

SHIP: verso una proposta di esperimento di beam dump al CERN-SPS per la ricerca di Hidden Particles

Walter M. Bonivento
CERN/INFN Cagliari

a rappresentare la Collaborazione SHIP



CERN, Universität Zürich, EPFL Lausanne, INFN Cagliari,
Università Federico II and INFN Napoli, Imperial College London
(in crescita)

INFN Bologna 4/04/2014

Motivazioni scientifiche

Successo del Modello Standard: Trionfo e Tragedia!



Sommario risultati sperimentali recenti (in 1 slide!)

Scoperta Higgs dove il MS ha predetto che fosse.

Accoppiamenti come predetti dal MS

Nessuna osservazione di nuove particelle in ricerche dirette a LHC fino al \sim TeV, almeno per particelle con accoppiamenti consistenti a quark e gluoni, nonché gluini, W' , Z' etc (NB: da Tevatron a LHC-8, un grosso aumento di sensitività)

Nessuna evidenza diretta di particelle di DM (in particolare WIMP-like), con qualche nota controversa eccezione

Nessuna deviazione significativa dalle predizioni della Fisica del (charged)₃ Flavor \rightarrow per modelli senza MFV la scala di Nuova Fisica esclusa sale a 10^3 TeV in decadimenti con loop (Isidori)

(tuttavia qualche indicazione interessante di deviazioni qua e là, e.g. $g-2$, $P5'$ in $B \rightarrow K^* \mu\mu$, $B \rightarrow D^{(*)} \tau\nu$)

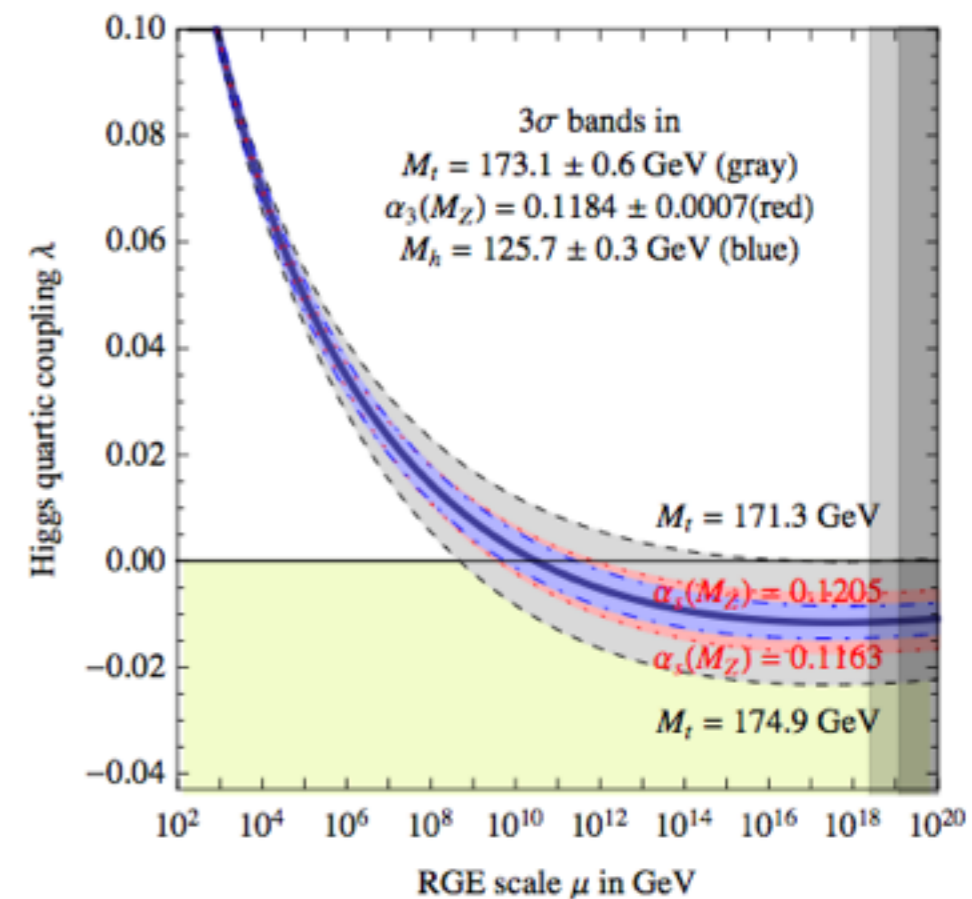
Considerazioni sulla massa dell'Higgs

Massa del Higgs misurata a ≈ 125 GeV

—> SM teoria di campo effettiva, auto-consistente, debolmente accoppiata fino a grandi scale (almeno fino a 10^{10} GeV, errori ancora grandi per concludere)

—> universo (meta-)stabile

JHEP 1312 (2013) 089



E' tutto qui?

**No!!!! perche' rimangono sul tavolo almeno 3
“problemi” sperimentali dello SM (+altri teorici):**

A. massa dei neutrini (dall'esistenza delle oscillazioni):

$$\Delta m^2_{\text{atm}} \sim 2.5 \cdot 10^{-3} \text{ eV}^2 \quad \Delta m^2_{\text{sun}} \sim 8 \cdot 10^{-5} \text{ eV}^2$$

B. la bariogenesi ovvero l'asimmetria materia-anti-materia universo (BAU) —> non spiegabile da CKM

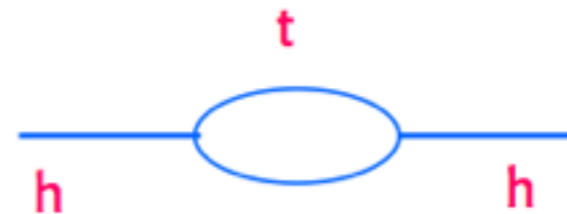
C. materia oscura —> Bullet cluster, Planck...

La ricerca di Nuova Fisica a LHC si e' basata principalmente sul paradigma della Naturalizza per predire l'esistenza di nuova fisica alla scala del TeV (divergenza della massa del Higgs, SUSY ecc), che non si trova...

't Hooft Cargese 1979

"SM unnatural unless New Physics at the TeV scale"

$$\delta m_h^2|_{top} = -\frac{3G_F}{2\sqrt{2}\pi^2} m_t^2 \Lambda^2 \sim -(0.2\Lambda)^2$$



Gildener, Weinberg'76; Maiani'79; 't Hooft'79.....

Questo e' quello che Fabiola chiama "il paradosso" del Modello Standard e che porta Arkhani-Ahmed a dire

But Where Is Everybody?

Plenary
FCC-pp al
Workshop
di Febbraio a
Ginevra

**Naturalmente come ci insegna Masiero
bisogna aspettare almeno il primo anno di
risultati di LHC 13TeV e i risultati di Xenon 1T
(e affini) prima di trarre conclusioni affrettate**

**Ma se non si trovasse nulla, e' chiaro che il
paradigma della Naturalezza va un po' in crisi
e si entra in una fase di discussione di
quanto sia naturale avere un fine tuning al
10% all'1% o allo 0.1% e di quanto sia meglio
avere un universo fine-tuned che un-tuned,
multiversi, principio antropico ecc. (dalla
quale per manifesta incompetenza mi astengo
e lascio volentieri il campo ai Teorici)**

Un altro paradigma necessario?



Su una simile linea di pensiero...

My key message

- The days of “guaranteed” discoveries or of no-lose theorems in particle physics are over, at least for the time being
- but the big questions of our field remain wild open (hierarchy problem, flavour, neutrinos, DM, BAU,)
- This simply implies that, more than for the past 30 years, future HEP’s progress is to be driven by experimental exploration, possibly renouncing/reviewing deeply rooted theoretical bias

Michelangelo Mangano, Aspen 2014

Un po' di geo-politica...

“Soluzione Standard” al problema:

A. Studiare l'Higgs in dettaglio

B. Cercare (quasi alla cieca e senza “forti” motivazioni teoriche) Nuova Fisica con + energia e/o luminosita' e/o massa rivelatore (DM)

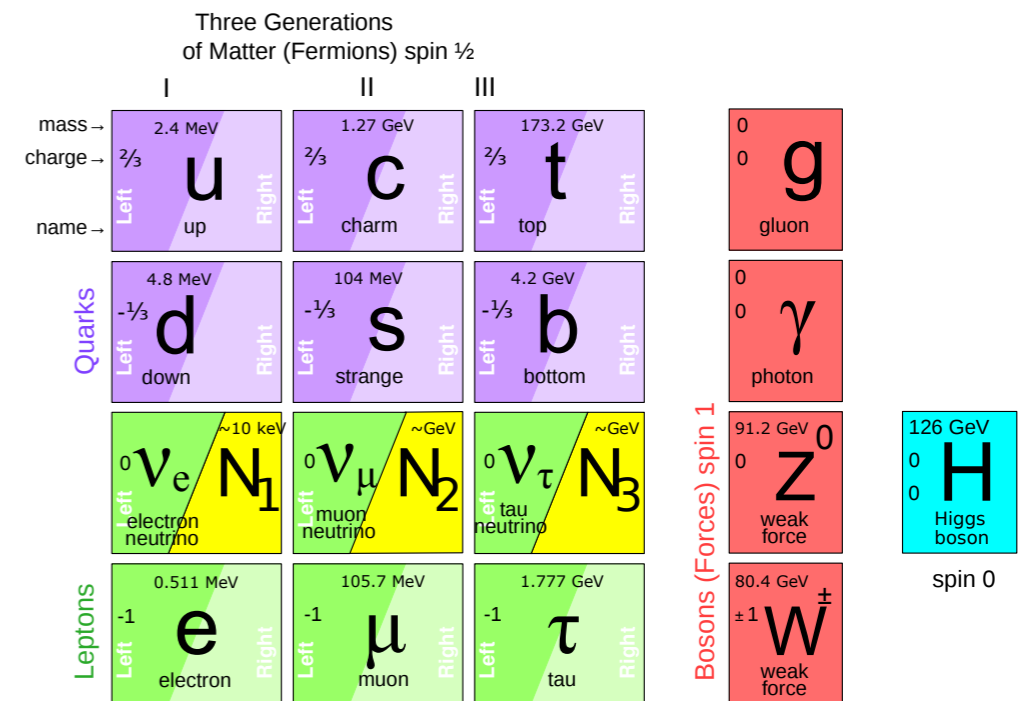
- 1. ILC (Giappone), TLEP(CERN), CTLEP (Cina) >10G\$**
- 2. pp alla massima energia/luminosita' possibile (HL-LHC/FCC-pp>30G\$?, CERN)**
- 3. flavor physics FCNC, decadimenti rari ecc. (SuperKEK-b, Giappone, LHCb upgrade, CERN)**
- 4. ricerche di DM in rivelatori di grande massa e sensibilita' (GranSasso ecc.)**

Esistono possibili strade diverse e complementari?

Possibile soluzione: ν MSSM

Soluzione dei tre problemi suddetti con estensione minimale dello SM, cioè senza introdurre nuovi principi fisici (SUSY or ED) o nuove scale di energia (GU):

3 partner di Majorana (HNL) destrorsi e sterili dei neutrini ordinari



T.Asaka e M.Shaposhnikov, PLB620 (2005) 17

See-saw

In generale molti modelli che introducono neutrini di Majorana sono nel contesto di see-saw, in questo caso di tipo 1, per fornire massa (di Majorana o di Dirac) ai neutrini ordinari

un termine di massa di Majorana (il piu' economico) non puo' essere ottenuto nello SM da alcuna interazione rinormalizzabile gauge-invariante, ma puo' essere ottenuto come limite a basse energie di interazioni rinormalizzabili coinvolgenti campi nuovi!

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_{SM} + i\bar{\nu}_R \not{\partial} \nu_R - \bar{L}_L F \nu_R \tilde{\Phi} - \bar{\nu}_R F^\dagger L \tilde{\Phi}^\dagger - \frac{1}{2}(\bar{\nu}_R^c M_M \nu_R + \bar{\nu}_R M_M^\dagger \nu_R^c)$$

Φ e' il campo di Higgs e M_N la massa del campo di Majorana ν_R , F Yukawa

dopo la rottura della simmetria il termine di massa si puo' scrivere come:

$$\frac{1}{2}(\bar{\nu}_L \quad \bar{\nu}_R^c) \begin{pmatrix} 0 & m_D \\ m_D^T & M_M \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_L^c \\ \nu_R \end{pmatrix} + h.c.$$

con $m_D = Fv/\sqrt{2}$, con $v=240\text{GeV}$

See-saw(2)

Nel limite see-saw ovvero $m_D \ll M_N$ gli autostati di massa sono:

$$\nu \sim \nu_L - U \nu_R^c + \text{h.c.} \quad \text{e} \quad N \sim \nu_R + U \nu_L^c \quad \text{con} \\ U = m_D / M_N \ll 1 \quad (\text{mixing con neutrini attivi})$$

e autovalori $m_\nu = m_D^2 / M_N = (F\nu)^2 / 2M_N = U^2 M_N$ e $m_N = M_M$

Teoria di Shpshnikov \rightarrow estensione a 3 campi di Majorana

Interazioni dei N

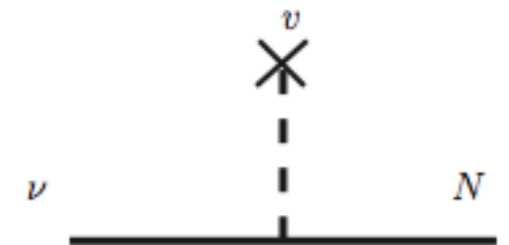
NB: l'unica interazione che questi RH neutrini hanno con lo SM e' tramite le interazioni di Yukawa coinvolgenti il bosone di Higgs (in questo senso sono "sterili") e un neutrino ordinario; "partecipano" in tutti i diagrammi di Feynman in cui sono coinvolti i neutrini attivi purché cinematicamente possibili

Concettualmente due tipi di interazioni sono possibili:

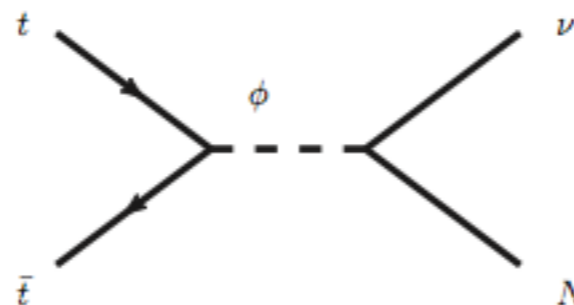
1. a $T=0$, interazione con in v.e.v. → mixing con neutrini attivi

con 3 famiglie la relazione tra U_e , U_μ e U_τ dipende dal mescolamento tra sapori

$$U^2 = \sum_{\ell=e,\mu,\tau} \sum_{I=1,2} |U_{\ell I}|^2$$



2. a $T > T_{EW}$ accoppiamento con il bosone di Higgs (decadimento del Higgs) vi sono bosoni di Higgs nel plasma primordiale → Ni possono essere prodotti in vari processi di scattering



