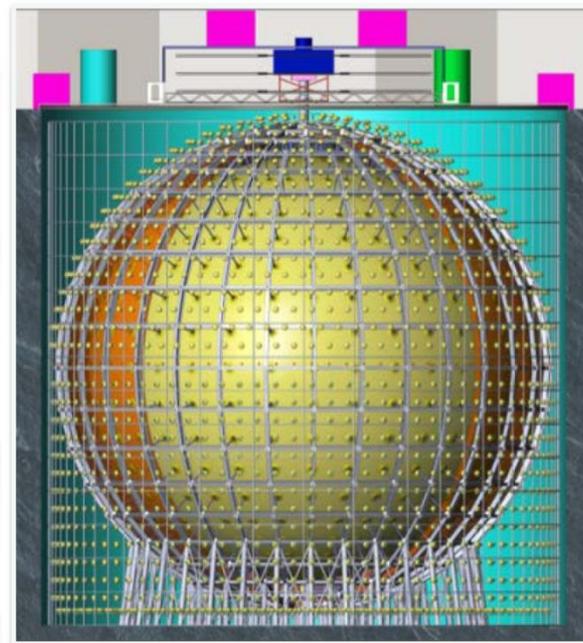
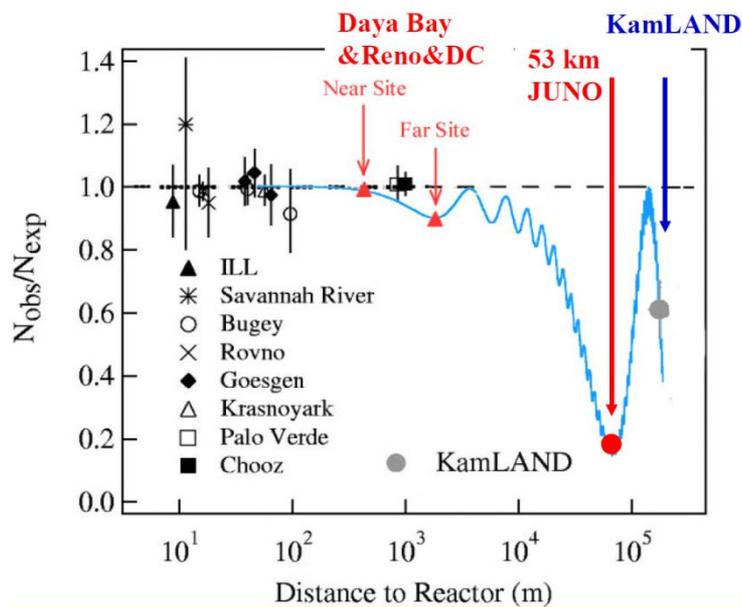
ENUBET (CERN)

JUNO (Cina)

ICARUS (Fermilab)

JUNO

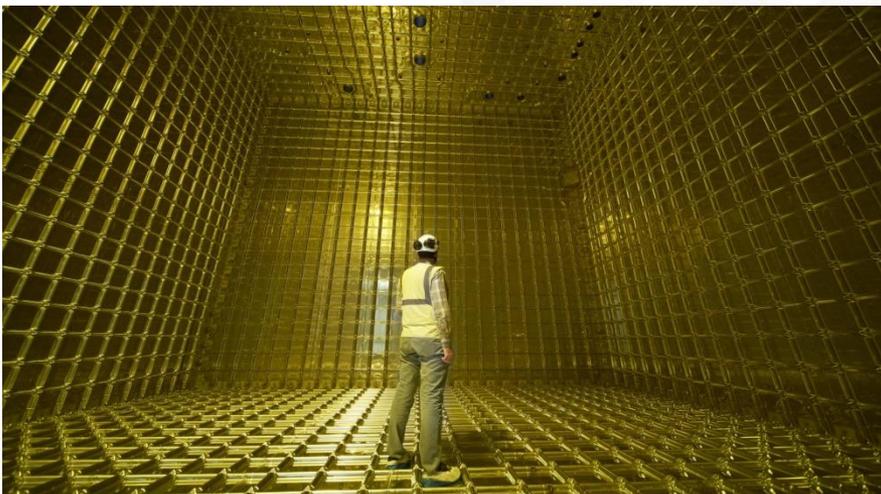
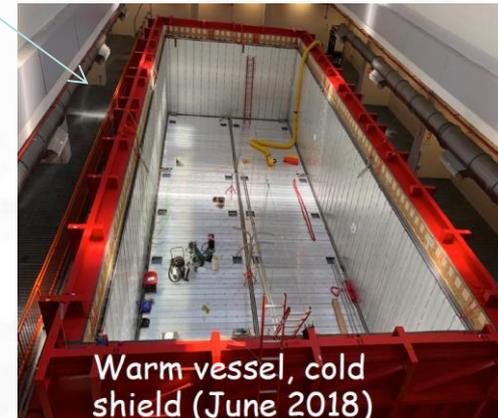
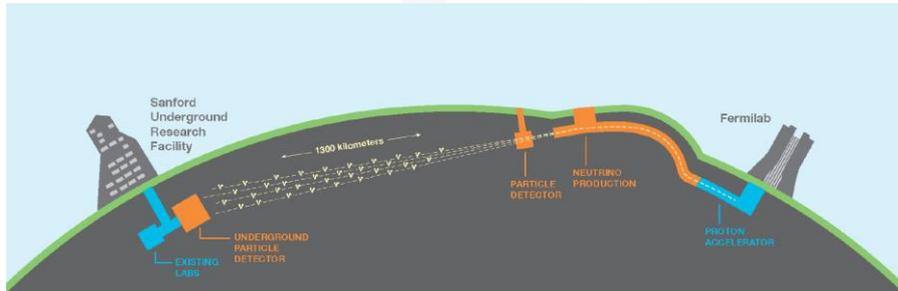
JUNO e' il flagship experiment della Cina nella fisica del neutrino. Rivela neutrini da reattori con uno scintillatore liquido (20000 ton) identificando il pattern di oscillazione dei neutrini al MeV per determinare gli angoli di mixing e la gerarchia di massa



