

Un esperimento di beam dump al CERN/SPS



Walter M. Bonivento
CERN/INFN Cagliari

a rappresentare la Collaborazione



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

(in crescita)

INFN Bari 26/05/2014

Momento importante

Questo seminario avviene nel pieno del processo What's Next INFN e due giorni dopo il meeting sul Futuro della CNS1

Un momento importante di riflessione sullo stato della nostra Professione e sui suoi scopi!

Questo e' il nostro contributo alla riflessione

Cosa e' SHIP

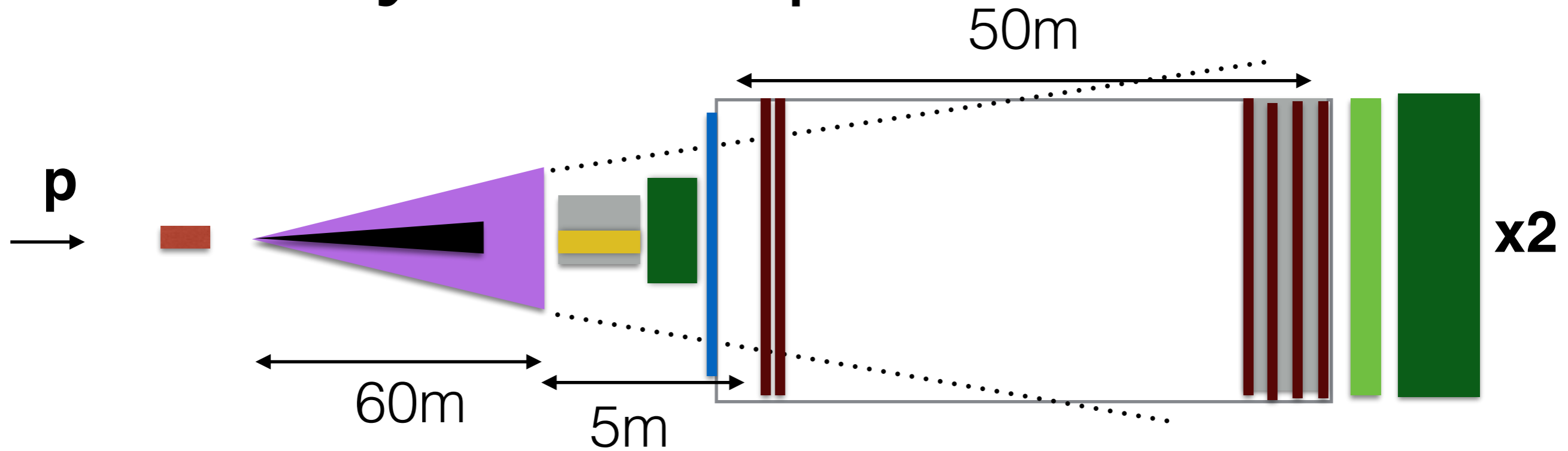
SHIP e' una proposta di esperimento di beam dump al SPS (400GeV p) del CERN

Obiettivi (per ora...):

A. rivelazione particelle a lunga vita media debolmente interagenti o sterili: sensibilità' statistica rispetto a esperimenti precedenti dello stesso tipo x10000

B. rivelazione ν_τ con sensibilità' statistica rispetto a esperimenti precedenti x200

Layout esperimento



lead/iron

tungsten

magnet

tracking

ECAL

UT+VETO

muon

rivelatore v_τ

Perche' e' importante
il fattore 10000?

Trionfo del Modello Standard !



Sommario risultati 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) Flavor \rightarrow per modelli senza MFV la scala di Nuova Fisica esclusa sale a 10^3 TeV in decadimenti con loop, con MFV 1TeV (Isidori)

(tuttavia qualche indicazione interessante di deviazioni qua e là, e.g. $g-2$, P_5' in $B \rightarrow K^* \mu\mu$, $B \rightarrow D^{(*)} \tau\nu$)

Quale e' il problema?

"SM unnatural unless New Physics at the TeV scale"

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



't Hooft Cargese 1979

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

Infatti le correzioni radiative alla massa del Higgs portano la massa stessa verso MP. Per ottenere la massa osservata e' necessario un contro-termini che "cancelli" la divergenza, con un meccanismo di "fine-tuning" di molti ordini di grandezza.

Questo metterebbe in crisi anche l'idea di Teorie di Campo Effettiva del MS perche' farebbe dipendere la fisica alla scala EW da scale di energie molto piu' elevate!

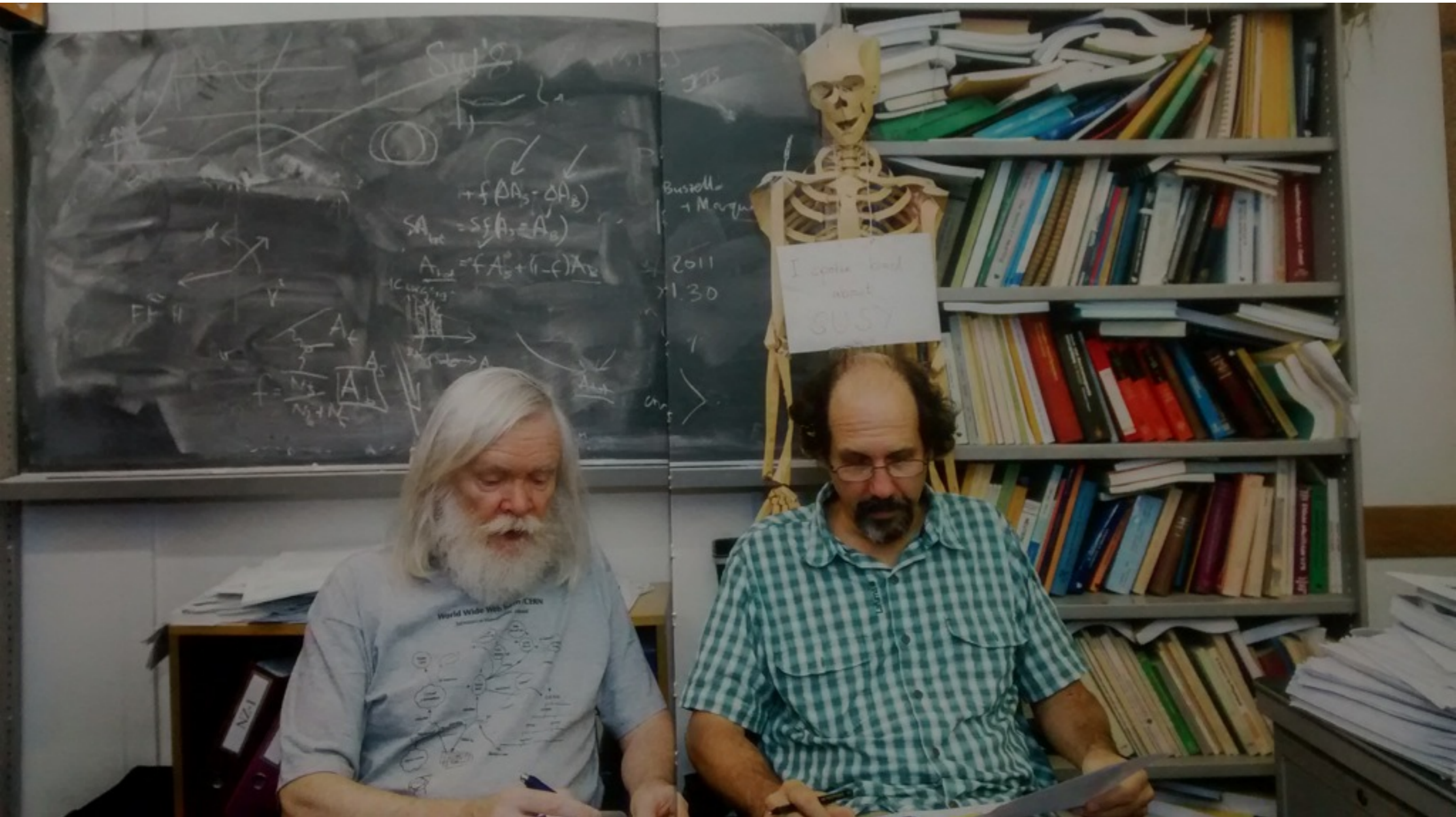
Per ovviare a questo problema e' stata introdotta la SUSY (che riduce la divergenza quadratica a logaritmica), la quale pero' implica l'esistenza di nuove particelle alla scala del TeV, altrimenti essa diventa a sua volta innaturale e quindi "inutile"

But Where Is Everybody?



**Arkani-Ahmed
Plenary
FCC-pp al
Workshop
di Febbraio a
Ginevra**

discorsi pericolosi...



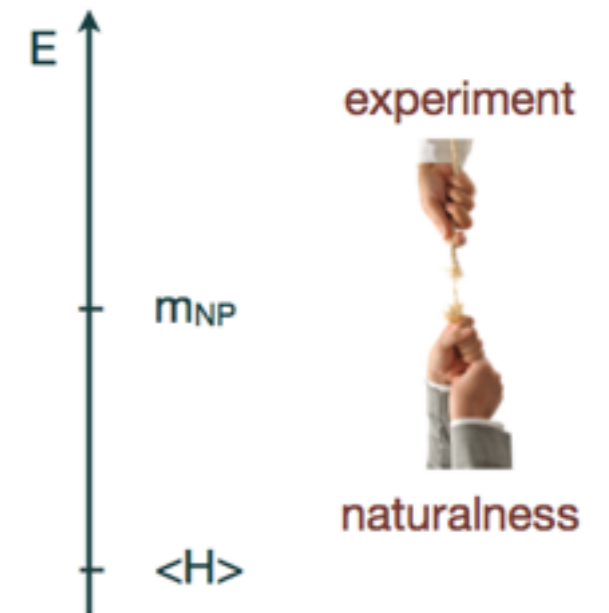
Quale e' il problema? (ii)

Ora il punto e' se il paradigma della Naturalezza sia veramente in crisi oppure no, ovvero 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 discussione per manifesta incompetenza mi astengo e lascio volentieri il campo ai Teorici)

Ora, piu' o meno, siamo al 10% di tuning. Non trovare nulla a LHC fase 2 e porterebbe questo fine tuning al 1% per molte particelle (in realta' per chiudere l'ipotesi 1% con modelli ragionevoli "servirebbe" FCC pp 100TeV).

Un altro problema fine tuning dello SM e' quello dello strong CP, per ovviare al quale sono stati ipotizzati gli assioni di Peccei-Quinn, dei quali pero' pure non si ha traccia.

Il Flavor adronico (K, D,B), per una qualche coincidenza satanica, nell'ipotesi piu' conservativa di Minimal Flavor Violation, piu' o meno mette gli stessi limiti alla scala di Nuova Fisica delle ricerche dirette.



A.Romanino
Elba 21/5/2014

Peraltro...

Massa del Higgs misurata a ≈ 125 GeV

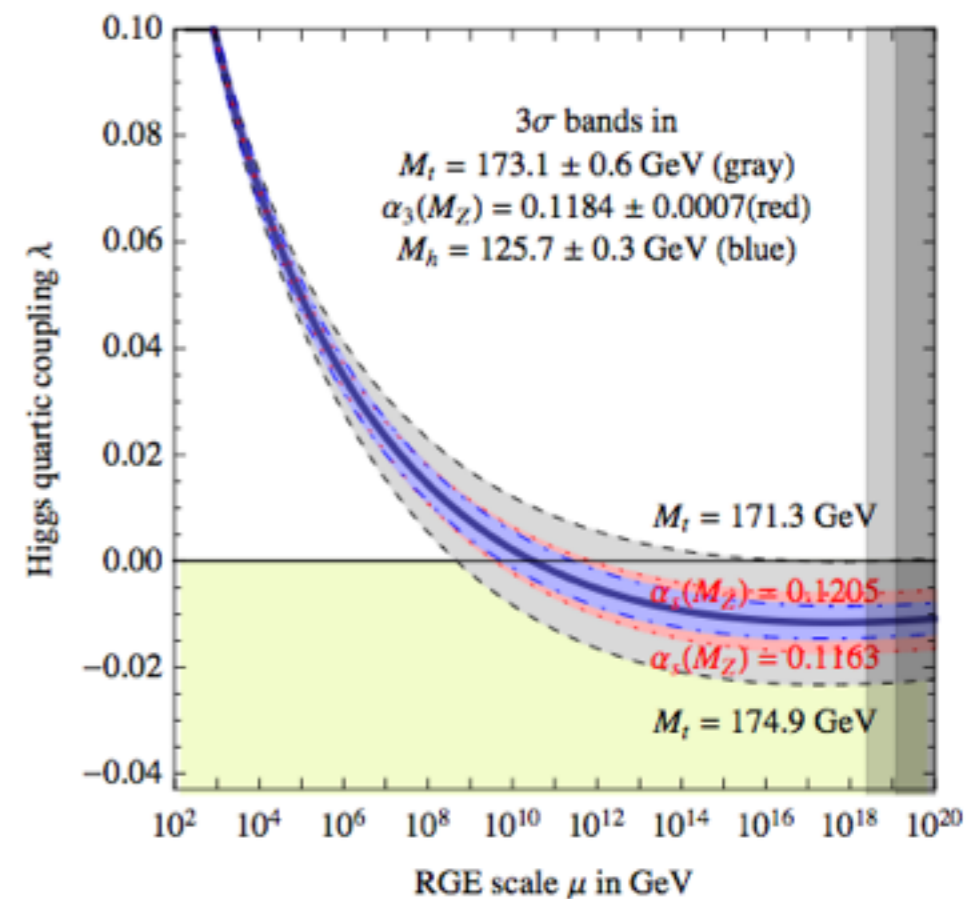
—>SM teoria di campo effettiva, auto-consistente, debolmente accoppiata fino a grandi scale (almeno fino a 10^{10} GeV, errori ancora grandi per concludere)

