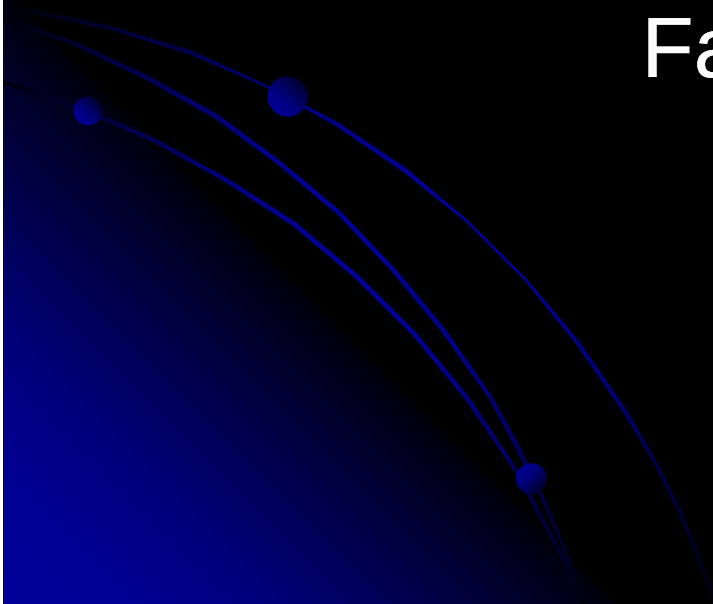
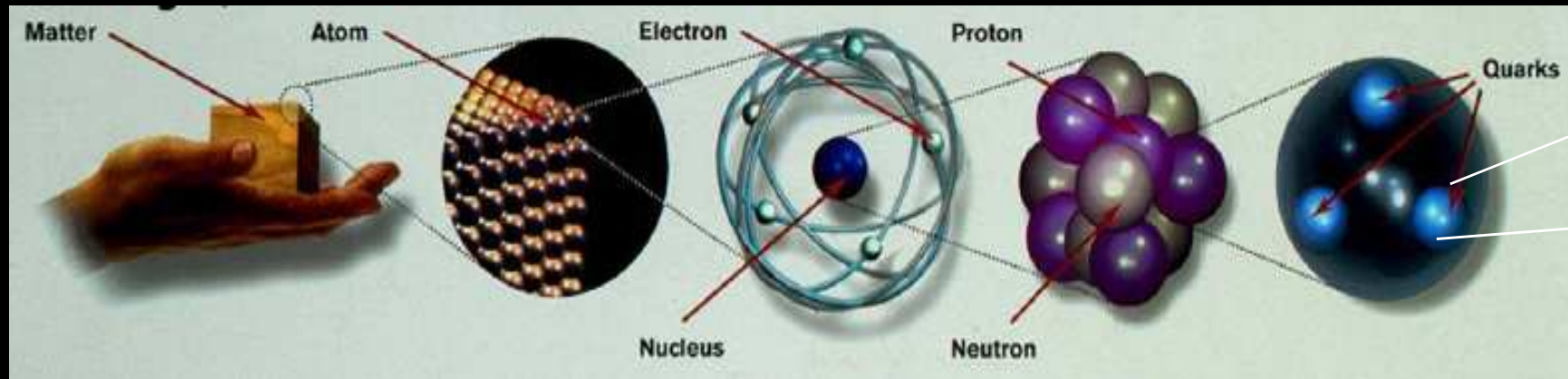


La fisica di NA62

Fabio Ambrosino



Acceleratori = Microscopi



- Per osservare la Natura a scale di lunghezza molto piccole occorre una radiazione di lunghezza d'onda ancora più piccola.
- Ma questo significa “illuminarla” con radiazione di energia sempre maggiore
(ricordate De Broglie.. $E = h \nu \propto 1/\lambda$)
- Si può ben dire che LHC sia **il più potente microscopio mai costruito....**

Quanto piccolo ?

- LHC indagherà la Natura fino a scale mai raggiunte finora. L'energia dei fasci permetterà di spingersi un ordine di grandezza più in basso di quanto finora ottenuto (10^{-19} m)
- Lo sforzo tecnologico per questo risultato è stato immenso. Non è possibile pensare di costruire un secondo LHC, e andare ancora oltre in energia è molto complicato ...
- ... ma esiste anche un approccio differente al problema ...

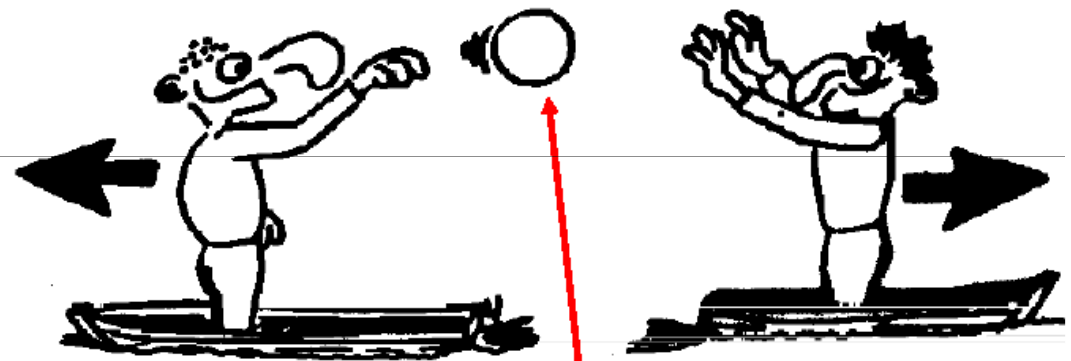
Una piccola divagazione ...

