

# DAFNE2: prospettive di fisica $e^+e^-$ a Frascati

*Cesare Bini*

Sapienza Università di Roma e INFN Roma

1. Il progetto DAFNE2
2. Programma scientifico
3. Stato della macchina
4. Studi di rivelatore

# 1. Il progetto DAFNE2

- Macchina  $e^+e^-$  con  $1 < \sqrt{s} < 2.5 \text{ GeV}$ , luminosità fino a  $10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  (a 1 GeV) e  $> 10^{32} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  (alle altre energie);
- 3 Eol sono state elaborate e presentate ai laboratori:
  - **KLOE2** (continuation of the KLOE program at DAΦNE upgraded in luminosity and in energy)
  - **DANTE** (measurement of the nucleon form factors in the time-like region at DAFNE2)
  - **AMADEUS** (study of deeply bound kaonic nuclear states at DAΦNE2)
- Idea di base: unico rivelatore (basato su KLOE) con diverse regioni di interazione per run diversi.  
(vedi <http://www.lnf.infn.it/lnfadmin/direzione/roadmap/roadmap.html>)

## 2. Programma scientifico

1. **Fisica dei mesoni K alla  $\phi$ :** matrice CKM, simmetrie CP e CPT, universalità leptonica, teorie chirali;
2. **Struttura dei mesoni leggeri:**  $\eta$ ,  $\eta'$ ,  $f_0(980)$ ,  $a_0(980)$ ,  $\sigma$  (+ spettroscopia di mesoni  $1 < m < 2.5$  GeV);
3. **Sezione d'urto adronica da  $2m_\pi$  a 2.5 GeV:** calcolo correzioni adroniche a g-2 e a  $\alpha_{em}$  running ;
4. **Fattori di forma time-like dei barioni (p, n,  $\Lambda$ ,  $\Sigma$ ):** misura delle fasi dalla polarizzazione;
5. **Esistenza di nuclei kaonici fortemente legati e sistematica interazioni KN;**

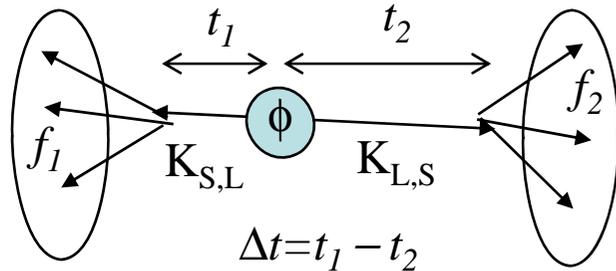
## 2.1 Fisica dei mesoni K ad una $\phi$ -factory

$\sim 10^6$  K neutri per  $\text{pb}^{-1}$   
stato antisimmetrico  
con  $J^{PC} = 1^{--}$

$$\begin{aligned} |i\rangle &= \frac{1}{\sqrt{2}} \left[ |K^0(+\vec{p})\rangle |\bar{K}^0(-\vec{p})\rangle - |\bar{K}^0(+\vec{p})\rangle |K^0(-\vec{p})\rangle \right] \\ &= \frac{N}{\sqrt{2}} \left[ |K_S(+\vec{p})\rangle |K_L(-\vec{p})\rangle - |K_L(+\vec{p})\rangle |K_S(-\vec{p})\rangle \right] \end{aligned}$$

- (1) Fasci puri di  $K_S$  e  $K_L$ : **tagging**  $\rightarrow$  B.R. assoluti ( $K_S$  e  $K_L$ )  
 $\rightarrow$  decadimenti rari del  $K_S$   
( $\mathcal{CP}$  nei decadimenti del  $K_S$ ):  
(a)  $K_S \rightarrow \pi^0\pi^0\pi^0$   
(b) asimmetria semileptonica)
- (2) Stato coerente  $\rightarrow$  fenomeni di **interferometria quantistica**  
 $\rightarrow$  sistematica sui parametri dei K ( $\Delta m$ ,  $\Gamma$ ,  $\epsilon$ ,  $\epsilon'/\epsilon, \dots$ )  
 $\rightarrow$  ricerca di fenomeni "esotici": possibilità "unica" nel sistema  $K^0\bar{K}^0$

Esempio:  $\phi \rightarrow K_S K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+ \pi^-$ , test di coerenza quantistica



Differenza di tempo tra i 2 vertici:

→ Effetti di decoerenza ( $\zeta$ )

→ Violazione di CPT indotta da effetti di gravità quantistica ( $\omega$ )

$$|i\rangle \propto (K_S K_L - K_L K_S) + \omega (K_S K_S - K_L K_L)$$

$$|\omega|^2 = O\left(\frac{E^2/M_{PLANCK}}{\Delta\Gamma}\right) \approx 10^{-5} \Rightarrow |\omega| \sim 10^{-3}$$

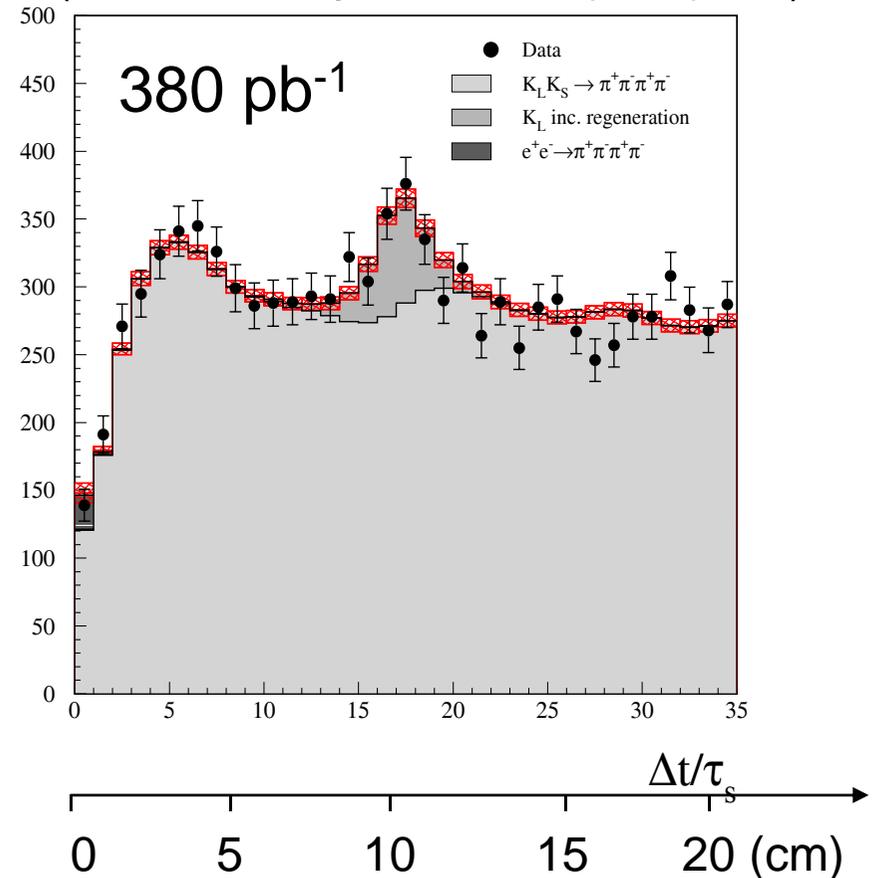
(vedi [www.roma1.infn.it/people/didomenico/roadmap/kaoninterferometry.html](http://www.roma1.infn.it/people/didomenico/roadmap/kaoninterferometry.html))

Questioni sperimentali:

- ottima **risoluzione di vertice**, **no materiale** nei primi 10 ÷ 15 cm, ...

KLOE ha già migliorato i limiti precedenti.

(KLOE coll. *Phys.Lett.B*642 (2006) 315)



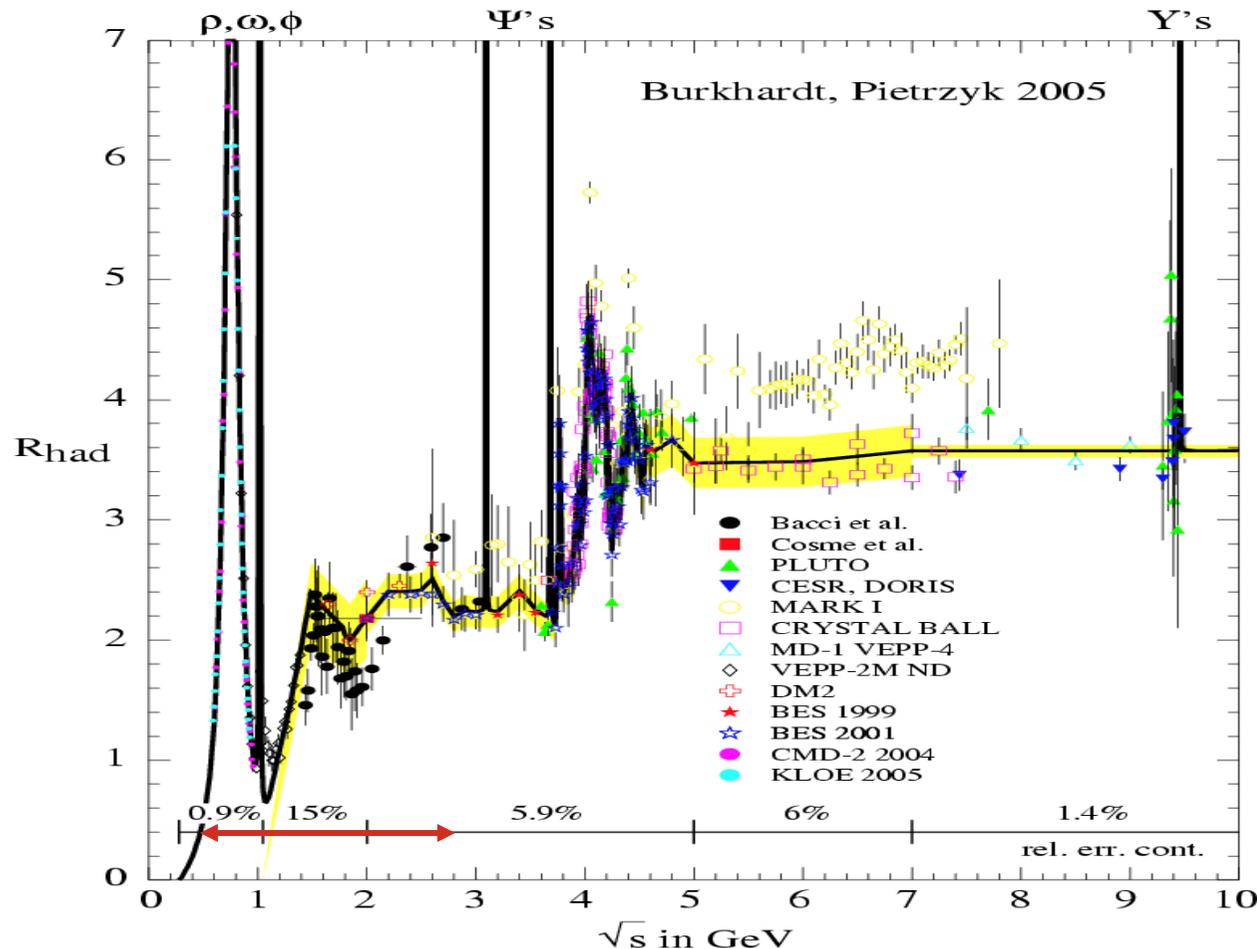
## 2.2 Misura della sezione d'urto $e^+e^-$ in adroni

DAFNE2 ==> da  $2 m_\pi$  a 2.5 GeV

→ Spettroscopia dei mesoni vettori

→ Correzioni adroniche a  $g-2$  e a  $\alpha_{em}$

N.B. “competizione” con B-factories ISR e con VEPP-2000



(1)  $2m_\pi \div 1$  GeV  
ritorno radiativo  
cruciale per  $g-2$

(vedi [hep-ph/0703049](https://arxiv.org/abs/hep-ph/0703049))

(2)  $1 \div 2.5$  GeV  
scan in energia  
cruciale per  $\alpha_{em}$

(vedi [hep-ph/0608329](https://arxiv.org/abs/hep-ph/0608329))

## 2.3 Fattori di forma time-like dei barioni

Misura di  $e^+e^- \rightarrow p\bar{p}$   
 $\rightarrow n\bar{n}$   
 $\rightarrow \Lambda\bar{\Lambda}$   
 $\rightarrow \Sigma\bar{\Sigma}$   
...

