

PROGRAMMA DI RICERCA - MODELLO A  
Anno 2006 - prot. 2006021207

PARTE I

1.1 Programma di Ricerca afferente a

Area Scientifico Disciplinare 02: Scienze fisiche 100%

---

1.2 Titolo del Programma di Ricerca

**Testo italiano**

*Calorimetria a fibre scintillanti con ricostruzione di immagine e elevato potere risolutivo temporale per la fisica delle particelle*

**Testo inglese**

*Scintillating fiber calorimetry for particle physics with imaging read out and sub-nanosecond time resolution*

---

1.3 Abstract del Programma di Ricerca

**Testo italiano**

*Negli ultimi anni molti esperimenti sulla fisica delle particelle sono stati dedicati a misure di grande precisione e allo studio di fenomeni rari per evidenziare possibili deviazioni dal Modello Standard delle interazioni fondamentali e verificare le previsioni di particolari modelli. Questi esperimenti richiedono sorgenti di alta intensità e rivelatori con ottimo potere risolutivo spaziale e temporale. Questo progetto si basa sull'esperienza acquisita dai proponenti nell'ambito di due linee di ricerca di grande interesse: 1) lo studio delle simmetrie delle interazioni fondamentali nei decadimenti dei mesoni K e 2) la ricerca di oscillazioni di neutrino. La prima è stata esplorata con l'esperimento KLOE (K-Long Experiment) presso la phi-factory DAFNE dei Laboratori Nazionali di Frascati, la seconda con l'esperimento NOMAD (Neutrino Oscillation MAGnetic Detector) al CERN e nell'ambito degli studi di fattibilità per una neutrino-factory. Per l'esperimento KLOE (K-Long Experiment) è stato costruito un calorimetro a fibre scintillanti con ottime prestazioni come tracciante di particelle e rivelatore di tempo di volo. Nell'ambito dell'esperimento MICE (Muon Ionization Cooling Experiment) si vuole utilizzare un calorimetro basato sulla stessa tecnica per diagnostica delle caratteristiche di un fascio di muoni "raffreddato".*

*L'obiettivo di questo progetto è di studiare come migliorare le prestazioni di un calorimetro tracciante a fibre scintillanti in modo da ottenere una ricostruzione di immagine spazio-temporale delle interazioni delle particelle nel calorimetro per poter aumentare l'efficienza di rivelazione e il potere di identificazione di elettroni, fotoni, pioni, muoni, protoni e neutroni a bassa energia (10 - 100 MeV). Questo interesse è motivato da alcune nuove iniziative di sperimentazione con anelli di collisione elettrone-positrone ad alta luminosità (DANAÉ, super B-factory) e con fasci di muoni di elevata intensità e piccola dispersione da iniettare in un anello di accumulazione per realizzare una neutrino factory.*

*Il progetto è suddiviso in più fasi: 1) studio dei fenomeni fisici di interesse per il programma sperimentale ad una super phi-factory (DANAÉ); 2) simulazione delle interazioni di diverse particelle in un calorimetro con la struttura del calorimetro di KLOE ma con granularità più fine; 3) studio della raccolta di luce e ottimizzazione della granularità di lettura; 4) sperimentazione con fotosensori (e.g. fotomoltiplicatori multi-anodo); 5) progettazione dell'elettronica di lettura del segnale; 6) realizzazione di un prototipo; 7) collaudo del prototipo in laboratorio e con fasci di particelle; 8) progettazione delle modifiche specifiche al calorimetro dell'esperimento KLOE e a quello dell'esperimento MICE. Nell'ambito dei gruppi proponenti esistono l'esperienza nella realizzazione di rivelatori e le competenze per queste attività, sia hardware che software, e i ricercatori sono interessati alle iniziative di sperimentazione proposte nell'ambito della super phi-factory e della neutrino-factory.*

**Testo inglese**

*In the last years, many subnuclear physics experiments were addressed to high precision measurements and to the study of rare phenomena to search for deviations from the Standard Model of fundamental interactions. These experiments require high intensity sources and detectors with excellent space and time resolutions. This project is based on the experience made in our Departments in two important research programs: 1) the study of fundamental symmetries in the decays of K mesons, and 2) the search for neutrino oscillations. The first line was followed with the KLOE (K-Long Experiment) experiment at the DAFNE phi-factory at the Frascati National Laboratory, the second with the NOMAD (Neutrino Oscillation MAGnetic Detector) at CERN and then within the design studies for a neutrino factory. For KLOE we built a scintillating fiber calorimeter with excellent performance as tracker and time of flight detector. For MICE (Muon Ionization Cooling Experiment) we plan to build a calorimeter, with the same technique of KLOE, for diagnostics of a low emittance, high intensity, muon beam.*

*The goal of this project is to improve the performance of a scintillating fiber calorimeter using an imaging space-time read-out to increase the detection efficiency and the identification power of electrons, photons, muons, pions and neutrons at low energy (from few tens to few hundreds MeV). The interest is motivated by the new proposals for experiments at high luminosity electron-positron colliders (DANAÉ, super B-factory) and within the design studies of high intensity, low emittance, muon beams to be stored in a*

neutrino factory.

