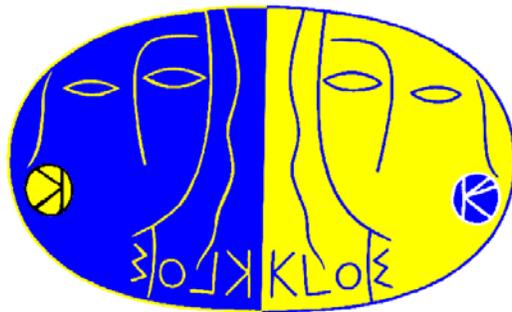


La storia di KLOE e DAΦNE

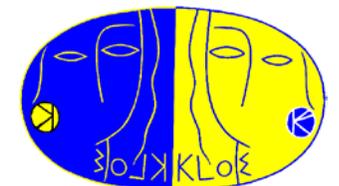
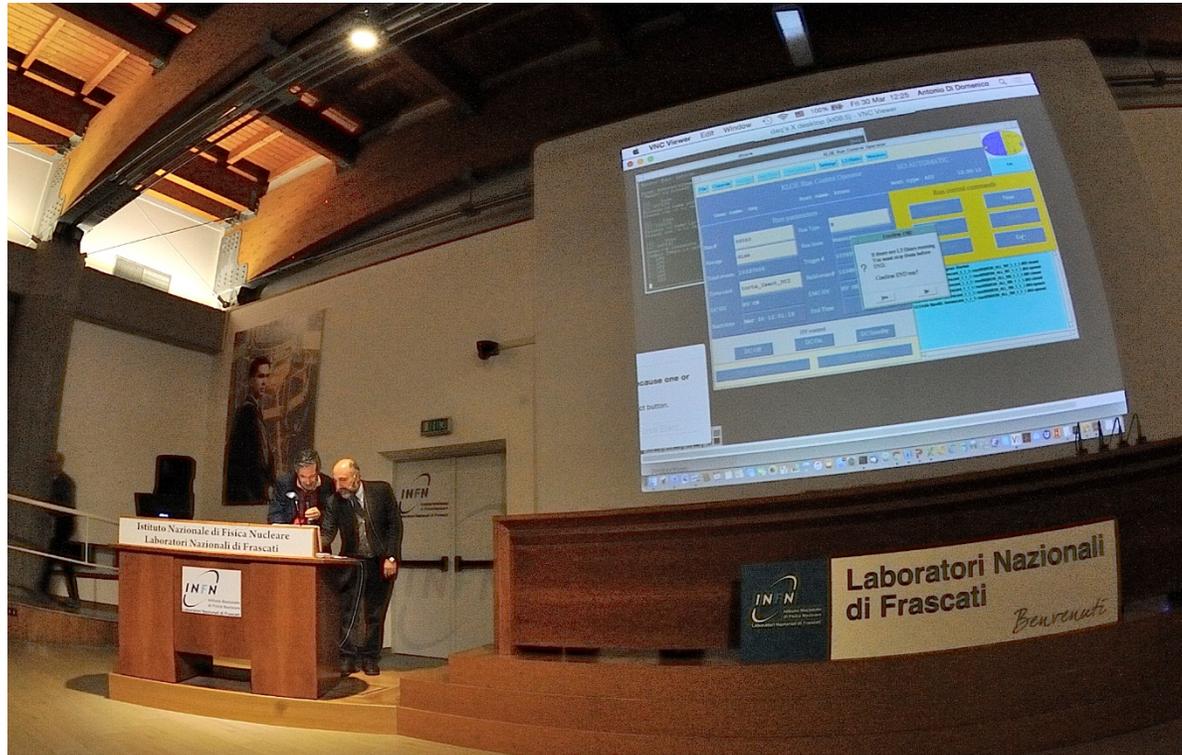
Fabio Bossi

Laboratori Nazionali di Frascati INFN

LNF Open Labs 26 Maggio 2018

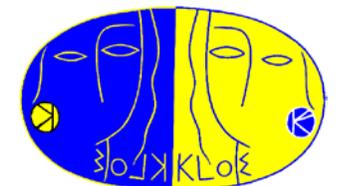


Il 30 Marzo scorso il Presidente dell'INFN Fernando Ferroni da questa stessa aula ha ufficialmente fermato il run di presa dati ancora in corso dell'apparato KLOE, chiudendo così simbolicamente un periodo di intensa attività di ricerca che ha segnato la vita di questo Laboratorio per più di un ventennio



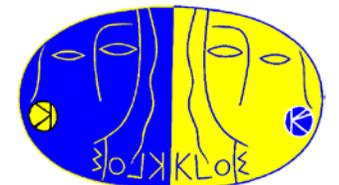
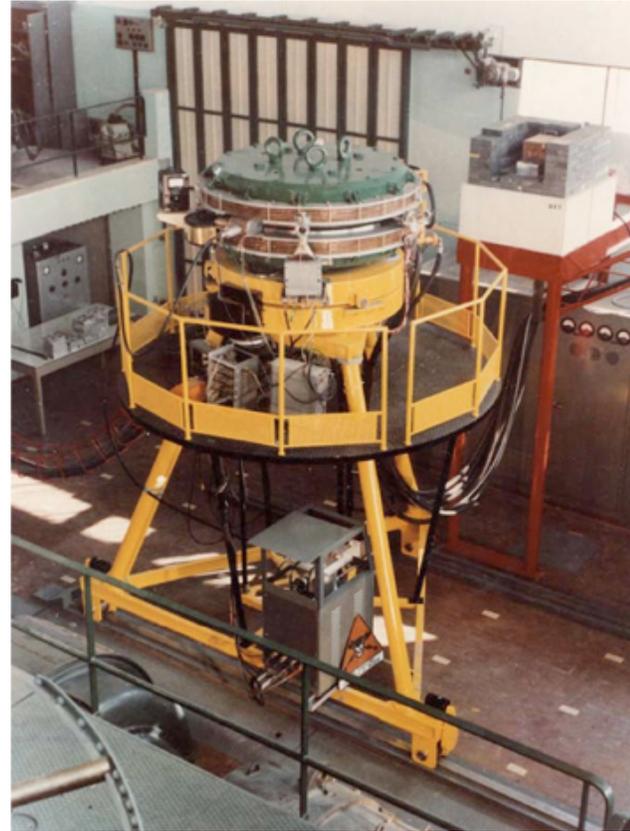
Quest'oggi vorrei raccontare la storia di questo esperimento per come la ho personalmente vissuta e per come ne percepisco l'importanza. Cercherò dunque di sottolineare principalmente gli aspetti che ritengo più rilevanti e cioè :

- Il ruolo di KLOE nella vita e nella storia del Laboratorio
- Il suo contributo al progresso della Fisica delle Particelle Elementari
- L'eredità di KLOE ed il futuro dei Laboratori di Frascati
- Quale futuro per la Fisica delle Particelle Elementari?