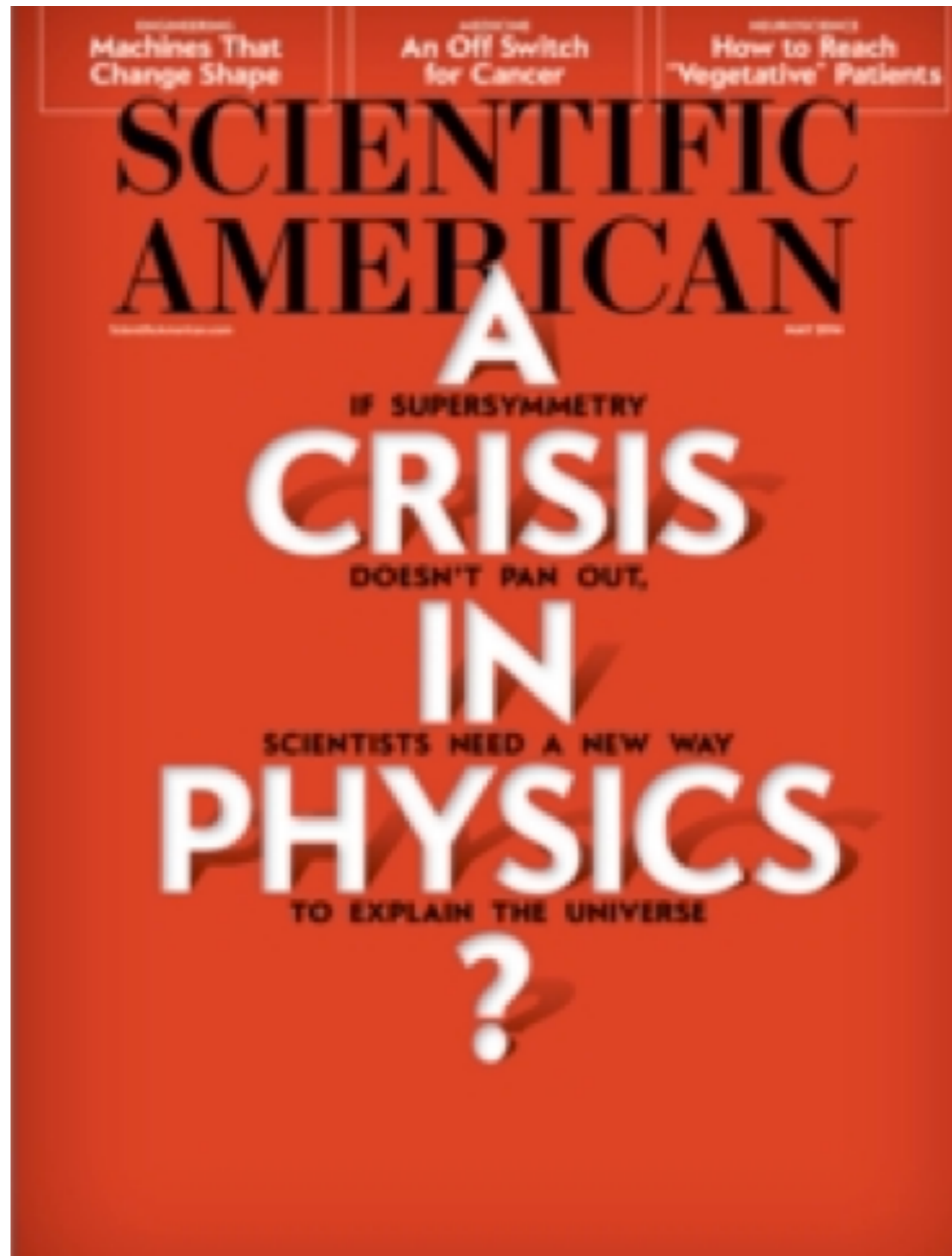
universo (meta-)stabile

nightmare scenario? dibattito acceso sul significato dello 0 crossing —> connessione con inflazione, risultati di BICEP2

situazione confusa...

JHEP 1312 (2013) 089

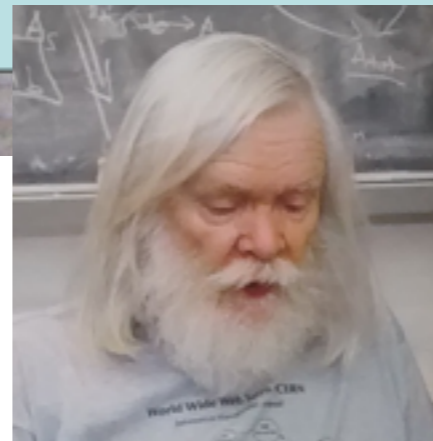




16/5/2014

Theoretical Confusion

- High mortality rate among theories
- (M_H, M_t) close to stability bound
- Split SUSY? High-scale SUSY?
- Modify/abandon naturalness? Does Nature care?
- String landscape?
- SUSY anywhere better than nowhere
- SUSY could not explain the hierarchy
- **New ideas needed!**



John Ellis, QFPP, CERN, 6/5/2014

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...

(+inflazione)

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 piu' “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 complementari?

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 più economico) non può essere ottenuto nello SM da alcuna interazione rinormalizzabile gauge-invariante, ma può 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 è il campo di Higgs e M_M la massa del campo di Majorana ν_R , F Yukawa

dopo la rottura della simmetria il termine di massa si può 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 $m_D \ll M_M$ gli autostati di massa sono:

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

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

Teoria di Shaposhnikov \rightarrow estensione a 3 campi di Majorana

Interazioni degli HNL

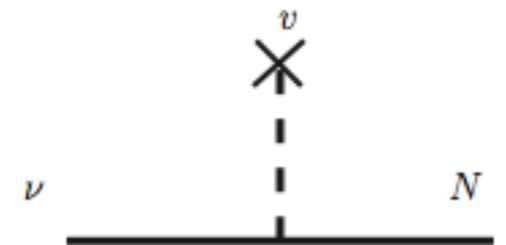
NB: l'unica interazione che questi RH neutrini hanno con lo SM e' tramite le interazioni di Yukawa coinvolgenti il bosone di Higgs (in questo senso sono "sterili") e un neutrino ordinario; "partecipano" in tutti i diagrammi di Feynman in cui sono coinvolti i neutrini attivi purché cinematicamente possibili

Concettualmente due tipi di interazioni sono possibili:

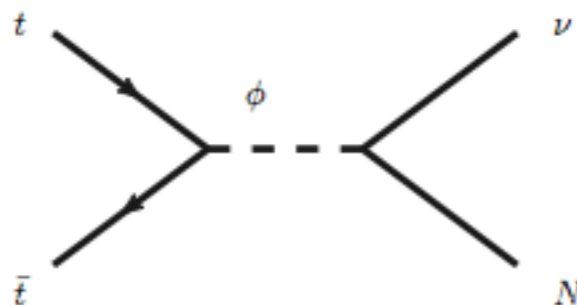
1. a $T=0$, interazione con il v.e.v. \rightarrow mixing con neutrini attivi

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 $\rightarrow N_i$ possono essere prodotti in vari processi di scattering



Bariogenesi e ν MSSM

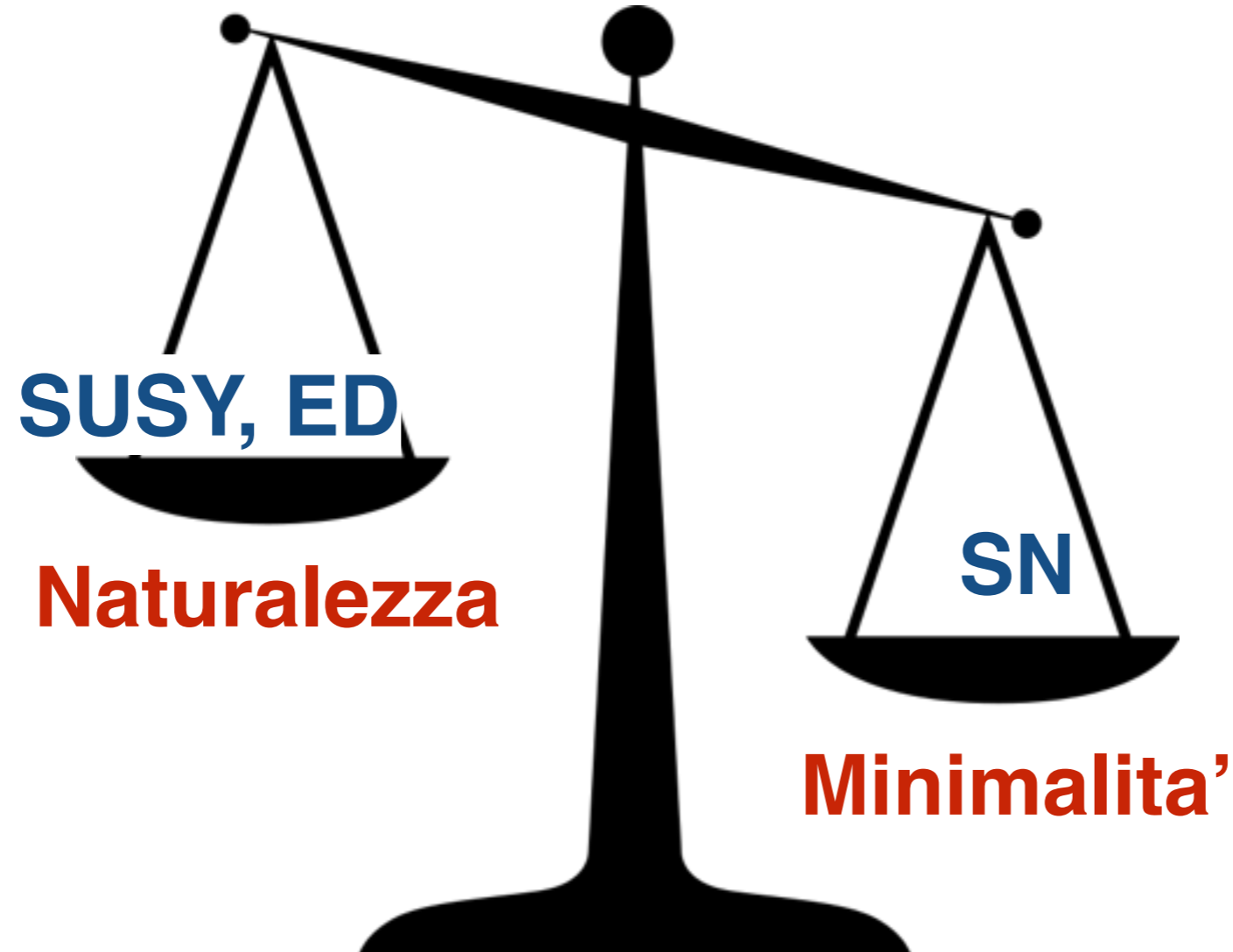
Inoltre una grande attrattiva di questi modelli e' che permettono di spiegare la bariogenesi mediante leptogenesi, utilizzando la transizione a sphalerons, un processo non-perturbativo ma previsto dallo SM (t'Hooft), che viola B ma conserva B-L.

La Lagrangiana see-saw a 3 neutrini massivi contiene 6 fasi con violazione di CP (con 2 neutrini sarebbero 3 fasi)

Il Modello di Shaposhnikov spiega la Leptogenesi mediante oscillazioni tra N2 e N3 con violazione di CP durante la loro produzione termica :

- se N2 e N3 quasi degeneri in massa e con massa $\gg eV$ e \ll della scala EW (quindi $O(\text{GeV})$) \rightarrow oggetto di questo esperimento
- il terzo neutrino N1 di massa $O(10 \text{ keV})$ con un piccolo mixing con gli altri due \rightarrow candidato Dark Matter (ne parlo dopo...piatto caldo!
- modello "tuned" ma protetto da una simmetria $(U(1))_L$ se N2 e N3 degeneri e $m(N1)=0$ rotta a $O(10^{-4})$ \rightarrow tuning "buono"!

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.

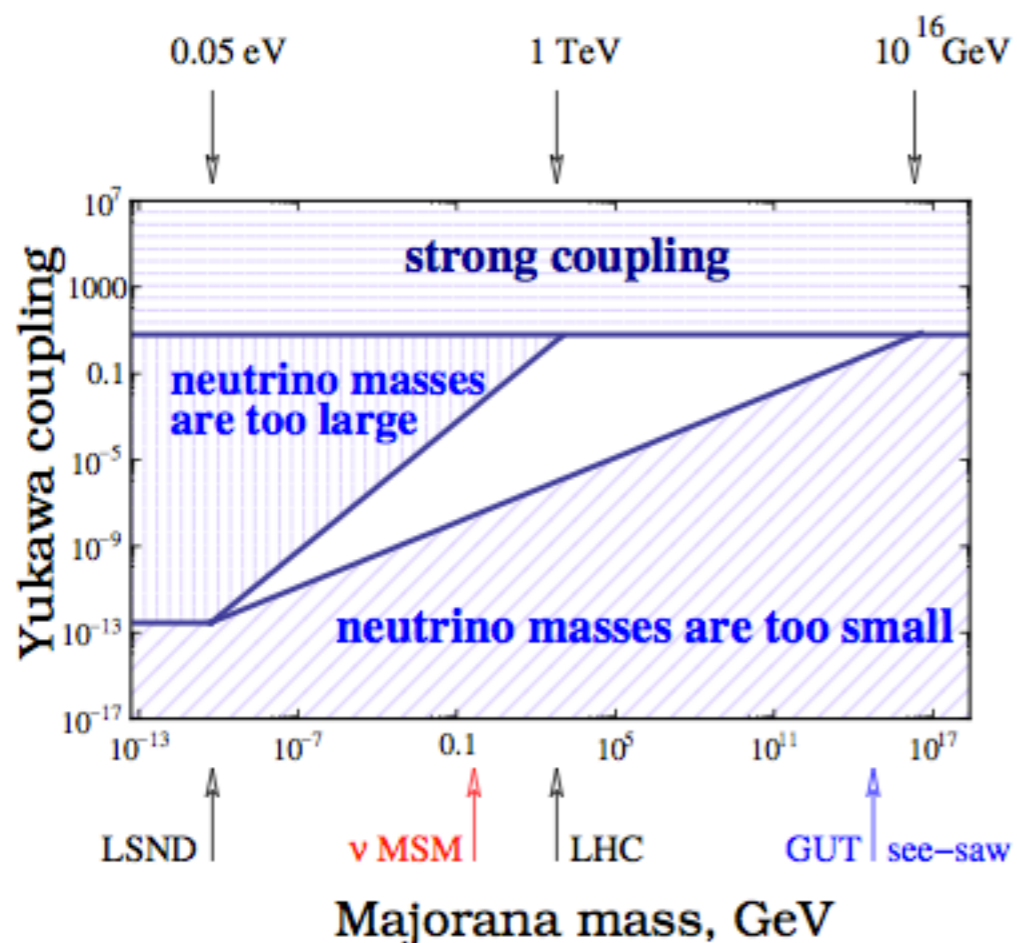
Recente indicazione dai dati di BICEP2 combinati con tutto il progresso di misure cosmologiche, dell’esistenza di un neutrino a massa $\sim 0.5\text{eV}$ (arXiv: 1403.7028, arXiv:1403.4852, arXiv:1403.8049). Non è chiaro quanto questo sia compatibile con le anomalie da misure di oscillazioni. Se fosse 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:



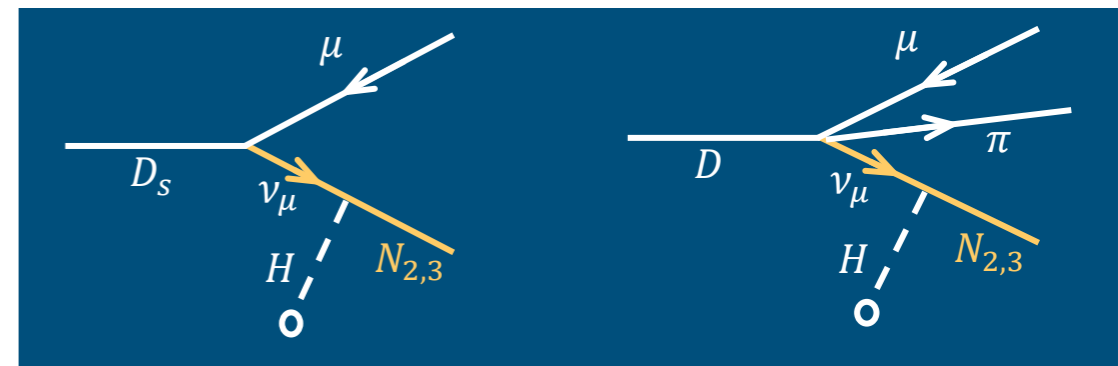
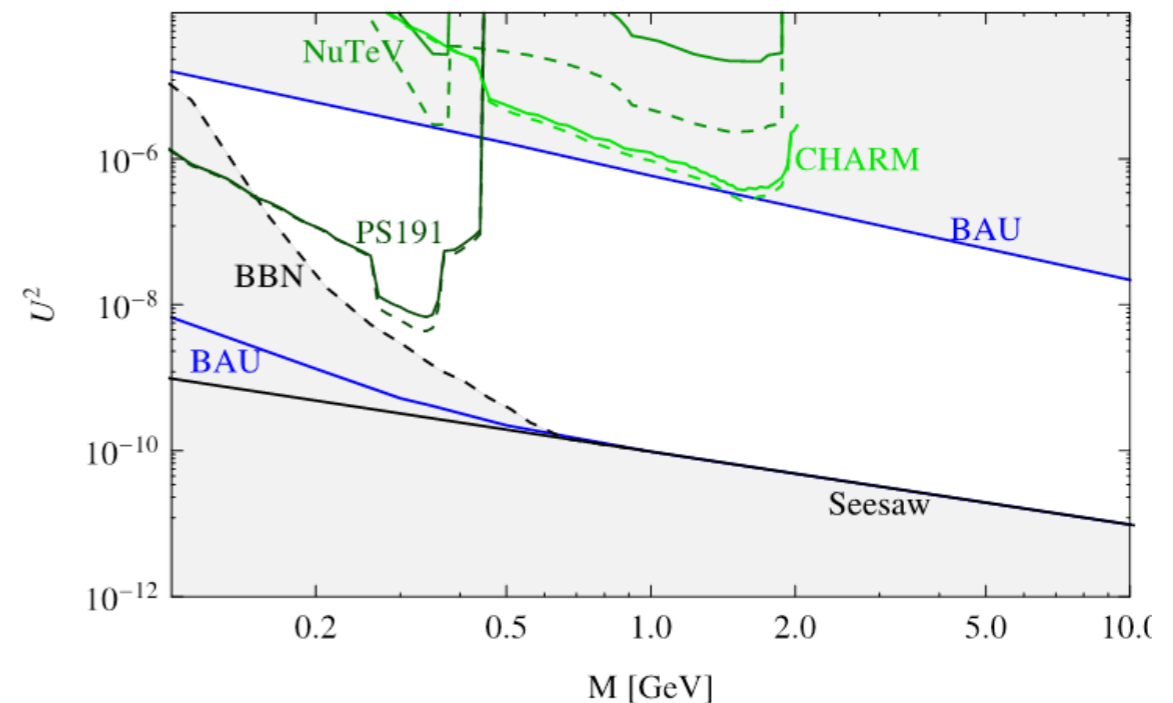
	N mass	ν masses	eV ν anomalies	BAU	DM	M_H stability	direct search	experiment
GUT see-saw	10^{-16} 10 GeV	YES	NO	YES	NO	NO	NO	-
EWSB	$2-3$ 10 GeV	YES	NO	YES	NO	YES	YES	LHC
ν MSM	keV - GeV	YES	NO	YES	YES	YES	YES	a'la CHARM
ν scale	eV	YES	YES	NO	NO	YES	YES	a'la LSND

arXiv:1204.5379

Produzione di $N_{2,3}$

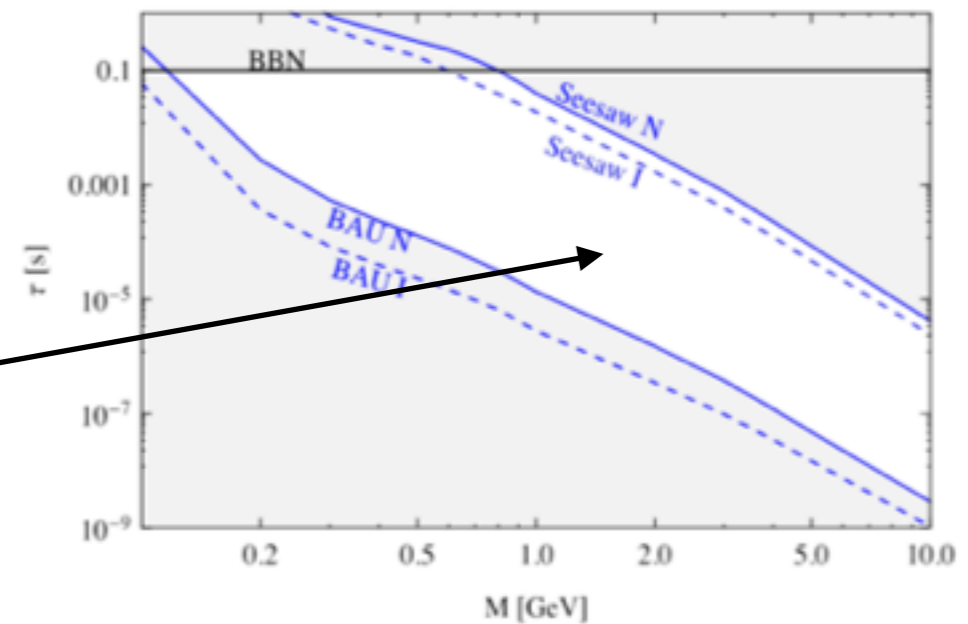
- nel vMSM forti limitazioni nello spazio dei parametri (U^2, m)
- molte ricerche di HNL in passato ma, per $m > m_K$, con **sensibilità' non di interesse cosmologico** (es LHCb in decadimenti del B raggiunge $U^2 \approx 10^{-4}$, arXiv:1401.5361)
- **questa proposta: ricerca in decadimenti dei mesoni D (prodotti ad alta statistica nella collisione di p di 400 GeV su bersaglio fisso)**
- **Considerati i fasci esistenti e possibili in un futuro non troppo remoto, questo e' il migliore esperimento che possa sondare la regione di interesse cosmologico**

gerarchia inversa di massa dei neutrini

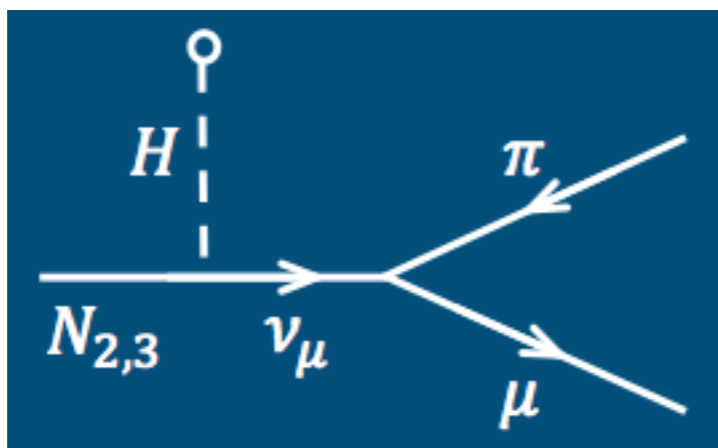


Decadimenti del $N_{2,3}$

- 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 %

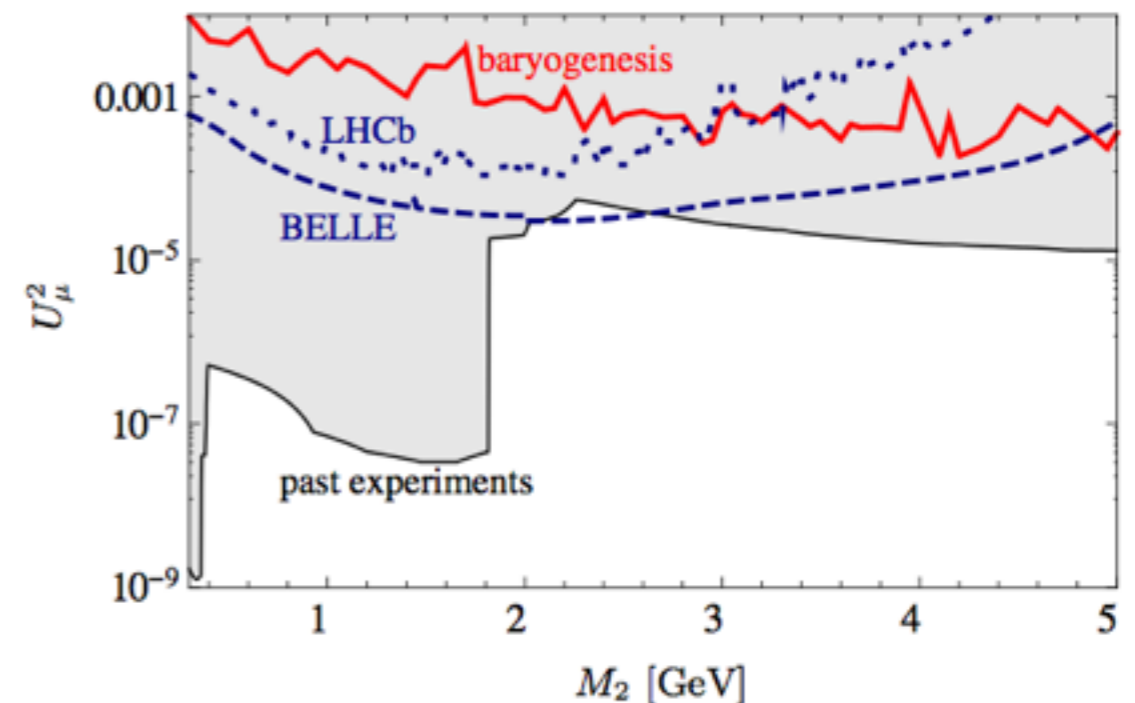


\rightarrow aumento di sensibilità $\times 10000$ permette di accedere alla regione di interesse cosmologico!

Modello meno “tuned”

- se si rinuncia a spiegare la Dark Matter \rightarrow tutti e tre i N possono partecipare al see-saw; modello molto meno vincolato, spazio dei parametri di interesse cosmologico più esteso, HNL non degeneri
- e.g. Canetti et al. \rightarrow il limite della BAU si alza di molto

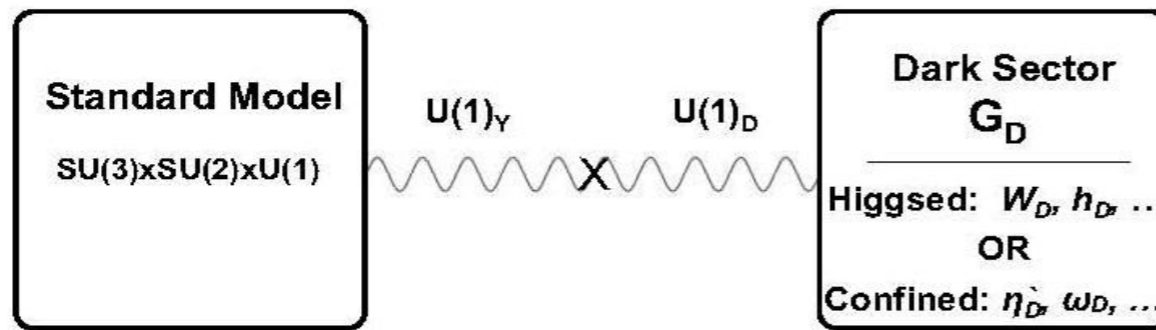
arXiv:1404:4114



Altra fisica sotto studio

MOLTO SPAZIO IN QUESTI STUDI DI SENSITIVITA'
URGENTISSIMI PER CHI FOSSE INTERESSATO

Portali verso Hidden sectors



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

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

recentemente si e' rivitalizzata l'attenzione verso questo tipo di interazioni per spiegare alcune anomalie astrofisiche (e.g. aumento e^+/e^- con energia, concentrazione di linea a 511keV dal centro galattico), 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 metodologia di esperimenti già effettuati come CHARM ma con molta maggiore statistica e/o con maggiore energia del fascio (es. rispetto a U70)

Portali et al.

Higgs portal → mediatore inflatone (scalare); produzione diretta o da decadimento mesone; decadimenti e^+e^- , $\mu^+\mu^-$; accoppiamenti rinormalizzabili $(\mu\chi + \lambda\chi^2)H^\dagger H$

Neutrino portal → mediatore HNL, di cui si è ampiamente discusso

Vector portal → mediatore para-fotone; produzione in mixing con fotoni; decadimenti e^+e^- , $\mu^+\mu^-$; accoppiamenti rinormalizzabili $\epsilon F^{\mu\nu} F'_{\mu\nu}$

axion portal → mediatore PNCB o axion-like particles (in questo caso non sono Dark Matter particles); produzione diretta mixing con π ; decadimenti e^+e^- , $\mu^+\mu^-$

Anche sotto studio low-energy SUSY:

- ▶ light sgoldstinos (superpartners of goldstino in SUSY models)
e.g., D.S. Gorbunov (2001) e.g. $D \rightarrow \pi X$, then $X \rightarrow l^+ l^-$
- ▶ 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 $\tilde{\chi} \rightarrow l^+ l^- \nu$

Fisica dei neutrini attivi: ν_τ e ν_μ

Approfittando del beam dump, con un rivelatore dedicato che prende dati simultaneamente a quello per HNL, e' possibile lo studio di interazioni del neutrino τ con statistica $>200x$ 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)

In generale la terza generazione di leptoni puo' essere piu' sensibile a NF per la sua maggiore massa

Inoltre la NF nel settore del τ e' sperimentalmente limitata con minore precisione rispetto alle altre due famiglie.