The time schedule of the project is divided in several phases: 1) study of physics processes of interest for the program at a super phi-factory (DANAÉ); detailed Monte Carlo simulation of particle interactions in a calorimeter with the same structure as in KLOE, but with a finer granularity; 3) study of the light collection to optimize the read-out granularity; 4) make experience with suitable photo-detectors (e.g. multi-anode photomultipliers); 5) design of the signal read-out electronics; 6) construction of a prototype; 7) test of the prototype in the laboratory and with particle beams; 8) design of the specific modifications for use in the KLOE experiment and in the MICE project. Within our Departments there is good experience and know-how, both in hardware and in software, for such activities and there is much interest in future experiments at a super phi-factory and at a neutrino factory.

## 1.4 Durata del Programma di Ricerca

24 Mesi

## 1.5 Settori scientifico-disciplinari interessati dal Programma di Ricerca

FIS/04 - Fisica nucleare e subnucleare

FIS/01 - Fisica sperimentale

## 1.6 Parole chiave

n°	Parola chiave (in italiano)	Parola chiave (in inglese)
1.	SIMMETRIE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI	SYMMETRIES OF FUNDAMENTAL INTERACTIONS
2.	ANELLO DI COLLISIONE ELETTRONE-POSITRONE	ELECTRON-POSITRON COLLIDER
3.	NEUTRINO FACTORY	NEUTRINO FACTORY
4.	CALORIMETRO	CALORIMETER
5.	FIBRE SCINTILLANTI	SCINTILLATING FIBERS
6.	GUIDE DI LUCE	LIGHT GUIDES
7.	FOTOMOLTIPLICATORI MULTI-ANODO	MULTI-ANODE PHOTOMULTIPLIERS
8.	ELETTRONICA DI LETTURA	READ-OUT ELECTRONICS
9.	SIMULAZIONE MONTE CARLO	MONTE CARLO SIMULATION

## 1.7 Coordinatore Scientifico del Programma di Ricerca

**CERADINI**  
(Cognome)

**FILIPPO**  
(Nome)

**Professore Ordinario**  
(Qualifica)

**18/07/1946**  
(Data di nascita)

**CRDFPP46L18H501H**  
(Codice di identificazione personale)

**FIS/04 - Fisica nucleare e subnucleare**  
(Settore scientifico-disciplinare)

**Università degli Studi ROMA TRE**  
(Università)

**Facoltà di SCIENZE MATEMATICHE FISICHE e NATURALI**  
(Facoltà)

**Dipartimento di FISICA "E. AMALDI"**  
(Dipartimento)

**06/55177233**  
(Prefisso e telefono)

**06/5579303**  
(Numero fax)

**filippo.ceradini@roma3.infn.it**  
(Indirizzo posta elettronica)

## 1.8 Curriculum scientifico

### Testo italiano

#### CURRICULUM

1970 | Laureato in fisica all'Università di Roma

1971-72 | Borsa di studio del Consiglio Nazionale delle Ricerche presso l'Istituto di Fisica dell'Università di Roma

1973 | Servizio militare di leva: allievo ufficiale e poi sottotenente del Servizio Tecnico Chimico-Fisico dell'Esercito Italiano

1974 | Borsa di addestramento didattico-scientifico dell'Università di Roma presso l'Istituto di Fisica

1.5.1975 | Assunto come ricercatore della Sezione di Roma dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare col grado di R6

1976 | Vinto il concorso-esame per ottenere il grado di ricercatore R5 INFN

1976-78 | Contratto di "Fellow" presso il Centro Europeo per la Ricerca Nucleare, CERN, di Ginevra

1979-80 | Rappresentante del personale ricercatore della Sezione INFN di Roma

1984 | Contratto di "Scientific Associate" presso il CERN

1985 | Vinto un concorso nazionale di promozione dei ricercatori INFN

1987 | Vinto un concorso per posti di professore associato del settore scientifico-disciplinare B01B, "Fisica"; professore associato presso la Facoltà di Scienze M.F.N. dell'Università La Sapienza di Roma dal 1.11.1987

1987-90 | Coordinatore del Gruppo I della Sezione INFN di Roma e membro della Commissione Scientifica Nazionale I

1990 | Vinto un concorso per posti di professore di I fascia del settore scientifico-disciplinare B01A "Fisica Generale"; professore straordinario presso la Facoltà di Scienze M.F.N. dell'Università La Sapienza di Roma dal 1.11.1990

1991-97 | Presidente della Commissione Scientifica Nazionale I dell'INFN.