Sin dalla loro fondazione, nel 1954, la missione fondamentale dei Laboratori Nazionali di Frascati è stata quella di mantenere ed accrescere le competenze dell'INFN nella costruzione ed operazione di acceleratori di particelle a scopo di ricerca in fisica fondamentale

Il risultato storicamente più rilevante in questo campo è senza dubbio stata l'ideazione nel 1961 del primo collisionatore al mondo di materia ed antimateria, **ADA**, una tecnologia che, replicata in forme sempre più sofisticate sviluppate in molti laboratori del mondo, nel corso del mezzo secolo successivo è stato lo strumento essenziale di numerose scoperte di Fisica delle Particelle, 4 delle quali almeno premiate con il Nobel



Con la costruzione ed il funzionamento della macchina successiva, **ADONE**, i LNF sono stati anche per un decennio circa (gli anni '70 del secolo scorso) uno dei principali centri mondiali della sperimentazione con collisori elettrone-positrone

E non a caso il lavoro di due fisici di «area frascatana» **N. Cabibbo e R. Gatto** «Electron-positron colliding beam experiments» (*Phys.Rev.* **124** (1961), 1577-1595) divenne presto noto come «la Bibbia» tracciando le fondamentali strategie di misura per le macchine e^+e^- in operazione per i successivi 10-15 anni

Electron-Positron Colliding Beam Experiments

N. CABIBBO AND R. GATTO
*Istituti di Fisica della Università di Roma e di Cagliari, Italy and
 Laboratori Nazionali di Frascati del C.N.E.N., Frascati, Roma, Italy*
 (Received June 8, 1961)

Possible experiments with high-energy colliding beams of electrons and positrons are discussed. The role of the proposed two-pion resonance and of the three-pion resonance or bound state is investigated in connection with electron-positron annihilation into pions. The existence of a three-pion bound state would give rise to a very large cross section for annihilation into $\pi^+\pi^-$. A discussion of the possible resonances is given based on consideration of the relevant widths as compared to the experimental energy resolution. Annihilation into baryon-antibaryon pairs is investigated and polarization effects arising from the somewhat character of the form factors on the absorptive cut are examined. The density matrix for annihilation into pairs of vector mesons

is calculated. A discussion of the limits from unitarity to the annihilation cross sections is given for processes going through the one-photon channel. The cross section for annihilation into pairs of spin-one mesons is rather large. The typical angular correlations at the vector-meson decay are discussed. A neutral weakly interacting vector meson would give rise to a strong resonant peak if it is coupled with lepton pairs. Effects of the local weak interactions are also examined. The explicit relation between the δ corrections to the photon propagator due to strong interactions and the cross section for annihilation into strongly interacting particles is given.

INTRODUCTION

A PROPOSAL for electron-electron colliding beams was made some time ago at Stanford by Barber, Gittelman, O'Neill, Panofsky, and Richter, and an experiment on electron-electron scattering based on such a proposal is being carried out.¹ Projects for electron-positron colliding beams are also under development at Stanford² and at Frascati.³ The project at Frascati is intended to obtain high-energy (>1 BeV) electron-positron colliding beams.⁴ We have already discussed possible experiments with e^+e^- colliding beams.⁵ In this note we shall present a more detailed discussion of possible electron-positron experiments and of the theoretical questions connected with them.

Like electron-electron experiments, electron-positron experiments can test the validity of quantum electrodynamics at small distances.⁶ They present, however, some very typical features that sufficiently justify the effort to produce electron-positron colliding beams. Most of the annihilation processes of e^+e^- take place through the conversion of the pair into a virtual photon of mass equal to the total center-of-mass energy. The photon then converts into the final products. These reactions proceed through a state of well-defined

quantum numbers, and as consequence the possible initial and final states are essentially limited. The interaction of the final particles with the virtual photon is directly measured in the experiment. The virtual photon four-momentum is timelike in these experiments, in contrast, for instance, to electron scattering on nucleons where the four-momentum of the transferred virtual photon is spacelike. Form factors of strongly interacting particles can thus be measured for timelike values of the momentum, in a region where they have, in general, an imaginary part. Electron-positron annihilations in flight offer the possibility of carrying out a Panofsky program, of a systematic exploration of the spectrum of elementary particles by observing their production by the intermediate virtual gammas. Unstable particles with the same quantum numbers as the intermediate photon can be produced singly as resonant states that soon after decay. At the appropriate energy there would appear resonance peaks in the production cross section for the final decay products.

1. GENERAL CONSIDERATIONS

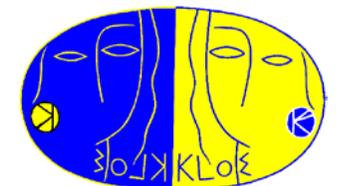
1.1. We consider a reaction of the kind

$$e^+ + e^- \rightarrow a + b + \dots + c, \quad (1)$$

where a, b, \dots, c are strongly interacting particles. At the lowest electromagnetic order we assume that the reaction goes through the one-photon channel represented by Fig. 1. In the figure, q_1 and q_2 are the positron and electron four-momenta, respectively, $k = q_1 = -q_2$ is the time-like four-momentum of the virtual photon, and a, b, \dots, c are the four-momenta of the produced particles. The element of the S matrix is given by

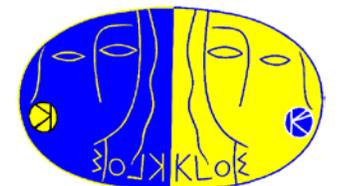
$$\langle a, b, \dots, c | S | e^+ e^- \rangle = \frac{2\pi e}{k^2} \langle \gamma, a | a, b, \dots, c; \text{out} | j, 0 \rangle | 0 \rangle \times \delta(q_1 + q_2 - a - b - \dots - c), \quad (2)$$

¹ W. Barber, B. Gittelman, G. K. O'Neill, W. K. H. Panofsky, and W. C. Richter (to be published); G. K. O'Neill, *Proceedings of the International Conference on High-Energy Accelerators and Instrumentation, CERN, 1959* (CERN, Geneva, 1959), p. 125; W. K. H. Panofsky, *Proceedings of the 1960 Annual International Conference on High-Energy Physics at Rochester* (Interscience Publishers, Inc., New York, 1960), p. 709; G. K. O'Neill and E. J. Woods, *Phys. Rev.* **115**, 659 (1959).
² E. Amis, C. Bernardini, R. Gatto, G. Ghignone, and B. Touschek (unpublished). A smaller storage ring for electrons and positrons for maximum energy of 250 MeV is already at an advanced state of construction; see C. Bernardini, G. I. Corazza, G. Ghignone, and B. Touschek, *Nuovo Cimento* **18**, 1293 (1960).
³ Electron-positron colliding beams are also being considered at CalTech, Cornell, and Paris.
⁴ N. Cabibbo and R. Gatto, *Phys. Rev. Letters* **4**, 313 (1960); *Nuovo Cimento* **20**, 184 (1961).
⁵ See R. Gatto, *Proceedings of the Aix-en-Provence Conference (1961)* (to be published) for a discussion of the possible tests of electrodynamicism with electron-positron beams.



La crescita dei progetti è stata nel corso degli anni talmente impetuosa che già negli anni '80 le macchine acceleratrici di interesse avevano raggiunto energie di operazione e dimensioni tali da non poter essere più finanziate e costruite dal nostro laboratorio (e da quasi nessun altro laboratorio di altre nazioni)

Nel 1989, al termine di un decennio di costruzione circa, entrava in operazione al CERN di Ginevra il **LEP**, un collisore e^+e^- di energia circa 30 volte e di circonferenza circa 200 volte superiori rispetto a quelle di ADONE



Tuttavia, grosso modo negli stessi anni, andò crescendo la consapevolezza che un importante pezzo della costruzione teorica nota come «**Modello Standard delle Particelle Elementari**» potesse trovare conferme sperimentali principalmente attraverso l'uso di macchine acceleratrici di energia relativamente bassa ma di altissima intensità di fascio

Questa branca del Modello Standard è nota in gergo «fisichese» come «**Fisica del Flavour**» e necessita di una qualche spiegazione dettagliata. Essendo un argomento un po' tecnico nel tentare di darvele necessariamente incapperò in qualche imprecisione, di cui mi scuso in anticipo



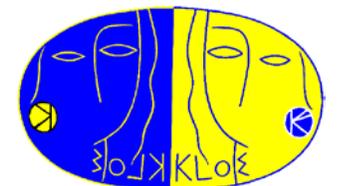
Come forse già saprete il Modello Standard spiega tutti i fenomeni noti del microcosmo attraverso la combinazione/interazione di alcuni «campi di materia» fondamentali

				Carica Elettrica
Quark	Up (u)	Charm (c)	Top (t)	2/3
	Down (d)	Strange (s)	Beauty (b)	-1/3

				Carica Elettrica
Leptoni	Elettrone (e)	Muone (μ)	Tau (τ)	-1
	Neutrino-e (ν_e)	Neutrino-mu (ν_μ)	Neutrino-tau (ν_τ)	0