- Il principio di indeterminazione energia tempo ci insegna che la misura dell'energia di un sistema è legata all'intervallo di tempo durante il quale lo posso osservare.
- Se il sistema fisico è *stabile* Δt è infinito e l'energia è perfettamente definita.
- Se è *instabile* l'energia presenta delle fluttuazioni ... (larghezza naturale delle righe spettrali ...) finché

... se Δt tende a zero l'energia è *indeterminata*

Mediatori virtuali

Il modello standard prevede che tutte le interazioni avvengano attraverso lo scambio di mediatori: particelle che vivono per il tempo molto breve necessario a trasmettere l'interazione dal punto x_A, t_A a quello x_B, t_B



Mediatore, bosone vettore, bosone intermedio

Particelle virtuali e conservazione dell'energia

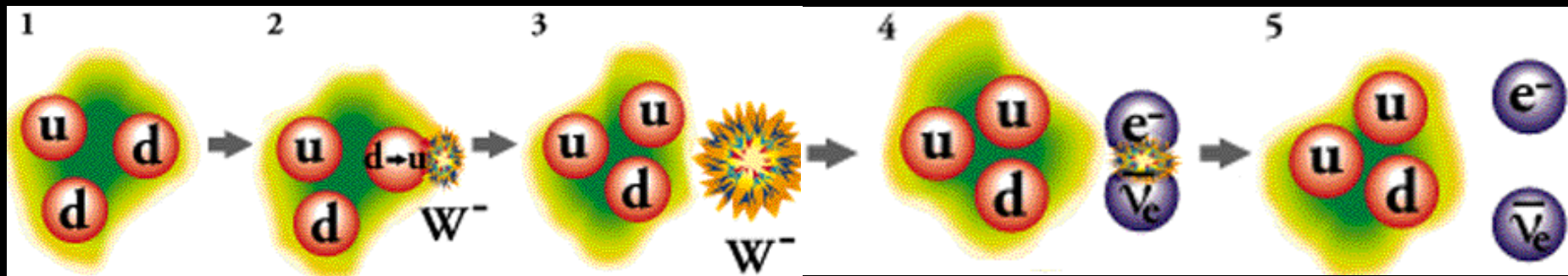
- I mediatori virtuali “vivono” per un tempo molto breve, tale da non essere di fatto osservabili direttamente
- Ma allora possono possedere anche una energia molto alta ...
- ... anche *molto più alta di quella posseduta dalle particelle che se li scambiano !!!!*

Decadimento β

- In un decadimento di questo tipo un neutrone libero ($m = 939.6 \text{ MeV}$) decade in:
protone ($m = 938.3 \text{ MeV}$)
elettrone ($m = 0.5 \text{ MeV}$)
neutrino ($m \neq 0$)

L'**energia**, ovviamente, **si conserva nel processo** ma ... vediamo come si spiega questo processo nel Modello Standard ...

Decadimento β



- 1) Neutrone = un quark up ($q=+2/3$) + 2 quarks down ($q=-1/3$)
- 2) Un quark down si trasforma in quark up irraggiando un bosone W^-
- 3) Il neutrone si è trasformato in un protone (uud) ($q=+1$)
- 4) Il bosone W^- decade in un elettrone e un neutrino
- 5) Lo stato finale è $p+e+\nu$

Tutto OK ... c'è solo un piccolo problema ... il bosone W ha una massa pari a circa **80 volte** quella del neutrone !!!! E' come se un topolino partorisce un elefante tutto ciò è possibile solo in virtù del principio di indeterminazione: il bosone W vive meno di un milionesimo di milionesimo di milionesimo di secondo.

Una finestra sull'ignoto

- La storia del decadimento β ci suggerisce una interessante opportunità.
- Se riusciamo a individuare (indirettamente, tramite lo studio dei prodotti finali del decadimento) l'effetto di un mediatore virtuale, possiamo studiare la natura a energie **potenzialmente illimitate** (e quindi a scale infinitesime) senza bisogno di accelerare le particelle direttamente !!!
- Potremmo ad esempio studiare particelle della massa di 100 TeV guardando i decadimenti di particelle di 500 MeV (come i mesoni K !!!)
- ... sembra troppo bello per essere vero !!!

...e infatti...

Il prezzo da pagare

- Come si può facilmente immaginare la probabilità di produrre un mediatore virtuale di **massa M** diminuisce all'aumentare della massa (per il topolino è più facile partorire un elefante che una montagna ...) . Quantitativamente l'effetto va tipicamente come **$1/M^4$**
- Gli effetti dei mediatori di massa superiore sono completamente oscurati da quelli di massa più bassa. Come cercare di vedere la luce delle stelle di giorno ...

E quindi uscimmo a riveder le stelle



- Ma noi siamo ovviamente in grado di osservare la flebile luce delle stelle ... di notte, quando la luce del Sole è oscurata.
- Dobbiamo cercare l'analogo della "notte" nei decadimenti delle particelle elementari: **processi proibiti alle scale conosciute (o molto rari)**

Ricerca di eventi rari

- Il decadimento $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \nu$ è il più raro che sia mai stato osservato, con una probabilità di decadimento (Branching Ratio, BR) 10^{-10} . Cioè solo un decadimento su 10 miliardi circa del K avviene con questa modalità
- Solo sette decadimenti di questo tipo sono stati osservati in un presa dati durata molti anni negli USA.
- Non è completamente proibito (come, ad esempio il decadimento $\mu \rightarrow e \gamma$) ma è sufficientemente soppresso da permettere di evidenziare effetti di fisica oltre il Modello Standard (cioè mediatori di massa molto elevata)
- Diverse estensioni del Modello Standard prevedono valori molto diversi per questo Branching Ratio: è un banco di prova molto sensibile per i ragionevoli scenari di Nuova Fisica...e ci può permettere di *falsificare* quelli sbagliati.

$K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$: la sfida

- Dal punto di vista sperimentale misurare questo decadimento è una sfida notevole:
 1. I **neutrini** non vengono rivelati
 2. Essendo un decadimento a **tre corpi** l'impulso del pione non è fissato da leggi di conservazione, e può assumere uno spettro continuo di valori
 3. Decadimenti come $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$ e $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu$ sono **10^{10}** volte più probabili e molto simili dal punto di vista dei rivelatori...

Stiamo cercando un ago in un pagliaio....