1992 | Opzione per la Terza Università di Roma

1993 | Confermato in ruolo come professore ordinario del settore scientifico-disciplinare B01A "Fisica Generale", presso la Facoltà di Scienze M.F.N. dell'Università Roma Tre

1994 | Opzione per il settore scientifico-disciplinare B04X "Fisica Nucleare e Subnucleare"

1995-98 | Presidente del Corso di Laurea in Fisica dell'Università Roma Tre

1997-98 | Membro del Collegio dei Docenti del Dottorato di Ricerca in Fisica dell'Università Tor Vergata

1999-2003 | Coordinatore del Dottorato di Ricerca in Fisica dell'Università Roma Tre

1994-2004 | Membro del comitato tecnico scientifico del CASPUR (Consorzio per l'Avanzamento del Super-Calcolo per l'Università e la Ricerca)

1998-2005 | Membro dell'European Committee for Future Accelerators

2004-05 | Membro del Collegio dei Docenti del Dottorato di Ricerca in Fisica dell'Università Roma Tre

2002-05 | Membro della Giunta del Dipartimento di Fisica dell'Università Roma Tre

#### ATTIVITÀ DIDATTICA

1971-74 | Esercitazioni, corso di Fisica Superiore, Università di Roma

1979-83 | Esercitazioni, corsi di Laboratorio di Fisica, Università La Sapienza di Roma

1985-87 | Lezioni di Fisica delle Particelle Elementari, Scuola di Specializzazione in Fisica, Università La Sapienza.

1988-89 | Corso di Fisica I, Corso di laurea in Scienze Naturali, Università La Sapienza

1990-94 | Corso di Laboratorio di Fisica I, Corso di laurea in Fisica, Università La Sapienza

1994-98 | Corso di Istituzioni di Fisica Nucleare e Subnucleare, Corso di laurea in Fisica, Università Roma Tre

1998-2002 | Corsi di Istituzioni di Fisica Nucleare e Subnucleare, Corso di laurea in Fisica, Università Roma Tre; Fisica III, Diploma Universitario in Metodologie Fisiche, Università Roma Tre

2002-03 | Corsi di Istituzioni di Fisica Nucleare e Subnucleare; Fisica sperimentale delle particelle elementari, Corso di studi in Fisica, Università Roma Tre

2003-04 | Corsi di Elementi di Fisica Nucleare e Subnucleare; Complementi di Fisica Nucleare e Subnucleare; Acceleratori e applicazioni, Corso di studi in Fisica, Università Roma Tre

2004-05 | Corsi di Elementi di Fisica Nucleare e Subnucleare; Complementi di Fisica Nucleare e Subnucleare; Metodologie della Fisica Nucleare e Subnucleare, Corso di studi in Fisica, Università Roma Tre

#### ATTIVITÀ SCIENTIFICA

Ho iniziato l'attività scientifica nel 1970 con ricerche sulle interazioni elettrone-positrone presso l'anello di collisione Adone dei Laboratori Nazionali di Frascati, ottenendo risultati sulla diffusione elastica, annichilazione in coppie di muoni, pioni e molti adroni, produzione di mesoni vettori, studio delle interazioni fotone-fotone, misure di luminosità. I risultati di questo esperimento hanno contribuito in modo rilevante alle verifiche della elettrodinamica quantistica e alla scoperta della materializzazione del fotone in stati adronici.

Dal 1974 ho partecipato allo sviluppo di un nuovo tipo di rivelatore "flash plastic chambers" da usare come "tracking calorimeter" e a un esperimento per misurare la vita media delle particelle con "charm" prodotte in interazioni di neutrini in emulsioni nucleari presso il Fermi National Accelerator Laboratory, Chicago, USA. Questo è stato il primo esperimento che ha osservato un decadimento di un barione con "charm" prodotto in interazioni di neutrini in emulsioni nucleari.