In particolare due "anomalie" sperimentali (su 3) nella fisica del charged flavor coinvolgono il τ :

A. $R(D), R(D^*)$ dalle B factories $\rightarrow 3.4\sigma$ dal MS

B. $A(\text{CP}) (\tau \rightarrow \pi K_S^0 \nu_\tau)$ $\rightarrow 2.8\sigma$ dal MS

Fisica dei neutrini attivi: ν_τ e ν_μ

—> **Misure di sezioni d'urto e distribuzioni angolari nelle interazioni CC: stiamo studiando con i teorici (Datta, U.Massachussets) la sensibilita' a Higgs carico, W' e Leptoquarks**

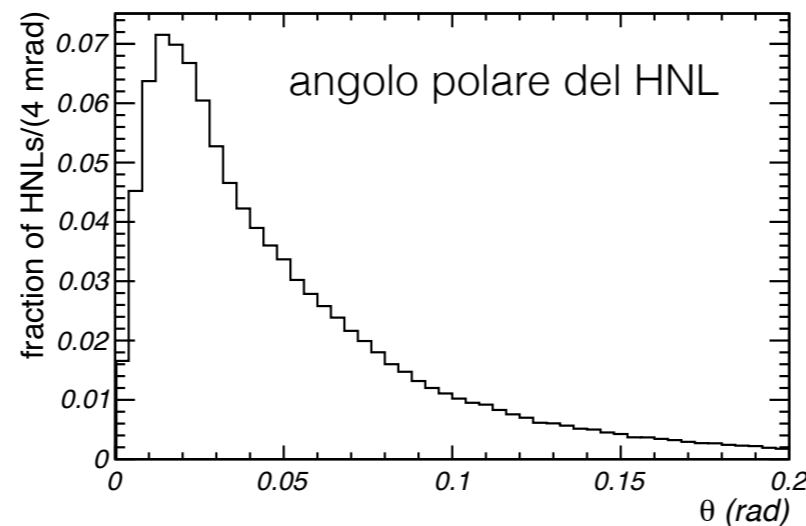
Altre misure importanti:

- A. osservazione di anti- ν_τ (unica particella del MS non ancora osservata)**
- B. produzione di charm in interazioni di ν_μ (grande aumento di statistica, >100x, rispetto a CHORUS in particolare per anti- ν_μ , : infatti in beam dump anti- ν_μ/ν_μ 60%)**