Bariogenesi e ν MSSM

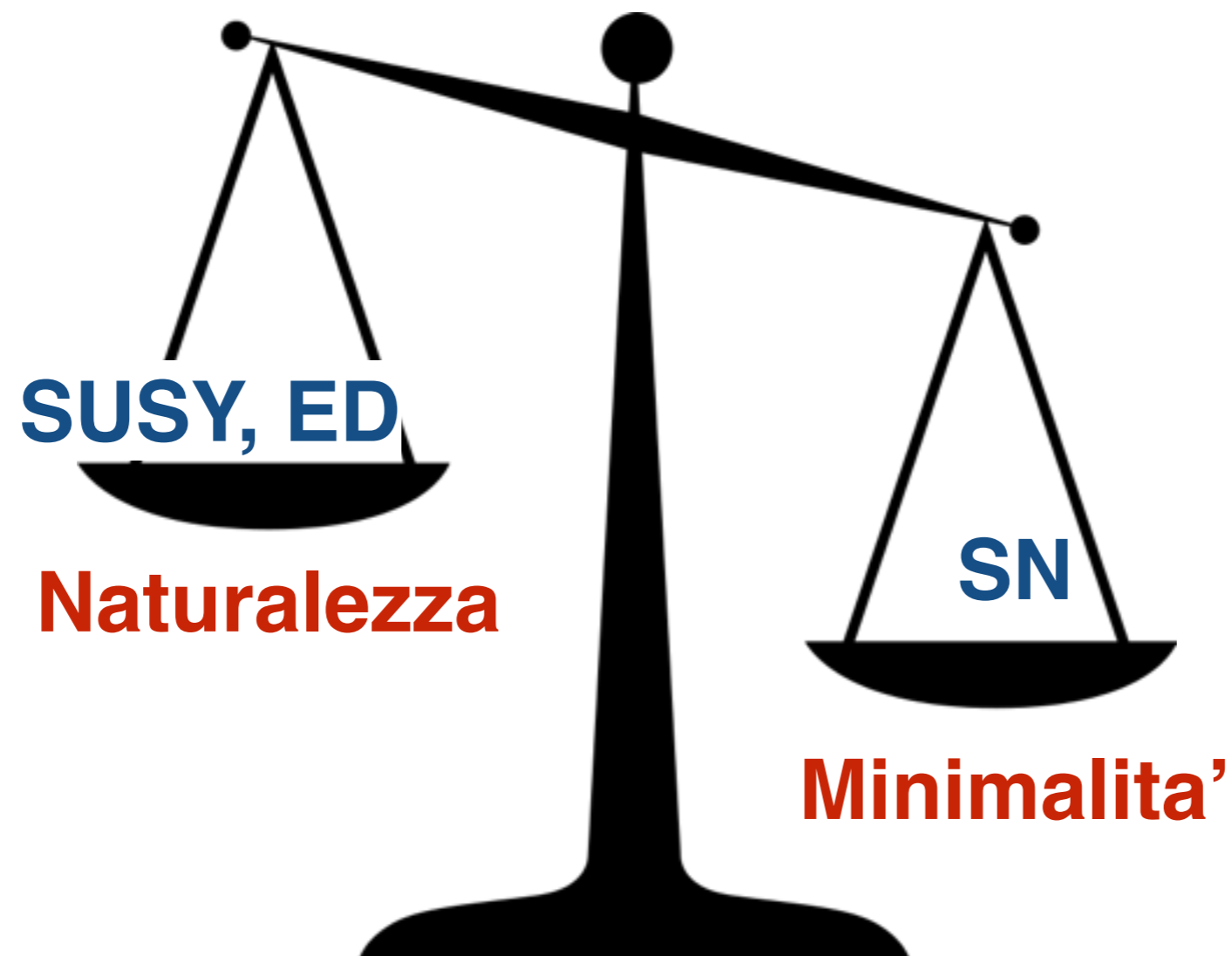
Inoltre una grande attrattiva di questi modelli e' che permettono di spiegare la bariogenesi mediante leptogenesi, utilizzando la transizione a sphalerons, un processo non-perturbativo ma previsto dallo SM (t'Hooft), che viola B ma conserva B-L.

La Lagrangiana see-saw a 3 neutrini massivi contiene 6 fasi con violazione di CP

Il Modello di Shaposhnikov spiega la Leptogenesi mediante oscillazioni tra N_2 e N_3 con violazione di CP durante la loro produzione termica :

- se N_2 e N_3 quasi degeneri in massa e con massa $\gg eV$ e \ll della scala EW (quindi $O(\text{GeV})$) \rightarrow oggetto di questa proposta
- il terzo neutrino N_1 di massa $O(10 \text{ keV})$ con un piccolo mixing con gli altri due \rightarrow candidato Dark Matter (ne parlo dopo...piatto caldo!)

Quindi siamo di fronte ad un quesito: quale criterio usa la Natura?



Dobbiamo tornare al rasoio di Occam?

Altri intervalli di massa

In questi mesi, proprio per la “delusione” dei risultati di LHC, c’è una resurrezione di un notevole interesse teorico e sperimentale per questi neutrini di Majorana in ambito see-saw a varie masse.

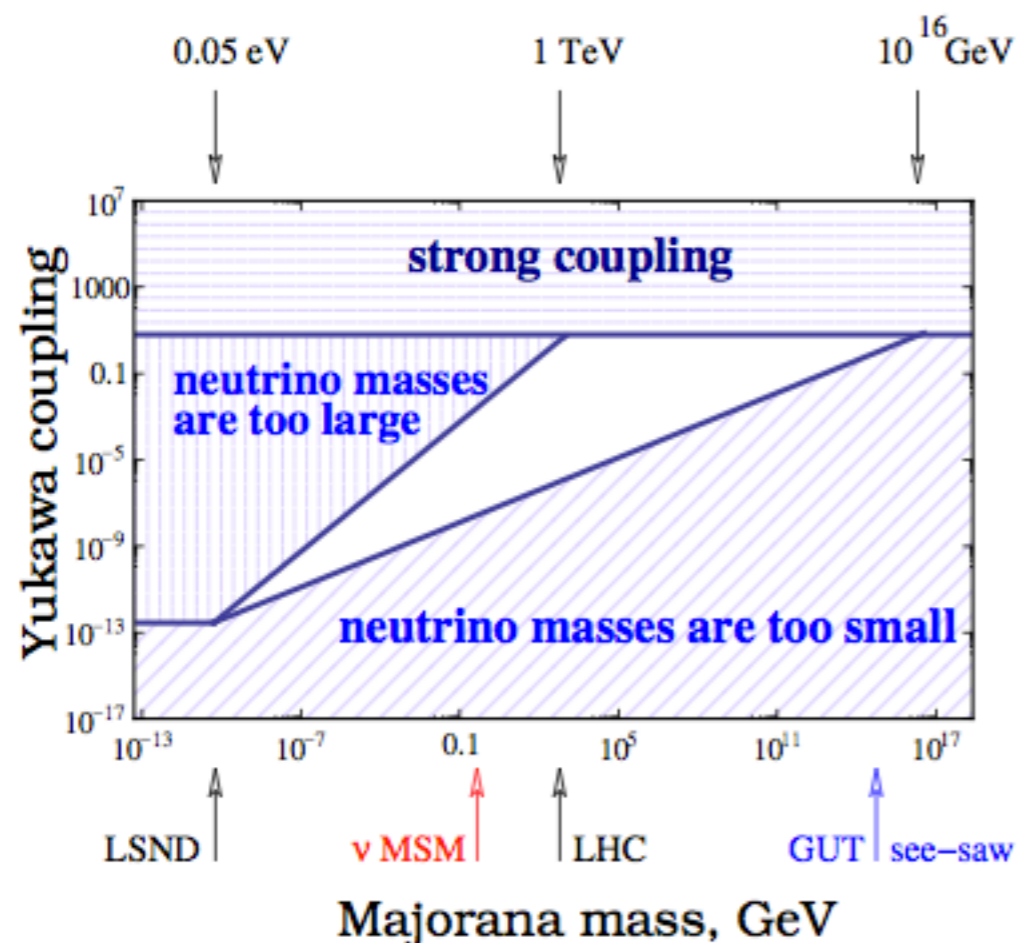
Recente indicazione dai dati di BICEP2 combinati con tutto il progresso di misure cosmologiche, dell’esistenza di un neutrino a massa $\sim 0.5\text{eV}$ (arXiv: 1403.7028, arXiv:1403.4852, arXiv:1403.8049). Non è chiaro quanto questo sia compatibile con le anomalie da misure di oscillazioni. Se fosse confermato in realtà questo non pone in crisi il νMSM , in quanto non c’è un limite al numero di neutrini di Majorana che si possono avere; renderebbe la teoria meno “elegante”, però

Neutrini di massa $\sim \text{TeV}$ possono contribuire a migliorare la compatibilità di fit elettro-debole ed alcune a ridurre alcune anomalie nei dati (massa W , larghezza invisibile Z ...) \rightarrow possibilità di misura a LHC (arXiv:1302.1872)

Neutrini alla scala di GUT in modello $\text{SO}(10)$ (Altarelli et al, arXiv: 1305.1001) con Leptogenesi nel decadimento, con $M < 10^{14} \text{ GeV}$

Masse e Yukawas

- Nel modello di Shaposhnikov il see-saw e' ottenuto con HNL di massa relativamente piccola (e quindi con Yukawa piccoli). In realta' il range di masse e accoppiamenti permessi e' dato da:



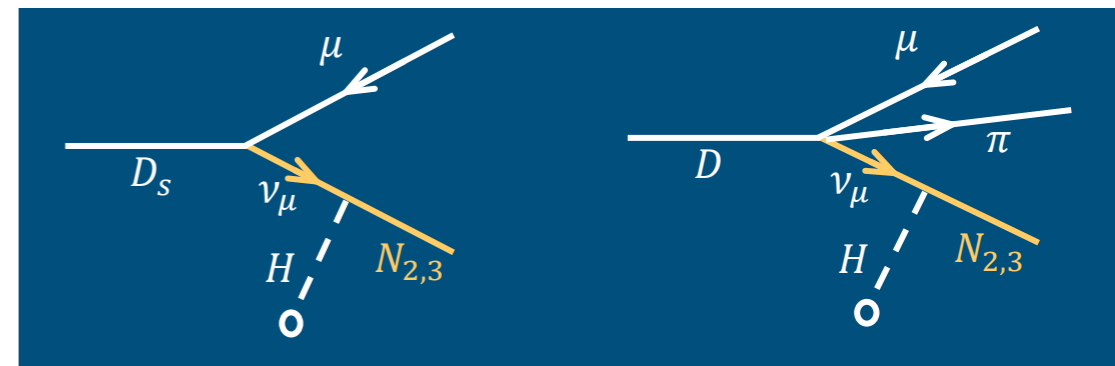
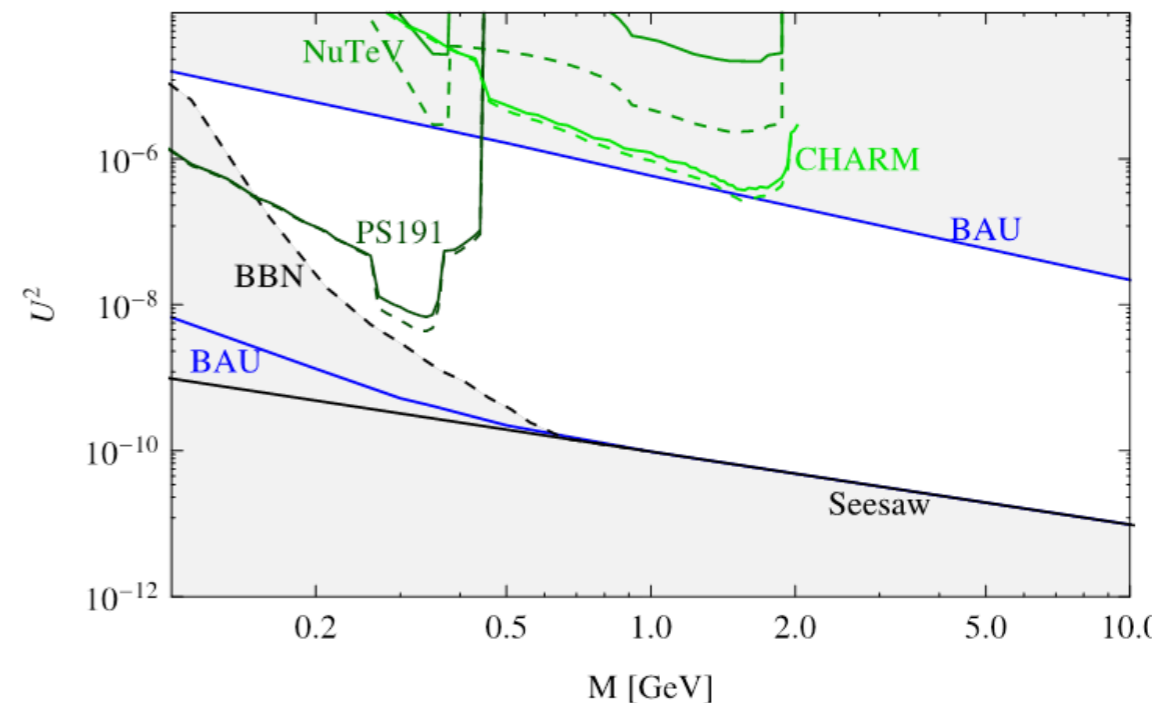
	N mass	ν masses	eV ν anomalies	BAU	DM	M_H stability	direct search	experiment
GUT see-saw	10^{-16} 10 GeV	YES	NO	YES	NO	NO	NO	-
EWSB	$2-3$ 10 GeV	YES	NO	YES	NO	YES	YES	LHC
ν MSM	keV - GeV	YES	NO	YES	YES	YES	YES	a'la CHARM
ν scale	eV	YES	YES	NO	NO	YES	YES	a'la LSND

arXiv:1204.5379

Produzione di $N_{2,3}$

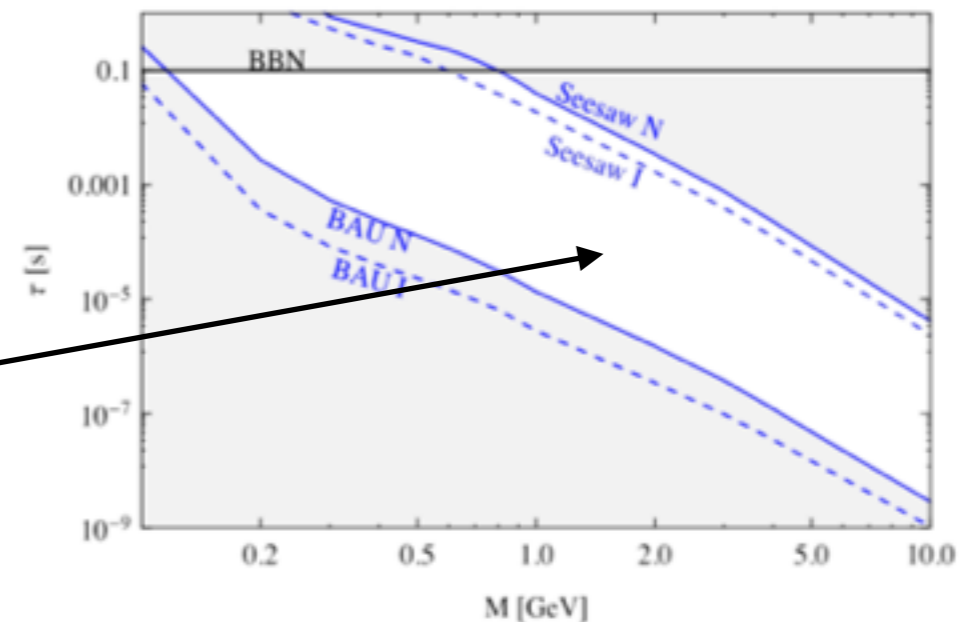
- nel vMSM forti limitazioni nello spazio dei parametri (U^2, m)
- molte ricerche di HNL in passato ma, per $m > m_K$, con **sensibilità' non di interesse cosmologico** (es LHCb in decadimenti del B raggiunge $U^2 \approx 10^{-4}$, arXiv:1401.5361)
- **questa proposta: ricerca in decadimenti dei mesoni D (prodotti ad alta statistica nella collisione di p di 400 GeV su bersaglio fisso)**
- **Lo scopo di questa collaborazione e' di progettare un esperimento che ottimizzi tutti i parametri sperimentali, dato il fascio (che esiste, SPS).**

gerarchia inversa di massa dei neutrini

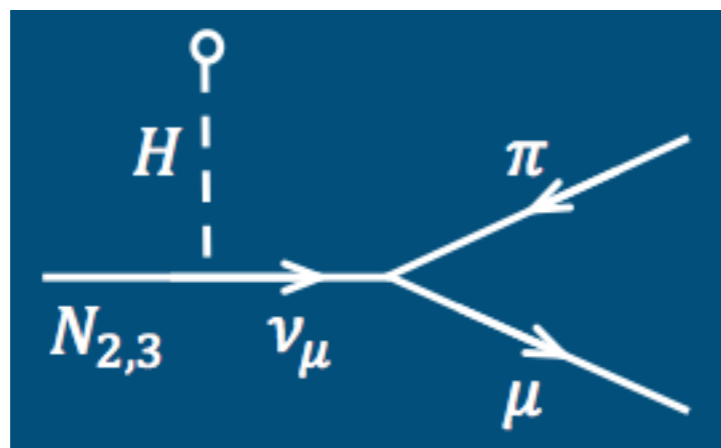


Decadimenti del $N_{2,3}$

- Accoppiamento HNL- ν attivo molto debole
 $\rightarrow N_{2,3}$ hanno vita media molto lunga
 - distanze di decadimento O(km)!: per $U_{\mu}^2 = 10^{-7}$, $\tau_N = 1.8 \times 10^{-5}$ s
- Vari modi di decadimento : i BR's dipendono dal mescolamento tra sapori
- Probabilità che $N_{2,3}$ decada nel volume fiduciale dell'esperimento $\propto U_{\mu}^2$
 \rightarrow numero di eventi $\propto U_{\mu}^4$