Dalla metà 1975 ho partecipato al CERN alla costruzione, raccolta dati e analisi di un esperimento sulle interazioni protone-protone agli Intersecting Storage Ring, ottenendo risultati sulla produzione di elettroni "diretti", di stati mesonici e di particelle con "charm". Questo è stato il primo esperimento che ha rivelato la produzione diffrattiva del barione  $\Lambda_c$  in interazioni protone-protone.

Dal 1979 ho partecipato al progetto e alla costruzione dell'esperimento UA1 presso il Collider protone-antiprotone del CERN. L'esperimento è stato in funzione dal 1981 al 1989. I risultati riguardano la produzione inclusiva di adroni, la misura della sezione d'urto totale, la produzione e lo studio delle proprietà di jet adronici, la produzione e i decadimenti dei bosoni vettori W e Z, la produzione di quark pesanti e la ricerca di nuove particelle. Dal 1985 fino alla conclusione sono stato il responsabile nazionale della collaborazione italiana. Questo esperimento ha dato importanti contributi alle conoscenze di fisica subnucleare, in particolare

la scoperta dei bosoni vettori W e Z e la prima osservazione di oscillazioni di quark beauty.

Dal 1990 ho partecipato ad un esperimento a bersaglio fisso al Super-Proto-Sincrotrone del CERN, WA92, sullo studio delle proprietà di produzione e decadimento di adroni a breve vita media. L'esperimento è stato in funzione dal 1991 al 1993 e ha prodotto risultati sulla sezione d'urto di produzione di particelle con "charm", particelle con "beauty" e su alcuni modi di decadimento.

Sempre dal 1990 mi sono interessato alla sperimentazione al futuro anello di collisione a protoni "Large Hadron Collider", LHC, proposto al CERN. Sono stato uno dei promotori di un programma di ricerca e sviluppo per studiare metodi di trigger e misura di muoni per esperimenti al LHC che si è concretizzato nell'esperimento RD5 al CERN. I risultati hanno fornito importanti informazioni per il progetto degli esperimenti al LHC. Sono stato uno dei fondatori dell'esperimento ATLAS al LHC e ho partecipato alla stesura della "expression of interest", 1990, "letter of intent", 1992, e del "technical proposal", 1994. Da allora partecipo alla costruzione dei rivelatori di muoni. Nell'ambito di questa attività sono stato responsabile locale di un progetto cofinanziato dal MIUR nel biennio 1998-99, "Progetto di un sistema di trigger con rivelatori RPC per l'identificazione rapida di muoni nell'esperimento ATLAS al Large Hadron Collider".

Dal 1993, anno del trasferimento all'Università Roma Tre, partecipo all'esperimento KLOE presso la phi-factory DAFNE dei Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN. L'esperimento è entrato in funzione nel 1999 e ha raccolto dati fino al 2006. I risultati ottenuti riguardano le proprietà della risonanza phi, la produzione e i modi di decadimento di mesoni leggeri, la sezione d'urto di annichilazione elettrone-positrone in adroni e modi di decadimento rari di mesoni K, l'interferenza dei mesoni K neutri e la misura dei parametri di violazione della simmetria CP.

### **Testo inglese**

#### **CURRICULUM**

1970 | Graduated in Physics at the University of Rome.

1971-72 | Fellowship of the National Council for Research (CNR) at the Physics Department, University of Rome.

1973 | Military duties in the Technical Chemical-Physics Department of the Italian Army.

1974 | Post-doc fellowship of the Physics Department, University of Rome.

1.5.1975 | Selection for Research Associate R6 of the National Institute for Nuclear Physics (INFN).

1976 | Research Associate R5 of INFN.

1976-78 | Fellowship of the European Center for Nuclear research (CERN).

1984 | CERN contract as Scientific Associate.

1985 | Selection for Research Associate R4 of INFN.

1987 | Selection for Associate Professor of the Italian University: Associate Professor of Physics at the University of Rome La Sapienza.

1987-90 | Member of the INFN National Scientific Committee for Experiments at Accelerators.

1990 | Selection for Full Professor of the Italian University: Full Professor of Experimental Physics at the University of Rome La Sapienza.

1991-97 | Chairman of the INFN National Scientific Committee for Experiments at Accelerators.

1992 | Foundation of the third University of Rome "Roma Tre", Full Professor of Nuclear and Subnuclear Physics at the University Roma Tre.

1995-98 | Chairman of the Council for Physics Courses, University Roma Tre.

1997-98 | Member of the Council of the Ph.D. School of Physics of the University of Rome Tor Vergata.

1999-2003 | Chairman of the Council of the Ph.D. School of Physics, University Roma Tre.