L'esperimento NA62

- Gli ingredienti per riuscire nell'impresa:
 1. Tanti mesoni K (**fascio intenso**)
 2. Alta precisione nel ricostruire gli eventi di segnale (**risoluzioni spaziali e temporali spinte**)
 3. Un sistema efficiente e ridondante di rivelatori per identificare e rigettare l'enorme mole di "paglia" degli eventi di fondo (**sistemi di veto**)



Fasci collidenti

- In una collisione head-on fra due fasci (come a LHC):



- Si ha a disposizione la somma dell'energia dei due fasci per produrre particelle nello stato finale
- E' complicato aumentare l'intensità ("luminosità" dell'acceleratore) perché ciascun fascio è fatto di particelle con identica carica elettrica e la luminosità è proporzionale al **prodotto delle densità**.
- I prodotti di decadimento sono distribuiti quasi isotropicamente (→ rivelatori cilindrici: ATLAS, CMS...)

Fixed target

- In una collisione a bersaglio fisso (come nel fascio di NA62):

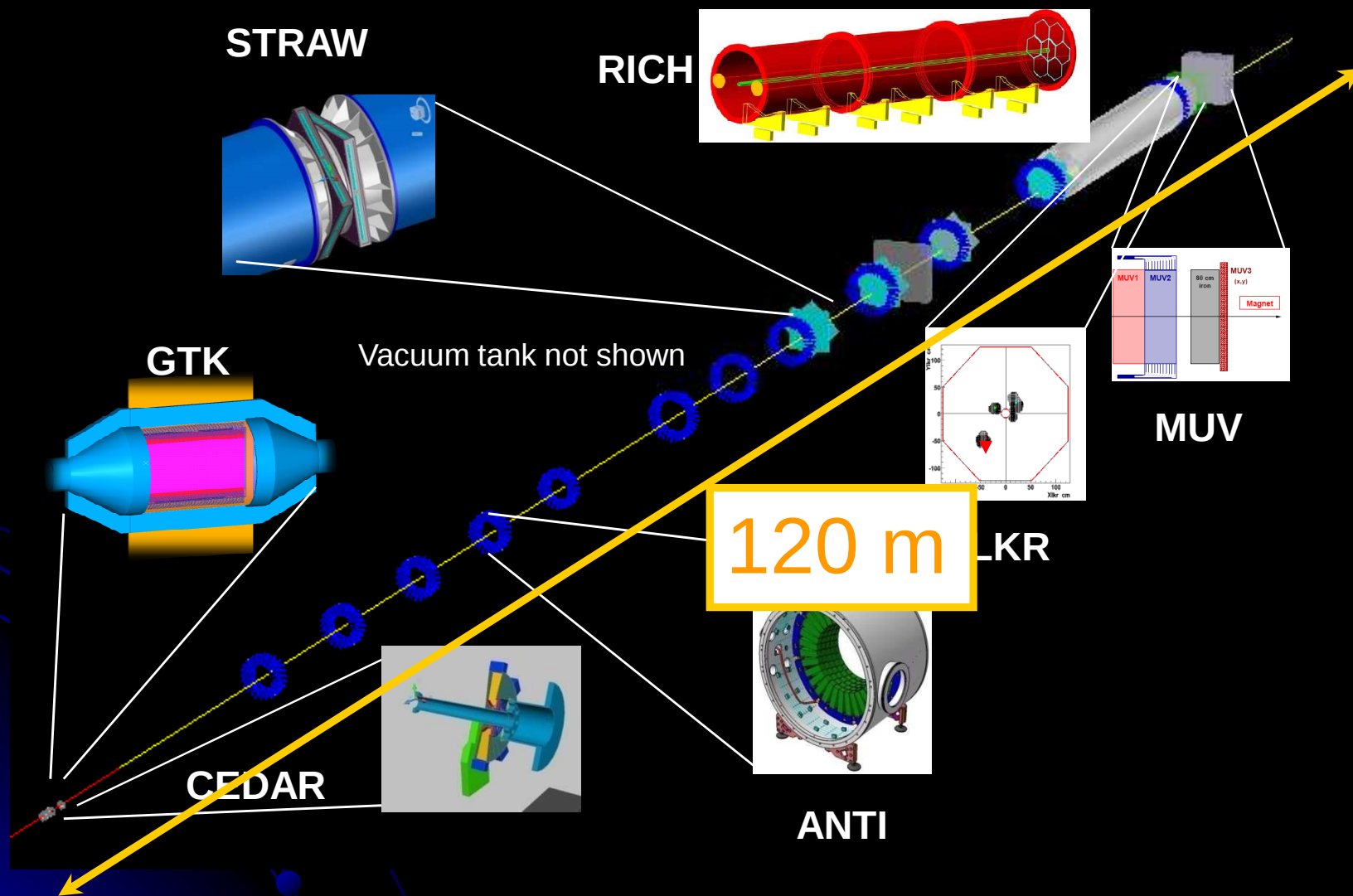


- Si ha a disposizione l'energia di un solo fascio per produrre particelle nello stato finale
- Il bersaglio, che è tipicamente un materiale solido (ad es. Be) ha “naturalmente” un grande numero di centri diffusori (Numero di Avogadro!!) ed è molto più facile ottenere **alte intensità**
- I prodotti di decadimento sono tutti o quasi “in avanti” per via della conservazione dell'impulso → rivelatori “in avanti” !

Il fascio di NA62

- Ottenuto facendo collidere un fascio di protoni da 400 GeV estratto dall'SPS (l'iniettore di LHC) contro un bersaglio di Be e selezionando con opportuni magneti mesoni K, pioni e protoni da 75 GeV
- Produce ben 10^{12} decadimenti del K in un anno...ovvero circa **100 eventi di segnale all'anno !** (ricordate, finora solo 7 eventi osservati nel mondo...)