A ciascuna di questi campi è associato un partner di antimateria che ha i numeri quantici rilevanti, tra cui la carica elettrica, invertiti

Il «tipo» di campo di materia nel caso dei quark è tradizionalmente indicato come «flavour» o (in italiano) «sapore»

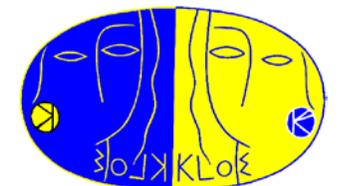


Fatta eccezione della Gravità, le interazioni che intercorrono tra queste particelle sono di tre tipi, a ciascuna delle quali è associata una o più particelle mediatrici

Carica Elettrica

Elettromagnetismo	Fotone	0
Interazioni Forti	Gluoni	0
Interazioni Deboli	Z^0, W^\pm	$0, \pm 1$

Tutte le interazioni con mediatori a carica nulla accoppiano solo particelle dello stesso flavour (tecnicamente «**conservano il flavour**»). In altre parole, per queste interazioni, anche se i valori della carica elettrica lo permetterebbero non esistono accoppiamenti tra flavour diversi (p.es: u-c , d-s ... ecc)



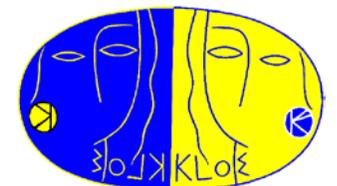
Le interazioni deboli cariche, quelle mediate dai W^\pm , invece necessariamente accoppiano quarks di differenti sapori attraverso un meccanismo di «mescolamento» ideato inizialmente da Cabibbo (sempre lui!) per i quark u,d,s ed esteso da Kobayashi e Maskawa ai quark rimanenti e parametrizzato dalla cosiddetta **matrice CKM** qui a fianco riportata

$$\begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix}$$

Ogni elemento della matrice, al quadrato, determina la probabilità di mescolamento tra i quark indicati dai relativi pedici

I valori di questi elementi non sono però stabiliti dalla teoria ma devono essere determinati dagli esperimenti

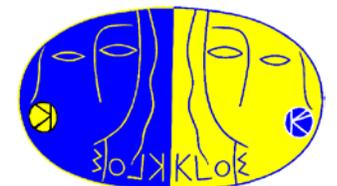
A scanso di equivoci vorrei sottolineare che a ciascun elemento di matrice sono associati parecchi processi fisici diversi. Validare la teoria significa in prima istanza appurare che tutti questi processi forniscano valori del relativo elemento di matrice che siano tra loro compatibili



C'è inoltre un'altra importante caratteristica del meccanismo CKM che deve essere soddisfatta, tutt'altro che scontata. Gli elementi di ciascuna riga della matrice devono soddisfare una particolare condizione, cosiddetta di «**unitarietà**», che implica che la somma dei loro quadrati debba dare 1

Questa condizione implica che l'accoppiamento di *qualsiasi* quark con carica $2/3$ con i quark di carica $-1/3$ è lo stesso indipendentemente dal suo flavour ed è uguale a quello tra leptoni della stessa famiglia una condizione indicata come «**universalità delle interazioni deboli**» proprio da Cabibbo che la notò per primo

Un test fondamentale del Modello Standard consiste quindi nel misurare con la massima precisione possibile gli elementi di matrice CKM e verificarne la condizione di unitarietà



Il modo migliore per effettuare questi test è quello di produrre il maggior numero possibile di particelle contenenti i quarks dei vari sapori e, attraverso i loro processi di decadimento debole, effettuare misure precise dei relativi elementi di matrice

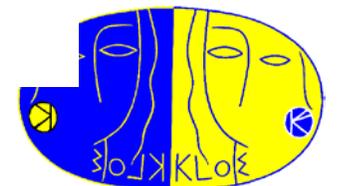
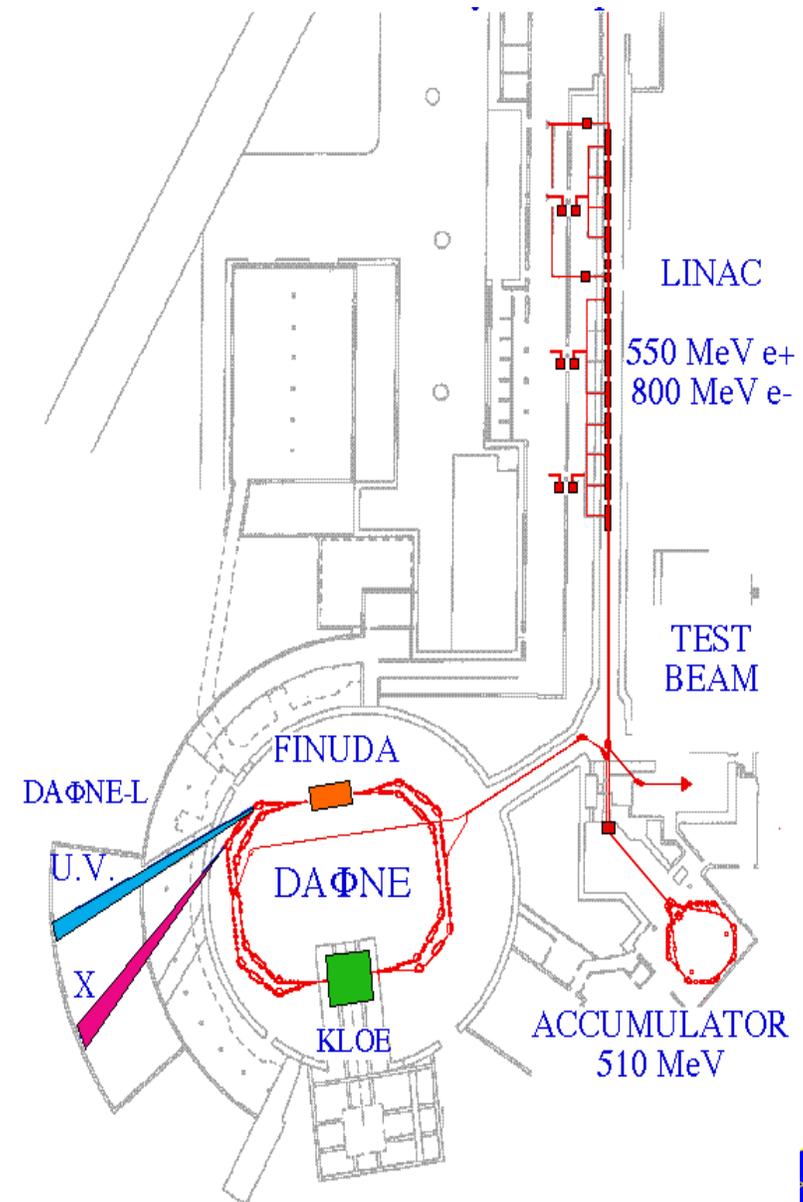
A questo scopo negli USA ed in Giappone nei primi anni '90 si decise di costruire due «Beauty Factories» per misurare gli elementi di matrice connessi al quark b, che erano quelli peggio conosciuti al momento

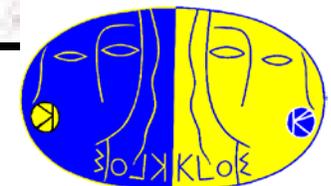
Nello stesso periodo l'INFN (il cui Presidente era indovinate chi?: Nicola Cabibbo) intraprese la costruzione di una, relativamente più economica, « Φ factory», atta a misurare gli elementi di matrice connessi al quark s, in particolare V_{us} . E qui ha inizio la nostra storia



DAΦNE è un collisionatore e^+e^- di energia calibrata al valore della «risonanza» $\phi(1020)$, ovvero una energia circa 3 volte minore di quella massima raggiunta da ADONE

La peculiarità di questo acceleratore non è quindi nell'energia di operazione ma nel fatto che la frequenza di collisioni «interessanti», quella che in gergo è chiamata «**luminosità**», è prevista essere circa 100 volte maggiore di quella mai raggiunta da collisori operanti alle medesime energie



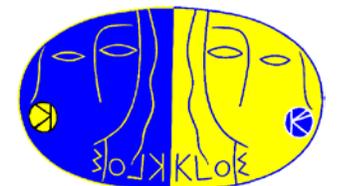


Alla risonanza ϕ vengono prodotte prevalentemente **coppie** di mesoni K: K^+K^- nel 49% dei casi, $K_L^0K_S^0$ nel 34% dei casi. Ciò è importante perchè i decadimenti di questi mesoni sono, secondo il Modello Standard, funzione dell'unico elemento di matrice V_{us}

I mesoni K neutri sono di due specie: uno a vita media breve, il K_S^0 , che decade entro pochi centimetri dal suo punto di produzione. L'altro a vita media lunga, il K_L^0 , il cui cammino medio è di ben 3.5 m!