1994-2004 | Member of the Technical-Scientific Council of CASPUR (Consortium for the Advancement of Super-Computing for University and Research).

1998-2006 | Member of the European Committee for Future Accelerators (ECFA).

2004-06 | Member of the Council of the Ph.D. School of Physics, University Roma Tre.

2002-06 | Member of the Executive Council of the Physics Department, University Roma Tre.

#### **TEACHING**

1979-83 | Physics laboratory classes, University of Rome La Sapienza.

1985-87 | Lectures of Elementary Particle Physics, University of Rome La Sapienza.

1988-89 | Lectures of Physics I for students of Natural Science, University of Rome La Sapienza.

1990-94 | Electronics laboratory classes, University of Rome La Sapienza.

1994-98 | Lectures of Introductory Nuclear and Subnuclear Physics, University Roma Tre.

1998-2002 | Lectures of Introductory Nuclear and Subnuclear Physics; lectures of Physics III, University Roma Tre.

2002-03 | Lectures of Introductory Nuclear and Subnuclear Physics; lectures on Experimental Particle Physics, University Roma Tre.

2003-04 | Lectures of Introductory Nuclear and Subnuclear Physics; lectures on Introduction to Accelerators and Applications, University Roma Tre.

2004-06 | Lectures of Introductory Nuclear and Subnuclear Physics; lectures on Experimental Methods in Nuclear and Subnuclear Physics, University Roma Tre.

#### **SCIENTIFIC ACTIVITY**

1970-74. Participation in an experiment on electron-positron interactions with total energy 2-3 GeV at the collider Adone of the Frascati National Laboratories. The experiment produced results on electron-positron elastic scattering, annihilation into muon pairs and pion pairs, production of vector mesons, multihadron production, photon-photon interactions. These results have provided important tests of Quantum Electro-Dynamics and have given a relevant contribution to the knowledge of the photon-hadron coupling.

1974-76. Participation in an experiment for the detection of short-lived particles produced in high energy neutrino interactions in a nuclear emulsion target. The experiment was done at the Fermi National Accelerator Laboratory, Chicago, USA. This is the first

experiment to observe a decay of the charmed baryon  $\Lambda_c$  produced in nuclear emulsion.

1975-79 Participation in an experiment at the CERN Intersecting Storage Rings to study proton-proton interactions at total energy around 60 GeV. The main results are on the production of "direct" electrons, meson states and charmed particles. This is the first experiment to observe diffractive production of the  $\Lambda_c$  baryon in proton-proton collisions.

1979-90 Participation in the UA1 experiment at the CERN antiproton-proton collider. The experiment produced relevant results on hadronic and weak interactions at the new energy frontier of 600 GeV. The main results are on the inclusive production of hadrons, measurement of the total cross section, production of hadronic jets and the study of their properties, production of W and Z vector bosons and the study of their decays, production of heavy quarks and search for new particles. The results have given important contributions to the advancement of knowledge of fundamental interactions, in particular the discovery of the vector bosons W and Z and the first observation of oscillations of beauty mesons.

1990-94 Participation in the experiment WA92 at the CERN Super-Proto-Synchrotron to study the production and decay properties of short-lived particles produced in the interactions of 350 GeV pions. For this experiment I proposed a fast tracking trigger of high energy muons built with Resistive Plate Chambers (RPC). The main results are on the measurement of the production properties of charmed and beauty particles, the study of their decays and on some limits on rare decay modes.

Since 1990 I participated in the studies for experiments at the future CERN Large Hadron Collider (LHC) and I promoted with others a Research & Development program to study methods for muon trigger and measurement in experiments at the LHC. The experiment RD5 was done in 1991-93 and produced relevant information for the design of the muon spectrometers of the LHC experiments. I contributed to the "expression of interest" for an experiment at the LHC (1990) and to the foundation of the ATLAS experiment with the "letter of intent" (1992) and the "technical proposal" (1994).

Since 1992 I was involved in the foundation of the new university of Rome, the University Roma Tre, and I was looking for an activity of high scientific level more suited for a new small-size group. Then I joined the experiment KLOE (K-Long Experiment) at the phi-factory DAFNE of the Frascati National Laboratories. The electron-positron collider and the detector were built in 1992-98 and were commissioned in 1999. The experiment took data from 2000 to 2006. The main results are on the study of the phi-resonance, its radiative decays, the properties of light mesons, the measurement of the  $e^+e^-$  annihilation cross section into hadrons, the study of the decay modes of K-mesons, the interference of neutral kaons and the measurement of the parameters of violation of CP-symmetry.