- Sezione d'urto  $\implies |G|^2$
- Distribuzione angolare  $\implies |G_E|/|G_M|$
- **Polarizzazione** del barione uscente  $\implies \delta\phi = \phi_E - \phi_M$
- Asimmetria FB  $\implies$  **Grafico a 2  $\gamma$**

**Protone:** misura di precisione con prima osservazione della fase e del contributo del grafico a 2 fotoni (rilevante per la comprensione dei risultati nello space-like);

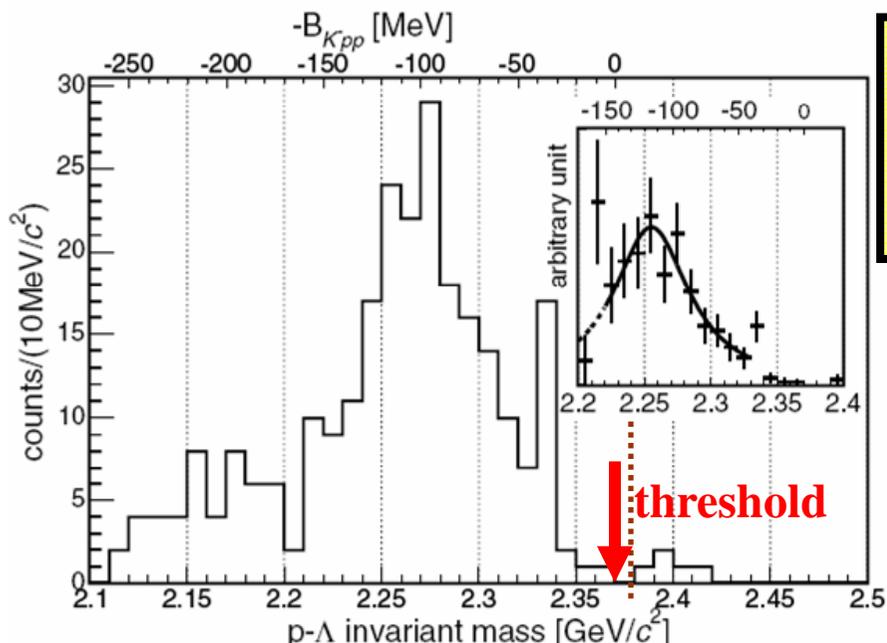
**Neutrone:** quasi “prima” misura (FENICE x 1000);

**Iperoni:** prime misure.

N.B. Anche qui “competizione” con B-factories e VEP-2000 (BABAR  $e^+e^- \rightarrow \Lambda\Lambda$ )

## 2.4 Ricerca di nuclei kaonici profondamente legati

Osservazione di FINUDA:  $K^- (pp) \rightarrow \Lambda p, \Lambda \rightarrow p\pi^-$ : stato legato ?



$$B = 115^{+6}_{-5} {}^{+3}_{-4} \text{ MeV}$$

$$\Gamma = 67^{+14}_{-11} {}^{+2}_{-3} \text{ MeV}$$

$M = (2255 \pm 9) \text{ MeV}$   
Yield  $\approx 1\%$ /stopped K

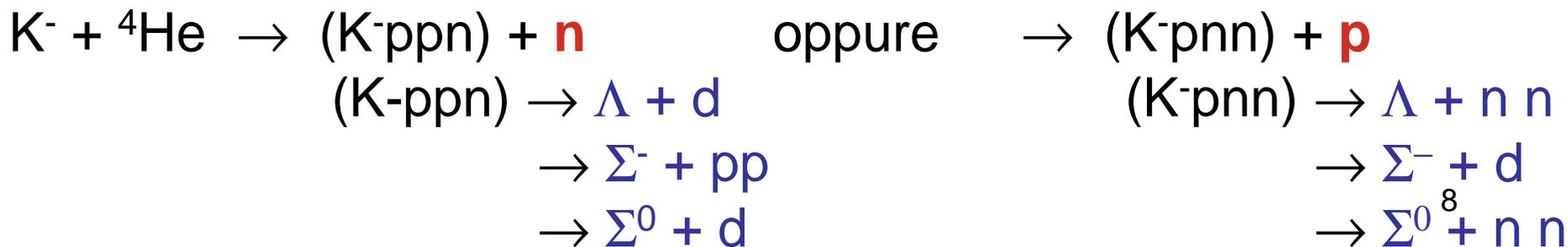
Altre “evidenze” da:

KEK-E471 (K-ppn, K-pnn)

GSI FOPI

AGS E930

AMADEUS: studio sistematico della **formazione** (spettri di **n** e **p**) e del **decadimento** di questi stati: esempio del “tribarione”.



## Richieste per la macchina e per il rivelatore

**Luminosità:** (attuale:  $1.5 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  KLOE =  $2.5 \text{ fb}^{-1}$ )

(1) **ok** per il programma di alta energia

(2) **quasi ok** per il programma nucleare alla  $\phi$

(3)  $\rightarrow$   **$50 \text{ fb}^{-1} / 3 \div 4 \text{ anni}$**  per la fisica di precisione alla  $\phi$  (K,  $\eta$ ,  $\eta'$ ,...)

**Rivelatore:** “**update**” KLOE (f.e.e., daq, hv,...)

“**upgrade**”

$\rightarrow$  “inner tracker”

$\rightarrow$   $\gamma\gamma$  tagger

$\rightarrow$  bersagli ( $^3\text{He}$ ,  $^4\text{He}$ ,...)

$\rightarrow$  polarimetro

**Possibile schema: 3 diversi “*inner detectors*”**

### 3. Stato della macchina

*DAFNE è in funzione dal 1999.*

**Energia:**  $\sqrt{s} = M(\phi) = 1019.4 \text{ MeV}$   
*scan*  $1016 < \sqrt{s} < 1023 \text{ MeV} + \textit{off-peak} (1000 \text{ MeV})$

**Luminosità:** → picco  $1.5 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (progetto  $5 \times 10^{32}$ )  
**2.5 fb<sup>-1</sup> KLOE**  
**0.25 + 1 fb<sup>-1</sup> FINUDA**  
**0.25 + 1 fb<sup>-1</sup> DEAR / SIDDHARTA**

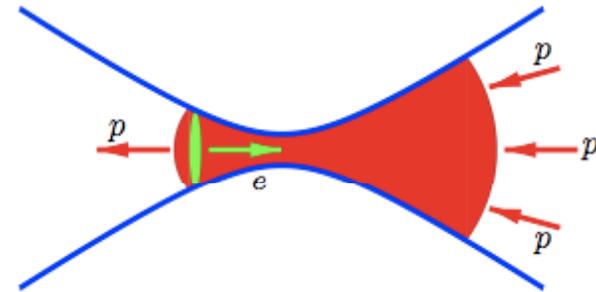
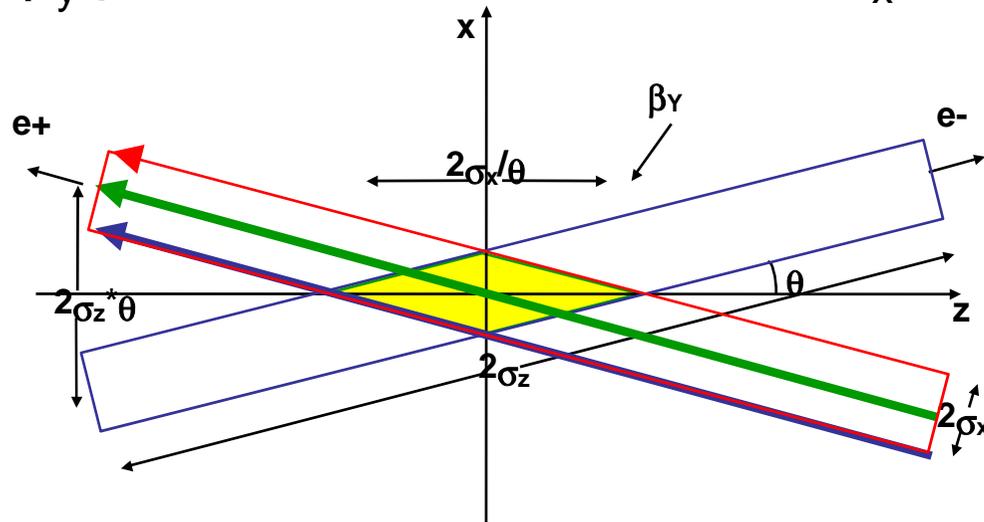
**Programma a breve termine:**

- **06/2007 FINUDA run**
- **12/2007 Test per DAFNE2** (vedi seguito)
- **06/2008 SIDDHARTA run** (nuova macchina)

# Idee per aumentare la luminosità di DAFNE (P.Raimondi)

(vedi D.Alesini et al., LNF-06/33 (IR))

(1) Collisioni ad angolo  $\theta$  +  
riduzione di  $\sigma_x$  per evitare l'effetto  
“hourglass” (clessidra):  
 $\beta_y$  può essere ridotto fino a  $2\sigma_x/\theta$

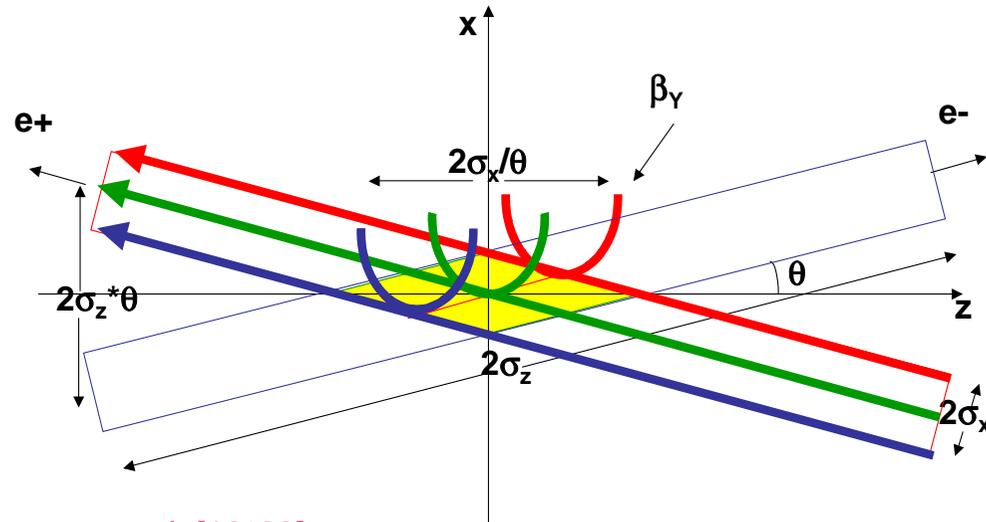


Nuovo set di parametri:

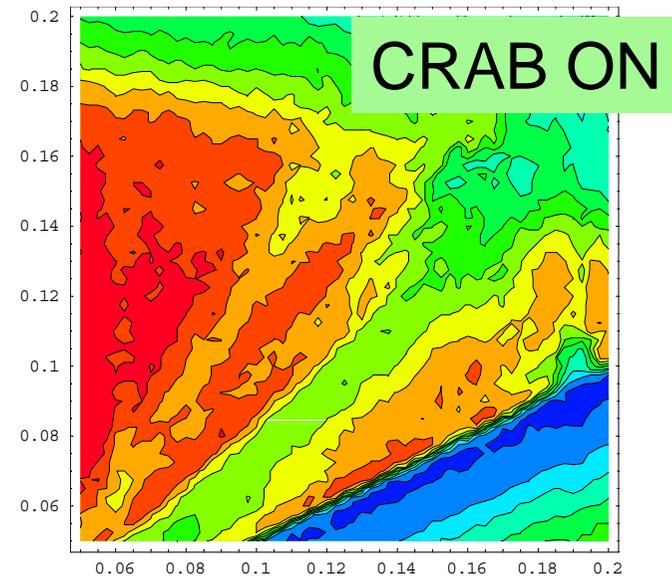
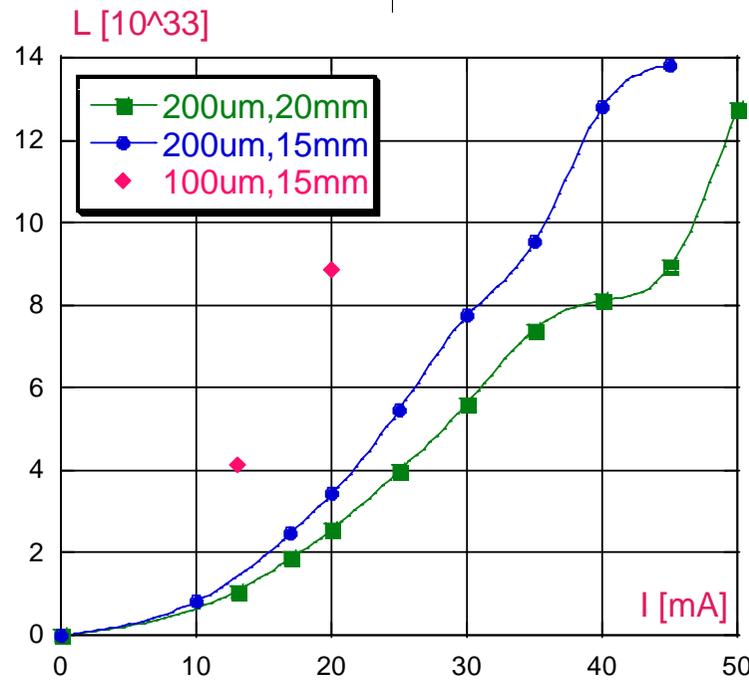
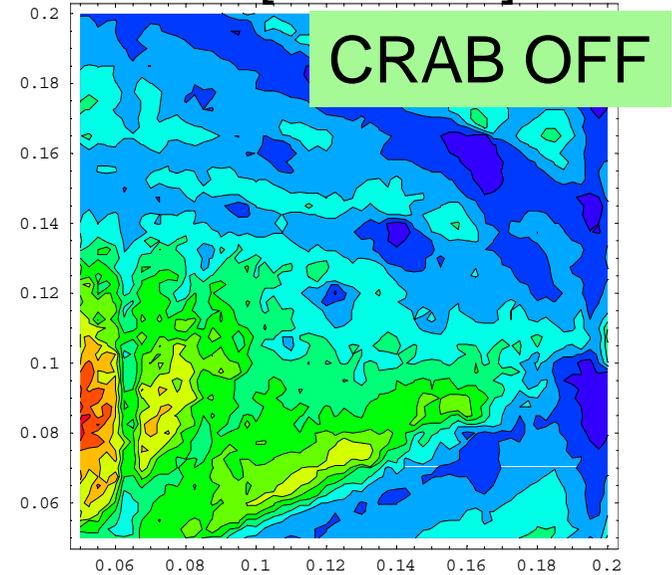
- $\theta$     2x17     $\rightarrow$  2x24 mrad
- $\beta_x$     1.5     $\rightarrow$  0.2 m
- $\beta_y$     18     $\rightarrow$  6 mm
- $\sigma_x$     700     $\rightarrow$  200  $\mu\text{m}$
- $\sigma_y$     15     $\rightarrow$  2.4  $\mu\text{m}$
- $\sigma_z$     25     $\rightarrow$  20 mm

A parità di correnti (13 mA / bunch x 110 bunches)  
 $\rightarrow$   **$7 \div 8 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$**

(2) "Crabbed waist": diversi profili di  $\beta_y$  per diversi x: L aumenta



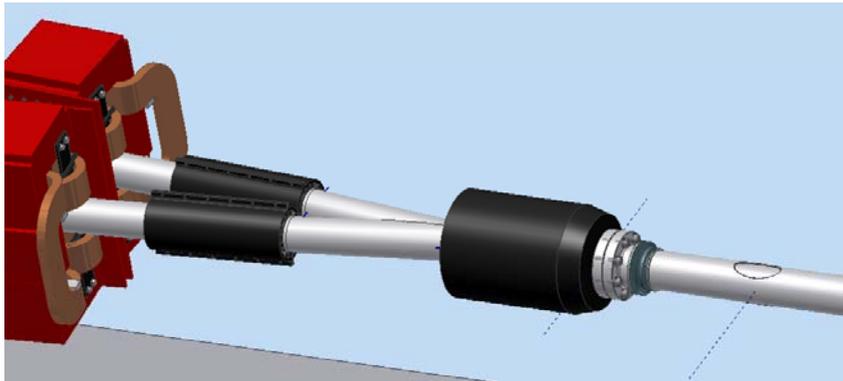
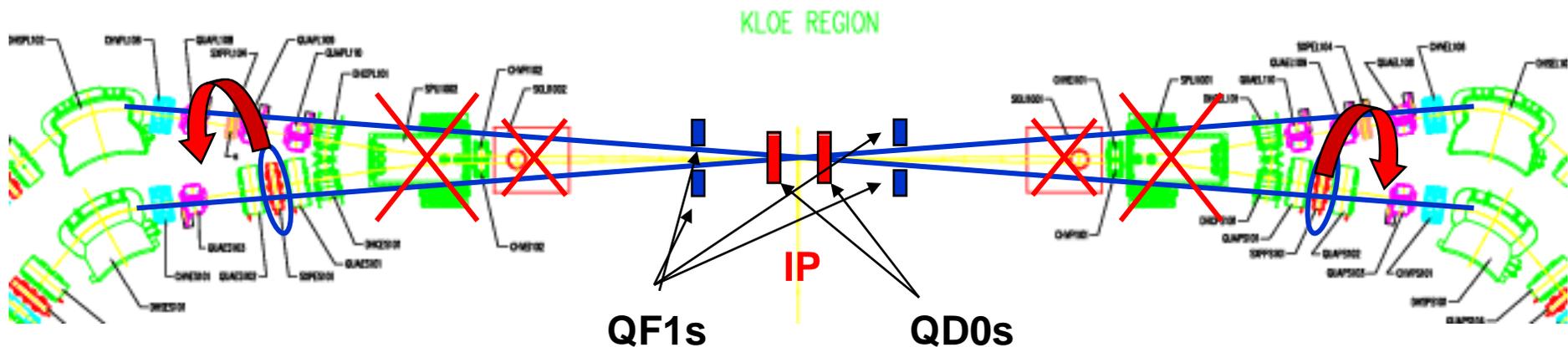
==> ampia regione di stabilità [LNF-07/003]



==>  $L \rightarrow 1. \times 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  (I DAFNE)

# Test: regione di interazione di KLOE con l'apparato SIDDHARTA

- (1) Nuovi quadrupoli permanenti: **QD0** (30 cm da IP) e **QF1**;
- (2) Assenza dei magneti splitter;
- (3) Utilizzati tutti gli altri componenti (sestupoli inclusi);
- (4) Separazione verticale dei fasci in IR2.



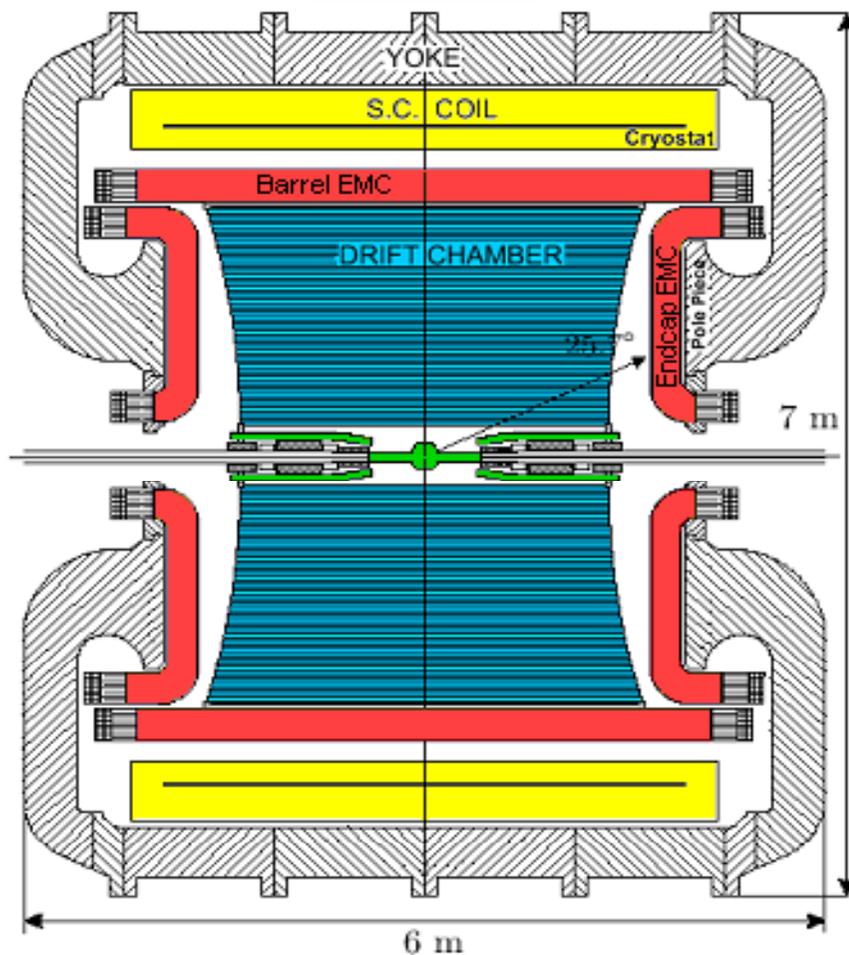
Misura luminosità:

- SIDDHARTA K rate
- Nuovo luminometro Pb-Scint.

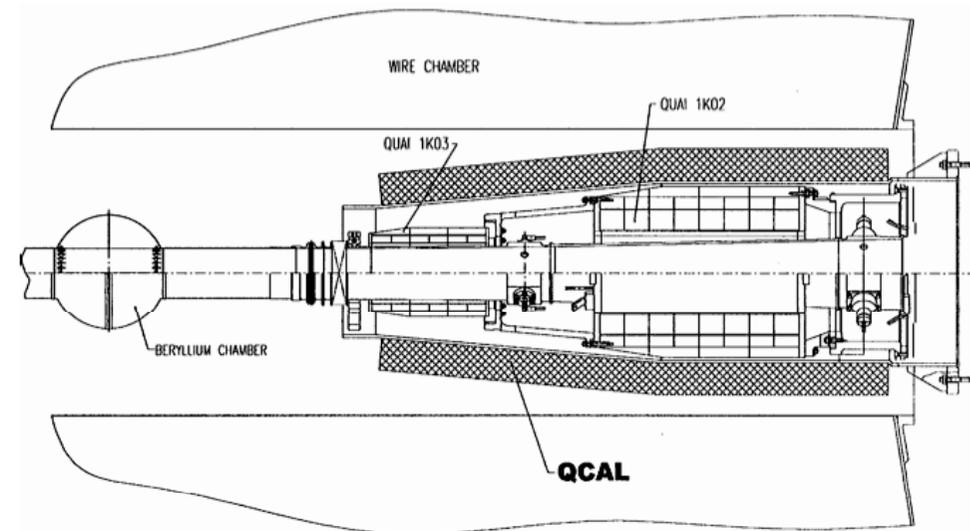
**Goal:  $> 5 \times 10^{32} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$**