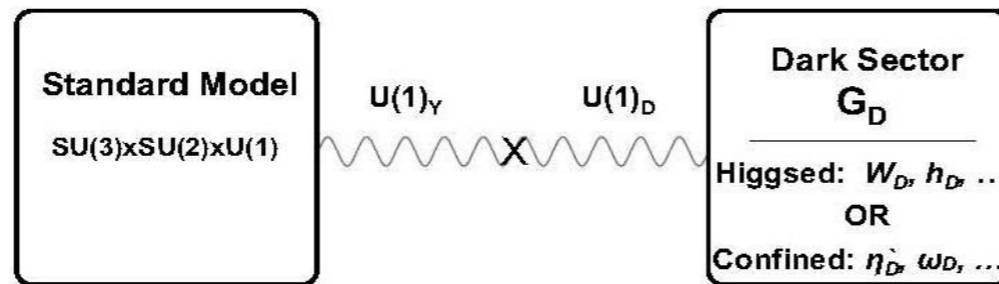
Decay mode	Branching ratio
$N_{2,3} \rightarrow \mu/e + \pi$	0.1 - 50 %
$N_{2,3} \rightarrow \mu^-/e^- + \rho^+$	0.5 - 20 %
$N_{2,3} \rightarrow \nu + \mu + e$	1 - 10 %



Anche se e' nato per verificare una strada alternativa, tuttavia questo e' un esperimento sia per atei sia per credenti!

(ndr:nella SUSY)

Portali verso Hidden sector



$$\mathcal{L}_{\text{mediation}} = \sum_{k,l,n}^{k+l=n+4} \frac{\mathcal{O}_{\text{NP}}^{(k)} \mathcal{O}_{\text{SM}}^{(l)}}{\Lambda^n},$$

Le particelle dello SM non sono sensibili all'interazione di gauge G_D ma attraverso un mediatore: gli operatori SM di dimensione piu' piccola sono detti "portali"

$H^\pm H$: Higgs portal

NH: neutrino portal (un altro modo per vedere i neutrini di Majorana di SHIP)

$F_{\mu\nu}$: vector portal

recentemente si e' rivitalizzata l'attenzione verso questo tipo di interazioni per spiegare alcune anomalie astrofisiche, interpretate nel contesto di dark matter; il range di masse suggerito, da qualche MeV a qualche GeV, con $\tau < 1\text{sec}$ e $\tau > 100\text{ns}$ e' peculiare per esperimenti fixed-target (PhysRevD.80.095024)

In questo esperimento simile sensibilità' di CHARM ma con molta maggiore statistica (come per il HNL)

Other BSM physics to be tested

Portals to the secluded sector

- light, very weakly interacting, yet unstable particles:

produced (in)directly on target, then decaying in the detector fiducial volume

- ▶ light sgoldstinos (superpartners of goldstino in SUSY models)

e.g., D.S. Gorbunov (2001)

e.g. $D \rightarrow \pi X$, then $X \rightarrow l^+ l^- + \text{PNGB}$

LSP

- ▶ R-parity violating neutralinos in SUSY models

e.g., A. Dedes, H.K. Dreiner, P. Richardson (2001)

e.g. $D \rightarrow l \tilde{\chi}$, then $\tilde{\chi} \rightarrow l^+ l^- \nu$

- ▶ massive paraphotons (in secluded dark matter models)

e.g., M. Pospelov, A. Ritz, M.B. Voloshin (2008)

e.g. $\Sigma \rightarrow p V$, then $V \rightarrow l^+ l^-$

- light, fairly weakly interacting, unstable particles:

produced in beam dump (rock), right in front of detector, then decaying in the detector fiducial volume

- ▶ sterile neutrinos with transition dipole moments

e.g., S.N. Gninenko (2009,2010)

$\nu A \rightarrow N A$, then $N \rightarrow \nu \gamma$

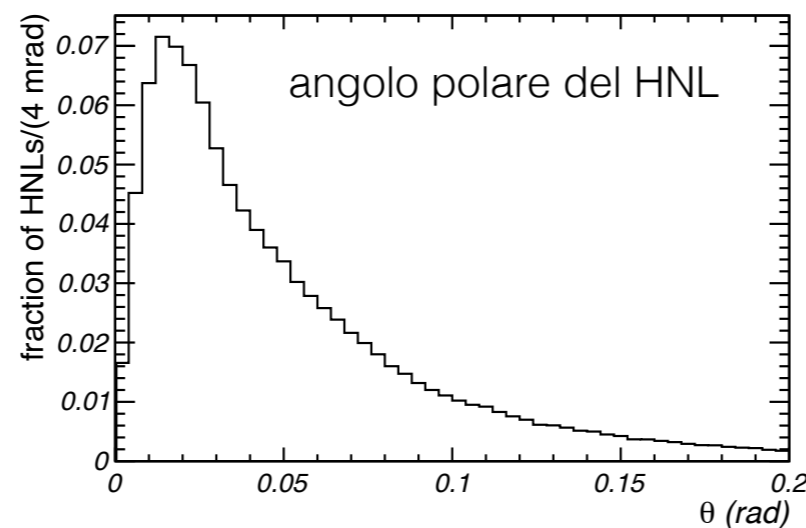
as compared to CHARM

longer lifetimes and smaller couplings will be accessible

L'esperimento

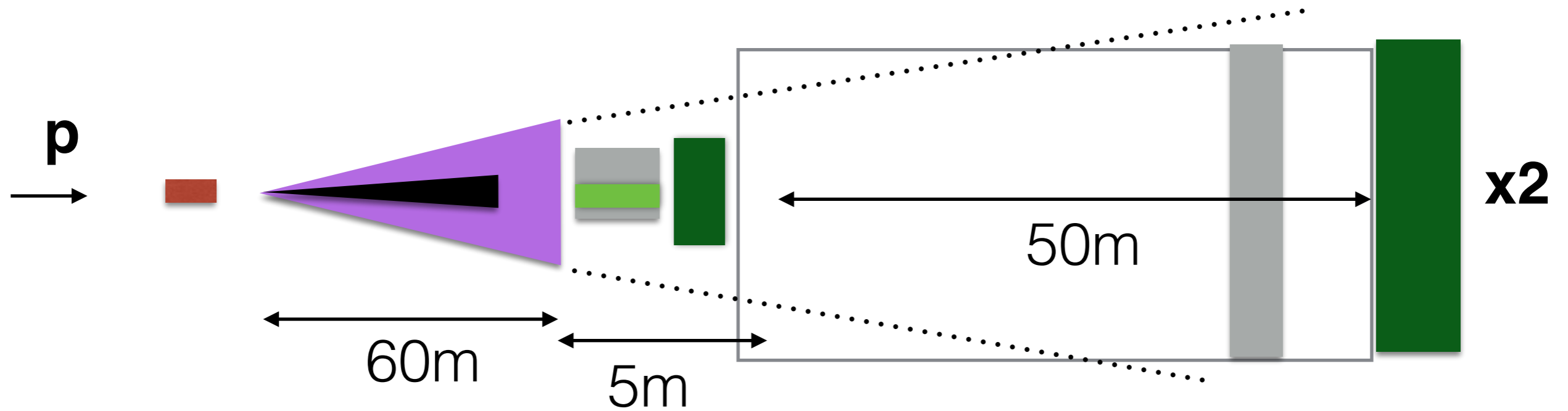
Vincoli di progetto

- **massimizzare l'intensita' di protoni su bersaglio → produzione di charm**
- **massimizzare l'accettanza longitudinale**
- **GLi HNL prodotti nel decadimento del charm possono avere un pT significativo e pure i prodotti di decadimento**



- il rivelatore deve essere posto il piu' vicino possibile al bersaglio per massimizzare l'accettanza
- la distanza deve essere bilanciata dalla necessita' di ridurre il flusso di muoni
- **Minimizzare il materiale all'interno del rivelatore per ridurre le interazioni dei muoni e dei neutrini**
- **Ricostruzione massa invariante per sopprimere fondo di K_L^0**