## 1.9 Pubblicazioni scientifiche più significative del Coordinatore del Programma di Ricerca

1. AMBROSINO F, ET AL., CERADINI F. (2006). Measurement of the absolute branching ratios for the dominant KL decays, the KL lifetime and  $V_{us}$  with the KLOE detector. PHYSICS LETTERS. SECTION B. vol. 632 pp. 43 ISSN: 0370-2693
2. AMBROSINO F, ET AL., CERADINI F. (2006). Measurement of the absolute branching ratio for the  $K^+ \rightarrow \mu \nu$  ( $\gamma$ ) decay with the KLOE detector. PHYSICS LETTERS. SECTION B. vol. 632 pp. 76 ISSN: 0370-2693
3. AMBROSINO F, ET AL., CERADINI F. (2006). Study of the decay  $\phi \rightarrow f_0(980) \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma$  with the KLOE detector. PHYSICS LETTERS. SECTION B. vol. 634 pp. 148-154 ISSN: 0370-2693
4. AMBROSINO F, ET AL., CERADINI F. (2006). Measurement of the form-factor slopes for the decay  $KL \rightarrow \pi e \nu$  with the KLOE detector. PHYSICS LETTERS. SECTION B. vol. 636 ISSN: 0370-2693
5. ALOISIO A, ET AL., CERADINI F. (2005). Measurement of  $\sigma(e^+ e^- \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma)$  and extraction of  $\sigma(e^+ e^- \rightarrow \pi^+ \pi^-)$  below 1 GeV with the KLOE detector. PHYSICS LETTERS. SECTION B. vol. 606 pp. 12 ISSN: 0370-2693
6. AMBROSINO F, ET AL., CERADINI F. (2005). Measurement of the leptonic decay widths of the phi-meson with the KLOE detector. PHYSICS LETTERS. SECTION B. vol. 608 pp. 199 ISSN: 0370-2693
7. AMBROSINO F, ET AL., CERADINI F. (2005). A direct search for the CP-violating decay  $K_s \rightarrow 3 \pi^0$  with the KLOE detector. PHYSICS LETTERS. SECTION B. vol. 619 pp. 61 ISSN: 0370-2693
8. AMBROSINO F, ET AL., CERADINI F. (2005). Measurement of the KL meson lifetime with the KLOE detector. PHYSICS LETTERS. SECTION B. vol. 626 pp. 15 ISSN: 0370-2693
9. AMBROSINO F, ET AL., CERADINI F. (2005). Upper limit on the  $\eta \rightarrow \pi^+ \pi^-$  branching ratio with the KLOE detector. PHYSICS LETTERS. SECTION B. vol. 606 pp. 276 ISSN: 0370-2693
10. ALOISIO A, ET AL., CERADINI F. (2004). Upper limit on the  $\eta \rightarrow \gamma \gamma \gamma$  branching fraction with the KLOE detector. PHYSICS LETTERS. SECTION B. vol. 591 pp. 49 ISSN: 0370-2693
11. ALOISIO A, ET AL., CERADINI F. (2004). Measurement of the branching ratio  $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0 \pi^0$  with the KLOE detector. PHYSICS LETTERS. SECTION B. vol. 597 pp. 139 ISSN: 0370-2693
12. ALOISIO A, ET AL., CERADINI F. (2003). Study of the decay  $\phi \rightarrow \pi^+ \pi^0 \pi^-$  with the KLOE detector. PHYSICS LETTERS. SECTION B. vol. 561 pp. 55 ISSN: 0370-2693
13. ALOISIO A, ET AL., CERADINI F. (2003). Measurement of the ratio  $G(KL \rightarrow \gamma \gamma)/G(KL \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^0)$  with the KLOE detector. PHYSICS LETTERS. SECTION B. vol. 566 pp. 361 ISSN: 0370-2693
14. ADINOLFI M, ET AL., CERADINI F. (2002). The KLOE electromagnetic calorimeter. NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH. SECTION A, ACCELERATORS, SPECTROMETERS, DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT. vol. 482 pp. 363 ISSN: 0168-9002