L'esperimento

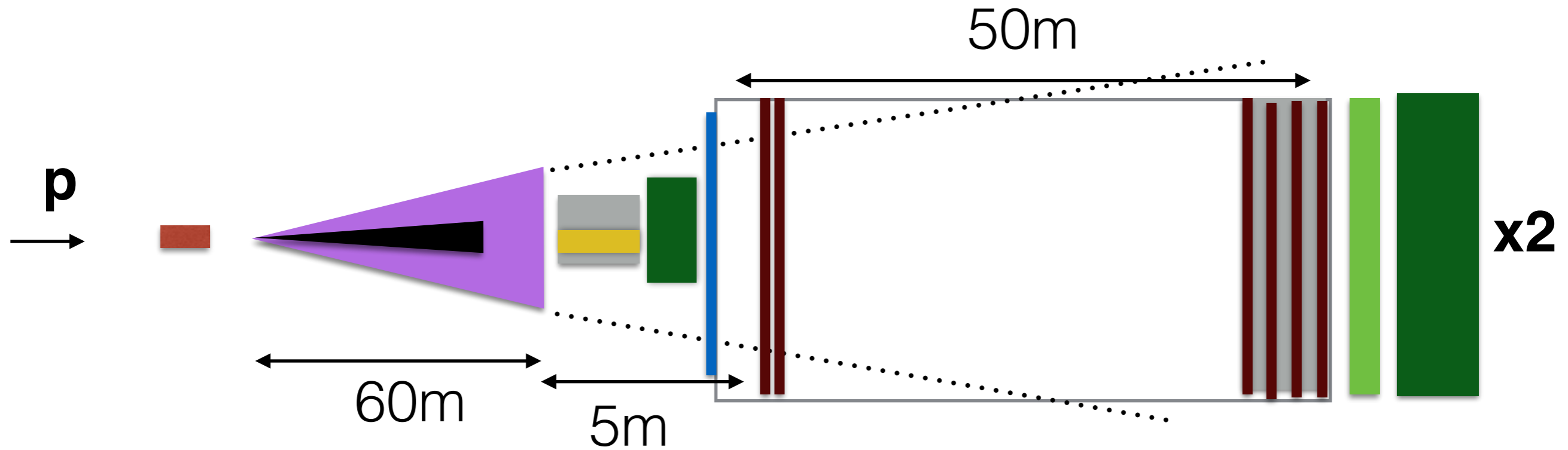
Vincoli di progetto

- **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

tracking

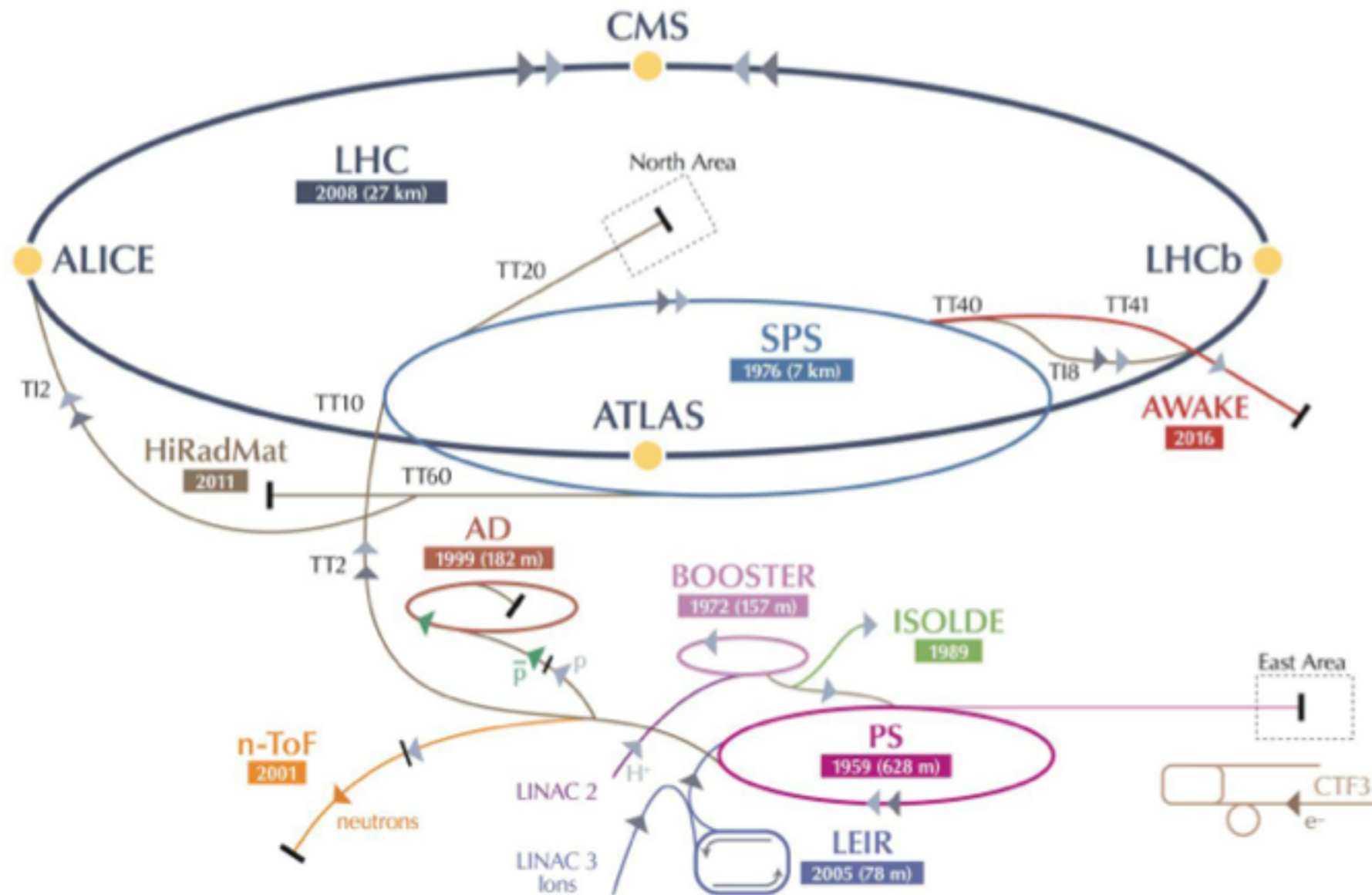
ECAL

UT

muon

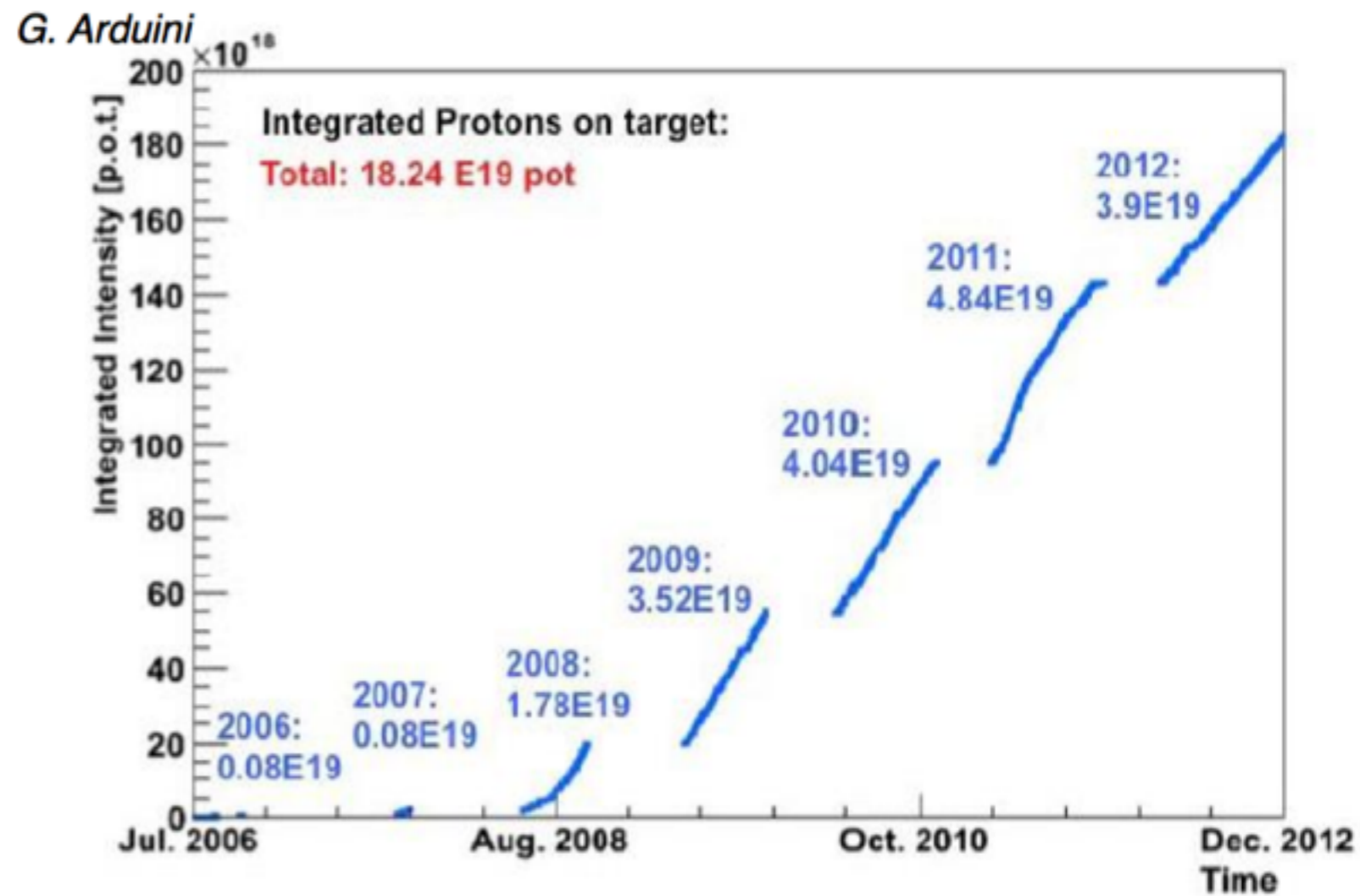
rivelatore v_τ

Il complesso degli acceleratori del CERN

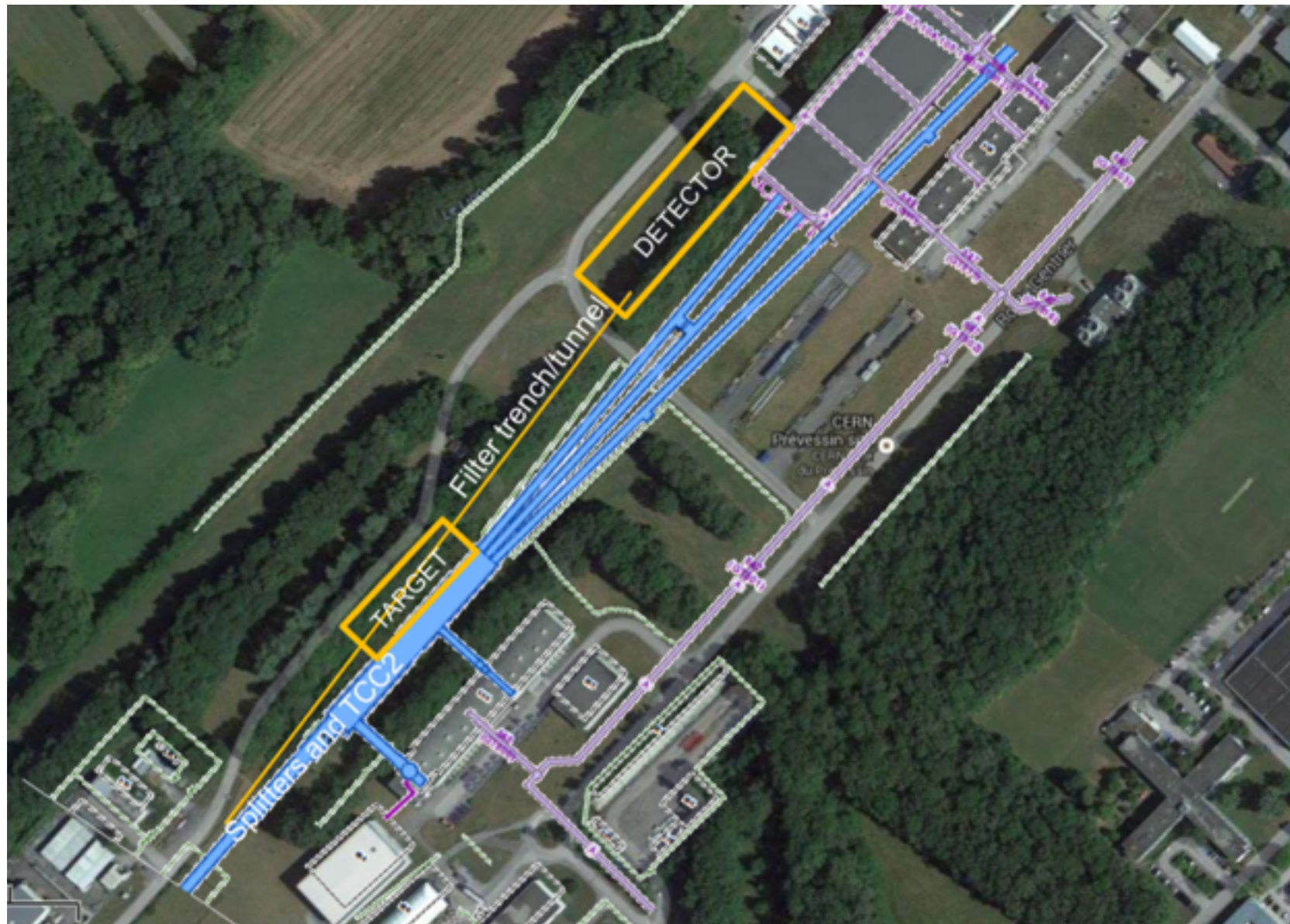


Il fascio

- 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

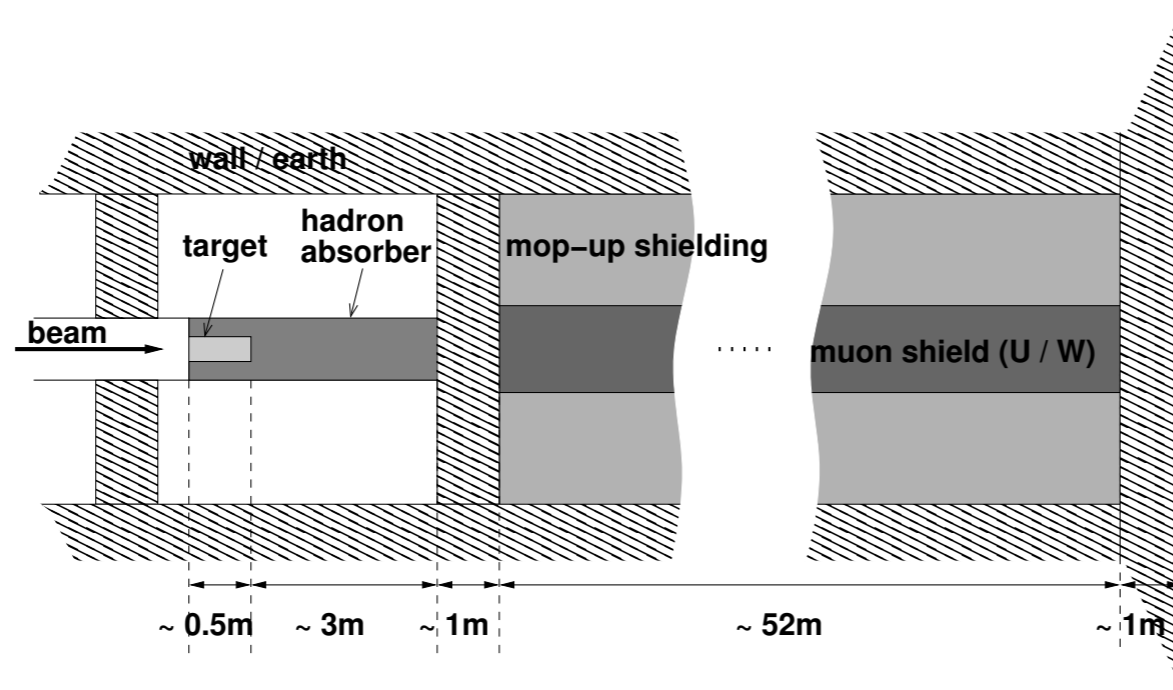


Rivelatore
posto IN
SUPERFICIE

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.

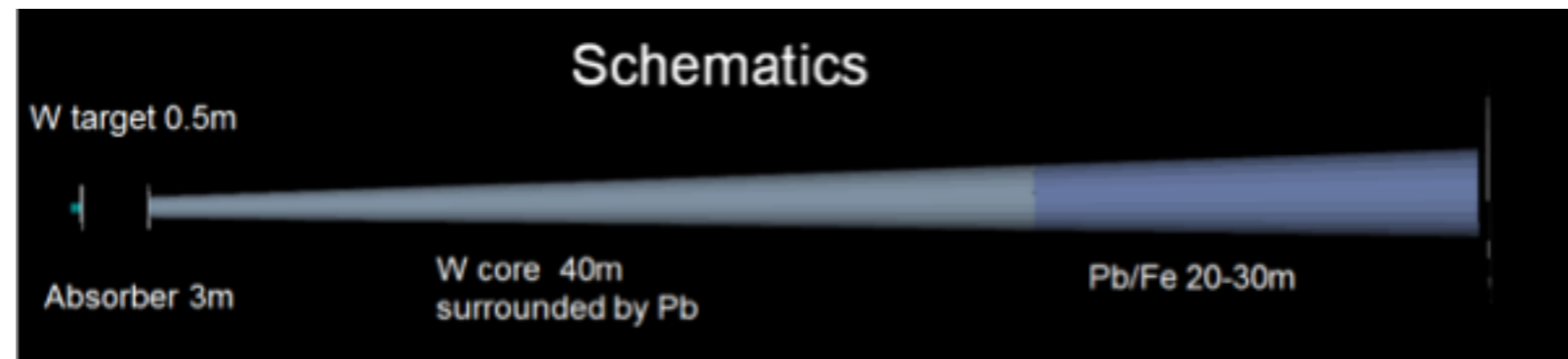
gli studi effettuati per il proposal della facility del neutrino molto utili per noi

Bersaglio e filtro per muoni



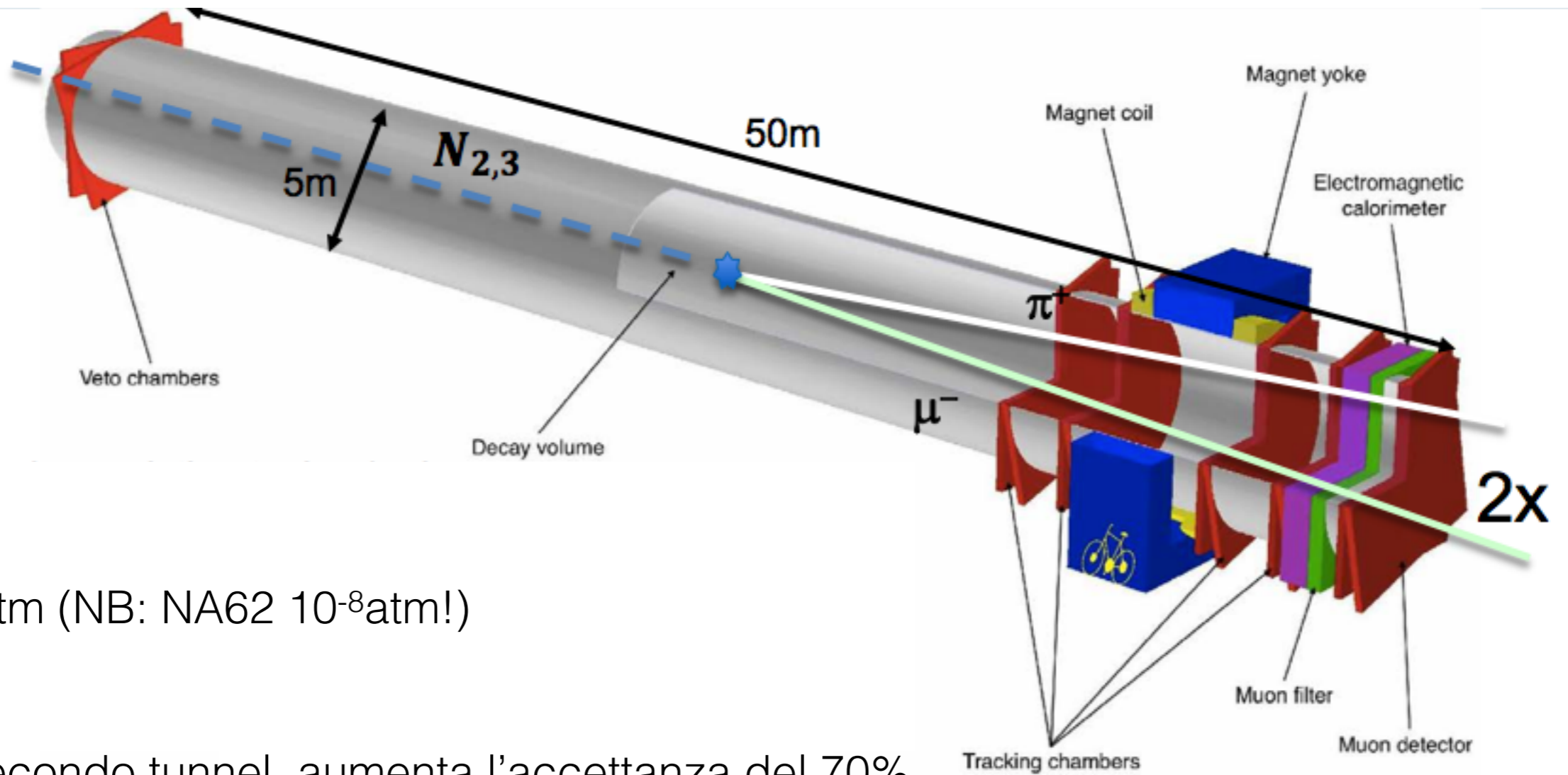
- **Bersaglio di W (50cm-1m) : il fascio va allargato e/o diluito sul bersaglio per evitare fusione, seguito da assorbitore adroni e un filtro per muoni con due opzioni allo studio**
- **Problema non banale perche' il flusso di muoni e' enorme: 10^{11} /SPS-spill(5×10^{13} pot);**
 - **per ora la baseline per l'estrazione e' 1sec (CNGS 10μ s), ma la fattibilita' e' allo studio della divisione AC del CERN**
 - **sicuramente il problema tecnico piu' difficile dell'esperimento**
- **Problemi radiologici sotto controllo con la costruzione di un target bunker e con circuito di raffreddamento chiuso**

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 (100t di W per totale 60m per ottimizzazione costi)
- 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 $5e13$ (x10 con 100t)

Tunnel di decadimento e spettrometro



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

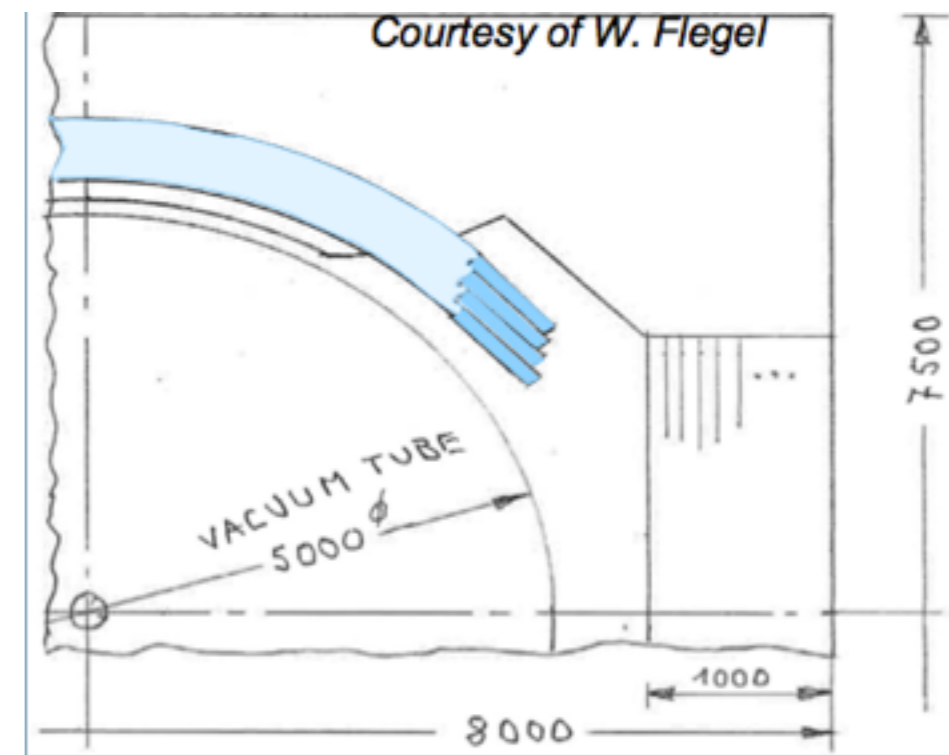
L'uso del secondo tunnel aumenta l'accettazione del 70%

Rivelatori et al.

- **Quasi nessun R&D da fare, per ora non e' emerso nessun parametro che necessiti di un "nuovo" rivelatore: ce la possiamo fare con rivelatori già costruiti in passato, ottimizzando i parametri—> questo significa che dall'approvazione si puo' iniziare subito a costruire il rivelatore**
- **Rivelatore di Muoni. varie opzioni allo studio:**
 - **RPC di nuova generazione.**
 - **RPC recuperate da OPERA**
 - **Scintillatori**
- trigger e acquisizione dati: pensiamo di utilizzare il modello HLT dell'upgrade di LHCb (i.e. no L0)
- computing: FairRoot framework (F.Rademacher)

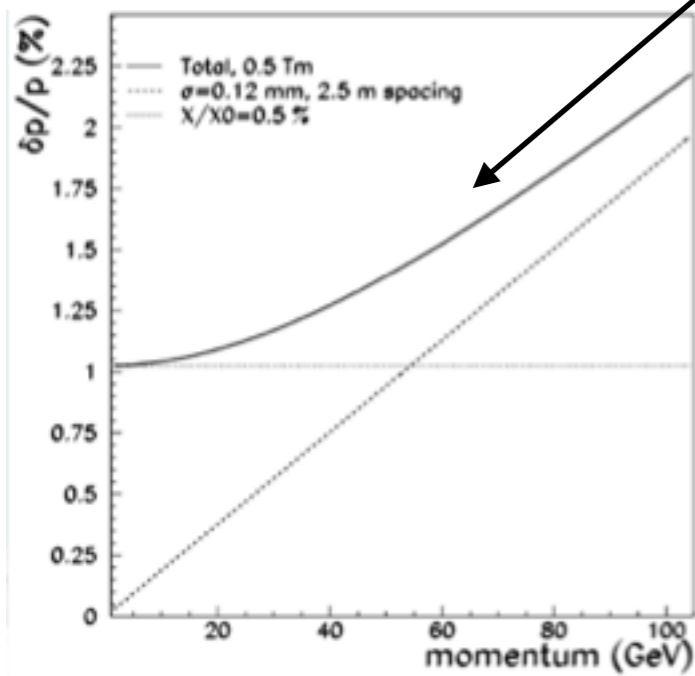
Il magnete (x2)

- 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



Tracking e VETO

Straw tubes simili a NA62 con
risoluzione spaziale di $120 \mu\text{m}$, 0.5%
 X_0/X Risoluzione in impulso ottenuta
nel nostro caso



Principali differenze con NA62:

- A. 5m di lunghezza
- B. vuoto 10^{-2} mbar
- C. 2kHz/straw di 1cm di diam
- D. configurazione X, X- θ , X+ θ , X
con θ piccolo



Soppressione fondi

Interazioni di neutrini muonici

1. nel tunnel di decadimento: a pressione atmosferica 2×10^4 interazioni \rightarrow vuoto 10^{-5} bar (molto meno di NA62 che usa 10^{-8} bar!)