Concetto



 lead/iron

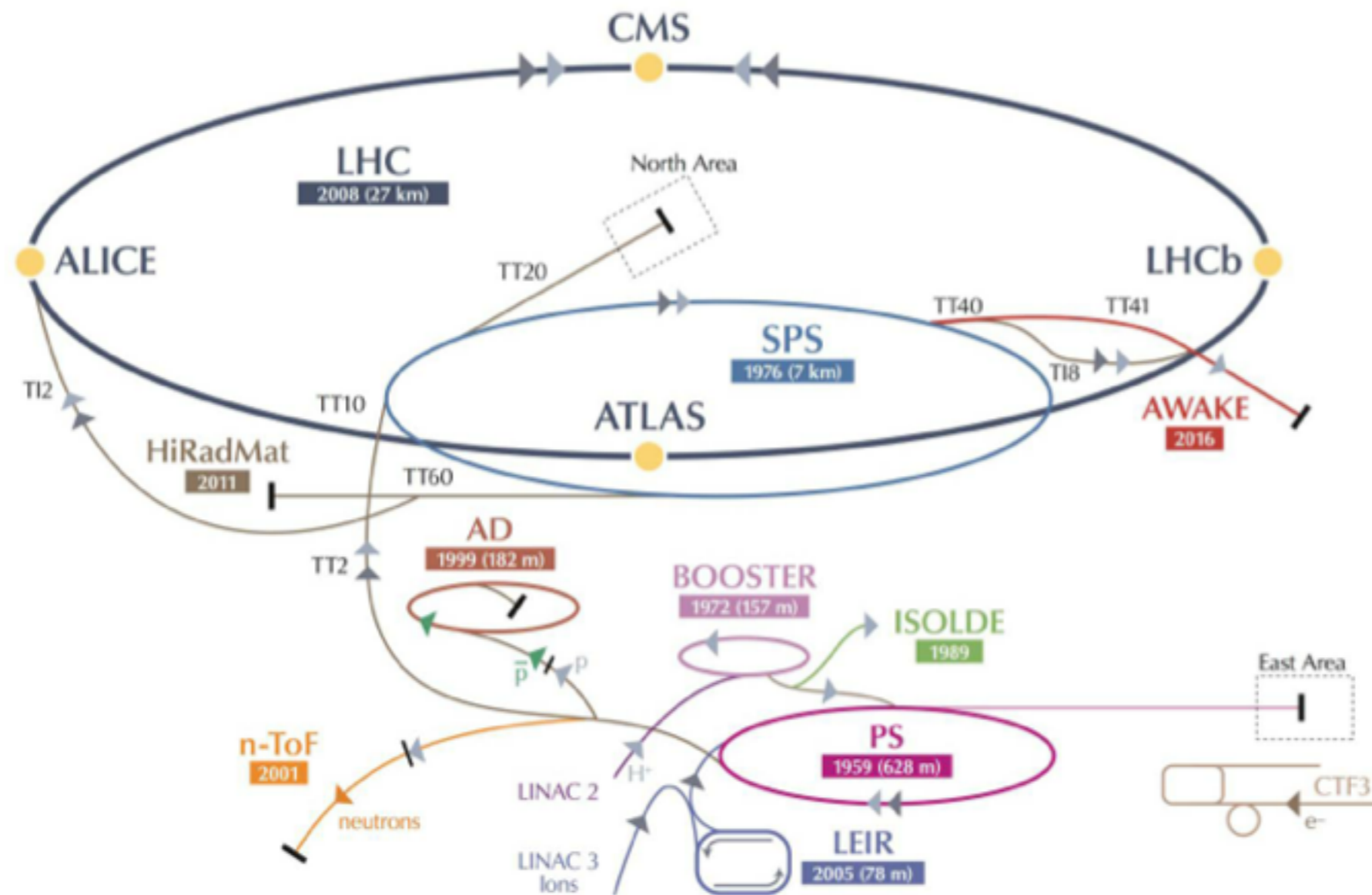
 tungsten

 magnet/spectrometers

 PID

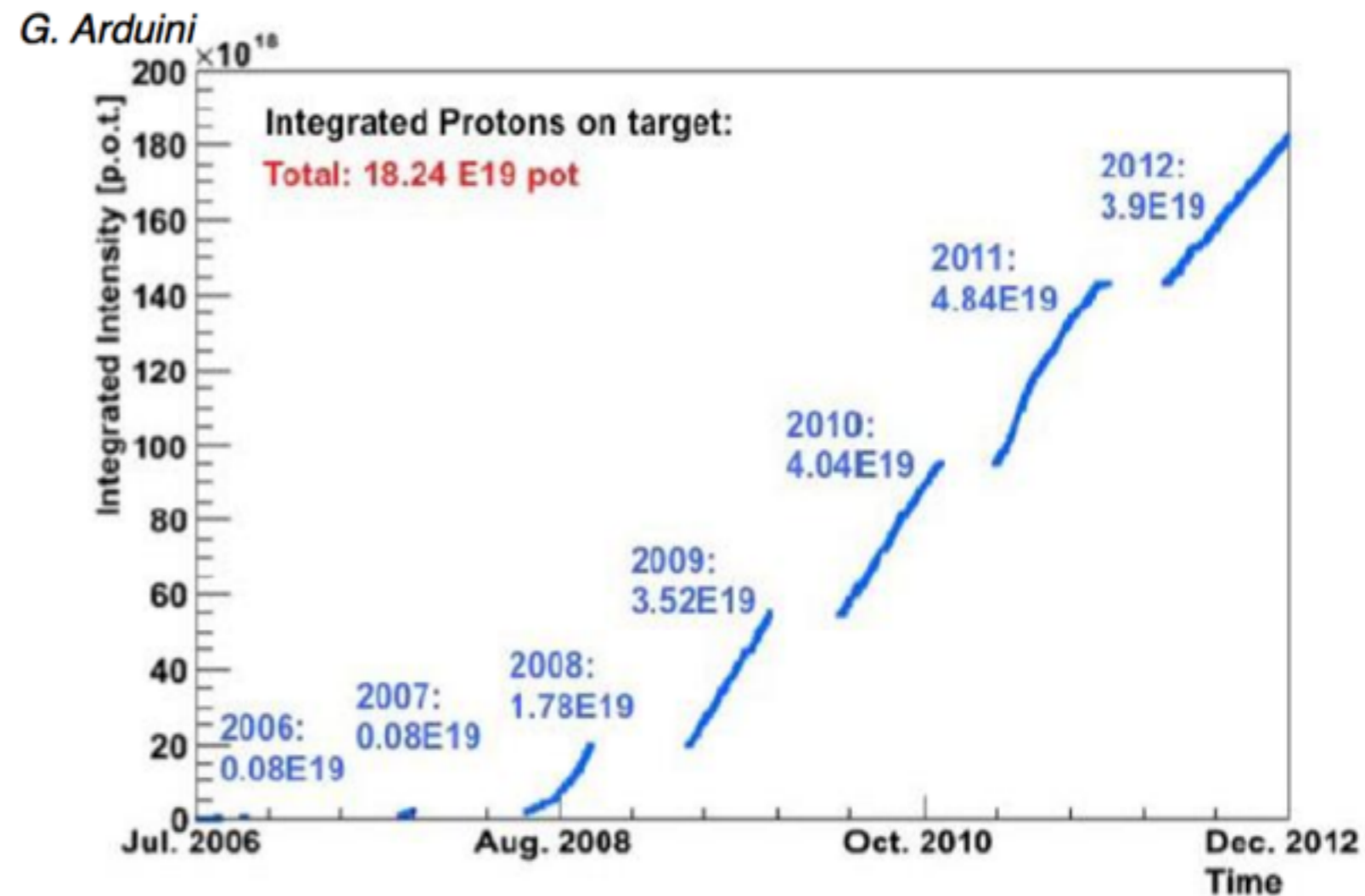
 rivelatore ν_τ

Il complesso degli acceleratori del CERN

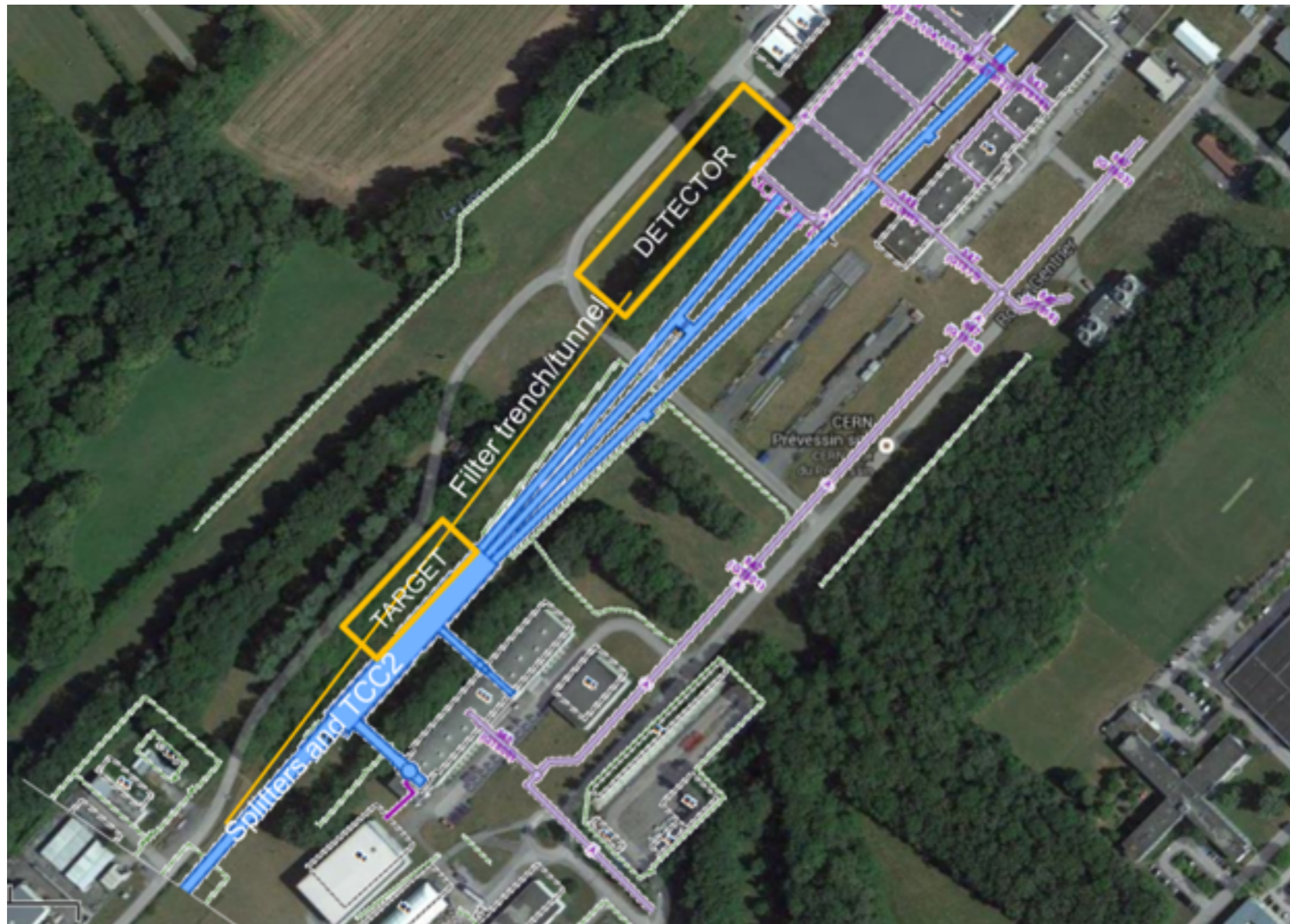


Il fascio

- Fascio SPS estratto 400GeV; intensità' come CNGS 4.5×10^{19} pot/anno.
- Se upgrade PS si puo' arrivare a 7×10^{19}
- caratteristiche dei fasci discusse in grande dettaglio con esperti del CERN —>design realistico —>5 anni di run SENZA UPGRADE: 2×10^{20} pot



Possibile zona sperimentale

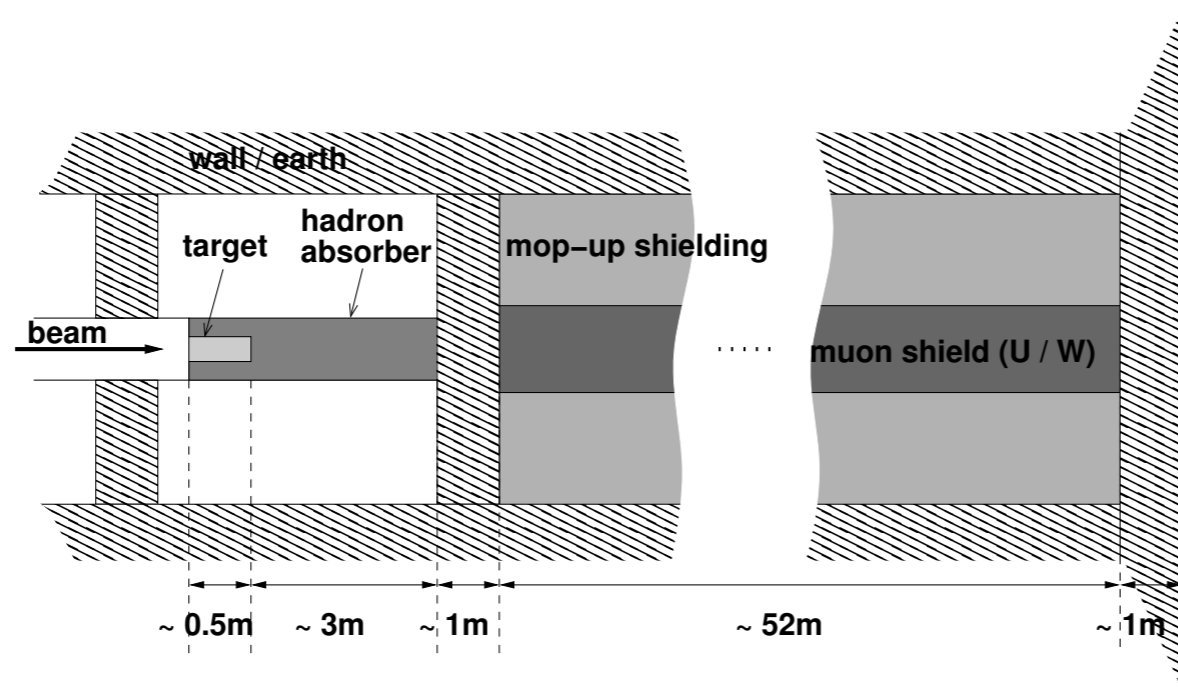


Rivelatore
posto IN
SUPERFICIE

Estrazione in SPS-LSS2, beam switch lungo la transfer line (TT20) alla posizione dei magneti di splitting MSSB2117. Studio di fattibilita' in corso al CERN.

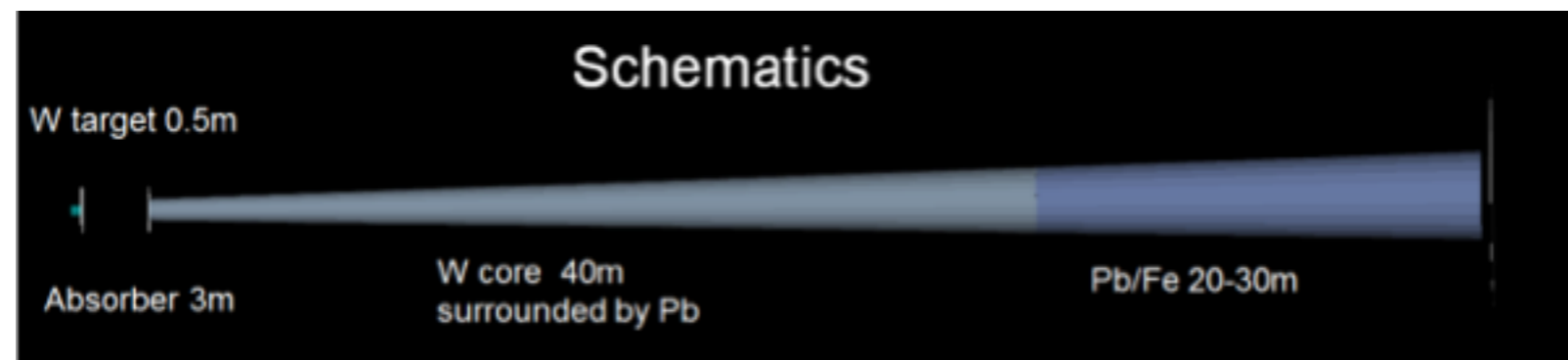
gli studi effettuati per il proposal della facility del neutrino molto utili per noi

Bersaglio e filtro per muoni



- **Bersaglio di W (50cm-1m) : il fascio va allargato e/o diluito sul bersaglio per evitare fusione, seguito da assorbitore adroni e un filtro per muoni con due opzioni allo studio**
- **Problema non banale perche' il flusso di muoni e' enorme: 10^{11} /SPS-spill(5×10^{13} pot);**
 - **per ora la baseline per l'estrazione e' 1sec (CNGS $10\mu\text{s}$), ma la fattibilita' e' allo studio della divisione AC del CERN**
 - **sicuramente il problema tecnico piu' difficile dell'esperimento**
- Stiamo ottimizzando i parametri: nulla e' deciso/congelato

Filtro passivo

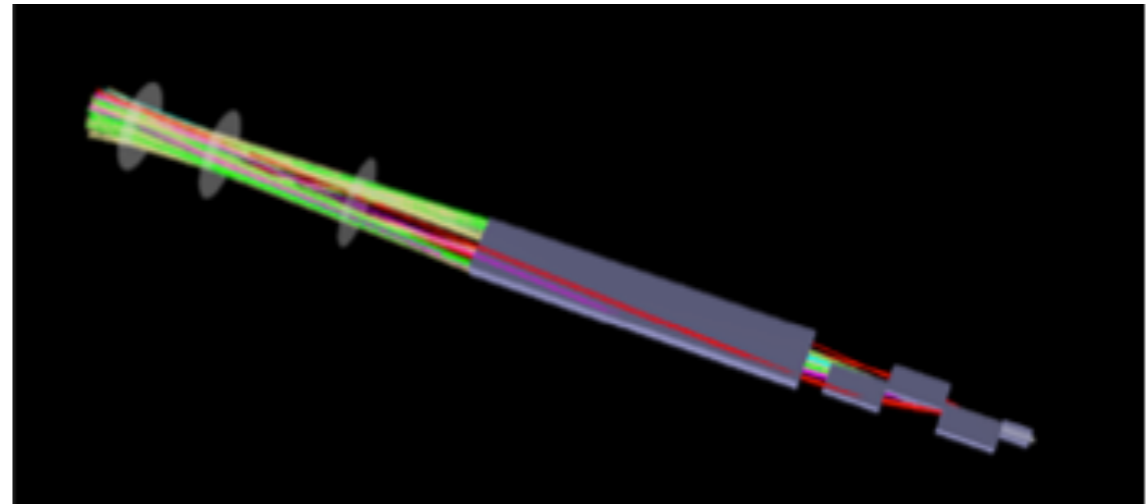


- Simulazione con PYTHIA8/GEANT4
- Un cono di solo W troppo caro
- Miglior compromesso: nocciolo di W 250t di 40m (10M€ x costo al Kg/40€) circondato da Pb (2500t); totale 70m
- dopo 40m lo scattering multiplo e' così grande che non vale la pena di continuare con un nocciolo di W
- rate di muoni stimato sullo spettrometro: 25k/spill da $5e13$