## 4. Studi sul rivelatore

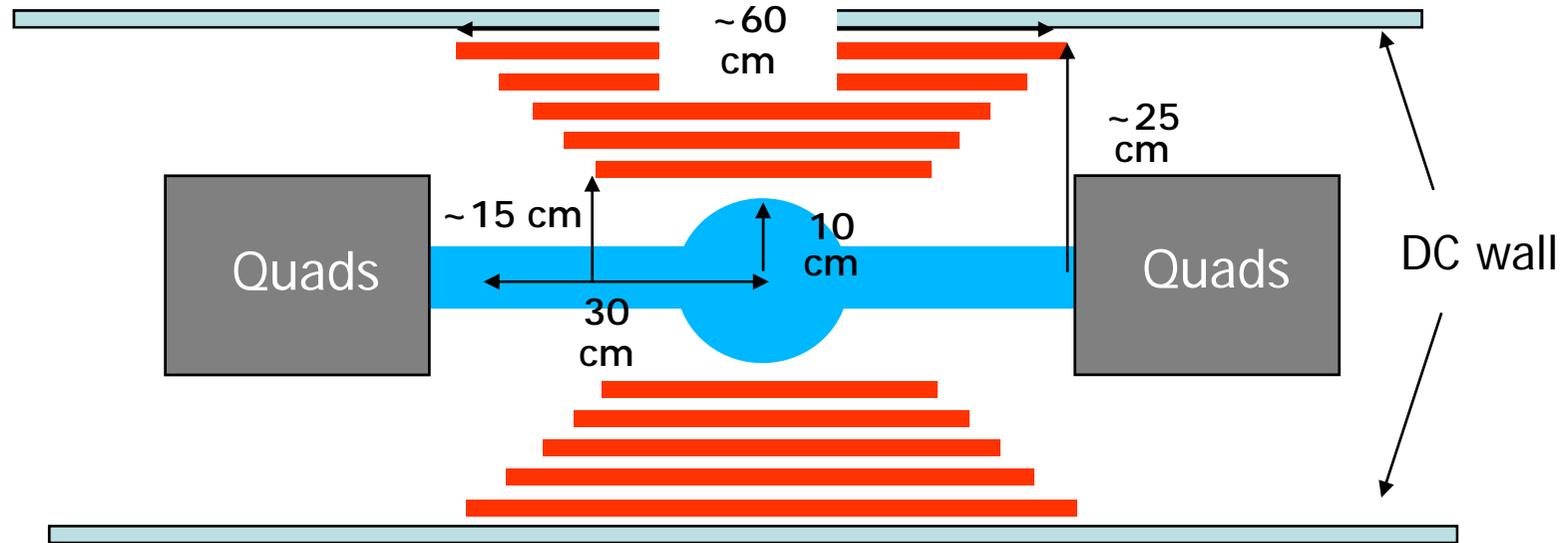
KLOE



- In funzione dal 1999;
- **Magnete**, **Calorimetro** e **Camera** sono ok;
- Nuova regione di interazione, ( $R < 25$  cm): rimozione di QCAL;



# 4.1 "Inner Tracker" per fisica di precisione alla $\phi$



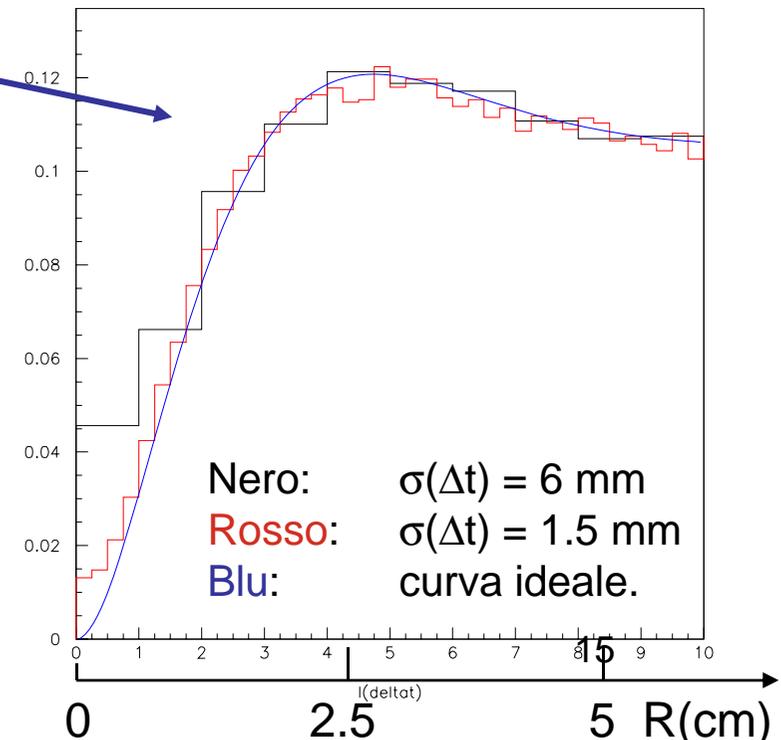
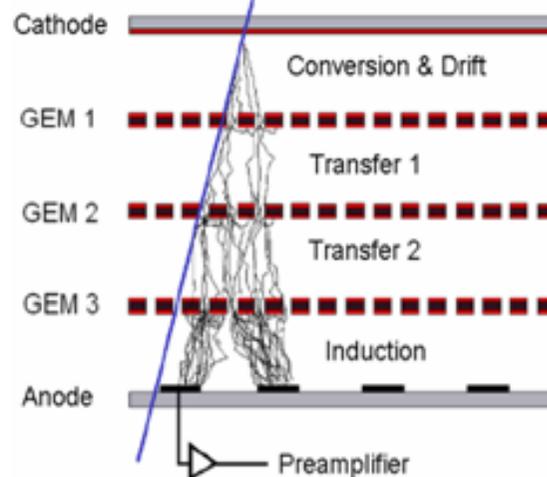
- Migliorare la risoluzione del vertice
- Aumentare l'accettanza per "low-Pt"
- Sufficientemente leggero per evitare assorbimento di fotoni e m.s.

→ **GEM tripla**  
cilindrica

(vedi G.Bencivenni et al.)

$$\sigma(r\phi) = 200 \mu\text{m}$$

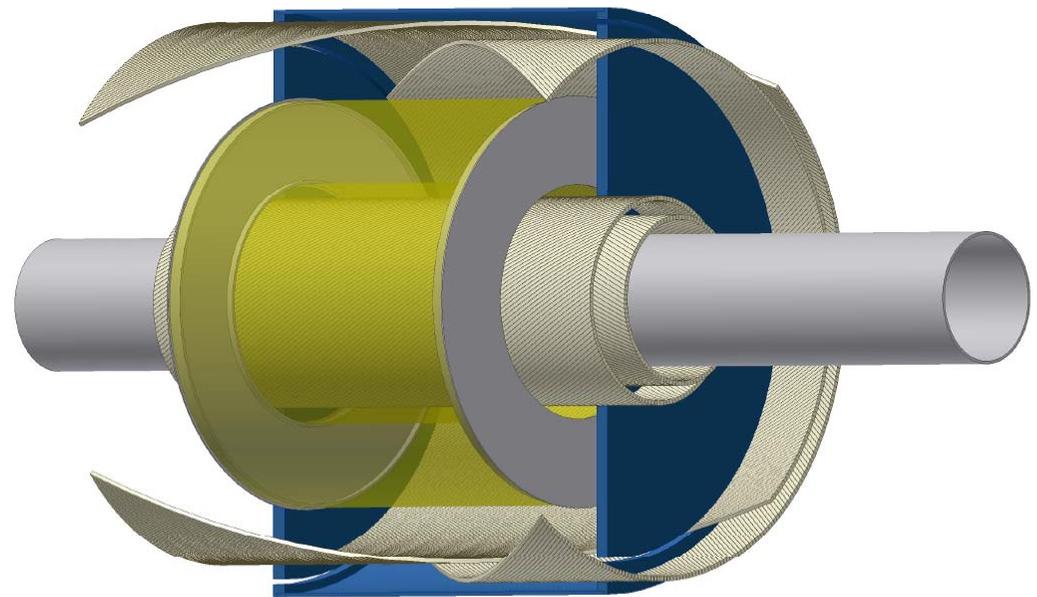
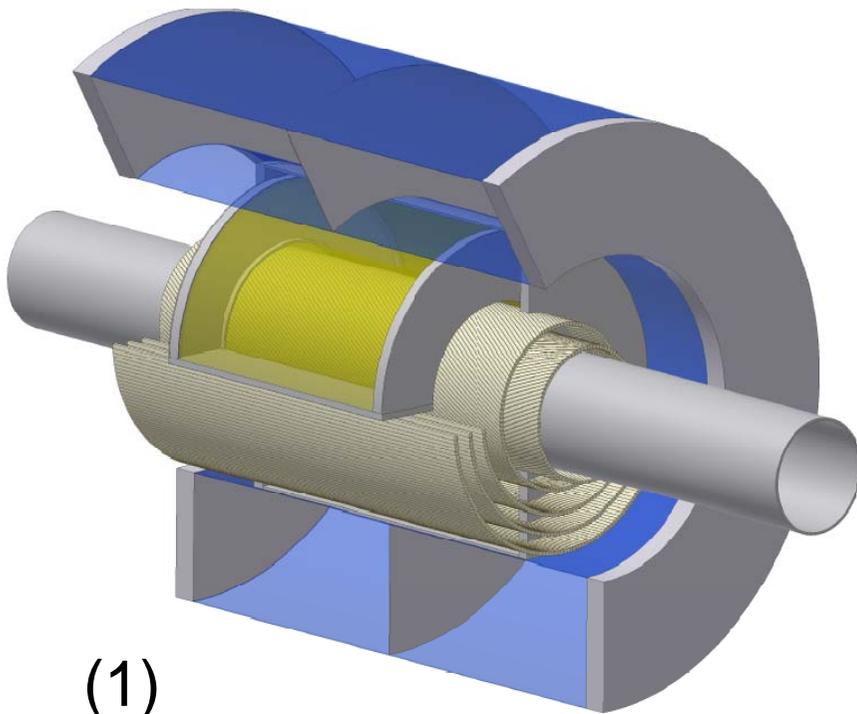
$$\sigma(z) = 500 \mu\text{m}$$



## 4.2 Schema AMADEUS: targhette gassose + tagging K

Diverse opzioni sono in studio (beam pipe cilindrico):

- (1) Metà **targhetta criogenica** (spessa ~5 cm) e metà **K<sup>+</sup> tagger**; può essere utile l'**inner tracker** proposto da KLOE.
  - (2) Targhetta criogenica completa + track detector prima e dopo.
- Targhetta di <sup>4</sup>He spessa 5 cm ==> 40% dei K<sup>-</sup> sono fermati ==> ~1 Hz @ 10<sup>33</sup>



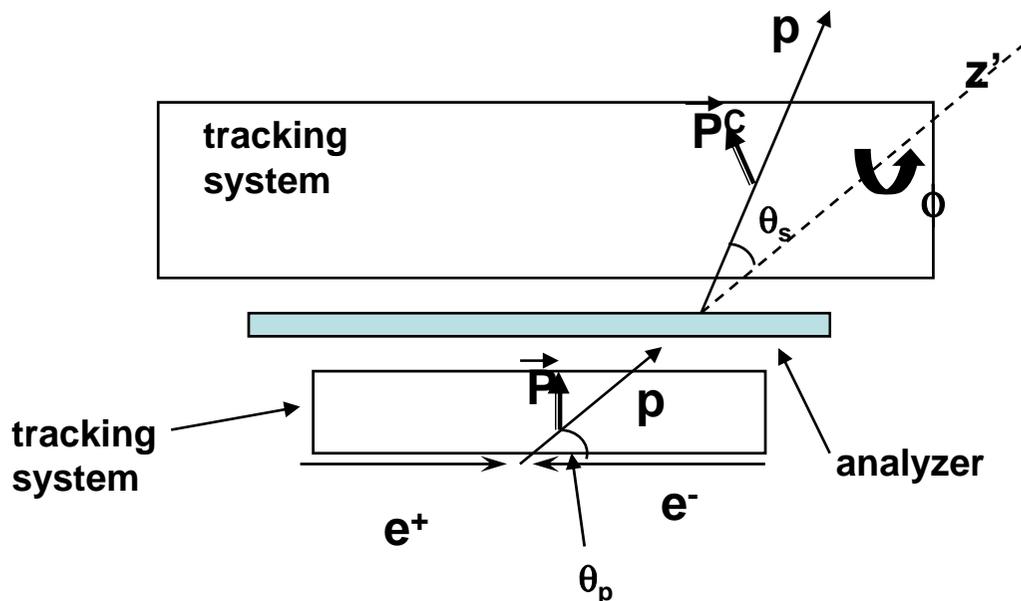
(1)