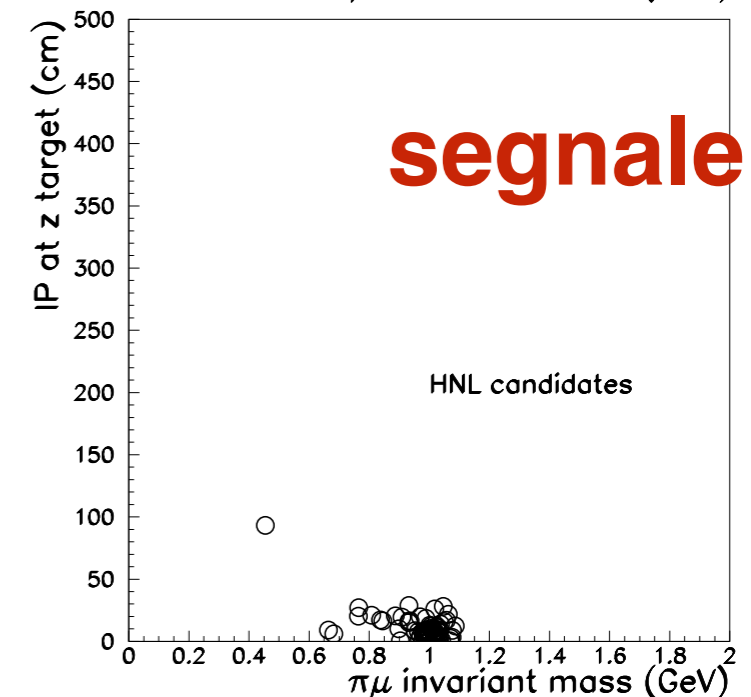
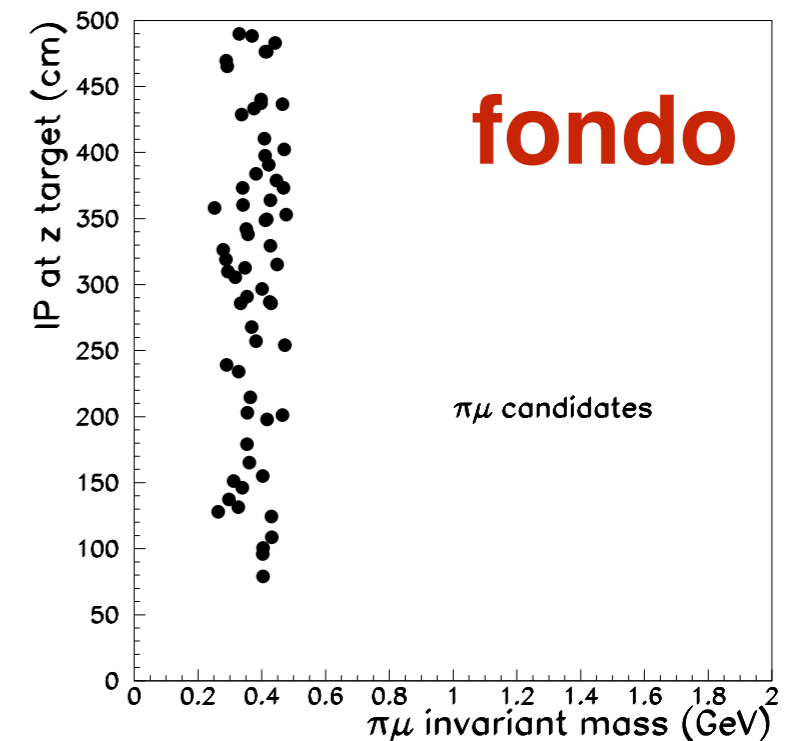
2. nell'ultima lunghezza di interazione del dump \rightarrow produzione di $K_L \rightarrow \mu \pi \nu$ (anche DIS di muoni rilevanti)

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 \rightarrow SPAZIO!!!!

in ogni caso e' importante sopprimere il K0L anche sopra 500MeV perche' non sappiamo ancora come e se riusciremo a tenere sotto controllo le code non gaussiane della risoluzione in impulso

Combinazioni casuali di due muoni dal PV \rightarrow risoluzione temporale spinta di almeno un rivelatore e alta efficienza del VETO cruciali (sotto studio)

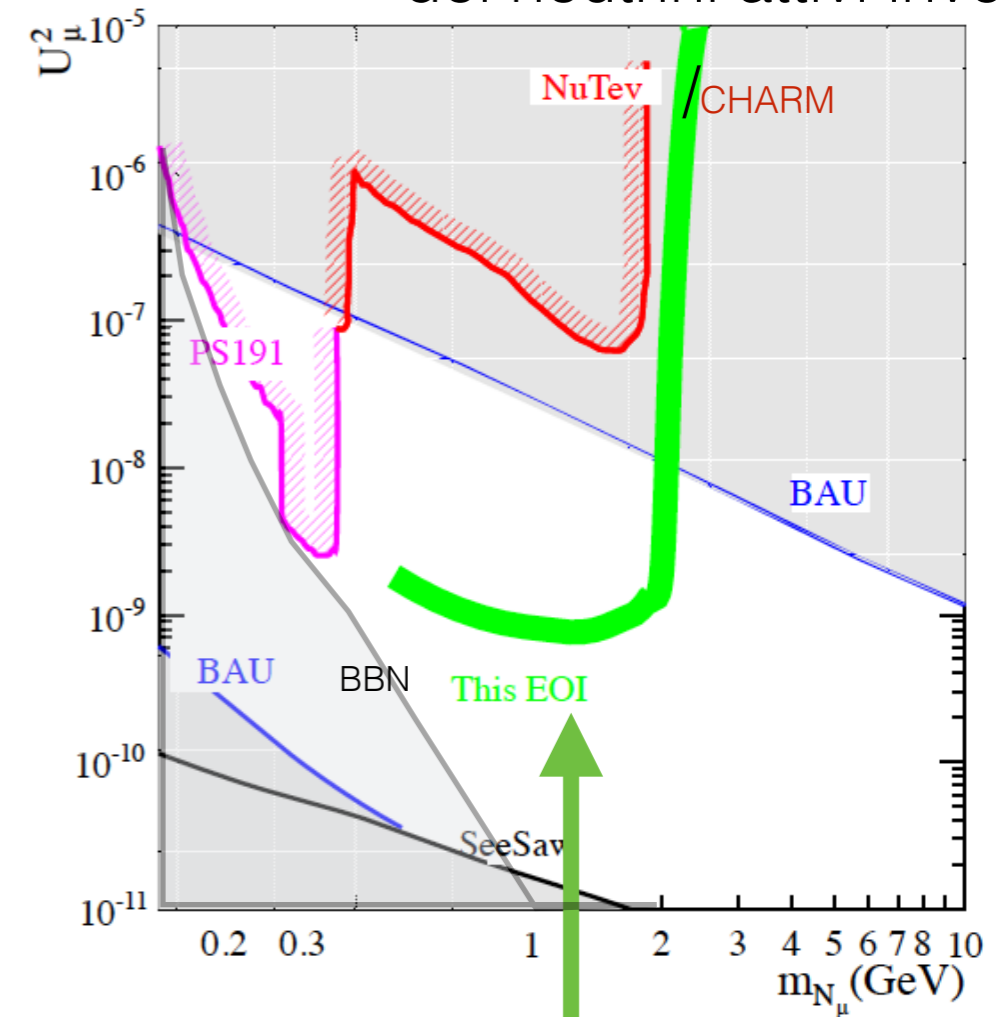


Sensibilita' per HNL

(gerarchia di massa dei neutrini attivi inversa)

Assumendo 0 fondo (che pare ben giustificato dai nostri studi, ma sara' comunque l'oggetto di simulazioni molto dettagliate)

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



solo con $N \rightarrow \mu \pi$

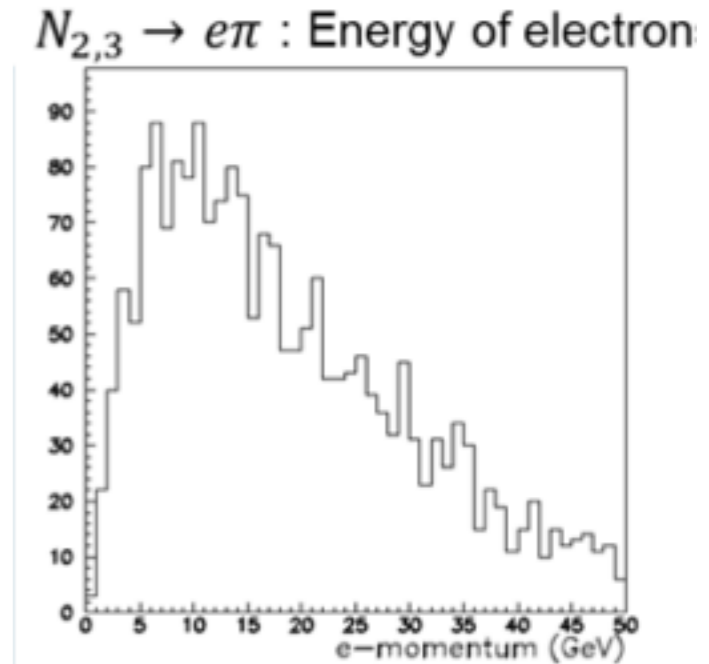
(in uno scenario in cui l'accoppiamento al sapore muonico e' dominante)

Altri canali

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

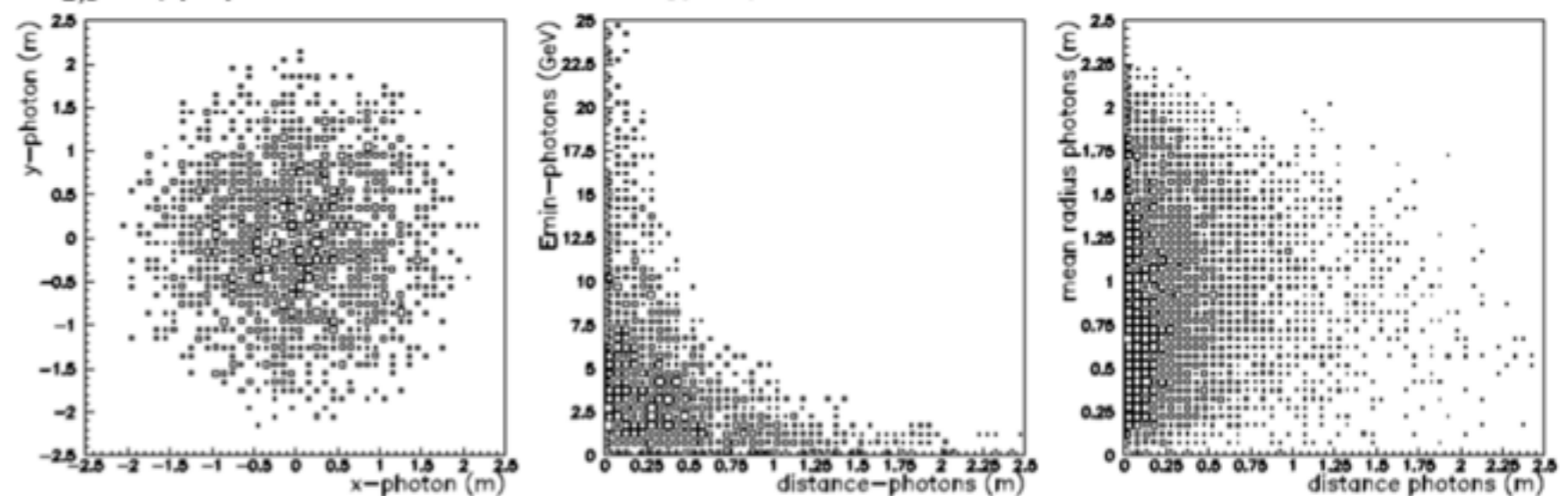
$N \rightarrow e^+ \pi^-$ che permette di accedere al limite su U_e (essendo la struttura di flavor non nota questi canali potrebbero anche essere favoriti!)