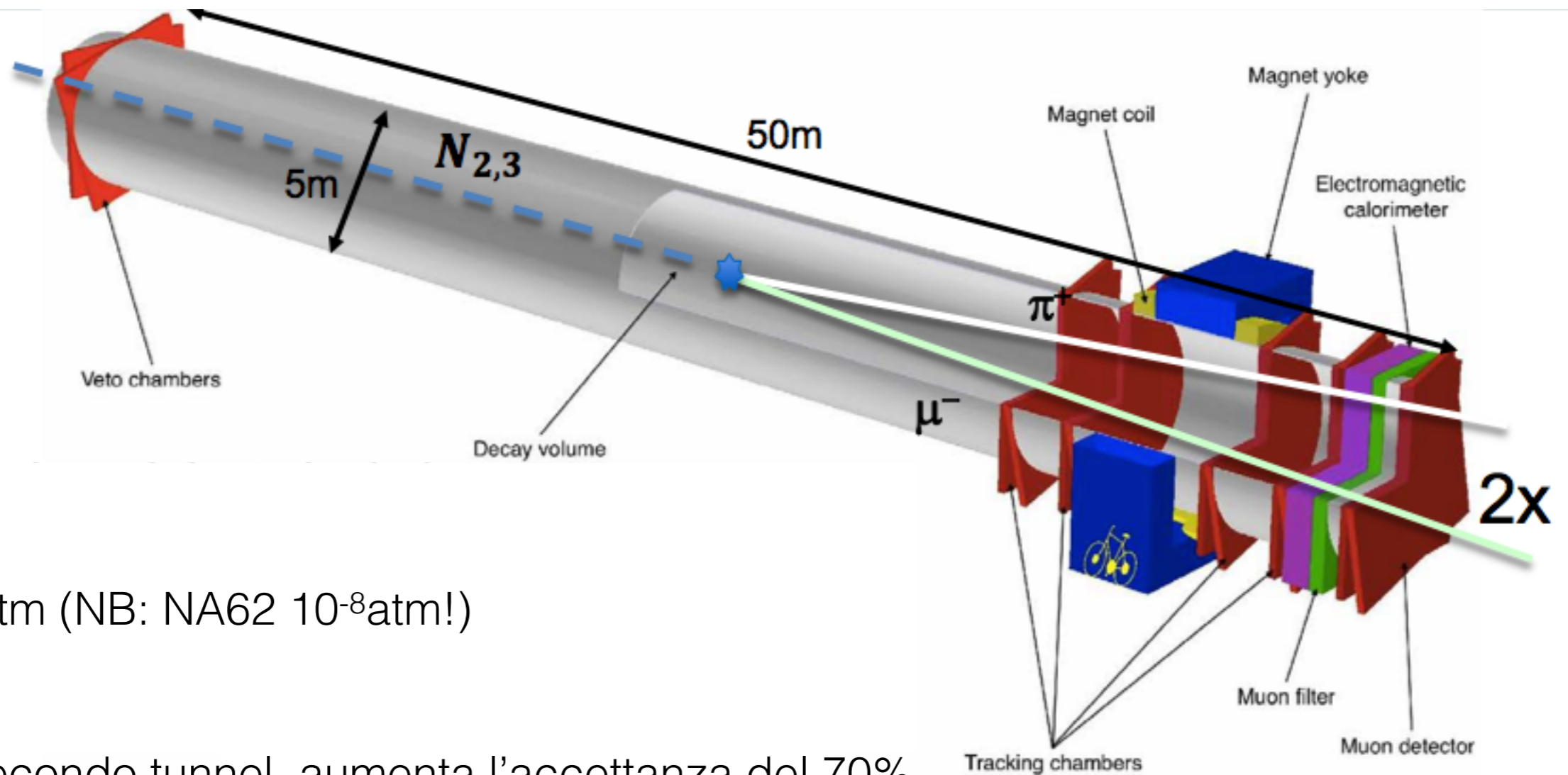
Filtro attivo

W.Flegel

- Soluzione più attraente da molti punti di vista (anche economico)
- Problema principale: il campo di ritorno che piega i mu nella direzione sbagliata
- Moduli di 6m con campo di ritorno alternato destra-sinistra: 150t di Fe con $B=1.85T$
- Possibilmente seguito da un filtro passivo di 3000t di Fe di
- Problema ulteriore: dove vanno i muoni deflessi? necessaria anche la simulazione delle pareti del tunnel
- attualmente un fattore 20 peggio della soluzione passiva. Work in progress.



Tunnel di decadimento e spettrometro



Vuoto 10^{-5} atm (NB: NA62 10^{-8} atm!)

L'uso del secondo tunnel aumenta l'accettazione del 70%

Rivelatori proposti

- **Quasi nessun R&D da fare: ce la possiamo fare con rivelatori di tipo tradizionale, ottimizzando i parametri**
 - **—>questo significa che dall'approvazione si puo' iniziare subito a costruire il rivelatore**
- **Camere a mu e filtri (x3)—> da progettare. Si potrebbe recuperare da OPERA, almeno parzialmente. Stiamo considerando anche WPC a' la LHCb e eventualmente RPC di nuova generazione.**
- Rivelatore per ν_τ (vedi dopo)
- trigger e acquisizione dati: pensiamo di utilizzare il modello HLT dell'upgrade di LHCb (i.e. no L0)
- rivelatore di VETO per le interazioni di neutrino nel filtro di muoni: interessante!

Il magnete (x2)

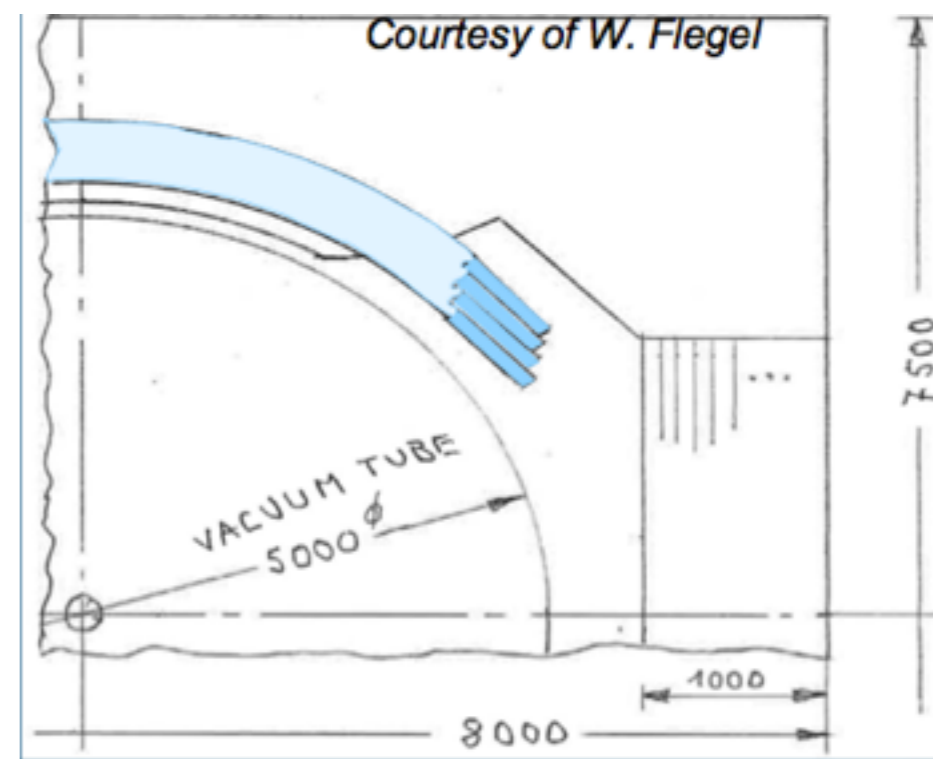
- L'esperimento richiede un magnete dipolare simile a quello di LHCb, ma con 40% meno ferro e tre volte meno potenza dissipata.

- LHCb: 4Tm e Apertura di $\sim 16 \text{ m}^2$

- Questo design:

- Apertura 20 m^2
- Due bobine di Al-99.7
- Campo di picco $\sim 0.2 \text{ T}$
- Integrale di campo $\sim 0.5 \text{ Tm}$ su 5 m

+ magnete per rivelatore di ν_τ (possibilmente recuperato da qualche magnete al CERN o altrove)

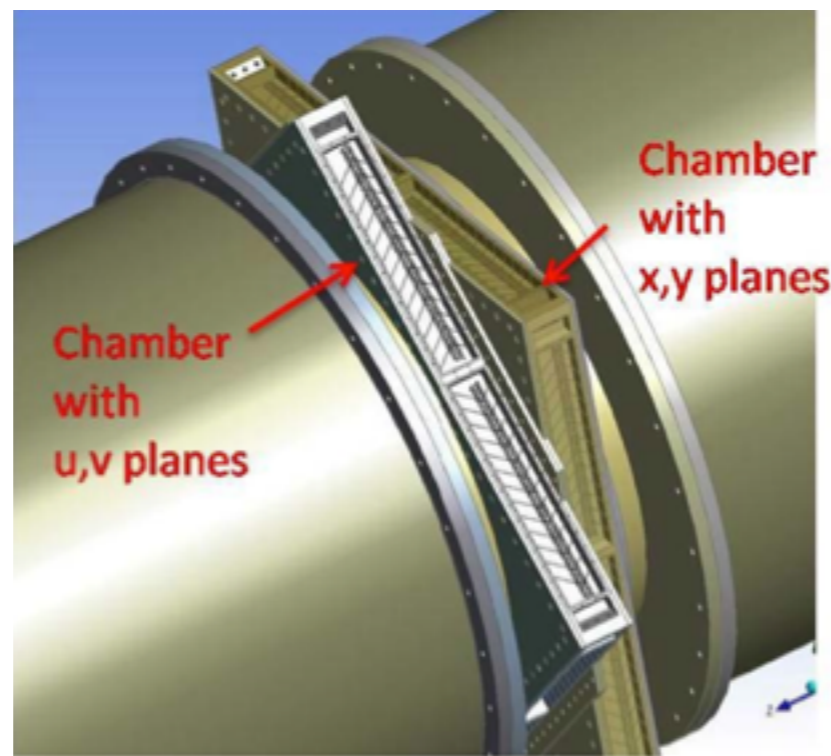
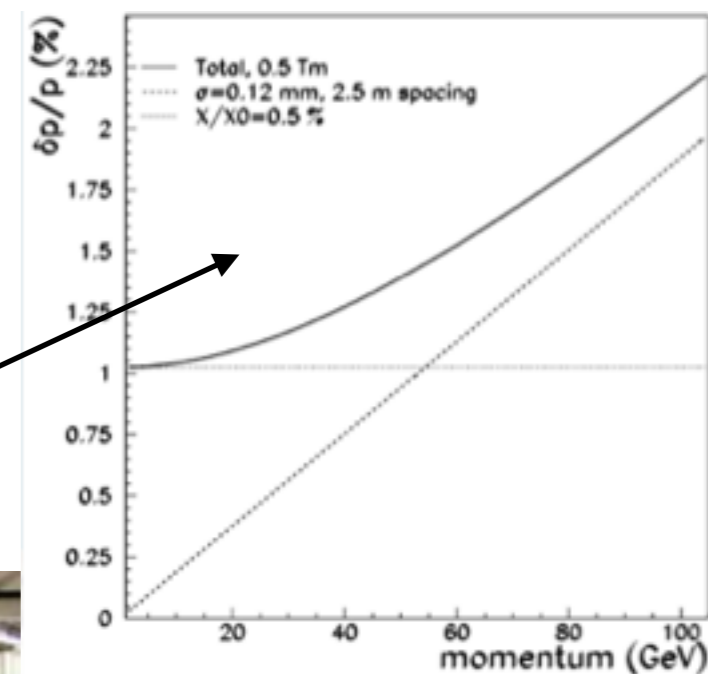


Possibili camere di tracciamento

NA62 vacuum tank e straw tracker
< 10^{-5} mbar di pressione nel tank di NA62

Straw tubes con risoluzione spaziale di $120 \mu\text{m}$
 0.5% X_0/X di material budget

Risoluzione in impulso ottenuta nel nostro caso



Soppressione fondi

Interazioni di neutrini muonici

1. nel tunnel di decadimento: a pressione atmosferica 2×10^4 interazioni \rightarrow vuoto 10 bar (molto meno di NA62 che usa 10 bar!)

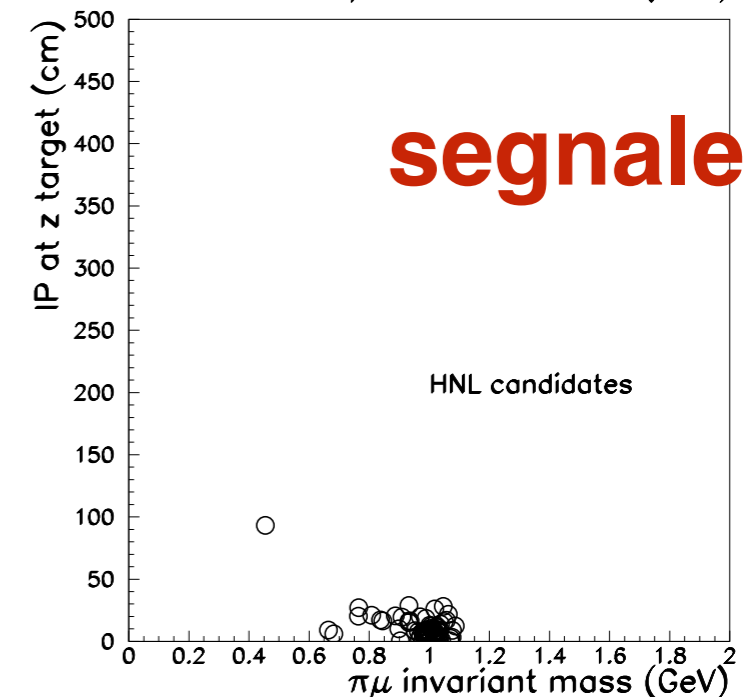
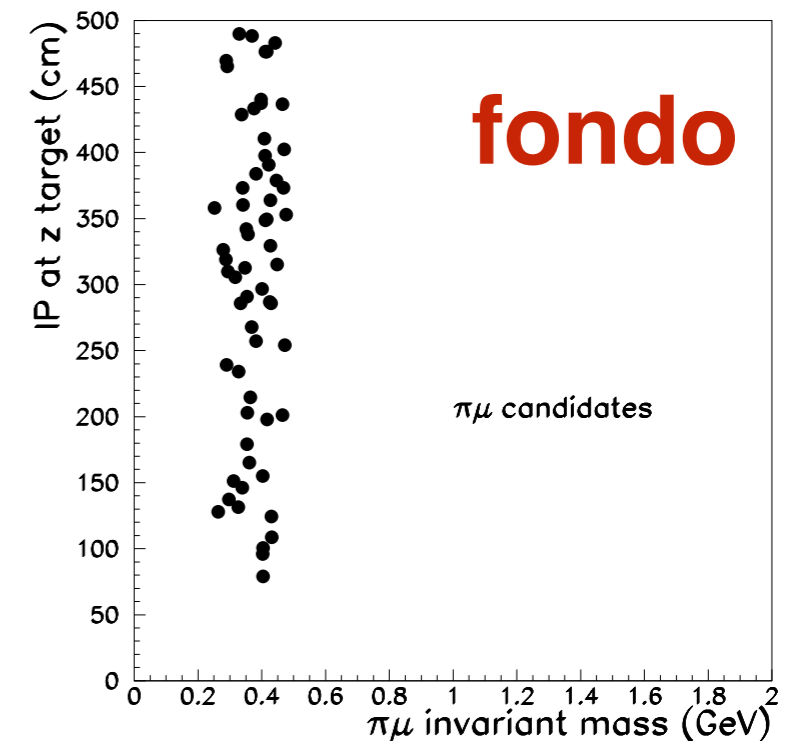
2. nell'ultima lunghezza di interazione del dump \rightarrow produzione di $K_L \rightarrow \mu \pi \nu$

in 2×10^{20} pot 600k CC interazioni di $\nu_\mu \rightarrow$ 150 eventi con entrambe le particelle cariche che escono dallo spettrometro \rightarrow rigettate da tagli cinematica sul parametro di impatto

inoltre un altro fattore 10-40 si puo' ottenere equipaggiando l'ultima parte del dump con un rivelatore attivo per "taggare" le interazioni di neutrino

produzione di K_0L potrete essere molto maggiore se il fondo da muoni DIS e' maggiore di quello di neutrini

in ogni caso e' importante sopprimere il K_0L anche sopra 500MeV perche' non sappiamo ancora come e se riusciremo a tenere sotto controllo le code non gaussiane della risoluzione in impulso