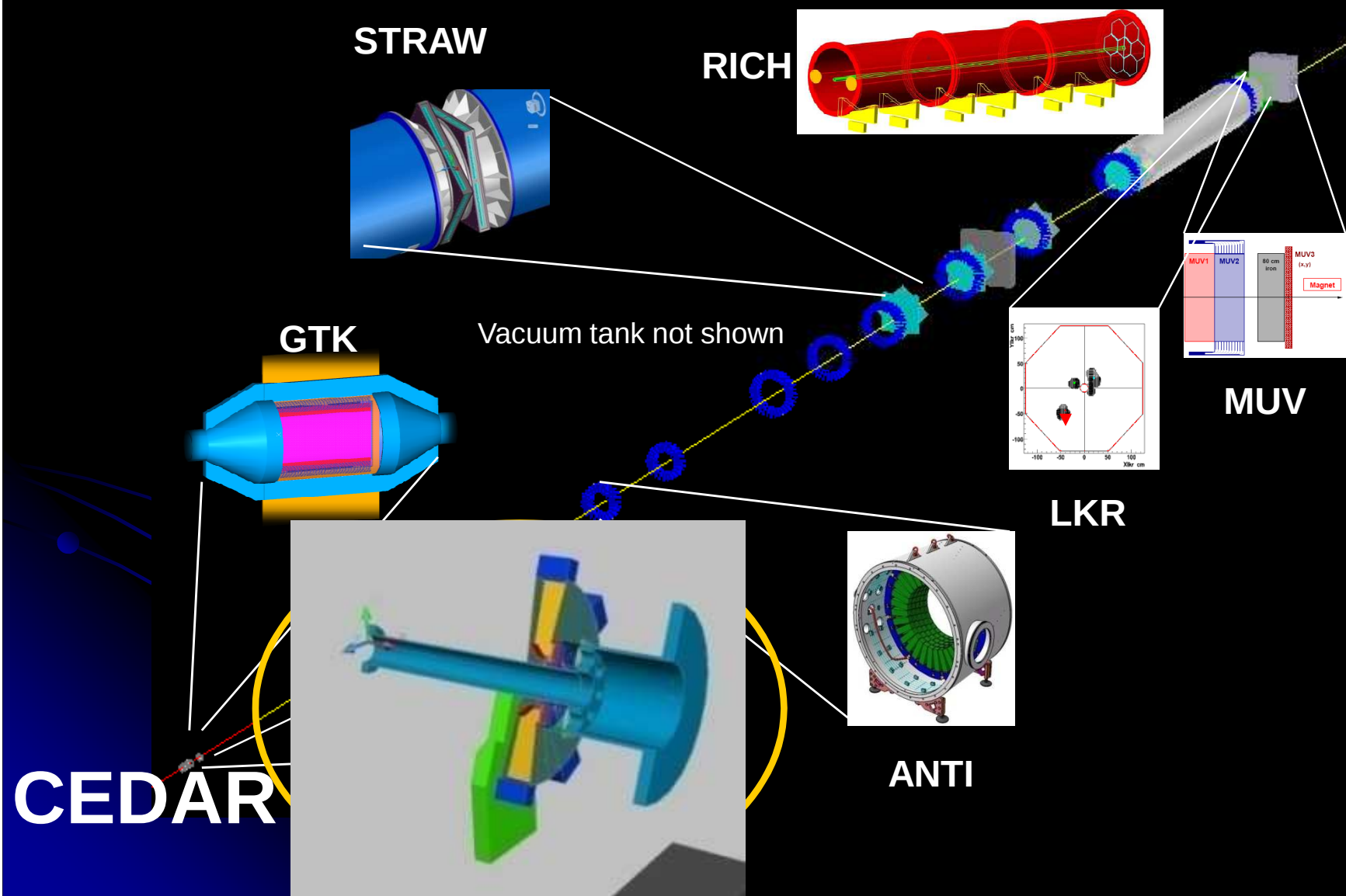
Il rivelatore NA62



Il rivelatore NA62

- Scopo del rivelatore:
 - Distinguere i K da pioni e protoni nel fascio (CEDAR)
 - Ricostruire la traiettoria del K e del pione prodotto nel decadimento (GTK, STRAW)
 - Individuare qualunque altra particella presente e nel caso rigettare l'evento: segnatura sperimentale: "K in pione + niente" (ANTI, RICH, LKr, MUV/HAC)