Anche i K carichi, K^\pm , hanno un cammino medio considerevole: 95 cm

Questo vuol dire che se si aspira ad osservare il maggior numero possibile di decadimenti di K_L^0 e K^\pm bisogna costruire un rivelatore di grandi dimensioni, il limite superiore essendo imposto essenzialmente da considerazioni di natura economica



Nel 1992 viene presentata la proposta per costruire un rivelatore con queste caratteristiche: **K-LOng-Experiment, KLOE**, il cui nome richiama il mito di Daphni e Chloe, narrato dallo scrittore greco Longino, II secolo d.c., e ripreso da allora da molti altri scrittori, scultori, pittori...



CHLOE'

*N'y a-t-il rien de plus Daphnis,
Que nous tenir entre nos bras
Et nous endormir ainsi?*

DAPHNIS

*Si, Chloe'. Il y a
La pris de toi
Que je sais maintenant*

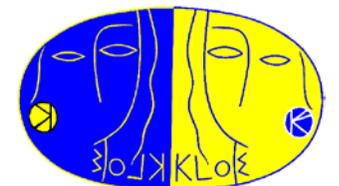
CHLOE'

*N'y a-t-il rien de plus Daphnis,
Que la pris de moi
Que tu as fait?*

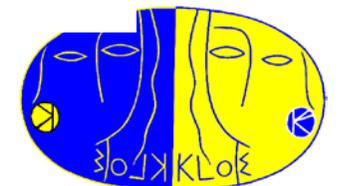
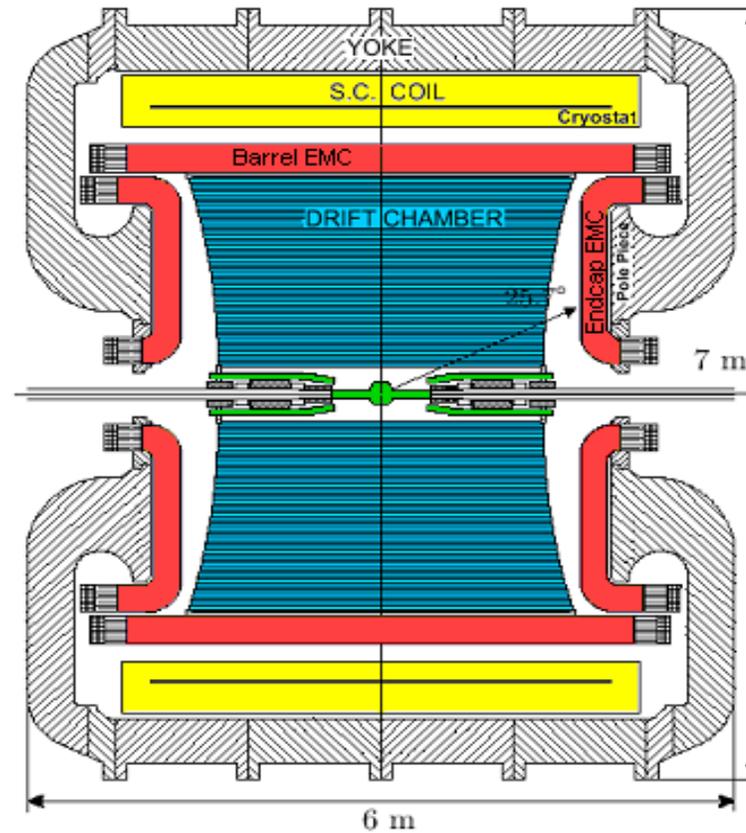
DAPHNIS

*Si, Chloe'. Il y a
Nous tenir entre nos bras
Et nous endormir ainsi*

H.P. Roche'



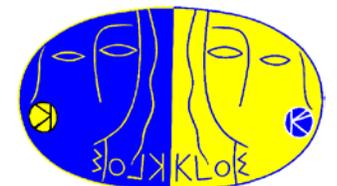
Ecco dunque perchè KLOE, pur operando ad un collisore di energia relativamente modesta, ha in tutto e per tutto l'aspetto (ed il costo) di un rivelatore da «alta energia»



Come praticamente tutti i rivelatori ai colliders, KLOE si compone di diversi sottorivelatori ciascuno atto a osservare particolari tipi di particelle (nel nostro caso i prodotti di decadimento dei mesoni K) ed a misurarne al meglio le caratteristiche cinematiche (velocità, punto di produzione ecc...)

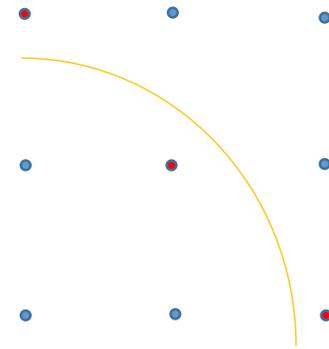
In particolare KLOE è composto di tre grandi elementi:

- La **Camera a Deriva**, ideata per osservare tutte le particelle cariche prodotte da questi decadimenti
- Il **Calorimetro**, ideato per osservare tutti i fotoni prodotti
- Il **Magnete**, il cui effetto è quello di curvare le particelle cariche all'interno della Camera a Deriva consentendo così di misurarne la velocità



Una camera a deriva è costituita da un volume riempito di una opportuna miscela di gas. Al passaggio delle particelle cariche che si vogliono rivelare il gas viene ionizzato, ed i prodotti della ionizzazione (elettroni e ioni) vengono catturati da sottili fili metallici posti ad una opportuna tensione elettrica. Sul filo si produce dunque un segnale che è testimone del passaggio della particella primaria nelle sue vicinanze.

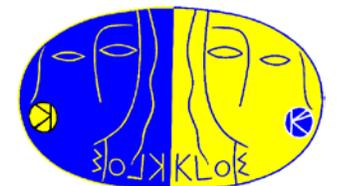
Mettendo insieme dunque l'informazione di parecchi fili si riesce a ricostruire la traiettoria della particella in questione