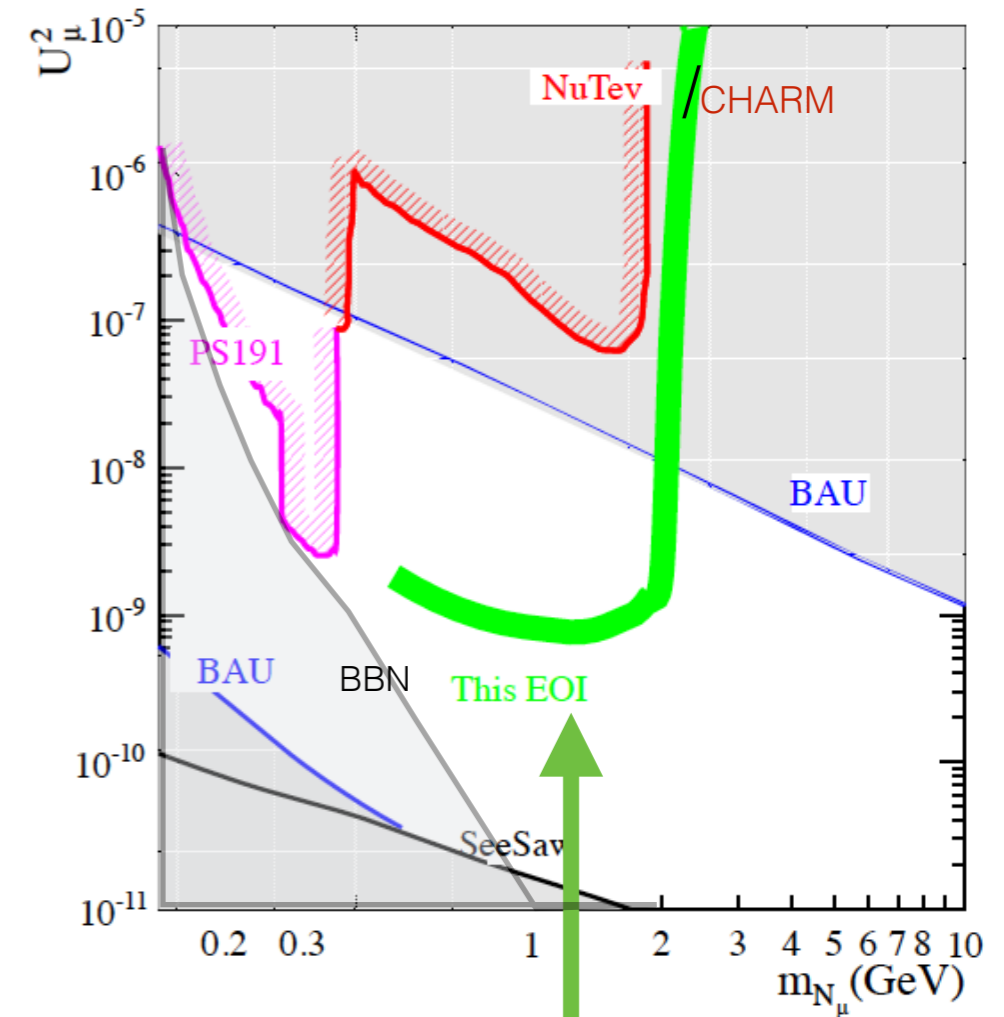
Sensibilita'

(gerarchia di massa dei neutrini attivi inversa)

Assumendo 0 fondo (che pare ben giustificato dai nostri studi)

—> **finestra di opportunità'** per questo esperimento di sondare la zona di interesse cosmologico

- se si rinuncia a spiegare la Dark Matter —> modello molto meno vincolato, spazio dei parametri di interesse cosmologico più esteso, HNL non degeneri



solo con $N \rightarrow \mu\pi$

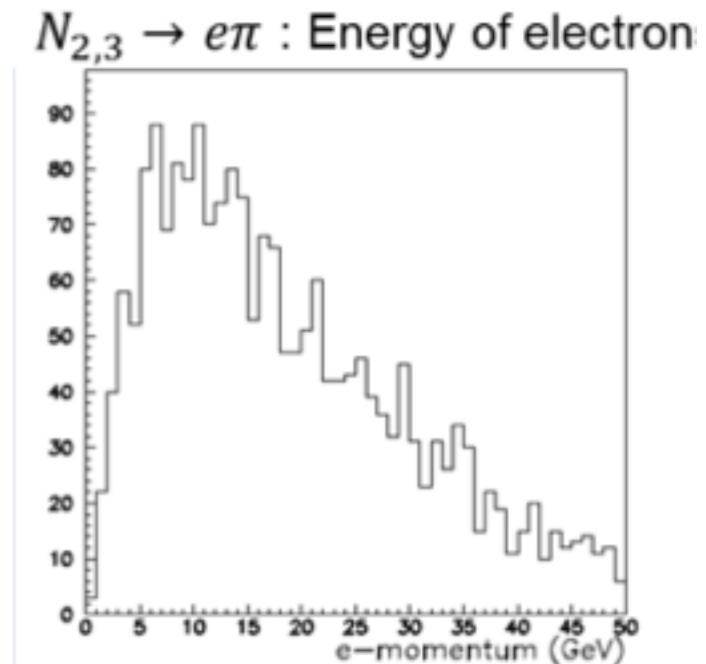
(in uno scenario in cui l'accoppiamento al sapore muonico e' dominante)

Altri canali

Un calorimetro e.m. permetterebbe la ricostruzione di modi addizionali di decadimento:

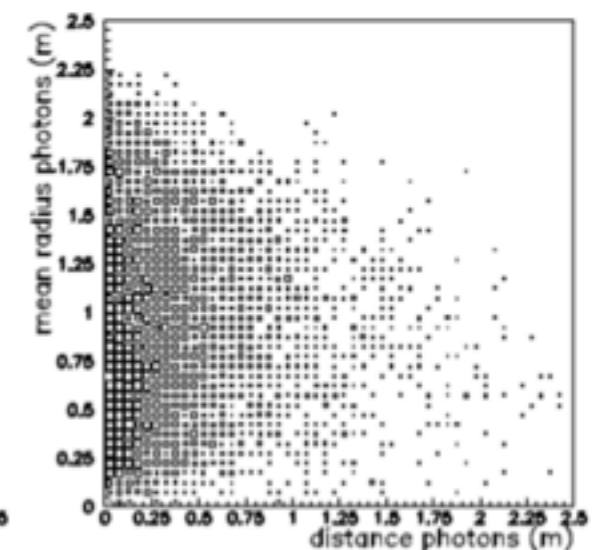
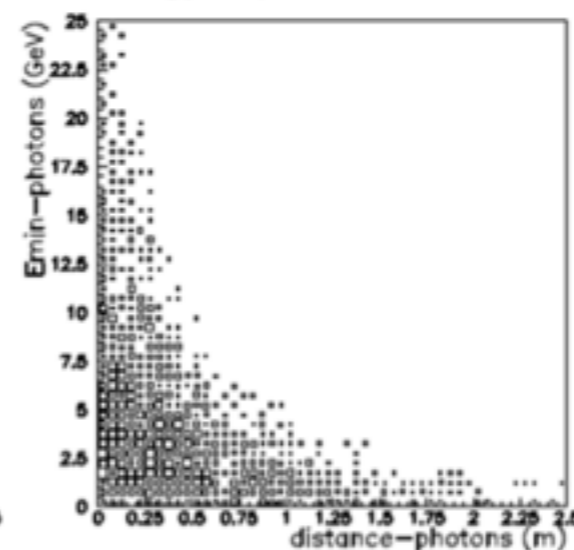
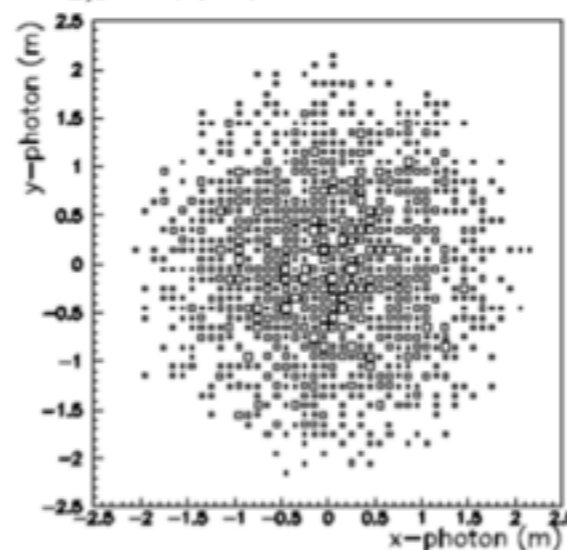
$N \rightarrow e^+ \pi^-$ che permetterebbe di accedere al limite su U_e (essendo la struttura di flavor non nota questi canali potrebbero anche essere favoriti!)

$N \rightarrow \mu^+ \rho^-$ con $\rho^- \rightarrow \pi^- \pi^0$ che permetterebbe di migliorare il limite su U_μ (tipicamente lo stesso BR di $\mu + \pi^-$, per $m > 700 \text{ MeV}$)

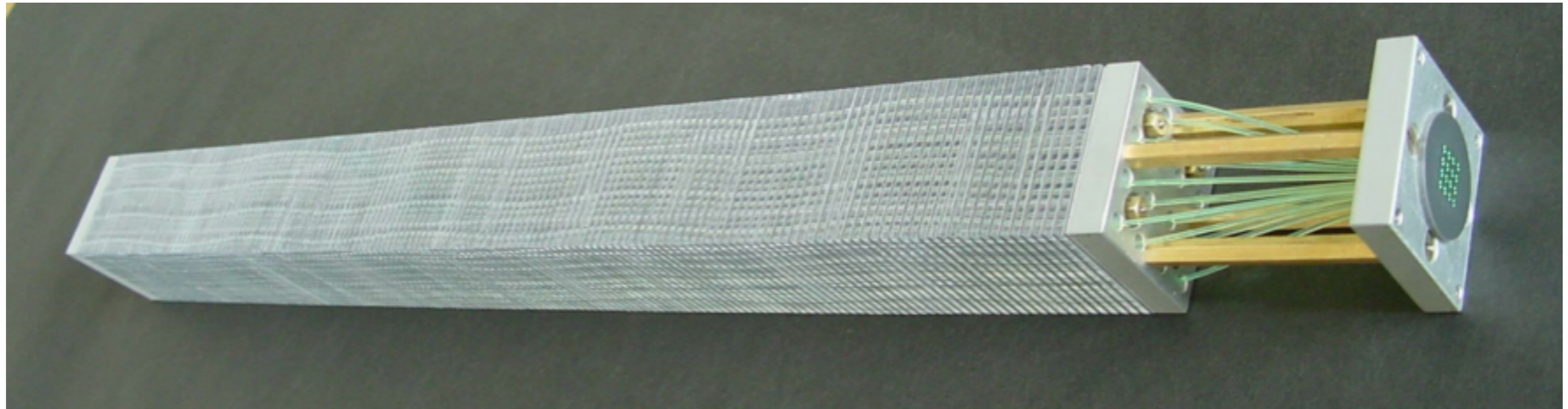


Assumendo celle calorimetriche di 10cm

$N_{2,3} \rightarrow \mu\rho, \rho \rightarrow \pi\pi^0$: Position and energy of photons



Un possibile calorimetro



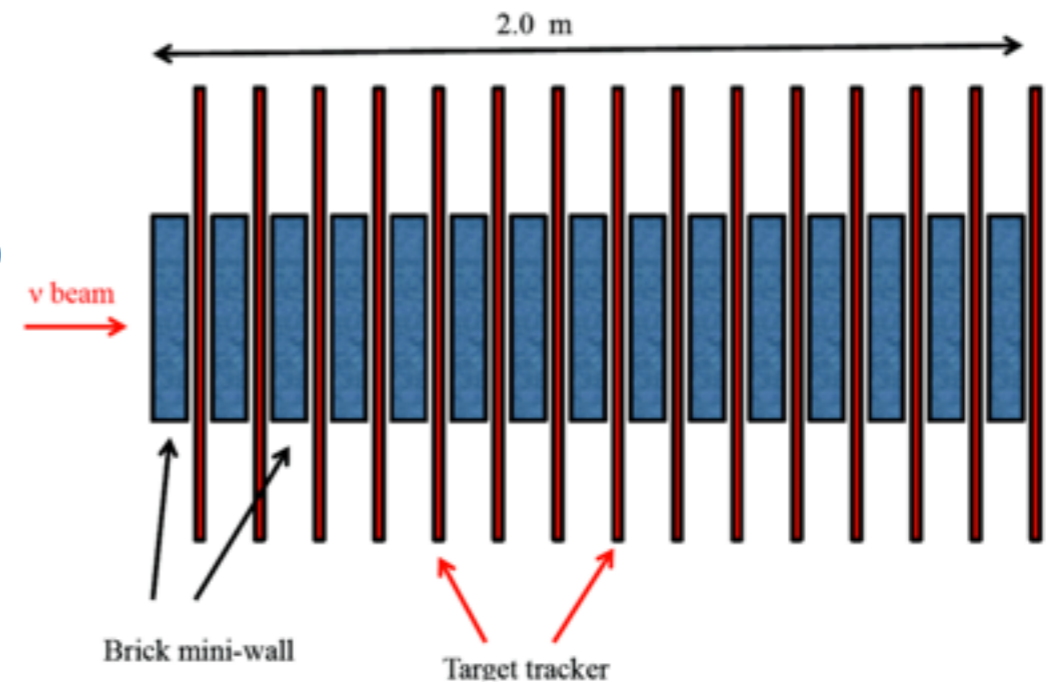
- Il calorimetro Shashlik a spirale proposto dal gruppo di IHEP Protvino (non ancora ufficialmente membro di SHIP)
 - Uniformita' qualche %, risoluzione temporale $\sigma \sim 1\text{ns}$ quale $\sigma(E)/E = 6.5\%/\sqrt{E} \oplus 1\%$
 - con possibilmente un pre-shower per distinguere γ da π^0

Fisica del ν_τ

Studio delle interazioni del neutrino τ con statistica 100x attuale

L'esperimento DONUT ha osservato 9 eventi (da charm) con 1.5 stimato di fondo

L'esperimento OPERA ha osservato 4 eventi (da oscillazione)



Rivelatore a emulsioni con la tecnologia di OPERA (De Lellis) ma con massa molto minore (375 mattoni) molto compatto (2m) posto davanti al tunnel di decadimento per il HNL \rightarrow immerso in campo B (consentirebbe l'identificazione di anti- ν_τ , mai osservati) e seguito da un rivelatore di muoni (per sopprimere il fondo di charm)

Si stima di dovere cambiare il rivelatore circa 10 volte nel corso del run \rightarrow totale di 2700 m² di plates di emulsioni \rightarrow 2.5% di OPERA

Stato della proposta (i)

- **SPC EOI-2013-010 + addendum sottomessa Ottobre 2013 e discussa alla riunione. EOI trasmessa e discussa al Research Board ma non ancora valutata da quest'ultimo.**
- **interazione con referee di SPSc e discussione alla riunione di Gennaio 2014.**

- **Raccomandazione SPSc:**

The Committee **received with interest** the response of the proponents to the questions raised in its review of EOI010.

The SPSC **recognises** the interesting physics potential of searching for heavy neutral leptons and investigating the properties of neutrinos.