Il rivelatore NA62

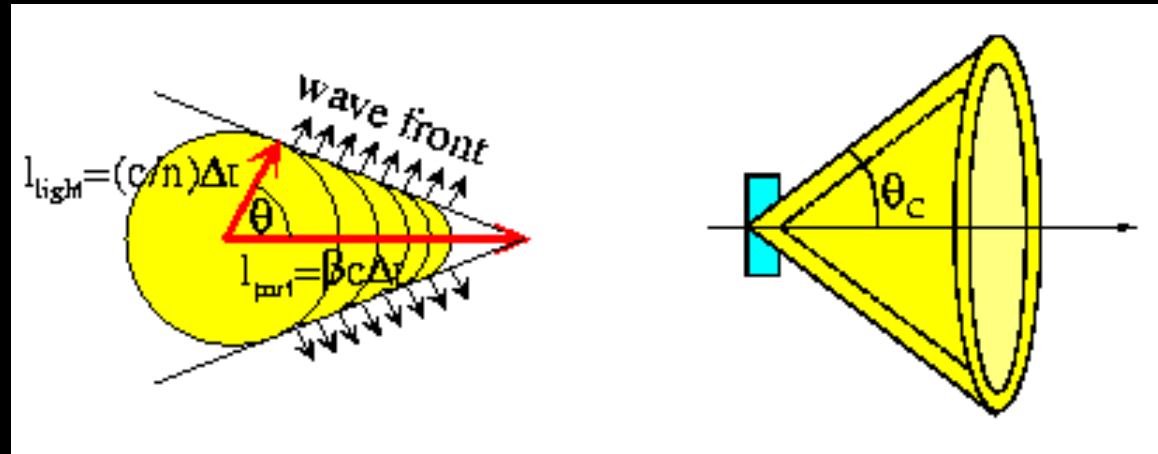


Un'altra digressione: effetto Cerenkov



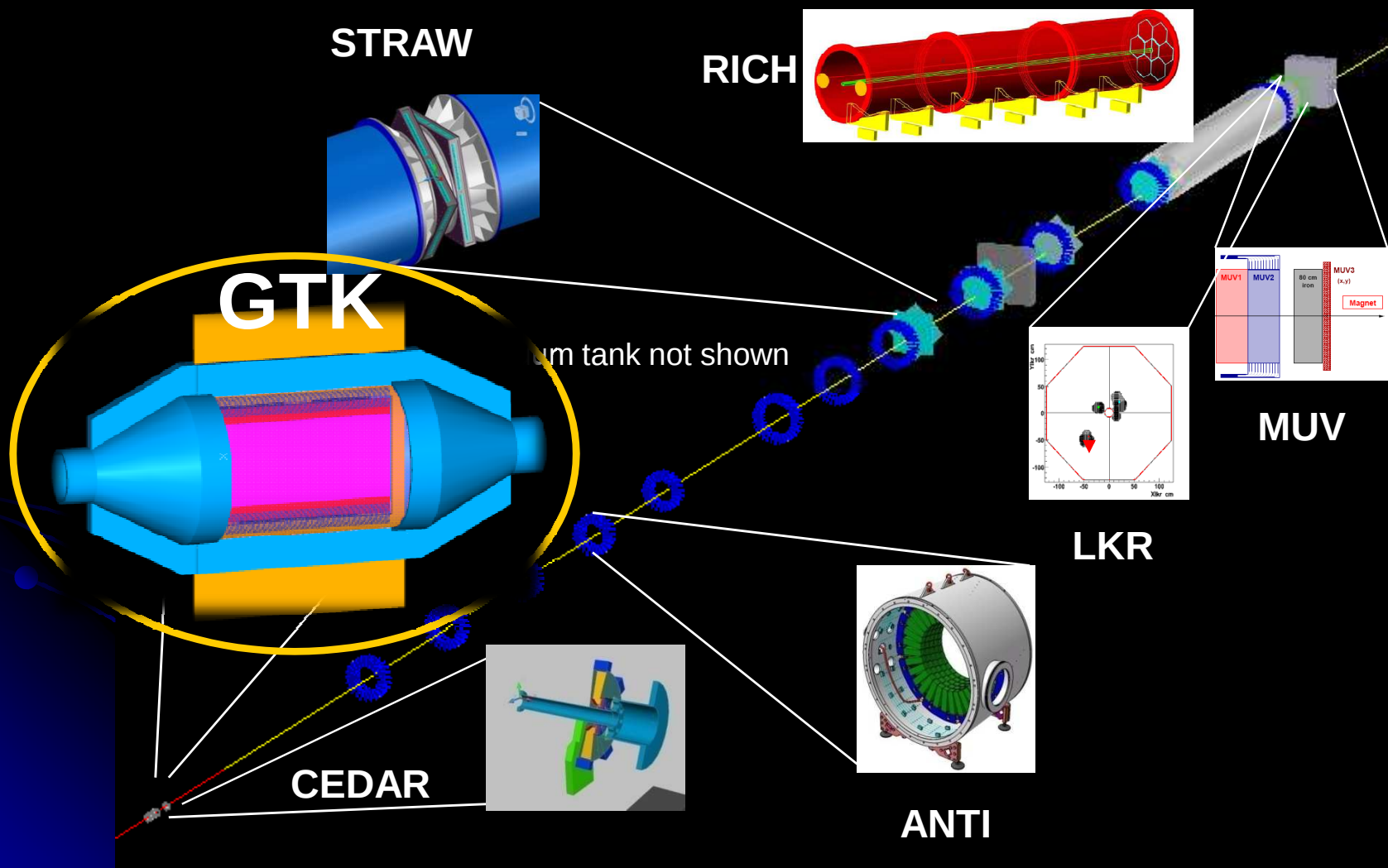
- Simile al bang ultrasonico rilasciato dai jets in aria quando si muovono più velocemente del suono
- Se una particella si muove **in un mezzo** con velocità maggiore della luce **in quel mezzo**, si produce una radiazione (luce) caratteristica detta **luce Cerenkov**

Identificazione delle particelle del fascio

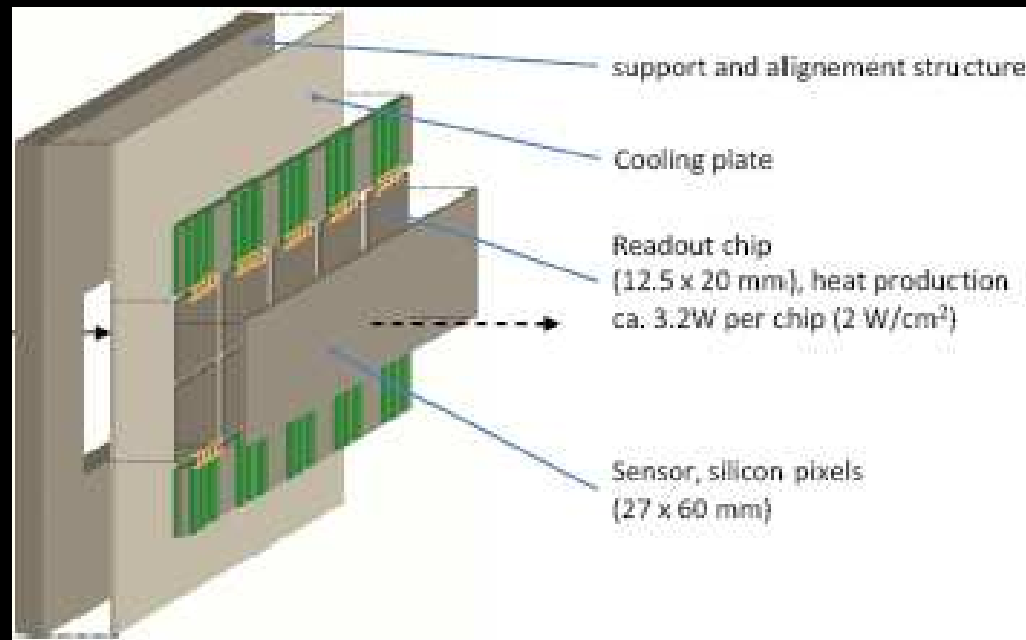


- L'angolo di apertura del cono di luce dipende dalla velocità della particella e permette di misurarla
- Particelle di stesso impulso (come quelle del fascio) e massa diversa hanno velocità diversa: misurare la velocità di una particella significa individuarne la massa.
- Può essere usato ad esempio per distinguere mesoni K ($M=494$ MeV) da pioni ($M=139$ MeV) e protoni ($M = 1$ GeV) → è esattamente quello che fa il **CEDAR** di NA62