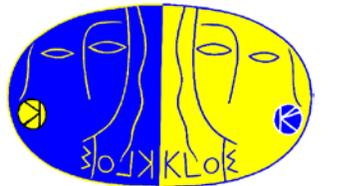
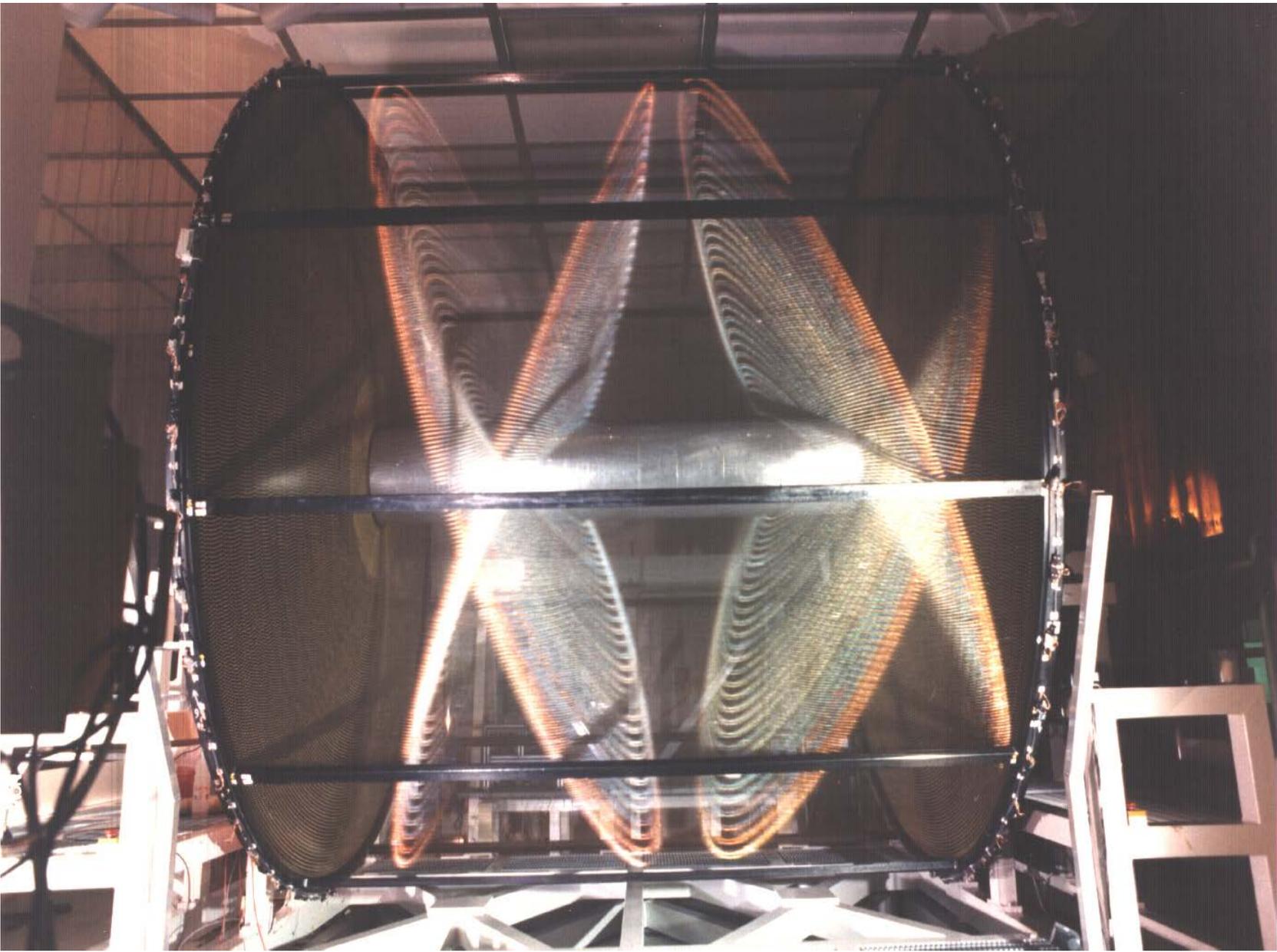


La **camera a deriva di KLOE** è la più grande mai costruita: essa consiste di un cilindro di 2 m di raggio e 3.5 m di lunghezza, con oltre 52000 fili!

La struttura meccanica del cilindro è in fibra di carbonio, un materiale usato per la prima volta a questo scopo da KLOE ed oggi divenuto di uso comune

La camera è stata filata nel corso di un intero anno, il 1998, in questi laboratori. Le operazioni semi-automatiche richiedevano però anche una certa abilità manuale, quando si trattava di fissare il filo ai due estremi del cilindro. In questo, per ragioni a me ignote, si è dimostrato estremamente più rapido ed efficiente il personale femminile

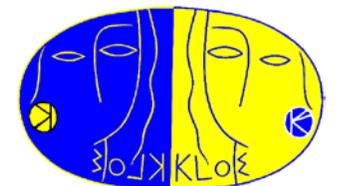


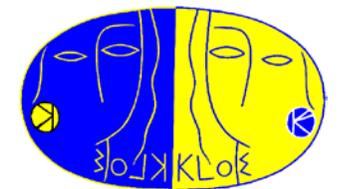


Il **calorimetro elettromagnetico** è pensato per rivelare i fotoni prodotti dai decadimenti dei mesoni K, cercando di massimizzare (per ragioni tecniche che non spiego) in particolare la precisione con cui si misura il loro tempo di produzione

A questo scopo si è letteralmente inventata una tecnica di costruzione che utilizza fibre plastiche scintillanti intrappolate in sottili fogli di piombo. Le fibre hanno in effetti la caratteristica di fornire segnali rapidissimi dunque ottimizzandone le caratteristiche temporali

Inoltre, proprio grazie a questa tecnica costruttiva, i moduli di cui è composto il calorimetro possono essere «modellati» in forme differenti, il che ha reso possibile costruire uno strumento estremamente ermetico. Il 98% dei fotoni prodotti «all'interno» di KLOE vengono rivelati! (una caratteristica veramente da record)





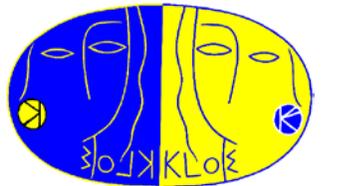
Il **solenoid** produce un intenso campo magnetico (0.6 T) che curva le particelle cariche consentendo di determinarne la velocità

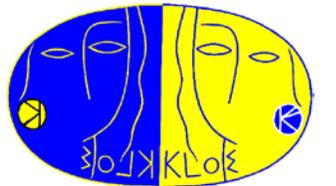
Occorre infine «chiudere il circuito magnetico» attraverso una grande struttura di ferro (il «**giogo**») che racchiude l'intero detector

Entrambe queste componenti sono state disegnate da ingegneri e fisici del laboratorio (il sottoscritto incluso) ma realizzate da ditte esterne

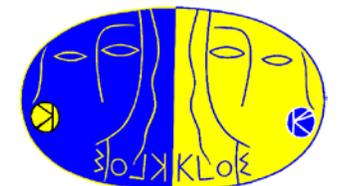
In particolare il solenoide è stato costruito ad Oxford, trasportato in nave sino ad Anzio e da lì via terra sino a Frascati tramite un trasporto eccezionale che ci ha fatto guadagnare la riconoscenza eterna da parte degli automobilisti della zona