(2)

## 4.3 Polarimetro per protoni e neutroni

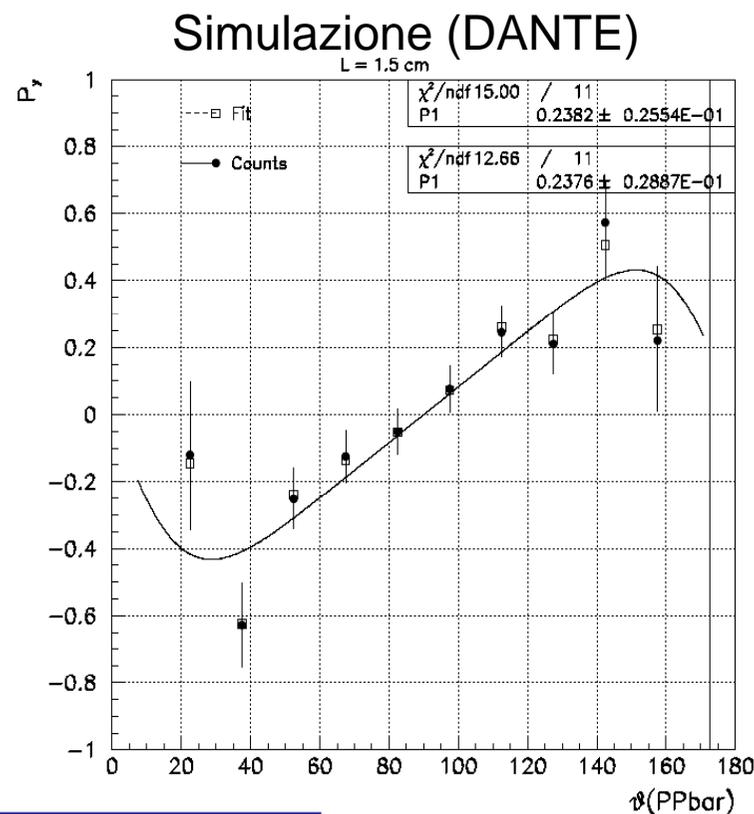
Schema di principio di un polarimetro per la misura di  $P_y$  del protone:

==> **2 ÷ 4 cm di carbonio** tra *inner tracker* e *camera a deriva*



Si tratta di misurare l'asimmetria alto-basso dello scattering in bin di  $\theta$

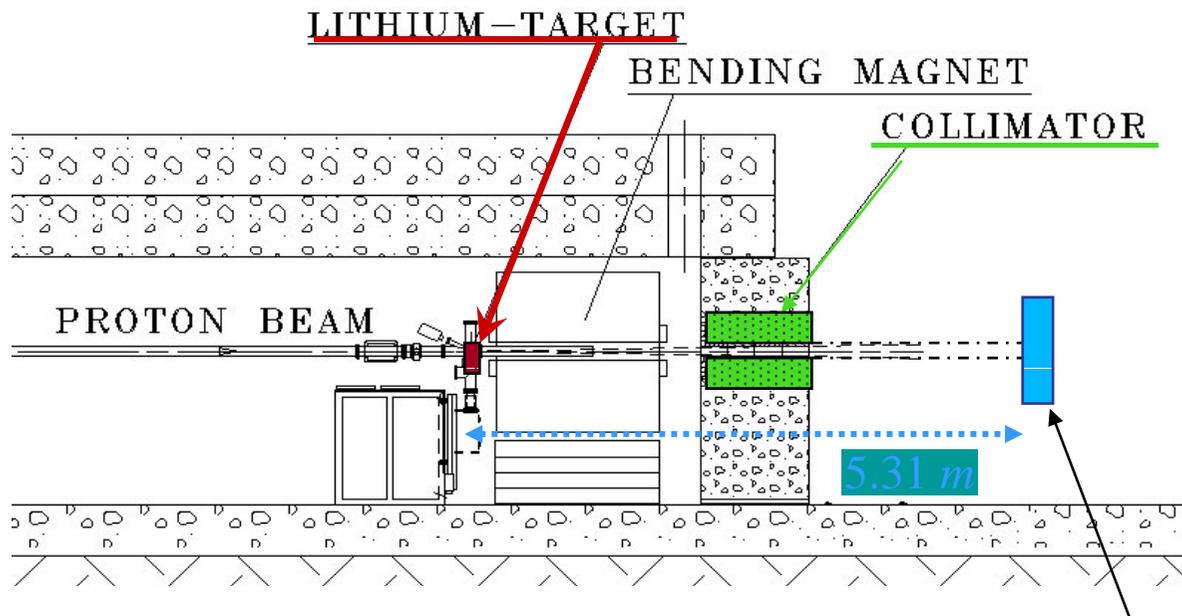
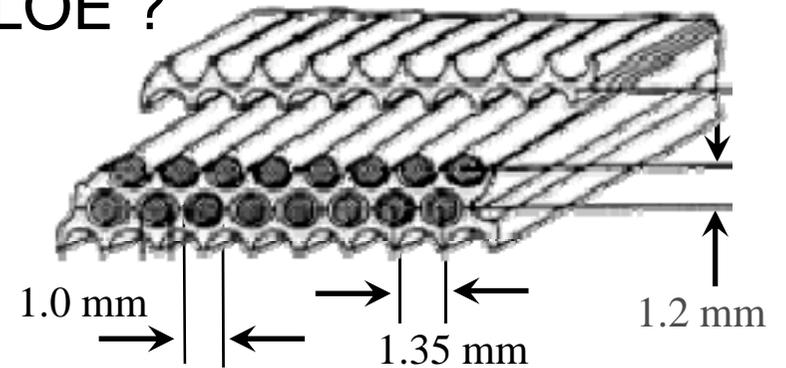
$$Asym = \frac{N_{up} - N_{down}}{N_{up} + N_{down}} = \frac{2}{\pi} A.P.(\vartheta_s, E_p, \delta) f \sin \delta_{EM}$$



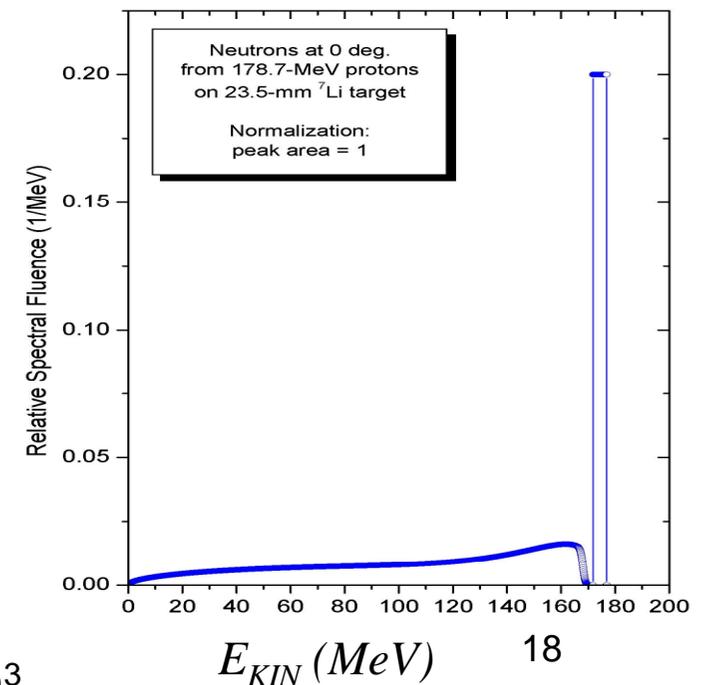
# 4.4 Rivelazione di neutroni con il calorimetro di KLOE

DANTE, AMADEUS ==> rivelazione **neutroni**  $E_K = 10 \div 200$  MeV  
Può essere utilizzato il calorimetro di KLOE ?

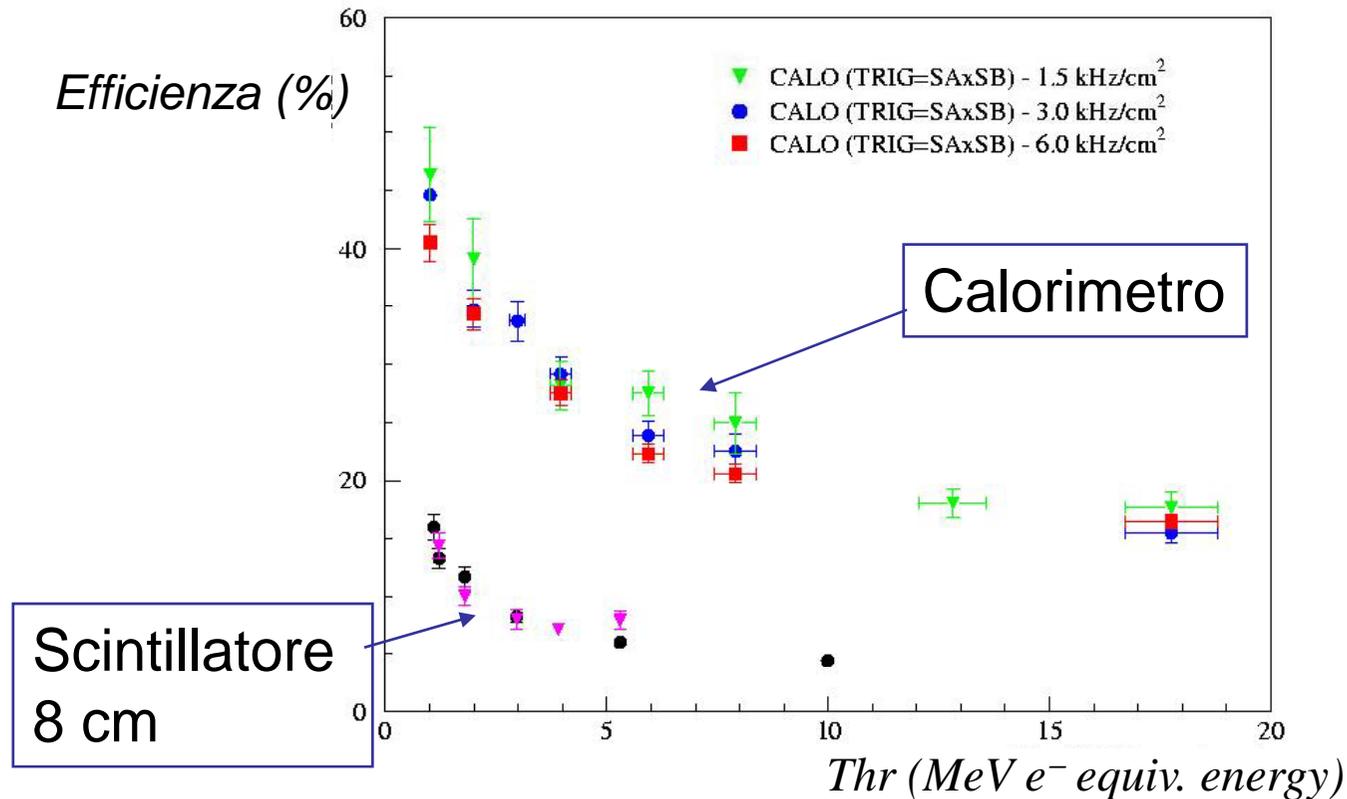
**KLONE**: test-beam a TSL (Uppsala)  
Ottobre 2006