Il rivelatore NA62



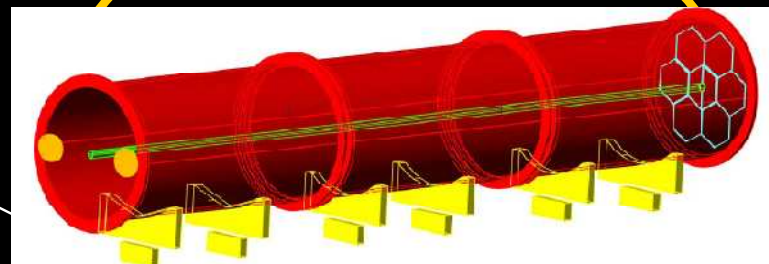
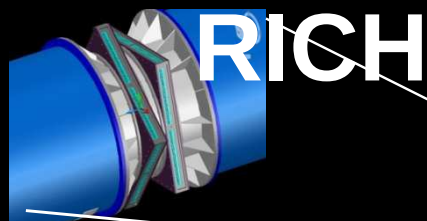
Il Gigatracker (GTK)



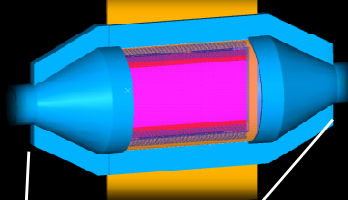
- Tre stazioni da 18000 pixel di silicio ciascuna per misurare la posizione e l'inclinazione del fascio con grande precisione.
- La direzione del fascio viene misurata con risoluzione $O(14 \mu\text{rad})$, la posizione con precisione $O(100 \mu\text{m})$
- Straordinarie le prestazioni temporali del rivelatore. Il **tempo** in cui viene attraversato dal fascio viene determinato con una precisione di 200 ps !

Il rivelatore NA62

STRAW

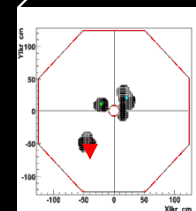
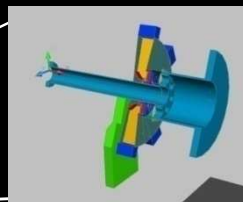