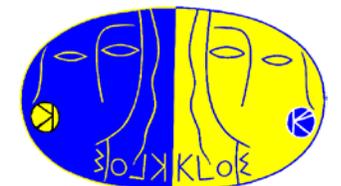
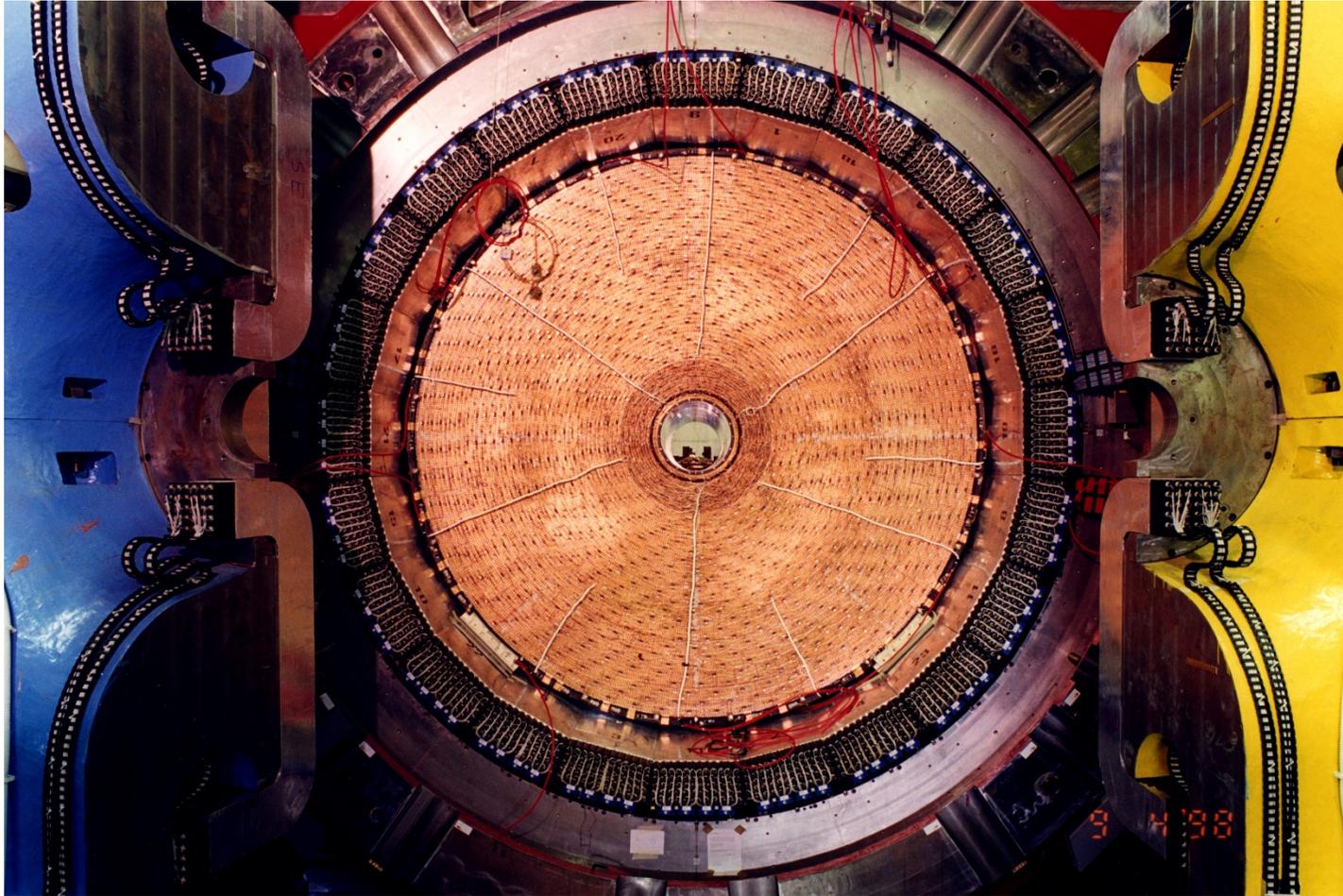




Anche trasportare la camera a deriva dal luogo di filatura sino alla sala di assemblaggio dell'intero rivelatore, un percorso di un centinaio di metri, senza che nessuno dei 52000 fili si rompesse, è stata una piccola odissea



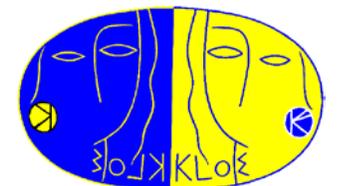
Ed alla fine, nel 1999, l'intero rivelatore era pronto a prendere dati



Durante la presa dati DAΦNE opera h24 7 giorni su 7. I fisici di KLOE si sono dunque organizzati in turni, su base volontaria, perchè ci fosse sempre qualcuno in grado di controllare che il rivelatore fosse funzionante e che i dati venissero registrati su opportuni supporti informatici ad una frequenza di circa 2000 eventi al secondo

Questi eventi venivano processati quasi online da un «programma di ricostruzione» atto a trasformare le informazioni elettroniche delle varie componenti del rivelatore (fili della camera accesi, segnali dei fotomoltiplicatori del calorimetro ecc...) in informazioni «fisiche»

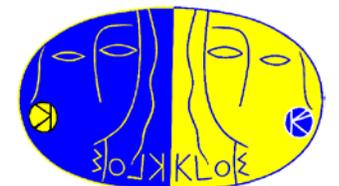
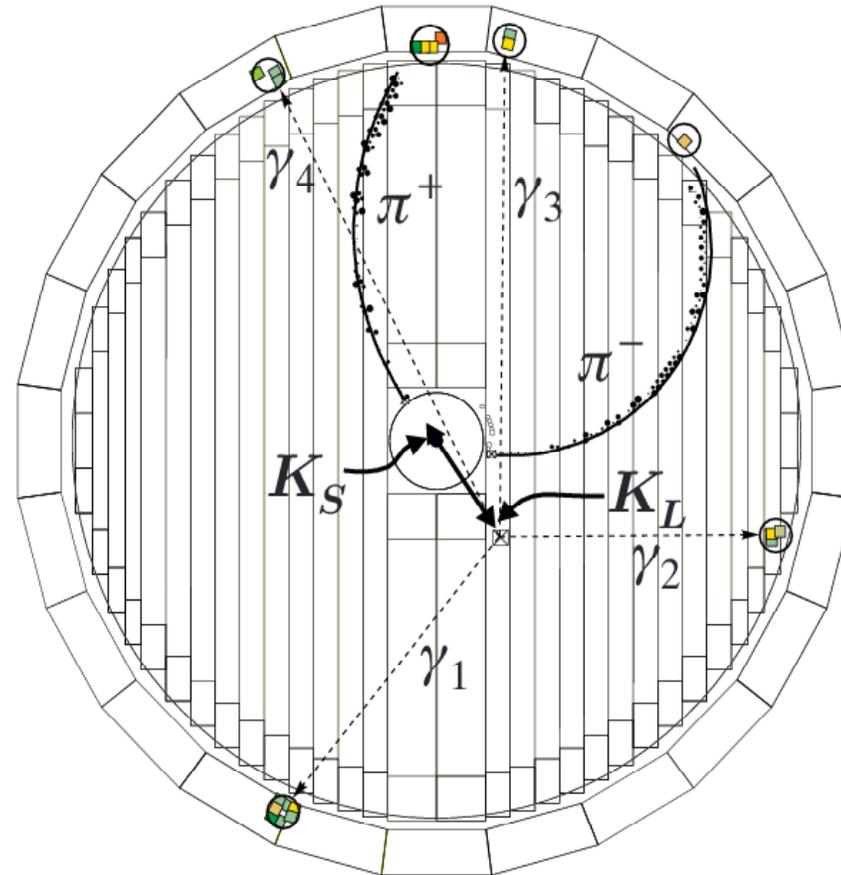
L'analisi di dettagliata di questi eventi ricostruiti ha consentito nel corso dei mesi/anni successivi di selezionari quelli utili per le misure di fisica programmate



Esempio di $\phi \rightarrow K_S \rightarrow \pi^+\pi^-$
 $K_L \rightarrow \pi^0\pi^0$

Cosa si osserva:

- 2 tracce di opposta curvatura nella camera a deriva
- 2 depositi di energia nel calorimetro connessi alle tracce
- 4 depositi di energia nel calorimetro non connessi ad alcuna traccia