La radiopurezza dei componenti è determinante per la riduzione del fondo sia per i neutrini da reattori sia per gli studi con sorgenti naturali. E' un settore in cui Unimib ha **competenze ampiamente riconosciute e un ruolo chiave all'interno della Collaborazione**

DUNE

DUNE e' il flagship experiment degli Stati Uniti nella fisica delle particelle elementari. E' basato su una tecnica sviluppata da C. Rubbia dal 1977 («liquid argon TPC») testata per la prima volta su un fascio di neutrini nel 1997 («ICARUS-CERN–Milano») e dimostrata alla scala delle 500t da ICARUS (LNGS+Fermilab) e ProtoduneSP (CERN)

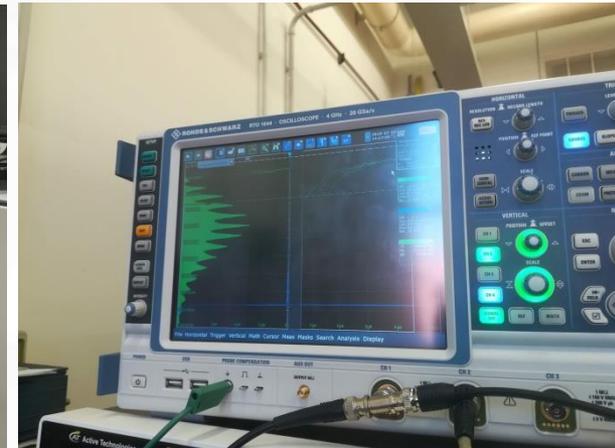
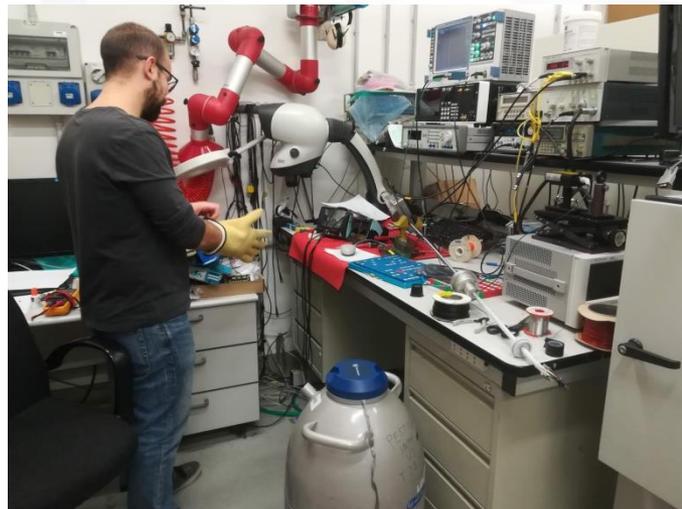


Fascio di neutrini prodotto al Fermilab puntato verso quattro rivelatori sotterranei (4x10000 ton) di Argon liquido nel South Dakota