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

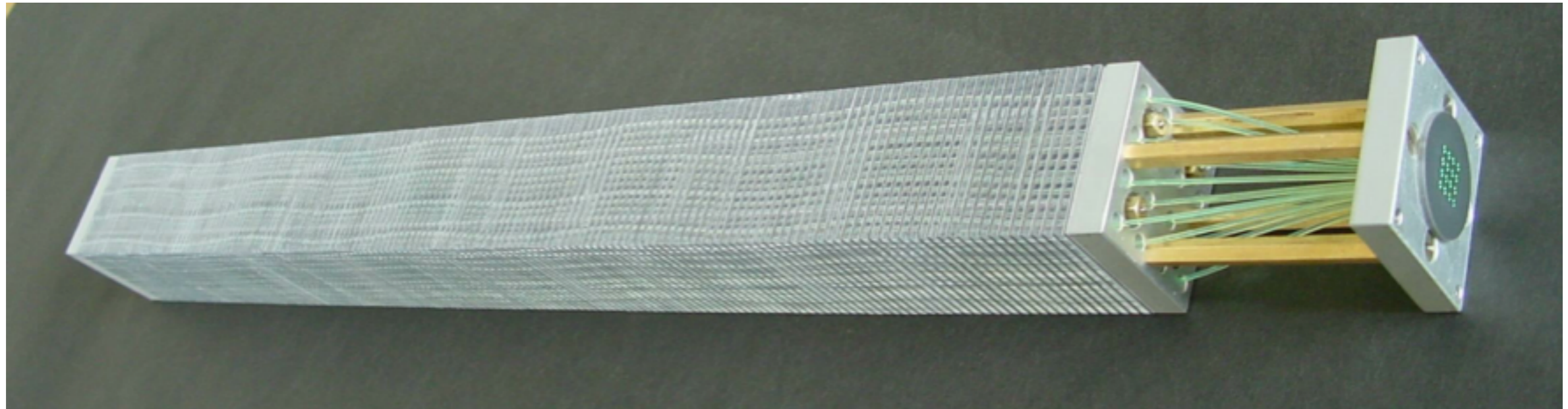


Assumendo celle calorimetriche di 10cm

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

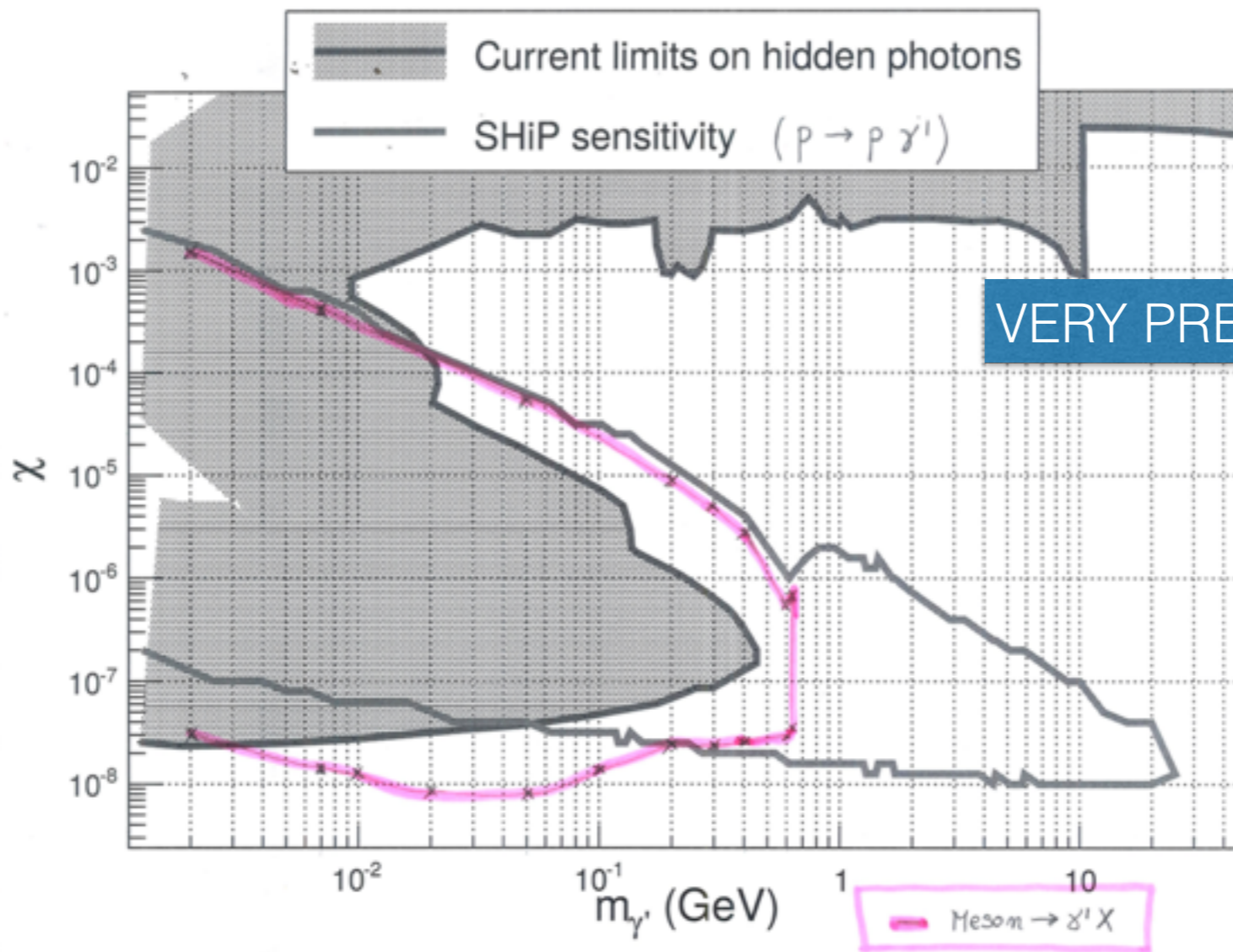


Un possibile calorimetro



- 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

Sensibilita' per Hidden Photon



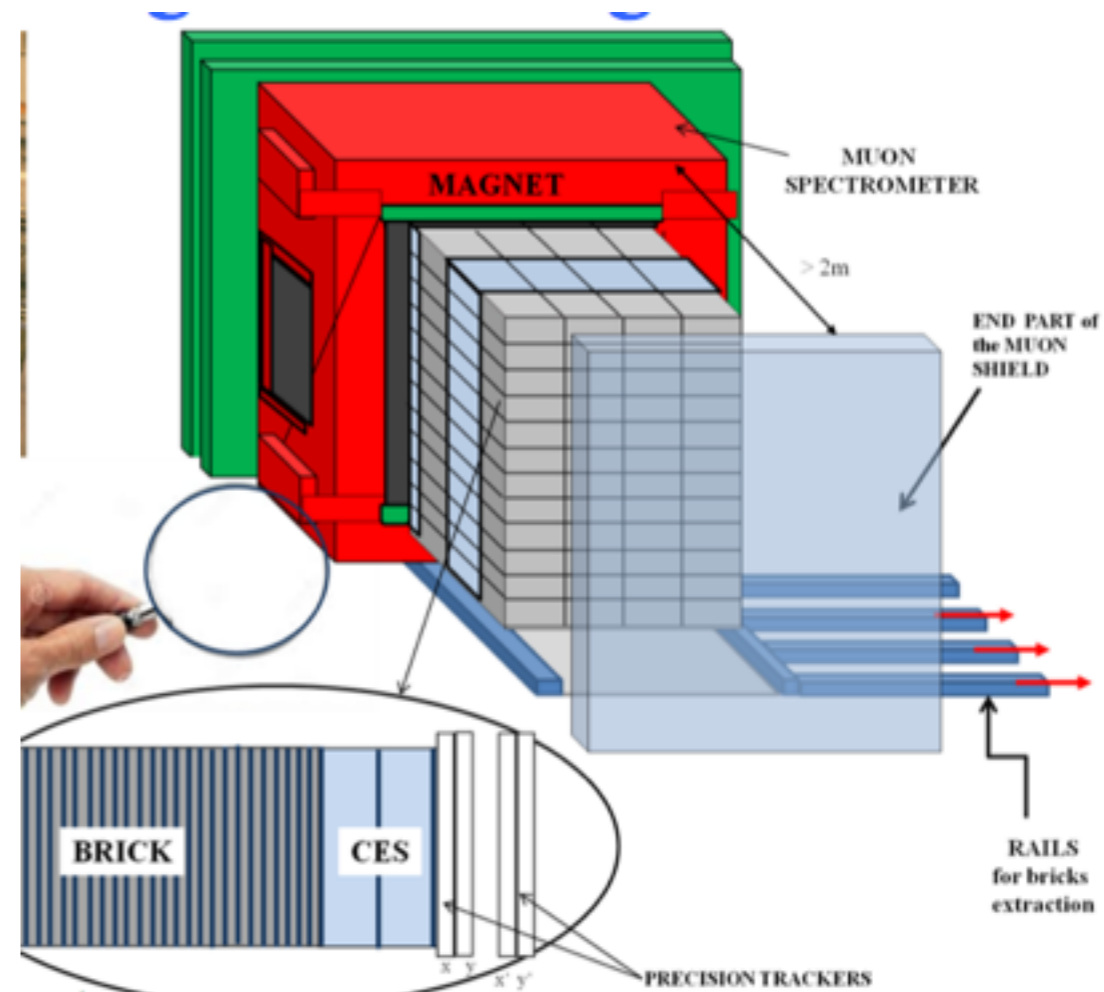
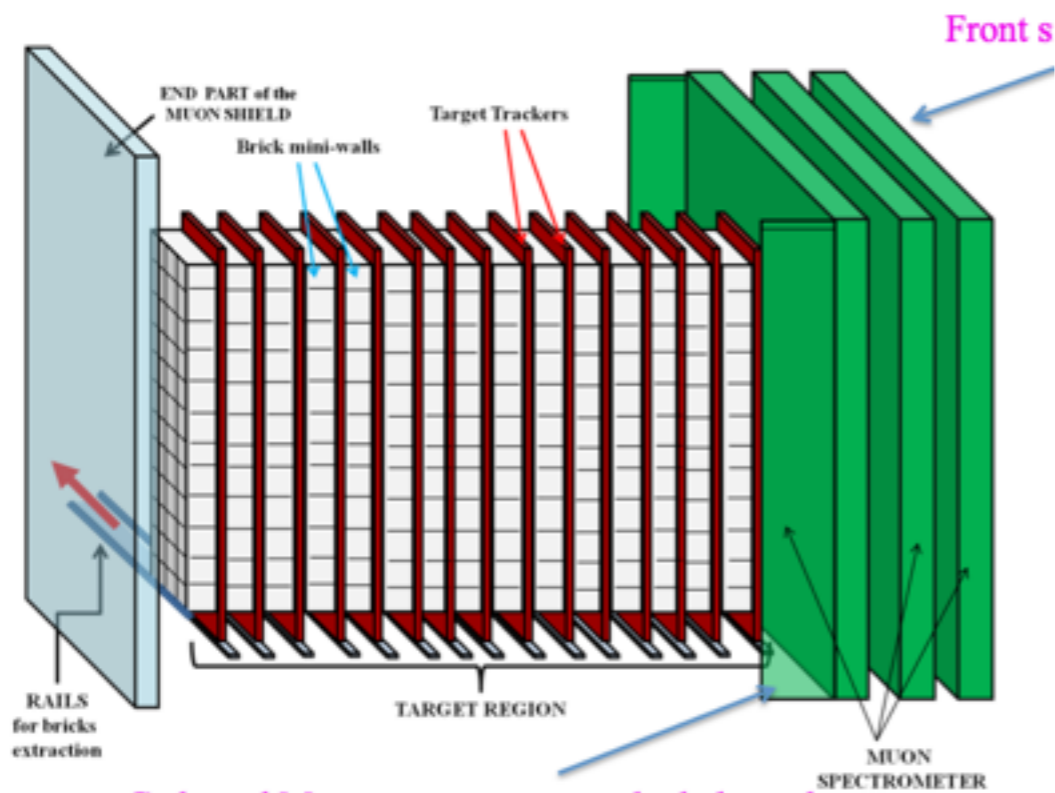
con canali e^+e^- $e \mu^+\mu^-$

Rivelatore per ν

Rivelatore a emulsioni con la tecnologia di OPERA ma con massa molto minore (750 mattoni) molto compatto (2m) posto davanti al tunnel di decadimento per il HNL — >immerso in campo B e seguito da un rivelatore di muoni (per sopprimere il fondo di charm)

Si₂ stima di dovere cambiare il rivelatore circa 10 volte nel corso del run —>totale di 5400 m³ di plates di emulsioni —> 5% di OPERA

Due opzioni allo studio:



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 una task force composta da fisici degli acceleratori del CERN (Saban, Goddard, Arduini, Gatignon ecc.) per dare un "first assessment" per la fattibilita' e costi del nostro esperimento in termini di beam line e dump

Un draft del documento e' gia' pronto (ma non ancora pubblico) e sara' discusso probabilmente al prossimo RB

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

Tempo stimato per il technical proposal: 1 anno. Fine 2015.

Costo stimato: 100M (CERN) per il fascio 15M+15M+12M (F.A.) per il rivelatore (inclusi i contributi in-kind)

Che si fa all'INFN

- A Settembre l'intenzione e' di aprire una sigla nazionale e fare delle richieste finanziarie
- l'interesse nelle sezioni sta crescendo
- per ora G1 (ma la Giunta si riserva di decidere se G2 prima di Luglio)

Tempistica (moolto preliminare)

- Proposal : 1 meta' del 2015
- Approvazione SPSc: seconda meta' 2015
 - incoraggiamento continuare —> council 2016
- Due anni per fare i TDR, meta' 2017: approvazione fine 2017; Technical Design del fascio
- Prime richieste finanziarie per produzione rivelatori: 2018
- costruzione beam line: LS2
- 4-5 anni produzione-istallazione (durante LS3)
- Data taking: dopo LS3, 2022-2027

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 discuteranno le opzioni per i vari sotto-sistemi

Ci sara' una sessione in cui si decidera' l'estensione della collaborazione a nuovi membri della collaborazione (che ovviamente ne facciano richiesta) a cui sara' richiesto di dichiarare il tipo di impegno potenziale su:

a) preparazione proposal, b) preparazione TDR, c) costruzione

Sara' dato tempo fino a Settembre per le "late entries" per a)

Scelta della Commissione

- Per ora facciamo l'ipotesi di fare le richieste in Gruppo Uno
- La Giunta si riserva di decidere una diversa collocazione entro Luglio

Gruppi stranieri

- Da Zurigo probabilmente:
 - Russia: 5 istituti
 - UK: 3 istituti
 - F: 3 istituti
 - CH: 4 istituti
 - CERN > 7 fisici
 - D: 1-2 istituti
 - Svezia: 2 istituti
 - Cile: 1-2 istituti
 - Giappone: 4 istituti

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

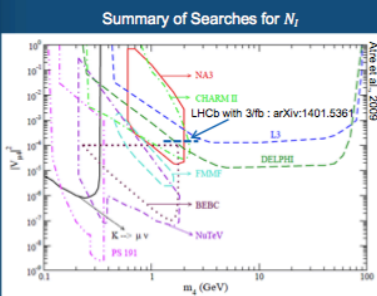
Richard Jacobsson
on behalf of
Search for Hidden Particles - SHiP Collaboration

- 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

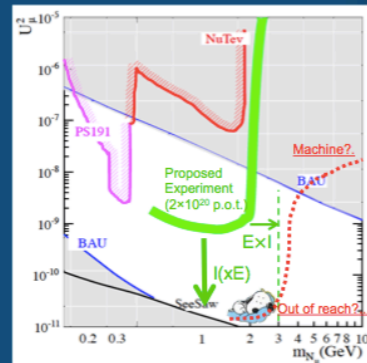
Current sensitivity based on current SPS with 2×10^{20} p.o.t in ~5 years of operation

- 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

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, alta intensità'**
- 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 $m > m_K$**

Dovevamo parlare di N_1

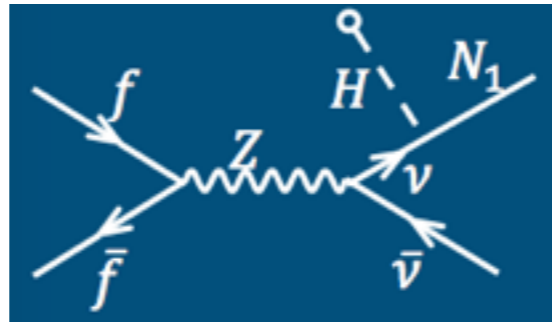
- Stabilita' $\rightarrow \tau > \tau(\text{universo})$

limite dal Principio di Pauli

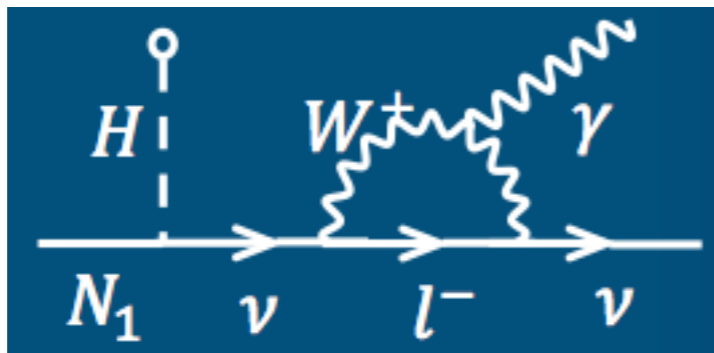
- Produzione \rightarrow creato nell'Universo nella fase iniziale nelle reazioni