Prototipo KLOE 12x25x70 cm<sup>3</sup>



Risultato sorprendente ! “**Efficiency enhancement**” rispetto a uno scintillatore organico “bulk”



Spiegazione (**FLUKA**):

- interazioni anelastiche n+Pb → micro-sciame molto localizzato;
- alta sampling frequency → lo sciame “raggiunge” la fibra

## 4.5 Tagger di elettroni a piccolo angolo per la fisica $\gamma\gamma$

Fisica  $\gamma\gamma$  → *struttura mesoni leggeri*

→ rivelatori di  $e^+$  ed  $e^-$  a piccoli angoli:  **$\gamma\gamma$  tagger**

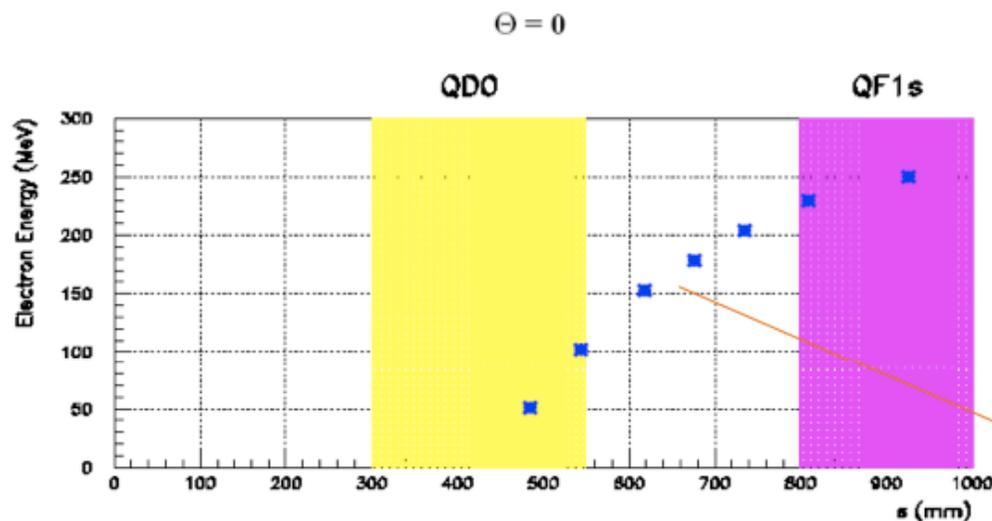
→ “interazione” con disegno DAFNE2.

→ “interazione” con disegno DAFNE2.

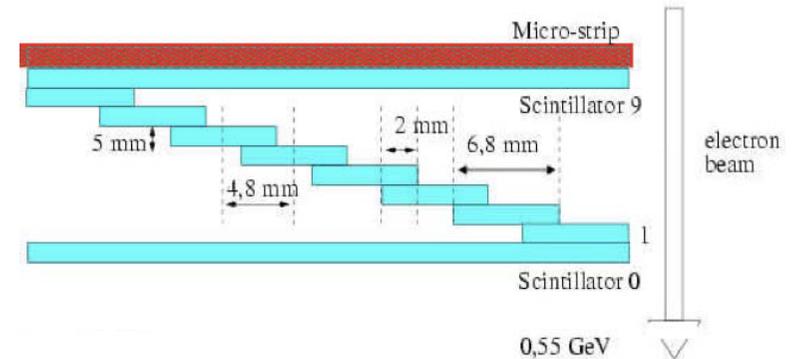
Simulazione:  $\theta=0$   $E_{e^-} < 510$  MeV:

Da dove “escono” gli elettroni ?

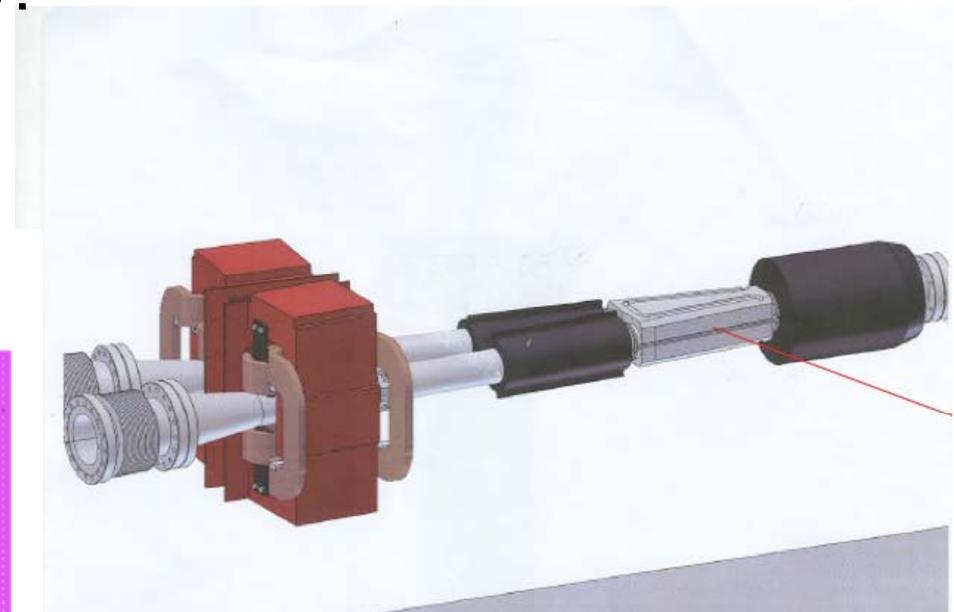
→ Finestra tra QD0 e QF1s



### Graal tagging system 1/2



BC418 + BC800 + Hamamatsu 1635



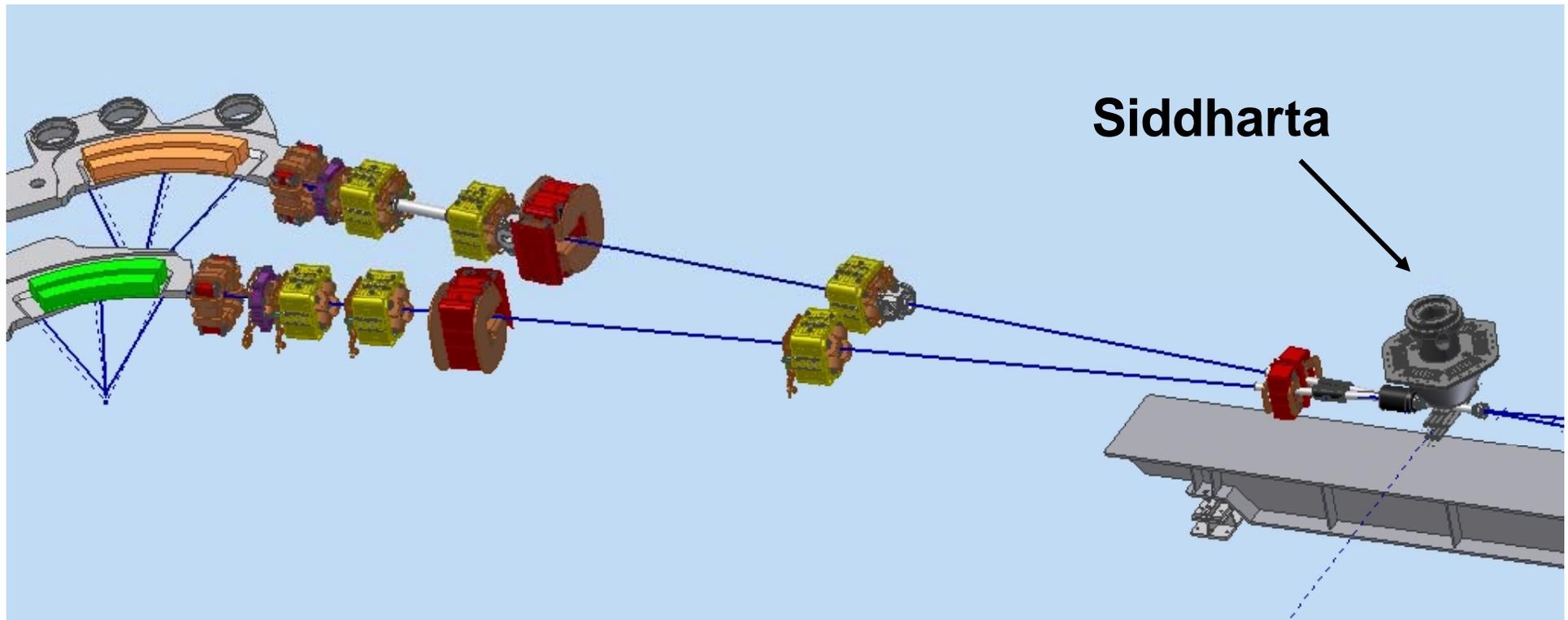
## **Conclusioni:**

→ **Continuazione del programma scientifico e+e- a bassa energia con un significativo allargamento del programma (alta luminosità e alta energia);**

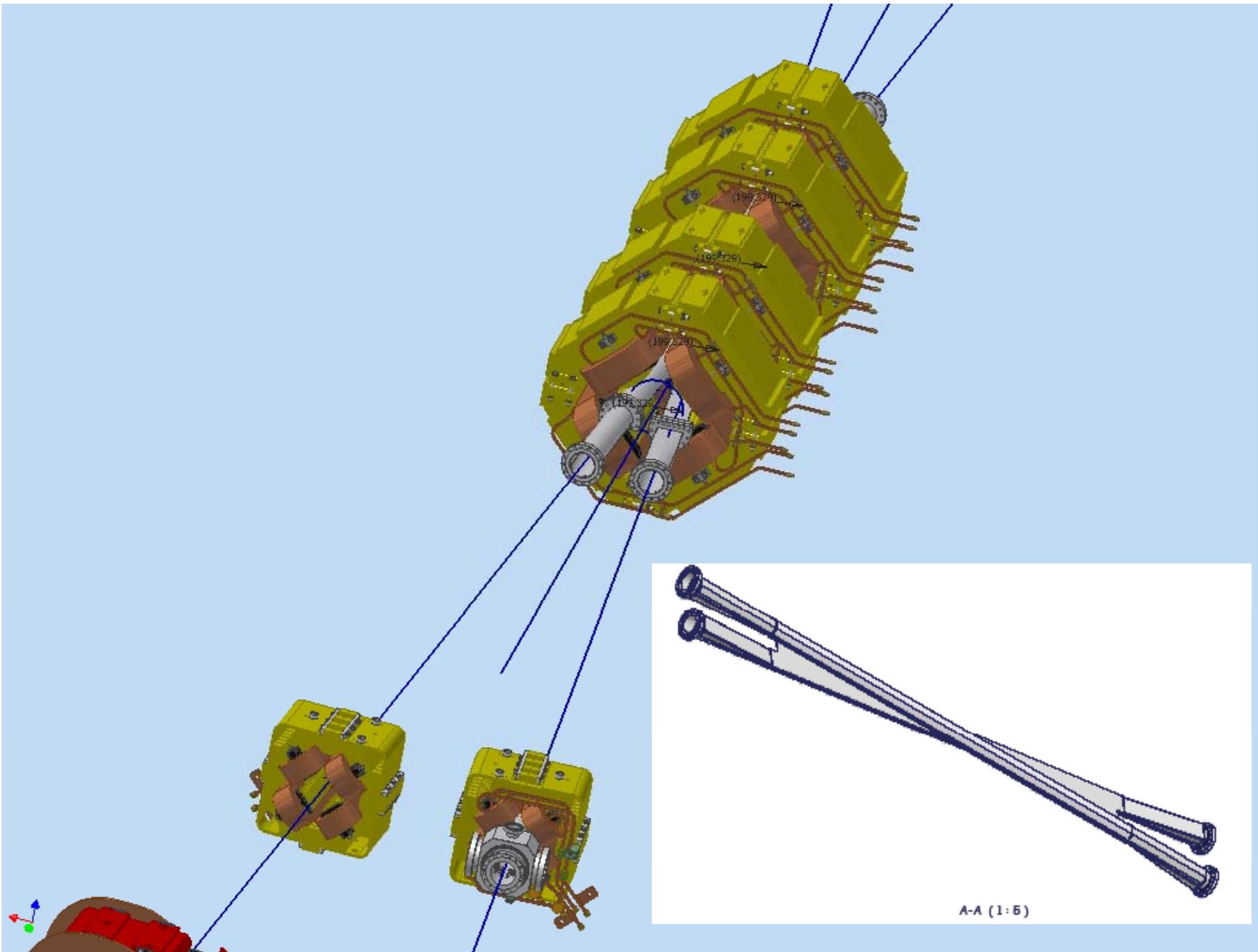
→ **Progetto basato su una macchina (DAFNE) e un rivelatore (KLOE) funzionanti e ben conosciuti;**