GTK

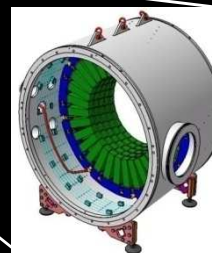


Vacuum tank not shown

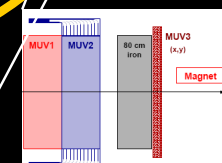
CEDAR



LKR

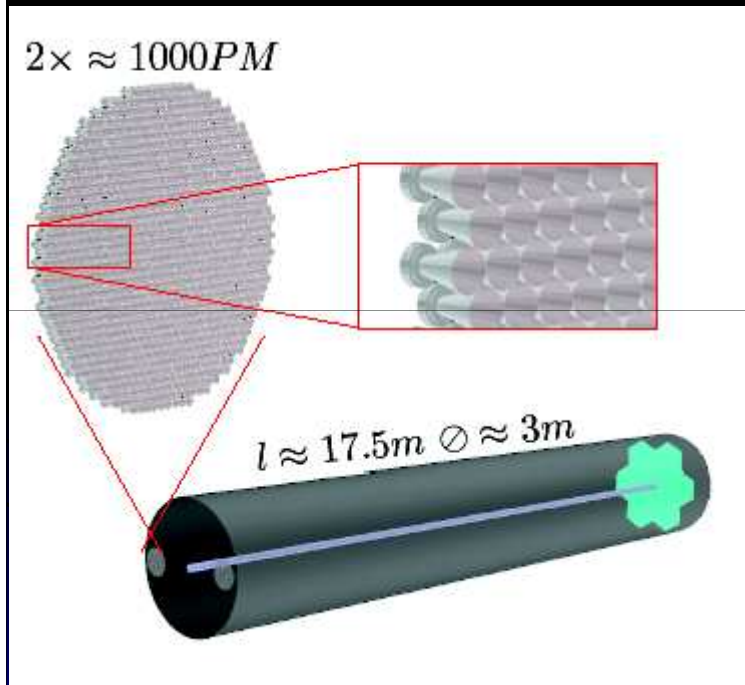


ANTI



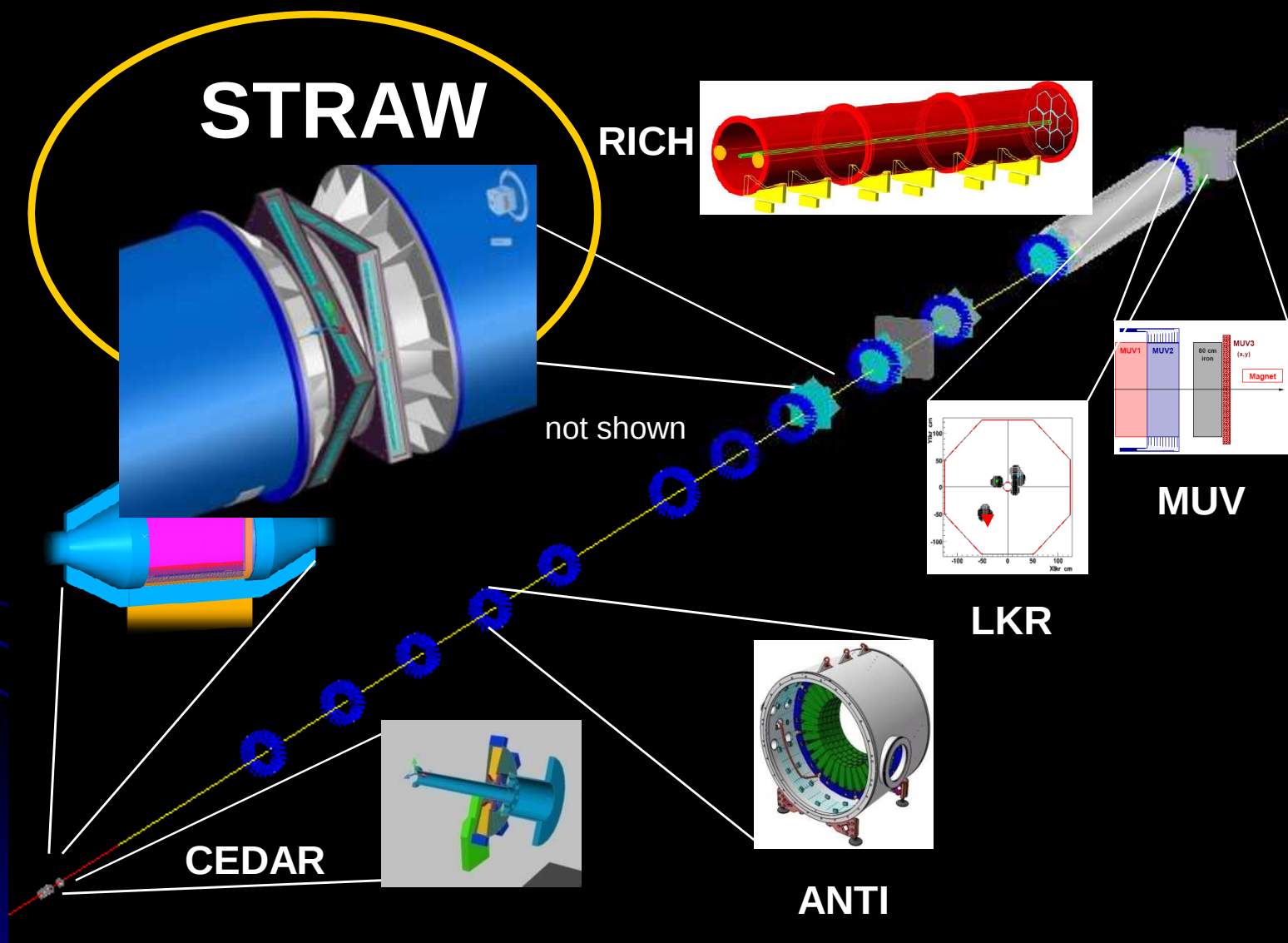
MUV

II RICH



- Si basa ancora sull'effetto Cerenkov, stavolta per distinguere i pioni di decadimento (caratteristici del segnale) da muoni o altre particelle presenti negli eventi di fondo
- Più complesso del CEDAR, perché le particelle non hanno tutte lo stesso impulso e non si muovono esattamente lungo l'asse del cilindro
- E' un tubo di 17 m di lunghezza con specchi di precisione che focalizzano la luce Cerenkov su una superficie ricoperta da migliaia di rivelatori di fotoni (fotomoltiplicatori)
- Deve essere associato ad un sistema di misura dell'impulso (STRAW)