Considering the large cost and complexity of the required beam infrastructure as well as the significant associated beam intensity, such a project should be designed as a general purpose beam dump facility with the broadest possible physics programme, including maximum reach in the investigation of the hidden sector.

To further review the project the Committee **would need** an extended proposal with further developed physics goals, a more detailed technical design and a stronger collaboration.

Stato della proposta (2)

L'Extended Directorat del CERN ha istituito (la settimana scorsa) una task force composta da fisici degli acceleratori del CERN (Saban, Goddard, Arduini, Gaignon ecc.) per dare un "first assessment" per la fattibilità e costi del nostro esperimento in termini di beam line e dump

già si è svolta una prima riunione con la collaborazione; una versione preliminare del documento sarà disponibile a fine Aprile. Un draft è già pronto.

Pagina web <http://ship.web.cern.ch/ship/>

Tempo stimato per il proposal: 1 anno.

Costo stimato: 100M per il fascio 30M per il rivelatore (inclusi i contributi in-kind)

Il workshop di Zurigo

Primo meeting open di Collaborazione il 10-12 Giugno a Zurigo: sara' un workshop a cui sono invitati molti teorici e si discuterà un progetto tecnico preliminare dell'esperimento

ISCRIVETEVI!!!!!!!!!!

Day 1 (Tuesday 10 June)	Day 2 (Wednesday 11 June)
	9.00 - 12.30 with one coffee break for 30': <i>Continued theory session</i>
	<ul style="list-style-type: none"> • Light long lived particles in astrophysics and cosmology • Warm versus cold dark matter • X-ray searches of decaying dark matter • String theory and scale of new physics • HNL peak searches • Previous searches of HNL at CERN • Searches at Belle and LHCb
	12.30-14.00 Lunch
13:30: Arrival coffee 14:00 - 18:30 <i>Introduction</i>	14.00 - 18:30 with one coffee break for 30': <i>Overall requirements to the beam dump and detector performance</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Status of SM and BSM physics • Overview of possible general SPS fixed target programme 	<ul style="list-style-type: none"> • Primary beam line • Target design • RP aspects • Muon shield • Design of the vacuum vessel • Magnet design (low field) • Tracking technologies • Calorimeters • Muon detector
<i>Session 1: Heavy Neutral Leptons</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • The scale of see-saw and models for neutrino masses • Summary of constraints on HNL masses and mixings • Indirect constraints on HNL from lepton number violation 	
<i>Session 2: Heavy Neutral Leptons, ctd</i>	19:00: Dinner 21:00 -: Bar-storming discussion
<ul style="list-style-type: none"> • Expectations for HNL properties from BSM physics • Overview of vMSM • HNLs and Baryogenesis • HNL in astrophysics 	Day 3 (Thursday 12 June)
Coffee/tea	09:00 - 12:00 with one coffee break for 30': <i>Continued detector session</i>
<i>Session 3: SUSY</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Tau neutrino detector • Instrumentation of the end-part of the muon shield ("upstream tagger") • Electronics • DAQ • Computing (including simulation)
<ul style="list-style-type: none"> • Sgoldstino • R-parity violation and light neutralino • Model building with R-violation 	12.30-14.00 Lunch
<i>Session 4: Higgs, axion and vector portals</i>	14.00 - 16.00 <i>Summary session, including presentation on collaboration/structure/commitments/project structure, open/guided brainstorming on topics, and summaries of specific topics, and plans.</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Overview of portals to hidden sectors • Scalars and pseudoscalars • Dark photons 	<ul style="list-style-type: none"> • Collaboration matters • Summary and next steps

Visti da fuori(1)

Final remarks



- New physics can show up at low energy, in the form of low-mass BSM particles (ν MSM neutral leptons, sterile ν 's, axions, low-mass WIMPS) or high-scale phenomena revealed by low-scale processes (B, D decays/mixings, $\mu \rightarrow e\gamma$, $g-2$, EDM, etc)

First expressions of interest for physics with the injectors

Search for Heavy Neutral Leptons at SPS



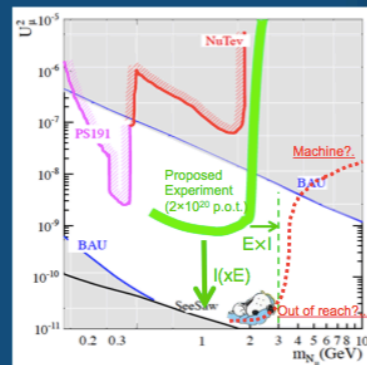
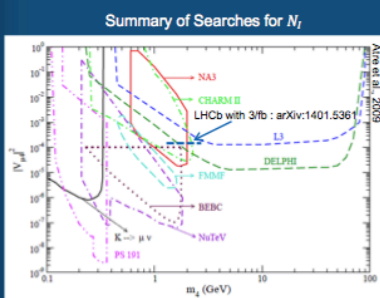
Richard Jacobsson
on behalf of
Search for Hidden Particles - SHIP Collaboration

- ν MSM : Minimal SM extension with solutions to the main BSM questions with "least prejudice"
 - Origin of the baryon asymmetry of the Universe
 - Origin of neutrino oscillations and mass
 - Shed light on the nature of Dark Matter
- Evaluation of complete physics program with very weakly interacting and long-lived particles
 - General purpose beam dump facility
 - The proposed experiment perfectly complements the searches for NP at the LHC
- Sensitivity demonstrated with ν MSM for $M_N < 2 \text{ GeV}$ and 2×10^{20} p.o.t.
 - Discovery potential in cosmologically favoured region with $10^{-7} < U_\mu^2 < a \text{ few} \times 10^{-9}$
 - Improved with the additional decay modes
 - Improved with an SPS: 7×10^{13} p.o.t. and ms / second extraction
 - Below $U^2 \sim 10^{-9}$ and $M_N > 2 \text{ GeV}$ → Clearly new machine! → FCC Injectors with fixed-target facility

Prospects for Future

Current sensitivity based on current SPS with 2×10^{20} p.o.t in ~5 years of operation

- HNLs very constrained by simultaneously aiming at answering to neutrino masses, BAU and DM.
- Primary interest to reach seesaw limit



→ Colliders out of luck

→ Search for Hidden Sector light objects → Intensity Frontier
→ Complementary by use of fixed target facility on FCC Injectors (fast cycling!)

• Fiducial volumes

**Ancora Mangano
al Workshop del FCC
di Febbraio a
Ginevra!!!!**

FHC.1.4 Opportunities other than pp physics:

FHC.1.4.1 Heavy Ion Collisions

FHC.1.4.2 Fixed target experiments:

FHC.1.4.2.1 "Intensity frontier": kaon physics, $\mu 2e$ conversions, beam dump experiments and searches for heavy photons, heavy neutrals, and other exotica...

FHC.1.4.2.2 Heavy Ion beams for fixed-target experiments

Visti da fuori(2)

Is it the end?



Certainly not!

- Dark matter
- Baryon Asymmetry in Universe
- Neutrino masses

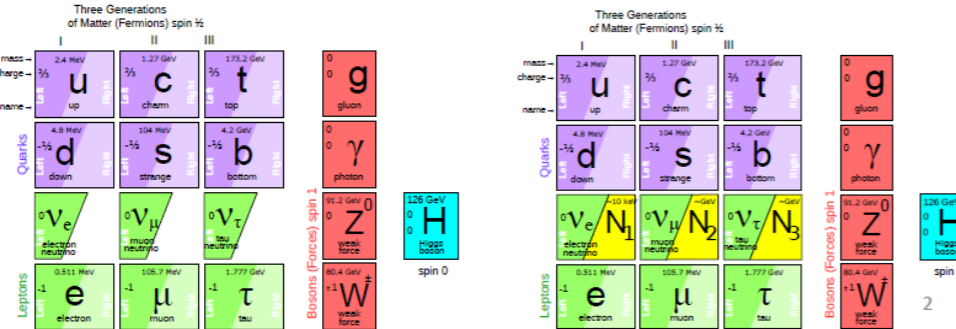
are experimental proofs that there is more to understand.

We must continue our quest


Alain Blondel FCC-ee experiments summary

at least 3 pieces are still missing



Since 1998 it is established that neutrinos have mass and this very probably implies new degrees of freedom
 → «sterile», very small coupling to known particles
 completely unknown masses (eV to ZeV), nearly impossible to find.
 but could perhaps explain all: DM, BAU, ν-masses



Blondel, plenary summary
 FCC-ee al Workshop
 di Febbraio a
 Ginevra!!!!

Conclusioni

- **Test di una spiegazione alternativa rispetto ai soliti modelli (SUSY, ED) di importanti fenomeni osservati non compatibili con il Modello Standard**
- **L'osservazione di decadimenti nell'esperimento e' manifestazione diretta di Nuova Fisica**
- **Tecniche complementari rispetto a esperimenti esistenti —>lunghe vite medie**
- Anche fisica dei neutrini attivi, per gli appassionati

Conclusioni (2)

- **Il fascio c'e' e il rivelatore si puo' costruire in breve tempo appena data l'approvazione. Tutte le tecnologie proposte esistono e funzionano! Non ci sono R&D cruciali per l'esperimento che necessitino di anni di studi preliminari.**
- **Una proposta che il CERN sta valutando molto seriamente. Nessuna altra facility al mondo ha (e aggiungerei avra', viste le proposte in circolazione) le potenzialita' per effettuare questa misura con sensibilita' competitive o comunque in grado di sondare la regione di interesse cosmologico, per $m > m_K$**
- **Una grande opportunita' per l'Ente di imbarcarsi su questa nave e decidere la rotta!**

Dovevamo parlare di N_1

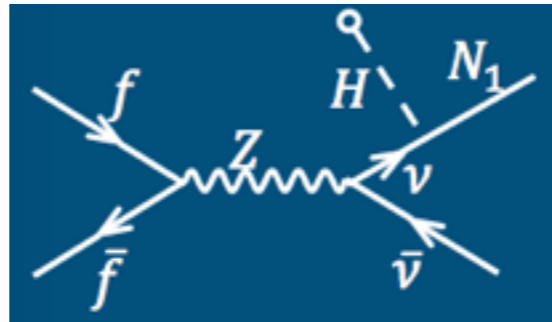
- Stabilita' $\rightarrow \tau > \tau(\text{universo})$

limite dal Principio di Pauli

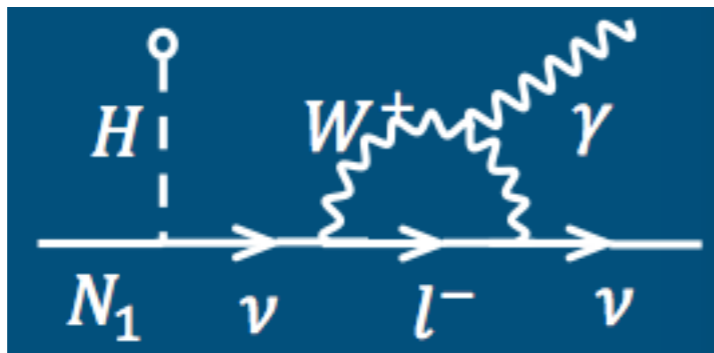
- Produzione \rightarrow creato nell'Universo nella fase iniziale nelle reazioni

$$ll \rightarrow \nu N_1, qq \rightarrow \nu N_1$$

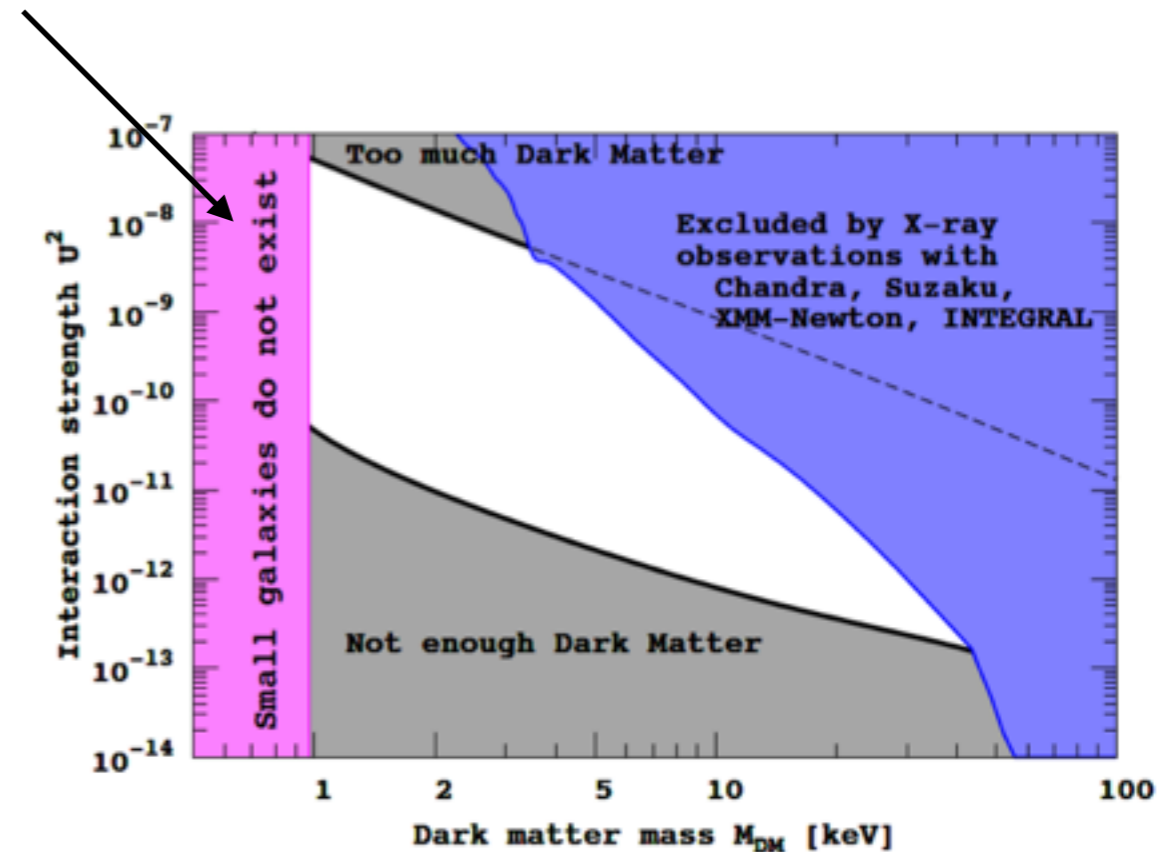
deve fornire la corretta abbondanza di DM



- Decadimento \rightarrow il decadimento radiativo $N_1 \rightarrow \gamma \nu$ fornisce una linea nello spettro X a $E(\gamma) = m_{N_1}/2$



- Allargamento linea da Doppler e da effetti strumentali vari



**zona di esclusione
(OTTENUTA CON MISURE
SU SINGOLE GALASSIE)**

CNN breaking news

DETECTION OF AN UNIDENTIFIED EMISSION LINE IN THE STACKED X-RAY SPECTRUM OF GALAXY CLUSTERS

ESRA BULBUL^{1,2}, MAXIM MARKEVITCH², ADAM FOSTER¹, RANDALL K. SMITH¹ MICHAEL LOEWENSTEIN², AND SCOTT W. RANDALL¹

¹ Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, 60 Garden Street, Cambridge, MA 02138.

² NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD, USA.