→ **Alcune idee molto brillanti di sviluppo tecnologico sia di macchina che di rivelatore.**

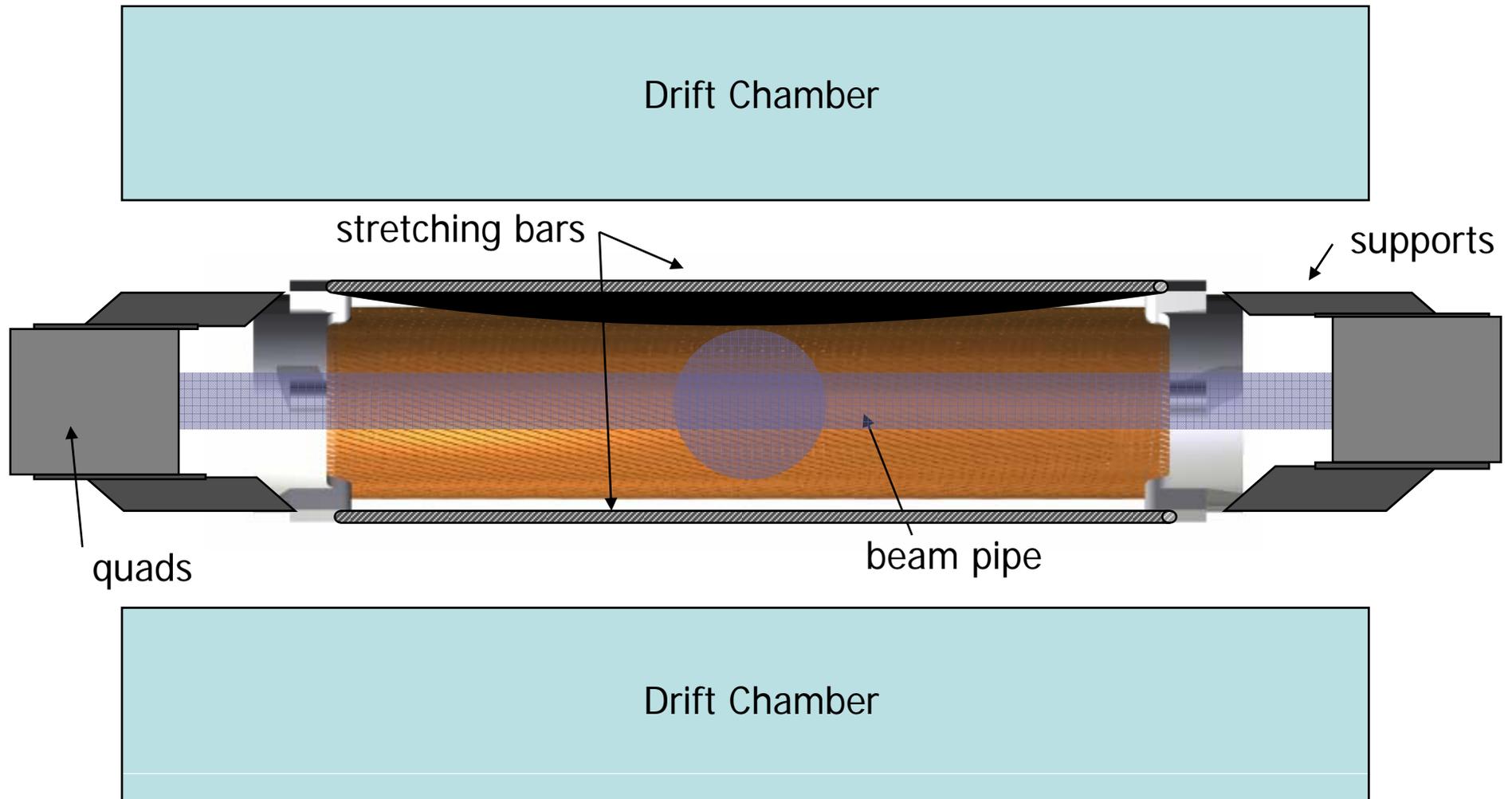
**RISERVE**



**View of the modified IR1 region**  
**Similar modifications will be made in the IR2,**  
**without the low-beta insertion**  
**In addition in IR2 the two lines will be Vertically Separated**



# Insertion and Fixation in KLOE IR

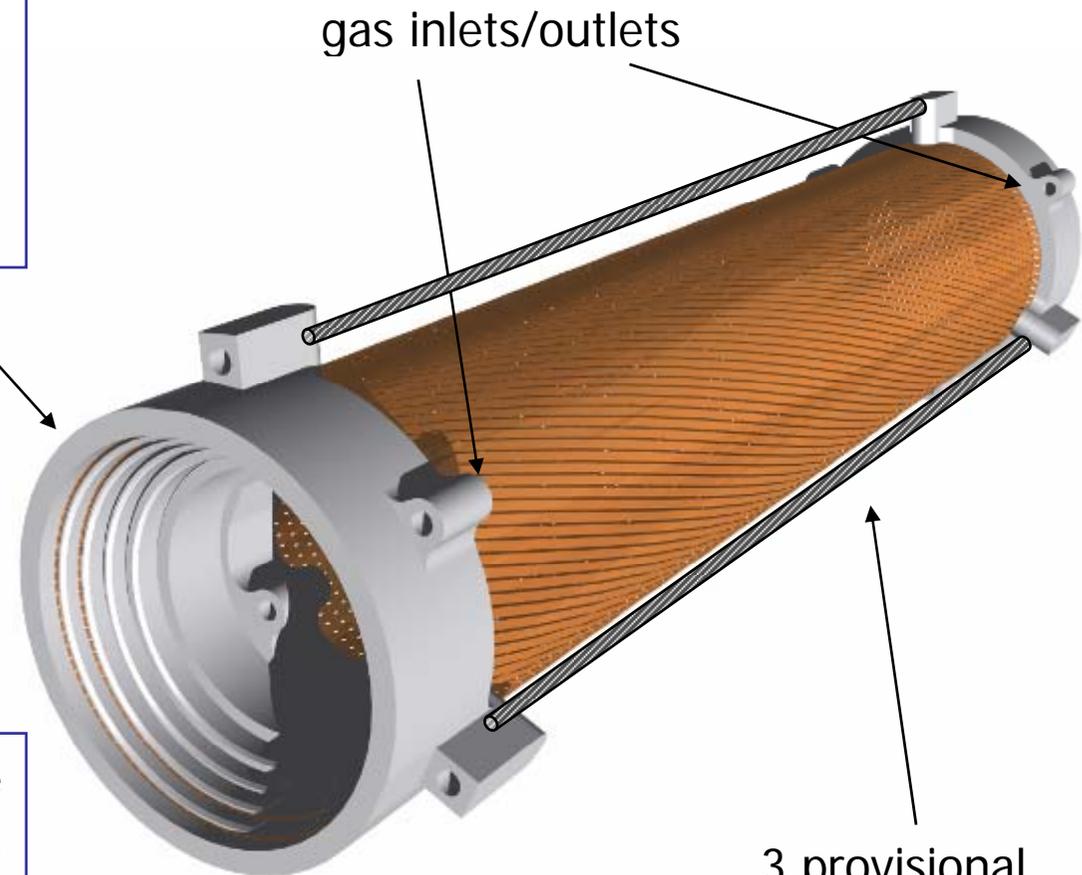


# Stretching and Supporting GEMs

GEM foils are stretched at the ends by special clamping tools then glued at the ends on FR4 frames

provisional bars keep the foils stretched during the assembling in the lab

bars are removed once the final mechanical structures fix the detector to the beam-pipe **quads**



3 provisional stretching bars at 120°

# Results of preliminary MonteCarlo simulations for AMADEUS setup with optimized degrader and cryotarget

$$R = L \sigma b = 1500 \text{ s}^{-1}$$

$10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (peak luminosity)  
 $3 \times 10^{-30} \text{ cm}^2$  ( $\Phi$  production cross section)  
 $0.49$  (branching ratio for  $K^\pm$ )

production rate for charged kaon pairs

produced  $K^\pm$  per month:  $31 \times 10^8$   
 (80% duty cycle assumed)

40% are stopped in the cryogenic He gas target (15% liq. He density, ~ 5 cm thick)  
 $\rightarrow 12.5 \times 10^8$   $K^-$   $^4\text{He}$  atoms per month

for  $10^{-3}$  cluster formation yield:

**$12.5 \times 10^5$  kaonic clusters formed in one month**

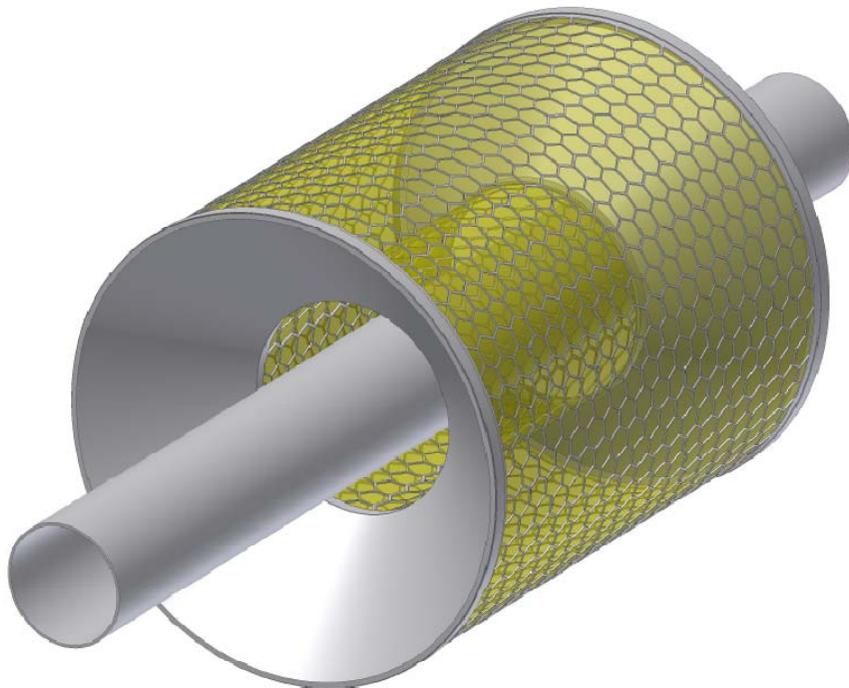
\* *Efficiency* of tracking & identification  $K^\pm$  & detection of decay products  $\rightarrow$   
 $\sim 10^5$  events per month ( $\sim 1000 \text{ pb}^{-1}$ )

## Cryogenic toroidal target cell:

working temperature: 5 -10 K

working pressure: < 2 bar

thin-walled design: 75 $\mu$ m Kapton, with aluminum grid reinforcement  
(grid transmission > 85 %)



inner diameter:	110 mm
outer diameter:	210 mm
inner length:	120 mm
outer length:	200 mm

# Proton Polarimeter

[http://www.lnf.infn.it/conference/nucleon05/FF/polarimeter\\_study\\_2.pdf](http://www.lnf.infn.it/conference/nucleon05/FF/polarimeter_study_2.pdf)