15. ALOISIO A, ET AL., CERADINI F. (2002). Study of the decay  $\phi \rightarrow \eta \pi^0 \gamma$  with the KLOE detector. *PHYSICS LETTERS. SECTION B.* vol. 536 pp. 209 ISSN: 0370-2693
16. ALOISIO A, ET AL., CERADINI F. (2002). Measurement of  $G(\pi^+ \pi^- \gamma)/G(\pi^0 \pi^0)$  with the KLOE detector. *PHYSICS LETTERS. SECTION B.* vol. 538 pp. 21 ISSN: 0370-2693
17. ALOISIO A, ET AL., CERADINI F. (2002). Measurement of  $G(\phi \rightarrow \eta' \gamma)/G(\phi \rightarrow \eta \gamma)$  and the pseudoscalar mixing angle. *PHYSICS LETTERS. SECTION B.* vol. 541 pp. 45 ISSN: 0370-2693
18. ALOISIO A, ET AL., CERADINI F. (2002). Study of the decay  $\phi \rightarrow \pi^0 \pi^0 \gamma$  with the KLOE detector. *PHYSICS LETTERS. SECTION B.* vol. 537 pp. 21 ISSN: 0370-2693
19. ALOISIO A, ET AL., CERADINI F. (2002). Measurement of the branching fraction for the decay  $K_S \rightarrow \pi e \nu$ . *PHYSICS LETTERS. SECTION B.* vol. 535 pp. 37 ISSN: 0370-2693
20. ADINOLFI M, ET AL., CERADINI F. (2002). The tracking detector of the KLOE experiment. *NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH. SECTION A, ACCELERATORS, SPECTROMETERS, DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT.* vol. 488 pp. 51 ISSN: 0168-9002
21. ADINOLFI M, ET AL., CERADINI F. (2001). The KLOE trigger system. *NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH. SECTION A, ACCELERATORS, SPECTROMETERS, DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT.* vol. 461 pp. 465 ISSN: 0168-9002
22. ADINOLFI M, ET AL., CERADINI F. (2001). Calibration and reconstruction performance of the KLOE calorimeter. *NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH. SECTION A, ACCELERATORS, SPECTROMETERS, DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT.* vol. 461 pp. 344 ISSN: 0168-9002
23. ADINOLFI M, ET AL., CERADINI F. (2001). The KLOE drift chamber. *NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH. SECTION A, ACCELERATORS, SPECTROMETERS, DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT.* vol. 461 pp. 25 ISSN: 0168-9002
24. AVANZINI C, ET AL., CERADINI F. (2000). Test in magnetic field of a drift chamber operated with a helium-based gas mixture. *NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH. SECTION A, ACCELERATORS, SPECTROMETERS, DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT.* vol. 449 pp. 237 ISSN: 0168-9002
25. BENCIVENNI G, ET AL., CERADINI F. (1998). The KLOE drift chamber construction. *NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH. SECTION A, ACCELERATORS, SPECTROMETERS, DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT.* vol. 419 pp. 320 ISSN: 0168-9002
26. ANDRYAKOV A, ET AL., CERADINI F. (1998). The full-length prototype of the KLOE drift chamber. *NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH. SECTION A, ACCELERATORS, SPECTROMETERS, DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT.* vol. 404 pp. 248 ISSN: 0168-9002
27. ANDRYAKOV A, ET AL., CERADINI F. (1998).  $dE/dx$  measurement in a He-based gas mixture. *NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH. SECTION A, ACCELERATORS, SPECTROMETERS, DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT.* vol. 409 pp. 390 ISSN: 0168-9002
28. ANDRYAKOV A, ET AL., CERADINI F. (1998). Electrostatic digital method of wire tension measurement for the KLOE drift chamber. *NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH. SECTION A, ACCELERATORS, SPECTROMETERS, DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT.* vol. 409 pp. 63 ISSN: 0168-9002
29. ANDRYAKOV A, ET AL., CERADINI F. (1998). Results of the full-length prototype of the KLOE drift chamber. *NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH. SECTION A, ACCELERATORS, SPECTROMETERS, DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT.* vol. 409 pp. 84 ISSN: 0168-9002
30. CERADINI F. (1996). The DAFNE  $\phi$ -factory: programme and status. *NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH. SECTION A, ACCELERATORS, SPECTROMETERS, DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT.* vol. 384 pp. 72 ISSN: 0168-9002

## 1.10 Elenco delle Unità di Ricerca

Unità	Responsabile Scientifico	Qualifica	Settore Disc.	Università	Dipart./Istituto	Mesi Uomo
I	CERADINI FILIPPO	Professore Ordinario	FIS/04	Università degli Studi ROMA TRE	Dip. FISICA	16
II	ALOISIO ALBERTO	Professore Associato	FIS/01	Università degli Studi di NAPOLI "Federico II"	Dip. SCIENZE FISICHE	16
III	DE ZORZI GUIDO	Professore Associato	FIS/01	Università degli Studi di ROMA "La Sapienza"	Dip. FISICA	14
IV	PATERA VINCENZO	Professore Associato	FIS/01	Università degli Studi di ROMA "La Sapienza"	Dip. ENERGETICA	16