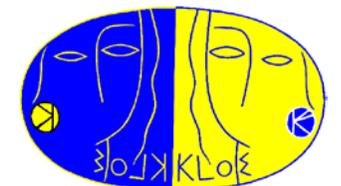
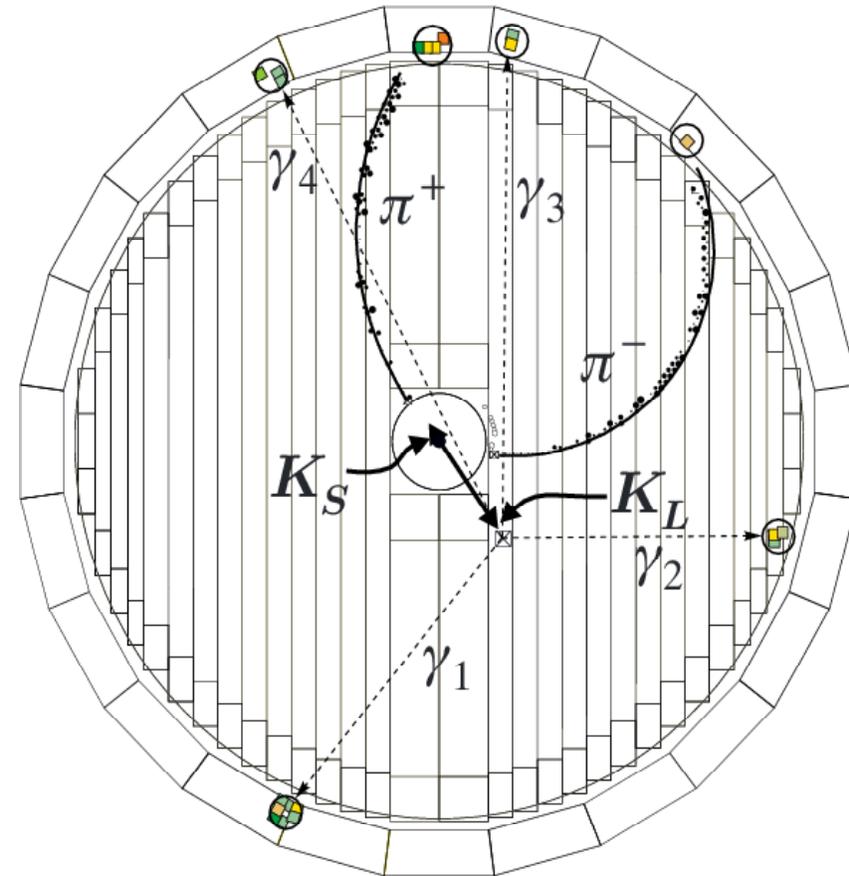
Cosa si misura:

- Gli impulsi delle due tracce
- Le energie ed i tempi di arrivo dei depositi calorimetrici

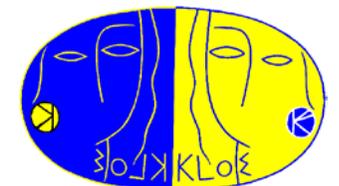
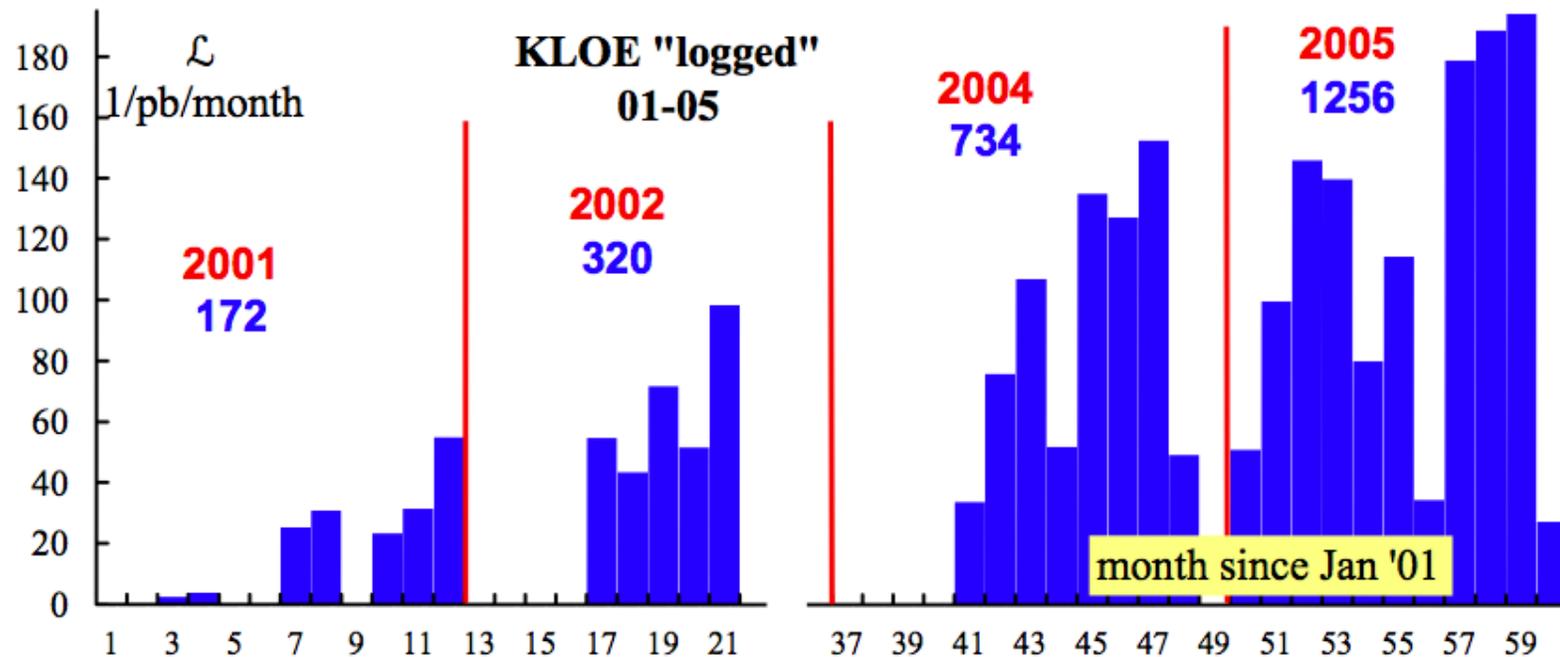
Cosa si ricostruisce:

- Il vertice comune delle due tracce
- Il vertice comune dei 4 depositi non connessi a tracce

Infine si interpreta l'evento facendo ipotesi ragionevoli sulla sua natura e cercando di "chiudere" la cinematica (conservazione energia, conservazione impulso)



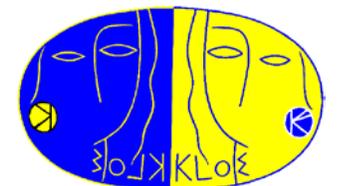
Il primo periodo di presa dati di KLOE è durato dal 2000 ai primi mesi del 2006. DAΦNE è andata progressivamente migliorando le sue prestazioni fornendo alla fine un totale di circa 7 miliardi di coppie di mesoni K neutri e 10 miliardi di coppie di mesoni K carichi



Grazie a questa grande messe di dati KLOE è stata in grado di misurare l'elemento di matrice V_{us} con una precisione del 5 per mille

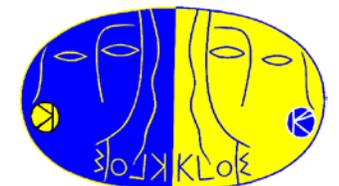
Combinando questo risultato con quello ottenuto da decadimenti nucleari che determinano V_{ud} , si è ottenuta una conferma della condizione dell'unitarietà della matrice CKM con precisione dell'1 per mille, una delle più precise conferme del Modello Standard ottenute sino ad oggi

Naturalmente noi siamo molto orgogliosi di questo risultato anche se, romanticamente, avremmo preferito trovare una qualche discrepanza con le predizioni del Modello Standard che avrebbero potuto essere interpretate come un suggerimento di «Nuova Fisica»



La grande mole di dati raccolta da KLOE ha inoltre permesso di effettuare ulteriori test del Modello Standard, in molti dei suoi aspetti anche più complessi, misurandone con precisione alcuni parametri o mettendo limiti stringenti sull'esistenza di fenomeni che ne avrebbero potuto costituire una confutazione

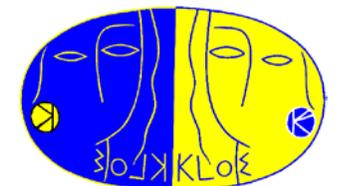
Nel complesso, a tutt'oggi, utilizzando questi dati sono stati pubblicati su riviste internazionali una settantina di lavori alcuni dei quali etichettabili tra i «top cited» dell'ultimo decennio nel campo della Fisica delle Particelle



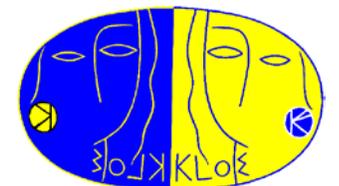
Fatemi citare, in modo un po' arbitrario, una ricerca che mi è personalmente particolarmente cara, quella del «**fotone oscuro**»