Il rivelatore NA62

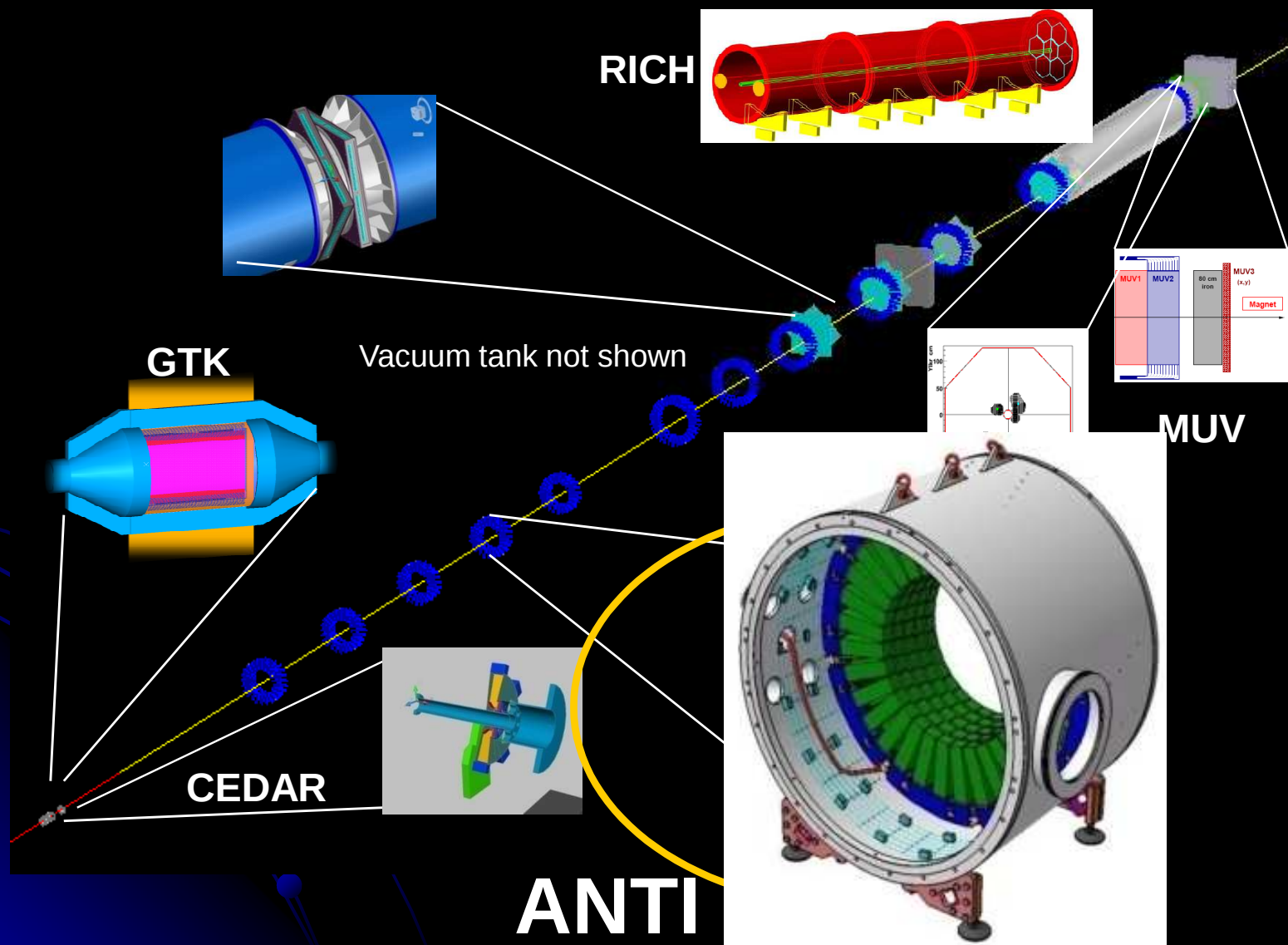


STRAW



- Una serie di rivelatori a gas basati su elementi a forma “di cannuccia” (in inglese straw) per misurare con precisione la traiettoria delle particelle cariche che li attraversano
- Associate ad un magnete dipolare permettono di misurare l’impulso delle particelle cariche (raggio di curvatura in campo magnetico inversamente proporzionale all’impulso)

Il rivelatore NA62



Il sistema ANTI



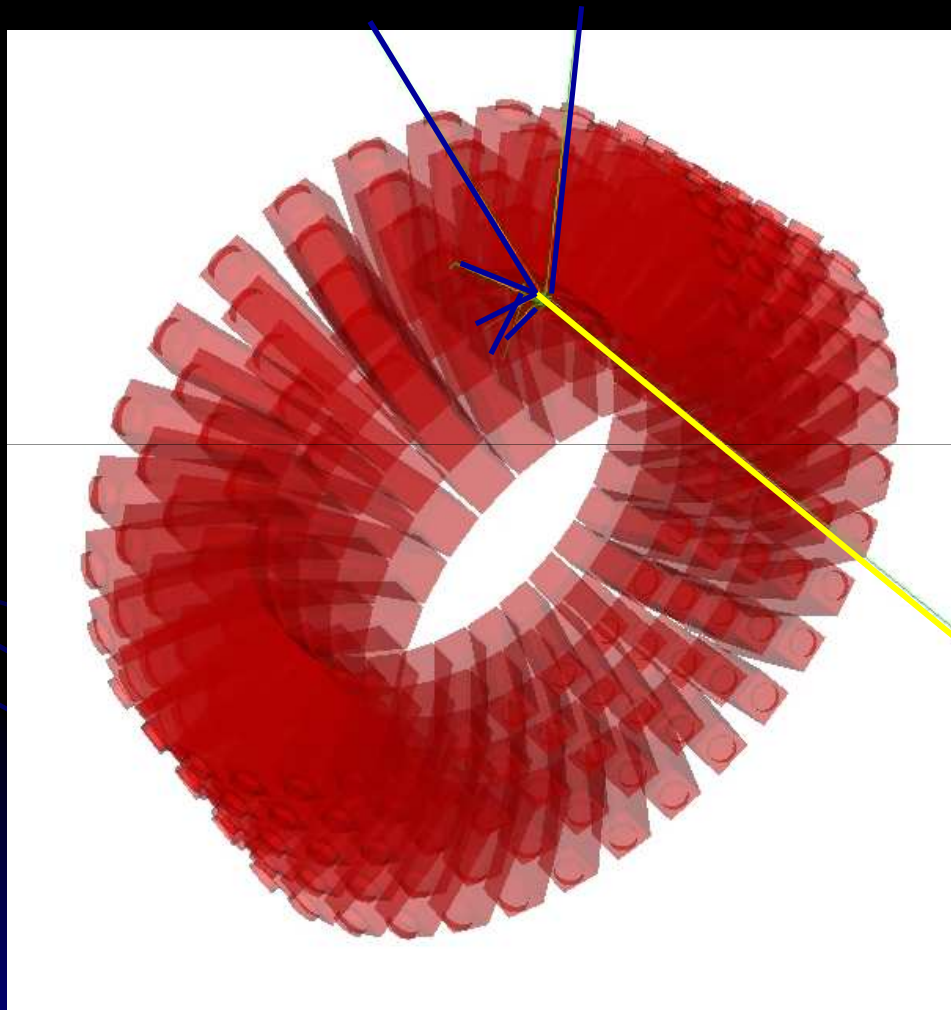
- Il più grande rivelatore di NA62
- Serve a individuare e rigettare gli eventi di fondo, in cui vengono prodotti **fotoni** che negli eventi di segnale non ci sono
- 12 anelli del peso, ciascuno, di oltre 6 ton
- 2500 blocchi di cristallo in anelli concentrici sfalsati per la misura dei fotoni con efficienza del **99.99%**
- Risoluzione temporale migliore di 1 ns
- Costruito dal **gruppo di Napoli** in collaborazione con Frascati e Pisa
- Il primo anello completo è stato installato al CERN poche settimane fa !

Il sistema ANTI

- Installazione sulla linea del fascio del primo dei 12 anelli ANTI, 6 Agosto 2009



Il sistema ANTI



- Simulazione al calcolatore dell'impatto di un fotone sull'anello ANTI-A1 (dalla tesi di laurea magistrale di un vostro collega)
- Il sistema è in grado di identificare i fotoni con l'efficienza richiesta (99.99%)

I tempi di NA62

- A differenza di LHC, che è immediatamente ai blocchi di partenza, NA62 comincia adesso la fase di costruzione, che durerà 3 anni.
- I primi dati sono attesi nel 2012 ...e ovviamente speriamo di trovare risposte...

....che ci permettano di porci **nuove domande**...