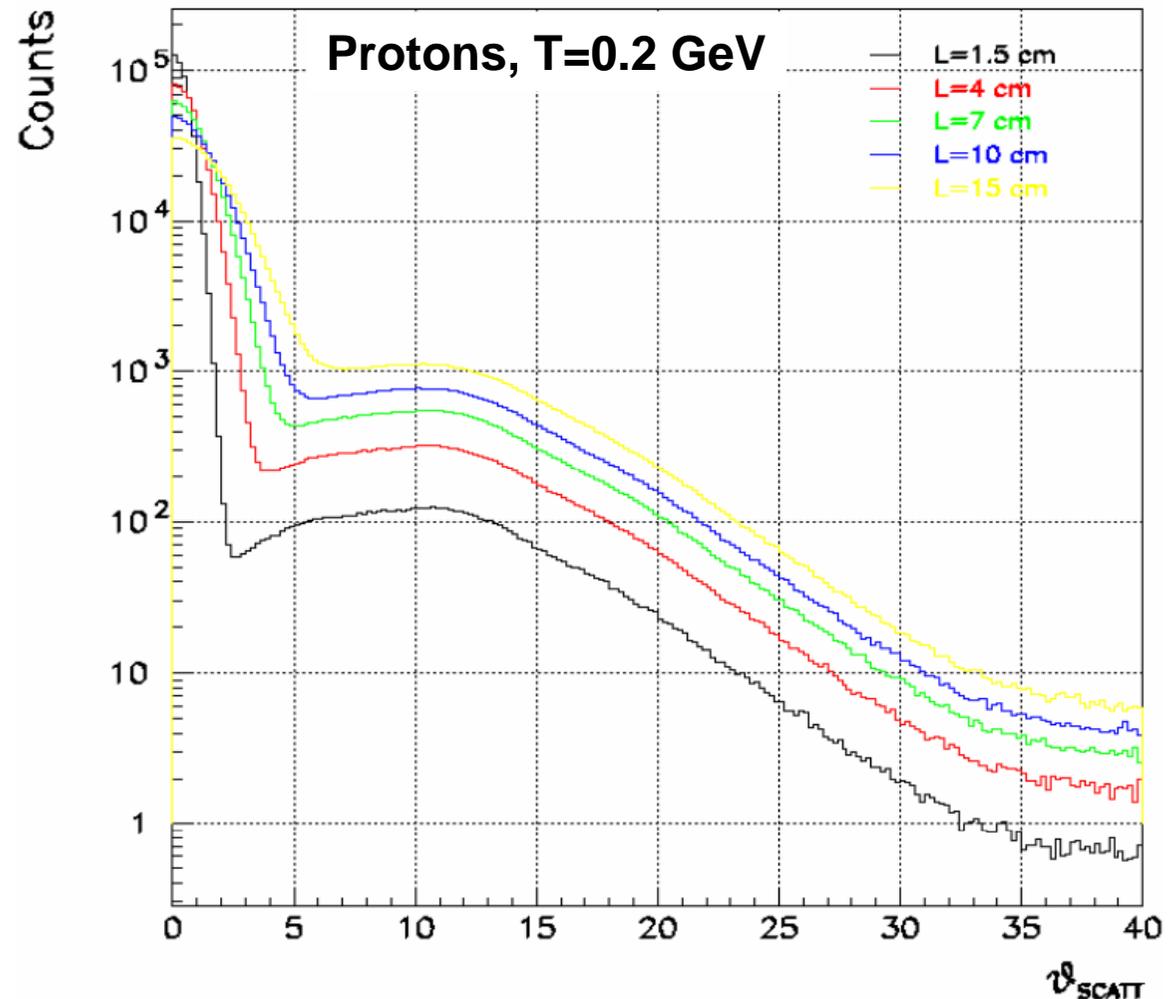
Counting rate is determined by the convolution of

- multiple scattering (small angle, Molière)
- strong nuclear scattering (large angle, exp. unpol. cross section and analyzing power)

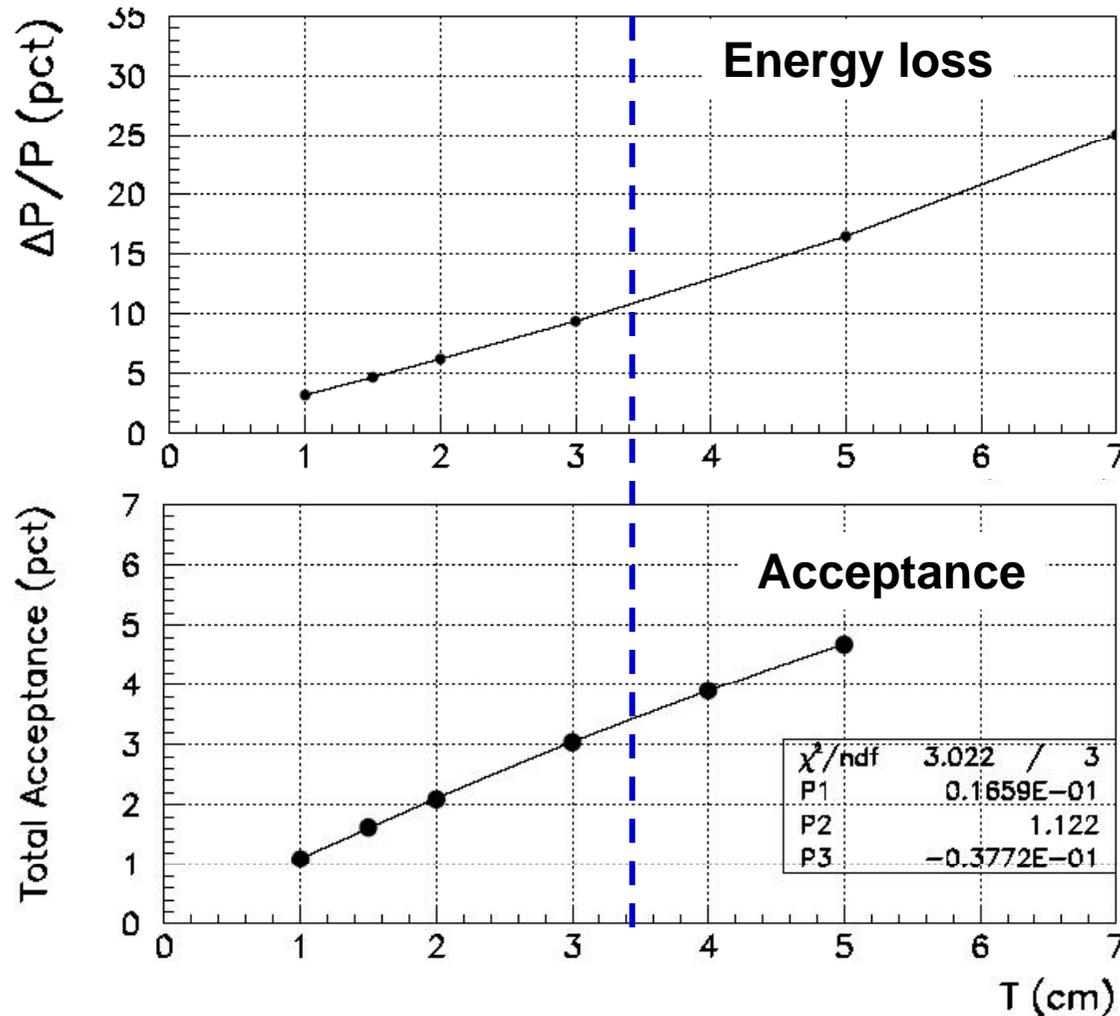
Higher analyzer thickness  
⇒ higher rate

but

- larger Molière angle  $\theta_m$
- lower tracking resolution



# Polarimeter thickness

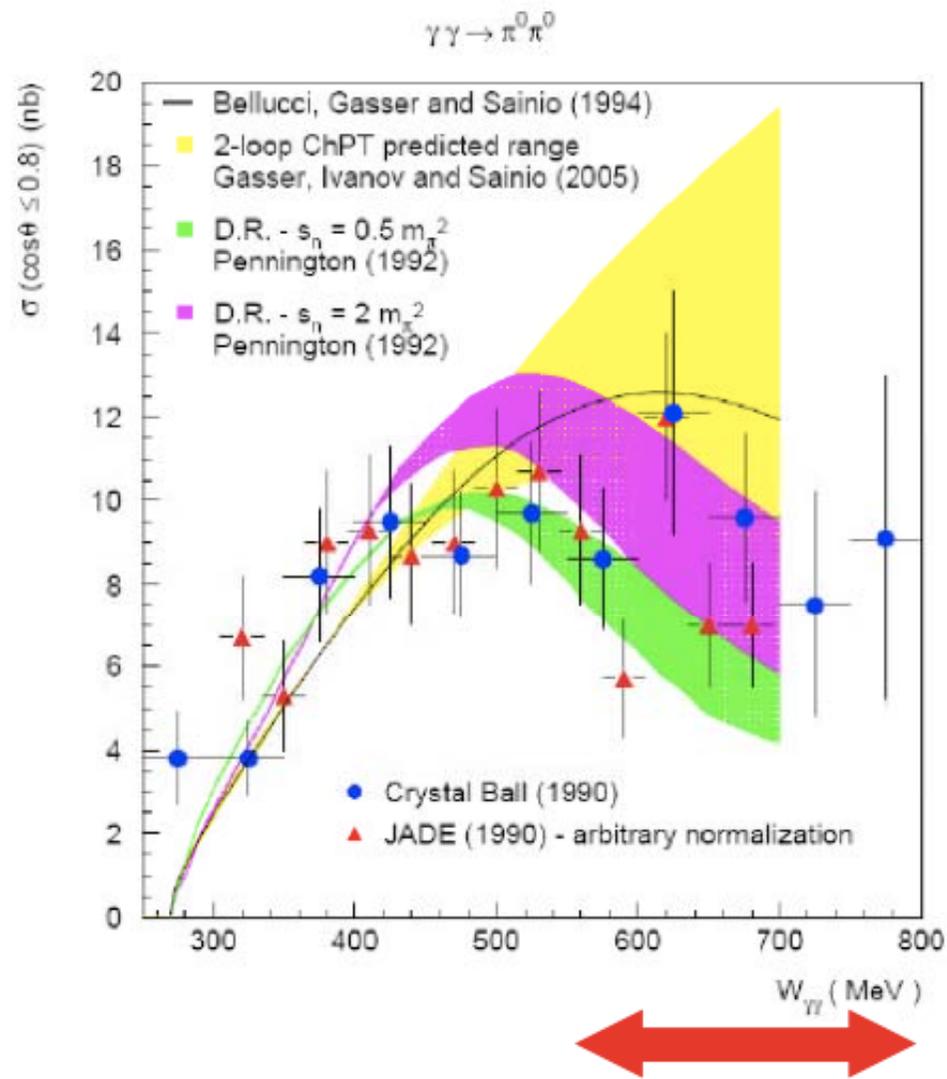


To keep  $\Delta p/p$  below ~10%

⇒ T ~ 3-4 cm

⇒ pol. acceptance  $\varepsilon$  ~ 3%

⇒ error on the phase below 10%



# Neutron interactions in the calorimeter

**Simulated neutron beam:  $E_{kin} = 180 \text{ MeV}$**

Each primary neutron has a high probability to have elastic/inelastic scattering in Pb 

In average, secondaries generated in **inelastic interactions** are **5.4** per primary neutron, counting only neutrons above 19.6 MeV.

Typical reactions on lead:



**In addition, secondaries created in interactions of low energy neutrons (below 19.6 MeV) are - in average - **97.7** particles per primary neutron.** 

target	$P_{el}(\%)$	$P_{inel}(\%)$
Pb	32.6	31.4
fibers	10.4	7.0
glue	2.3	2.2

neutrons	
<b>above 19.MeV</b>	62.2%
photons	26.9%
protons	6.8%
He-4	3.2%
deuteron	0.4%
triton	0.2%
He-3	0.2%

neutrons	94.2%
protons	4.7%
photons	1.1% <sub>32</sub>