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

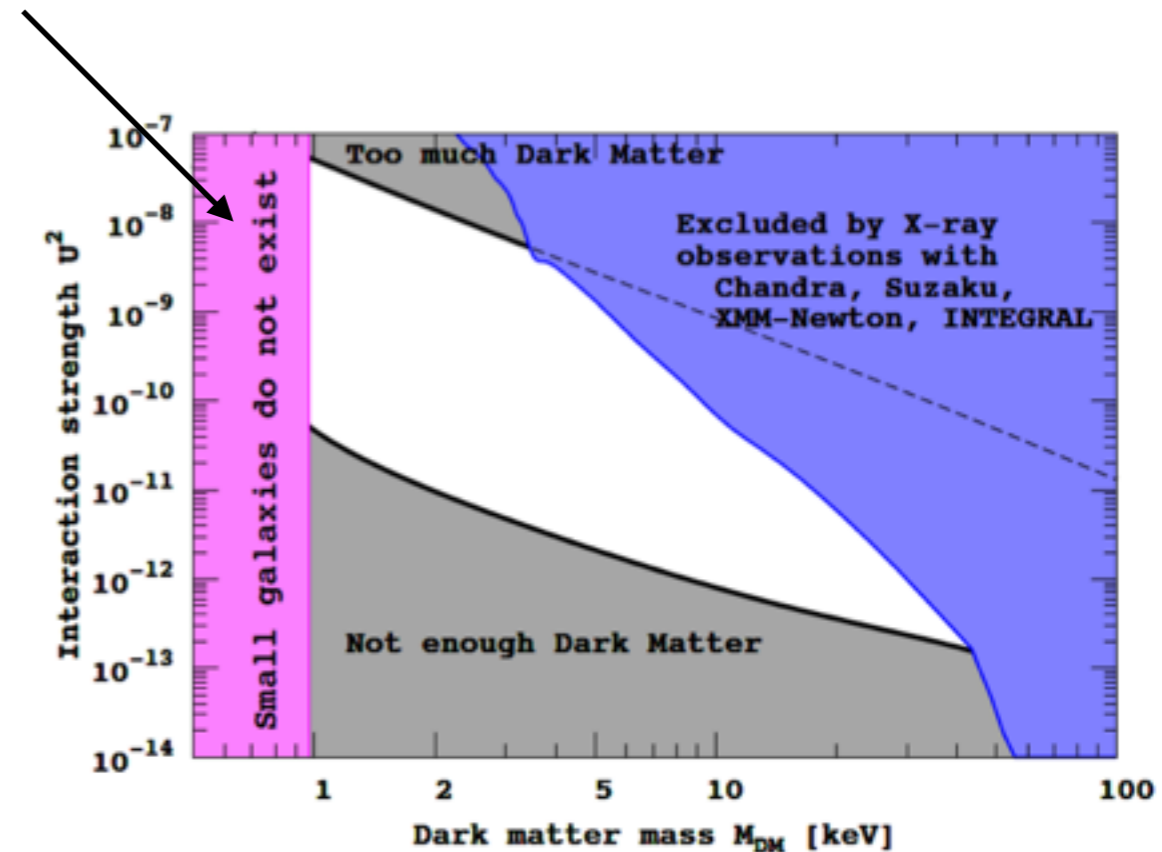
deve fornire la corretta abbondanza di DM



- 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 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

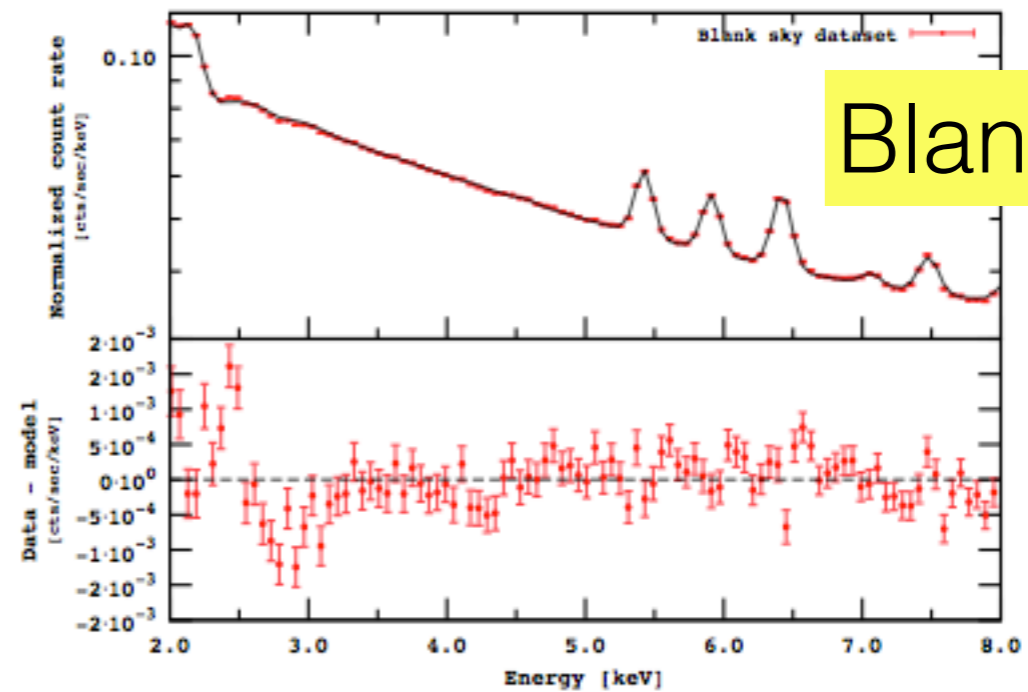
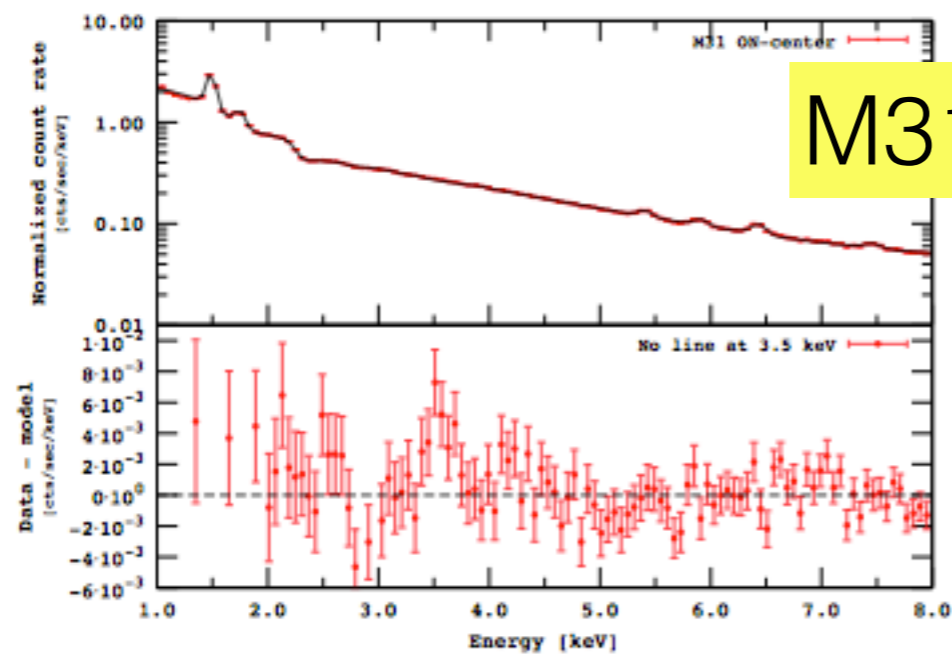
⁵Leiden Observatory, Leiden University, Niels Bohrweg 2, Leiden, The Netherlands

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

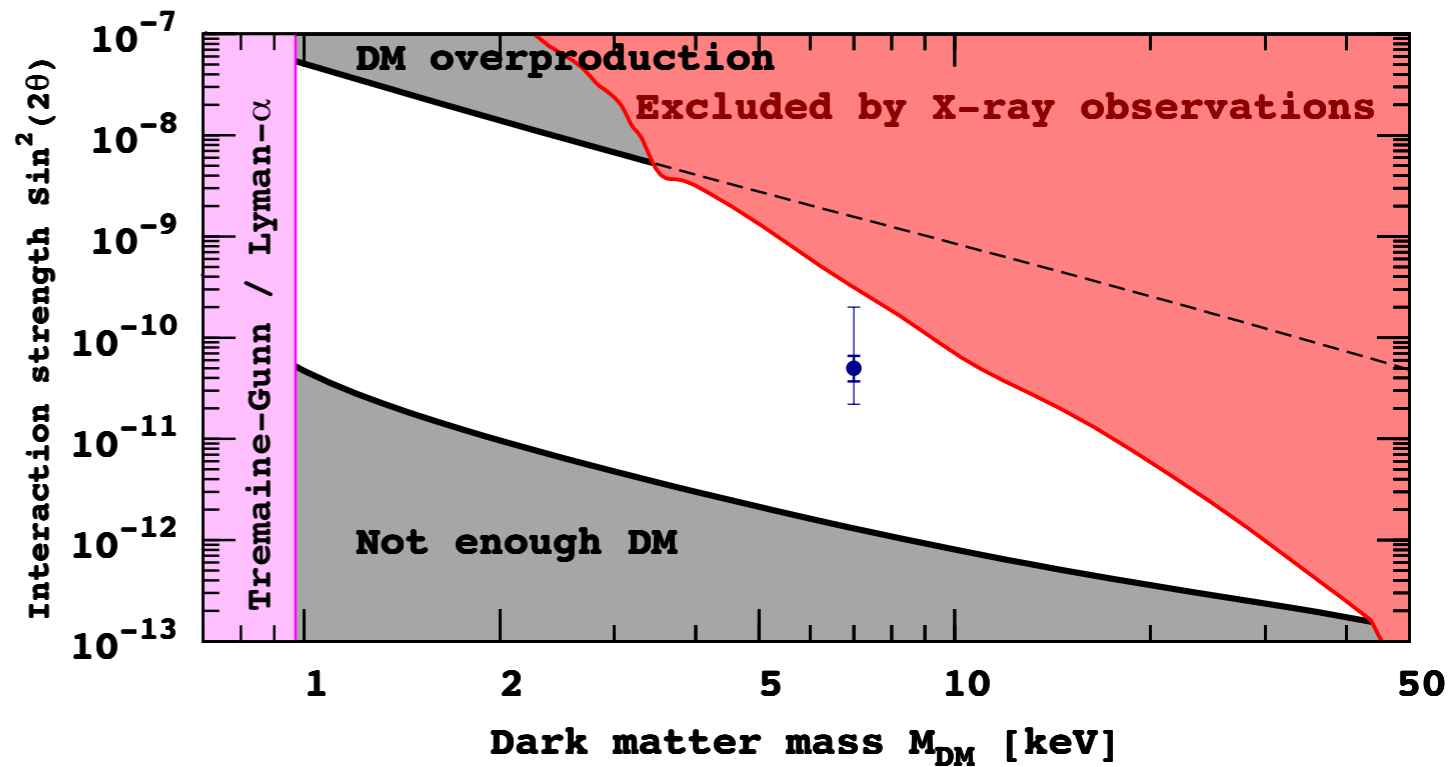
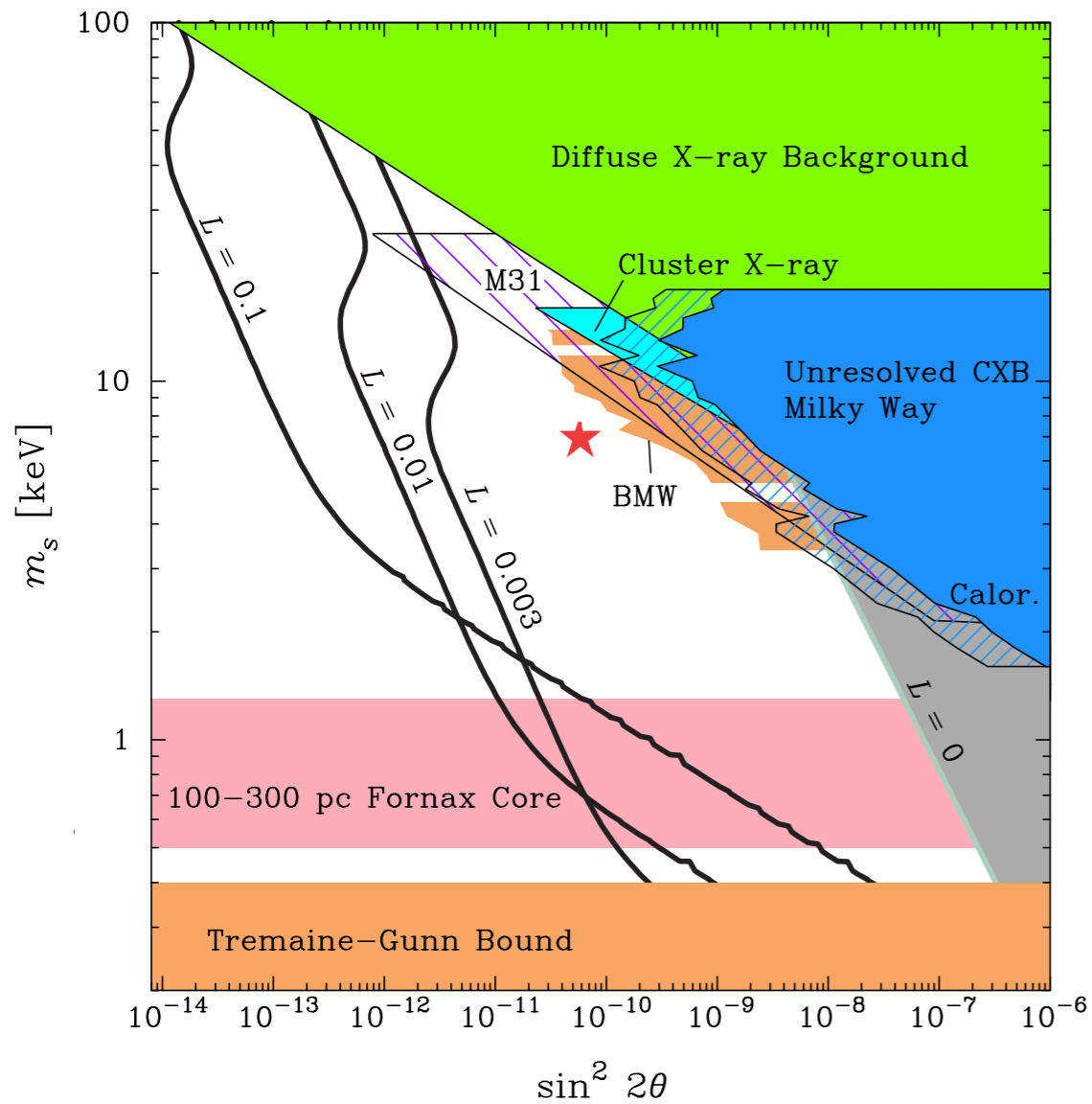
- **Osservazione consistente di una linea at 3.5KeV with 3-4 σ significance**
- **Analisi diversa dalla precedente e su dati diversi, con controlli anche sulla dipendenza radiale e sul contenuto relativo di DM**
- **Molte analisi in corso che potranno chiarire la situazione**
- **Missione Astro-H sara'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

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' $3-4\sigma$ in vari sub-campioni —> pertanto e' il caso di aspettare ed essere cauti.

For fun: nel grafico bi-dimensionale



Boyarski 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 $r=0.20+0.07-0.05$), sono consistenti con il modello dell'inflazione con Higgs (arXiv:1403.5043, arXiv:1403.6078)

E' stato anche costruito un modello (Bezrukov, Gorbunov, arxiv:1403.4638) consistente con tutte le osservazioni sperimentali in cui l'inflatone non e' l'Higgs ma e' una particella leggera ($<1\text{GeV}$) che decade negli HNL

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.