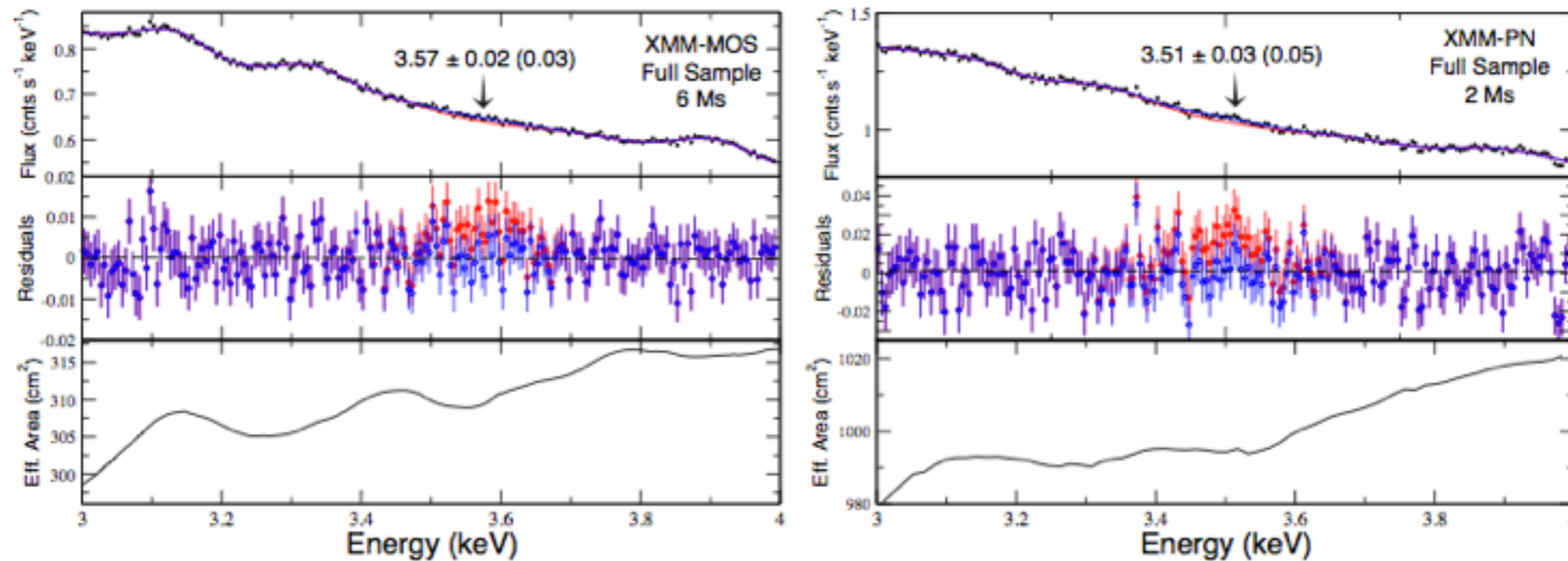
Submitted to ApJ, 2014 February 10

arXiv:1402.2301v1 [astro-ph.CO] 10 Feb 2014

there should be no atomic transitions in thermal plasma at this energy. An intriguing possibility is the decay of sterile neutrino, a long-sought dark matter particle candidate. Assuming that all dark matter is in sterile neutrinos with $m_s = 2E = 7.1$ keV, our detection in the full sample corresponds to a neutrino decay mixing angle $\sin^2(2\theta) \approx 7 \times 10^{-11}$, below the previous upper limits. However, based on the cluster masses and distances, the line in Perseus is much brighter than expected in this model

- idea: mettere insieme 73 osservazioni di cluster di galassie per aumentare la statistica: analizzate le osservazioni di XMM-Newton e Chandra. Correzioni per il red-shift (0.01-0.35)

Un esempio di plot



- incompatibile, dicono gli autori, con linee atomiche note e con possibili effetti strumentali (non sono un esperto per giudicare se hanno ragione)
- la significanza dichiarata e' 3σ in vari sub-campioni — >pertanto e' il caso di aspettare ed essere cauti.

Un'altra breaking news!

An unidentified line in X-ray spectra of the Andromeda galaxy and Perseus galaxy cluster

A. Boyarsky¹, O. Ruchayskiy², D. Iakubovskiy^{3,4} and J. Franse^{1,5}

¹Instituut-Lorentz for Theoretical Physics, Universiteit Leiden, Niels Bohrweg 2, Leiden, The Netherlands

²Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, FSB/ITP/LPPC, BSP, CH-1015, Lausanne, Switzerland

³Bogolyubov Institute of Theoretical Physics, Metrologichna Str. 14-b, 03680, Kyiv, Ukraine

⁴National University "Kyiv-Mohyla Academy", Skovorody Str. 2, 04070, Kyiv, Ukraine

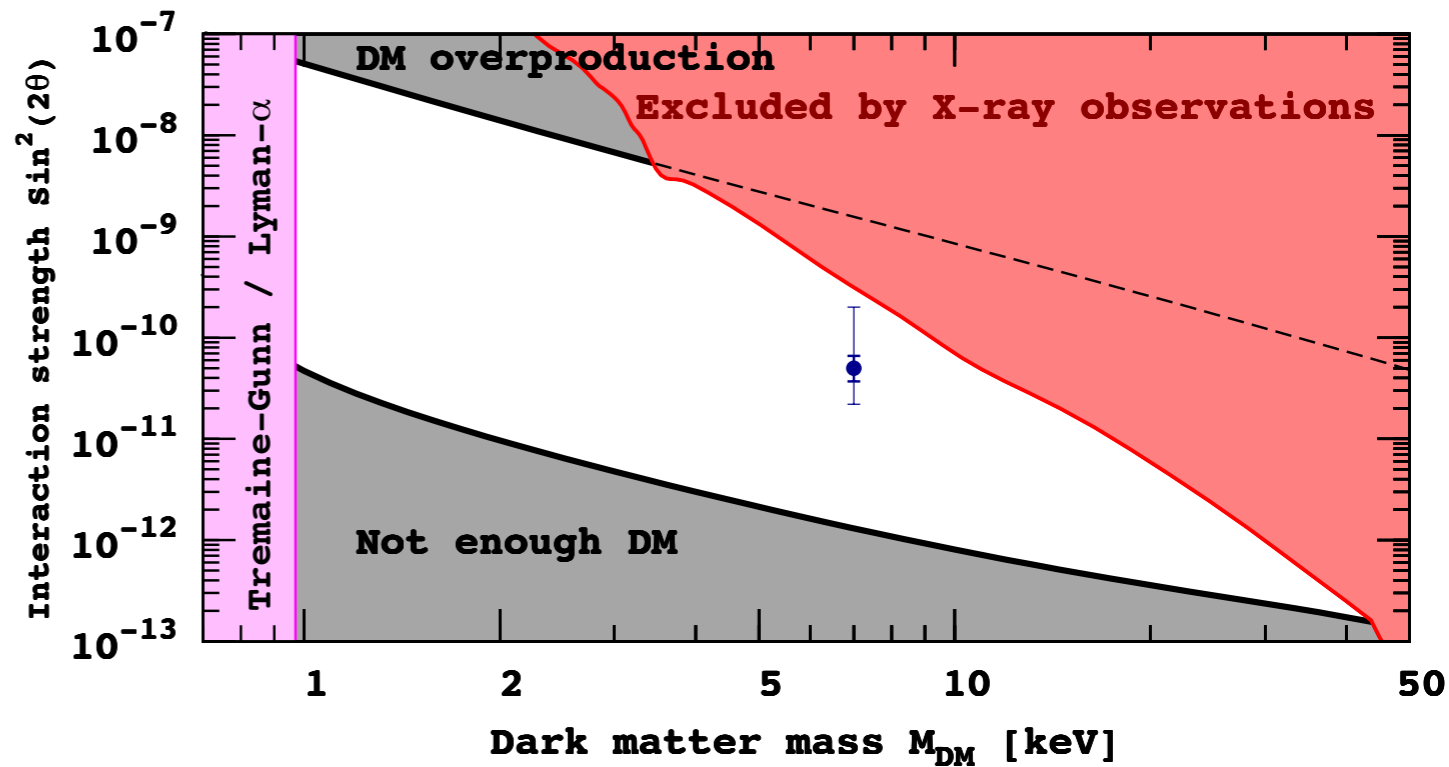
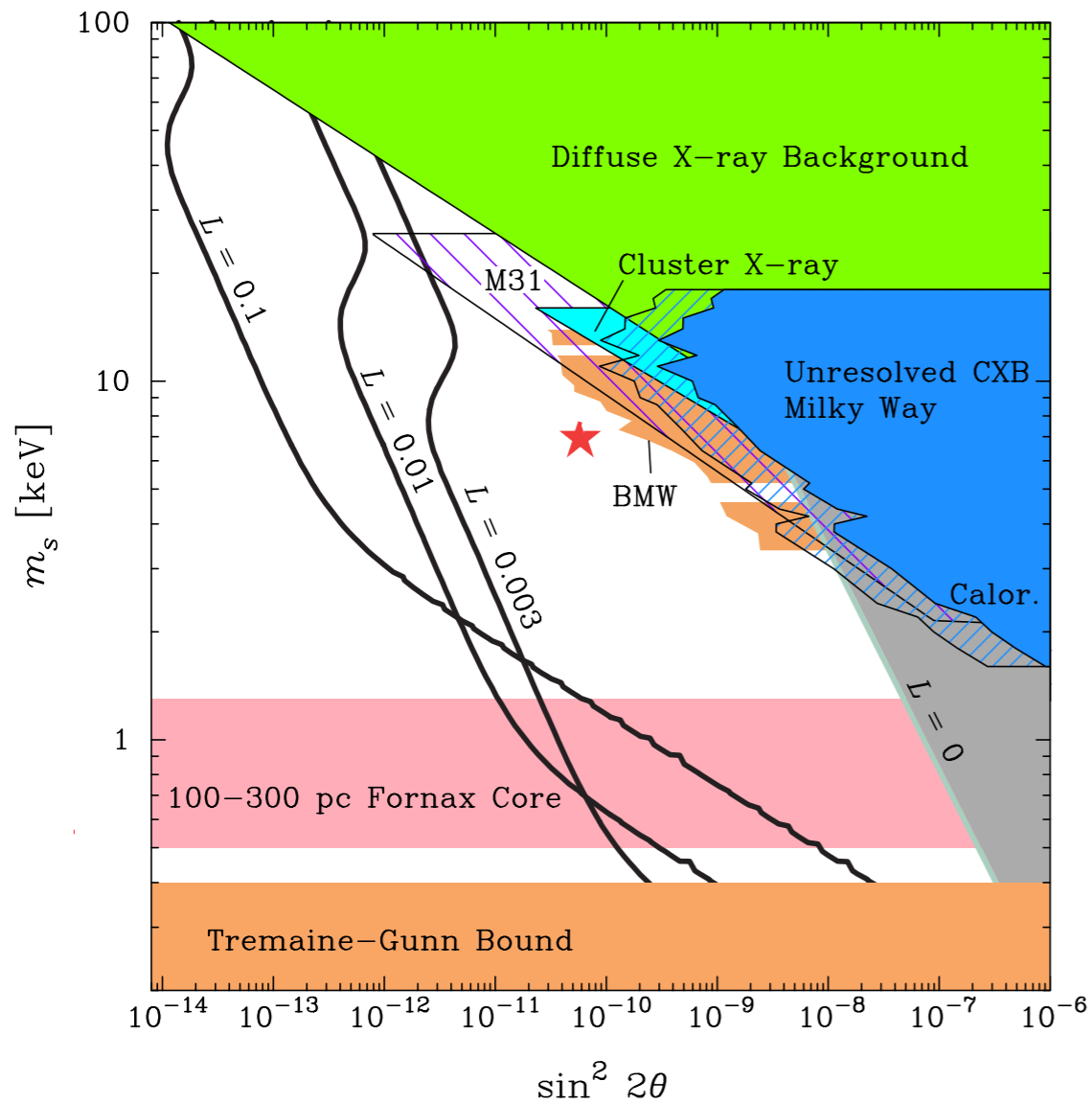
⁵Leiden Observatory, Leiden University, Niels Bohrweg 2, Leiden, The Netherlands

We identify a weak line at $E \sim 3.5$ keV in X-ray spectra of the Andromeda galaxy and the Perseus galaxy cluster – two dark matter-dominated objects, for which there exist deep exposures with the XMM-Newton X-ray observatory. Such a line was not previously known to be present in the spectra of galaxies or galaxy clusters. Although the line is weak, it has a clear tendency to become stronger towards the centers of the objects; it is stronger for the Perseus cluster than for the Andromeda galaxy and is absent in the spectrum of a very deep “blank sky” dataset. Although for individual objects it is hard to exclude the possibility that the feature is due to an instrumental effect or an atomic line of anomalous brightness, it is consistent with the behavior of a line originating from the decay of dark matter particles. Future detections or non-detections of this line in multiple astrophysical targets may help to reveal its nature.

arXiv:1402.4119v1 [astro-ph.CO] 17 Feb 2014

- **Osservazione consistente di una linea at 3.5KeV with 3-4 σ significance**
- **Analisi diversa dalla precedente e su dati diversi, con controlli anche sulla dipendenza radiale e sul contenuto relativo di DM**
- **Molte analisi in corso che potranno chiarire la situazione**
- **Missione Astro-H sara' lanciata nel 2015 e aiuterà a chiarire la situazione**

For fun: nel grafico bi-dimensionale



Boyaarski et al.

Harvard, NASA ecc.

A mio avviso questi risultati non vanno presi come giustificazione dell'esperimento che proponiamo (di fatto sono solo hint) ma piuttosto come una dimostrazione che il campo e' vivo e c'e' un generale interesse!
vedremo...

Fine

Naturalmente...

nulla vieta che esperimenti in corso e/o pianificati non possano dare piacevoli sorprese...

- LHC upgrade HL
- LHC HE
- pp 100TeV
- TLEP
- ILC
- $g-2$
- Belle2
- MEG upgrade
- $\mu \rightarrow 3e$
- MuTOe
- NA62
- edm's

Collaborazione internazionale

Gruppo iniziale di poche persone:

CERN, I(Cagliari,Napoli), CH(Zurigo), UK (ICL): 4 spoke-
persons nella collaborazione! + vari teorici(EPFL,INR
Moscow, ILTP Leiden)

W. Bonivento^{1,2}, A. Boyarsky³, H. Dijkstra², U. Egede⁴, M. Ferro-Luzzi², B. Goddard², A. Golutvin⁴,
D. Gorbunov⁵, R. Jacobsson², J. Panman², M. Patel⁴, O. Ruchayskiy⁶, T. Ruf², N. Serra⁷, M. Shaposhnikov⁶,
D. Treille² (†)

+ G.DeLellis(NA), E.VanErwinen (CERN), F.Rademacher
(CERN)

Contatti avviati con molti altri gruppi in varie nazioni

Inflazione ecc.

- Il Modello di Shaposhnikov e' minimale perche' non introduce alcuna altra particella fino alla scala di Planck
- L'inflazione e' fornita dal Higgs, che si comporta come un inflatone (Berzukov, Shaposhnikov)
- I risultati di BICEP2 (rivelazione del modo B di polarizzazione del CMB con $r=0.20+0.07-0.05$), hanno in questi giorni creato molto interesse, la materia e' ancora fresca, ma già alcune interpretazioni sono state date:
 - vi sono stati articoli che sostenevano che la Higgs inflation fosse esclusa
 - a questi hanno risposto altri inclusi Shaposhnikov che invece hanno sostenuto che non ci sono problemi (arXiv:1403.5043, arXiv:1403.6078)