Questa bizzarra e fantomatica particella sarebbe un fotone dotato di massa, mediatore di un nuovo tipo di interazione in qualche modo simile all'elettromagnetismo. La sua esistenza è prevista da modelli teorici che cercano di dare una spiegazione al problema dell'esistenza e dalla natura della cosiddetta «Materia Oscura», da molti considerato il problema più scottante della fisica moderna

KLOE ha ricercato tracce di questo «fotone oscuro» utilizzando quattro diverse metodologie di analisi, senza trovarne evidenza



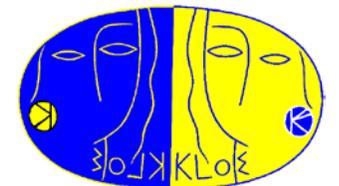
A partire dal 2011, dopo che altri esperimenti avevano utilizzato DAΦNE per le loro misure, KLOE è rientrata su fascio con una serie di nuovi rivelatori inseriti nella sua parte più interna, nel progetto che abbiamo chiamato, senza troppa fantasia, KLOE-2



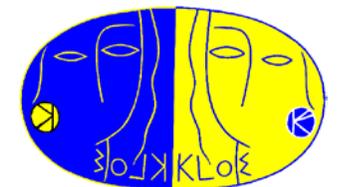
In questa nuova configurazione si è circa triplicata la quantità di dati raccolta in totale, aprendo la strada a risultati che speriamo di poter pubblicare negli anni a venire

Come in tutte le imprese, però, si arriva ad un punto in cui i miglioramenti ottenuti non arrivano più a compensare gli sforzi umani ed economici messi in atto per ottenerli, ed è giunto così il momento di dichiarare conclusa l'avventura di KLOE

E dunque, con qualche lacrima e un bel po' di spumante il 30 Marzo scorso abbiamo brindato in onore di KLOE e, perchè no?, anche un po' di noi stessi



Tra le tante persone che hanno contribuito all'impresa ne voglio ricordare due che hanno svolto un ruolo di guida per tutti e di insegnamento prezioso per molti: Juliet e Paolo Franzini



Al di là dei dati ancora da analizzare negli anni a venire, qual è dunque il lascito di KLOE?

Innanzitutto un gran numero di fisici sperimentali che sono cresciuti professionalmente (ed umanamente) in un ambiente unico nel suo genere e che hanno fatto tesoro di questa esperienza riportandola con successo in molti laboratori e università del mondo

Inoltre la conferma che nel nostro Paese ci sono le competenze per affrontare sfide tecnologiche di frontiera, che si possono vincere se c'è la volontà politica di farlo

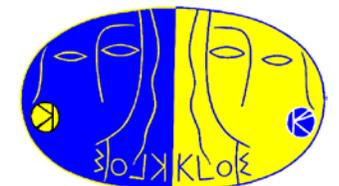
Infine, come rimarcato più volte nel corso del seminario, un insieme di risultati e misure che contribuiscono in maniera determinante alla nostra attuale comprensione della Fisica Fondamentale



In effetti il Modello Standard è una complessa costruzione che si è venuta formando nel corso dell'ultimo mezzo secolo, mettendo insieme decine e decine di elementi teorici ed osservativi provenienti da molteplici sorgenti

E' una teoria di grande successo che è sopravvissuta a moltissimi tentativi di «falsificazione» e che ha ottenuto l'ultima importante conferma con la scoperta del Bosone di Higgs al CERN nel 2012

E' una teoria che però **deve** essere superata in qualche modo perchè lascia aperti una serie di interrogativi per i quali non sappiamo dare una risposta soddisfacente



- Cosa determina i valori, così profondamente diversi tra loro, dei parametri fondamentali del Modello Standard (masse, costanti di accoppiamento, ecc...)?
- A che livello e come la Gravità comincia ad avere un ruolo nel micromondo?
- Esiste una scala di energie a cui tutte le interazioni fondamentali, inclusa la Gravità, si unificano?
- Che cos'è la Materia Oscura?
- Che cos'è l'Energia Oscura?

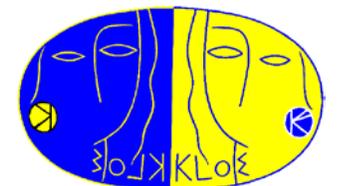
.....

Esistono molti possibili modelli di «Fisica oltre il Modello Standard» che cercano di dare risposta a queste ed altre domande fondamentali. Tutti necessitano di nuovi esperimenti, che richiedono una grande dose di inventiva e di capacità di innovazione per superare i limiti tecnici con i quali ci confrontiamo al giorno d'oggi

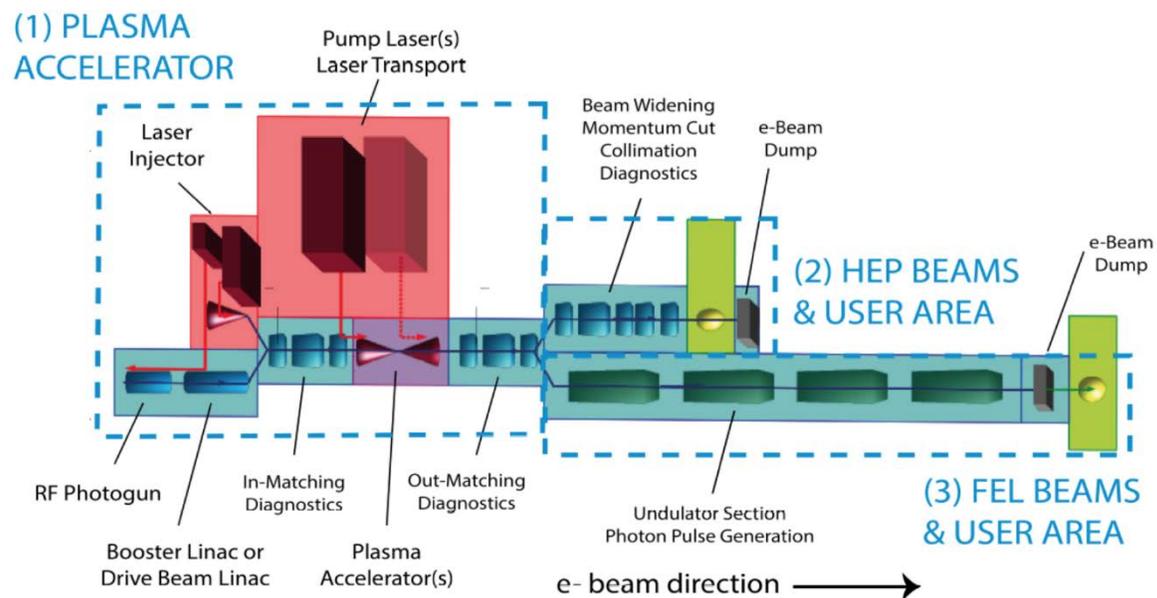


Un avanzamento tecnologico di cui si sente sicuramente necessità consiste nel trovare tecniche di accelerazione di particelle che consentano di raggiungere energie ed intensità di fascio più elevate rispetto a quelle ottenibili con le tecniche tradizionali mantenendo tuttavia i costi di costruzione e di operazione a livelli accettabili

Senza questo breakthrough tecnologico c'è il serio rischio che la ricerca delle «leggi ultime» della Natura si fermi nel giro di pochi decenni e che le domande fondamentali che abbiamo formulato qualche minuto orsono rimangano per sempre senza risposta



Questa è la partita che i Laboratori di Frascati hanno deciso di giocare e che caratterizzerà il loro futuro scientifico nei prossimi anni



Come è naturale in tutte le imprese scientifiche, è una partita difficile il cui risultato è ad oggi realmente impossibile da prevedere. Noi ce la metteremo tutta. Abbiamo bisogno del vostro sostegno!