Milano Bicocca... al Fermilab

La nostra attività si concentra sullo studio della luce di scintillazione in ambiente crogenico:

- Con fotomoltiplicatori (TPB coating) sensibili all'estremo ultravioletto (128 nm) per ICARUS e DUNE (modulo double phase)
- Con array di fotosensori al silicio (SiPM in active ganging) all'interno di una cella ottica: baseline design per DUNE. Questo design verrà testato a Unimib e installato al CERN in Protodune SP per il Run II



ENUBET

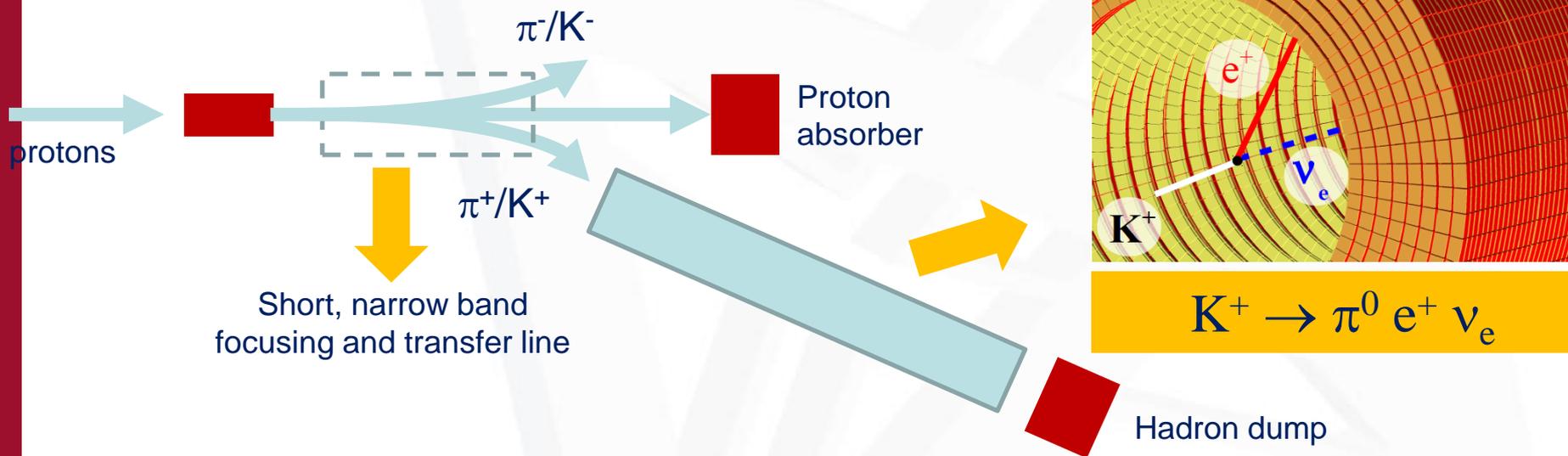


PI A.Longhin
(UniPd)

Principio di funzionamento: migliorare di un fattore 10 le misure delle sezioni d'urto dei neutrini determinando precisamente il flusso iniziale attraverso l'osservazione dei leptoni prodotti nel tunnel di decadimento

A.Longhin, L. Ludovici, F. Terranova EPJ C 75 (2015) 155

F. Acerbi et al, CERN-SPSC-2018-034 ; SPSC-I-248



E' un R&D che ha ottenuto risultati davvero notevoli nel 2018 (focusing statico, narrow-band off axis technique) e si avvia alla fase di stesura del proposal di esperimento

Un augurio per il 2019

Il nostro dipartimento è stato capace in questi anni di conciliare esigenze talvolta (ingiustamente) contrapposte:

- Dare **contributi sostanziali** e raggiungere ruoli di **leadership** in grandi collaborazioni internazionali.
 - Oggi: CMS, LHCb, CUORE, GERDA
 - Domani: HL-LHC (upgrade di CMS e LHCb), CUPID, DUNE, JUNO
- Rimanere un centro propulsivo di nuovi progetti **pensati e sviluppati all'interno del nostro Dipartimento** e proposti alla comunità internazionale
 - Oggi: ENUBET, HOLMES, MOSCAB
 - Domani: mmm...non mi azzardo a fare previsioni 😊

Il mio augurio è di mantenere questo spirito che genera solidi progressi scientifici e stimola continuamente la nostra creatività. E di trasmetterlo con altrettanto entusiasmo ai nostri studenti!