**1.11 Mesi uomo complessivi dedicati al programma**

		<b>Numero</b>	<b>Mesi uomo 1° anno</b>	<b>Mesi uomo 2° anno</b>	<b>Totale mesi uomo</b>
<i>Personale universitario dell'Università sede dell'Unità di Ricerca</i>		15	113	113	226
<i>Personale universitario di altre Università</i>		0	0	0	0
<i>Titolari di assegni di ricerca</i>		2	12	12	24
<i>Titolari di borse</i>	<i>Dottorato</i>	2	16	16	32
	<i>Post-dottorato</i>	0			
	<i>Scuola di Specializzazione</i>	0			
<i>Personale a contratto</i>	<i>Assegnisti</i>	3	33	22	55
	<i>Borsisti</i>	0			
	<i>Altre tipologie</i>	3	22	8	30
<i>Dottorati a carico del PRIN da destinare a questo specifico programma</i>		0	0	0	0
<i>Personale extrauniversitario</i>		8	34	34	68
<b>TOTALE</b>		<b>33</b>	<b>230</b>	<b>205</b>	<b>435</b>

## PARTE II

### 2.1 Obiettivo del Programma di Ricerca

#### Testo italiano

Questo progetto interessa due linee di ricerca seguite negli ultimi anni nei Dipartimenti proponenti: lo studio delle simmetrie delle interazioni fondamentali e la ricerca di oscillazioni di neutrino; la prima con l'esperimento KLOE ai Laboratori Nazionali di Frascati, la seconda con l'esperimento NOMAD al CERN e, nell'ambito delle iniziative per la realizzazione di una neutrino-factory, con l'esperimento MICE (Muon Ionization Cooling Experiment) al Rutherford-Appleton Laboratory.

L'esperimento KLOE ha raccolto dati alla phi-factory DAFNE dal 2000 al 2005, la luminosità integrata è  $2.4 \text{ fb}^{-1}$ . L'analisi dei dati su  $1/5$  della statistica ha dimostrato le ottime prestazioni del rivelatore e ha prodotto una serie di importanti risultati. Tra questi, alcune delle migliori misure oggi disponibili su decadimenti dei mesoni K, vita media del mesone KL, angolo di Cabibbo, parametro  $|\epsilon_K|$  di violazione della simmetria CP, proprietà dei mesoni leggeri e sezione d'urto di annichilazione elettrone-positrone in adroni utilizzando per la prima volta il metodo del "ritorno radiativo". Questi e altri risultati hanno motivato l'interesse del Laboratorio a potenziare il complesso DAFNE e a proporre il progetto di un anello di collisione con luminosità maggiore ( $1 \text{ nb}^{-1} \text{ s}^{-1}$  all'energia della risonanza phi) che possa raggiungere l'energia di 2.5 GeV. Nell'ambito di questo progetto, i gruppi dell'esperimento KLOE hanno presentato un "Expression of interest for the continuation of the KLOE physics program at DAFNE upgraded in luminosity and in energy". Altri gruppi sperimentali hanno presentato proposte su "Measurement of the nucleon form factors in the time-like region" (Dante Collaboration) e "Study of deeply bound kaonic nuclear states at DAFNE-2" (Amadeus Collaboration).

Le motivazioni sono basate sulle potenzialità dell'esperimento KLOE, con una luminosità integrata di  $40 \text{ fb}^{-1}$ , di studiare l'interferenza quantistica dei mesoni K0, la verifica della validità della simmetria CPT, alcuni decadimenti rari dei mesoni K e dei mesoni leggeri. Inoltre l'aumento di energia fino a 2.5 GeV consente di estendere la misura della sezione d'urto di annichilazione  $e^+e^-$  in adroni, lo studio delle interazioni gamma-gamma su un più ampio intervallo di energia e la misura dei fattori di forma elettromagnetici dei barioni. Per sfruttare al meglio l'aumento di luminosità, occorre esaminare i possibili miglioramenti del rivelatore. Tre sono le vie indicate: 1) l'aggiunta di un rivelatore di vertice e un nuovo disegno della camera a vuoto nella zona di interazione; 2) l'aumento della granularità del calorimetro per migliorare la ricostruzione di sciame e la separazione elettroni-muoni-pioni; 3) l'aggiunta di un rivelatore di "tagging" per la misura di elettroni e/o positroni nelle interazioni gamma-gamma.

L'obiettivo di questo progetto è l'aumento di granularità del calorimetro di KLOE. Il calorimetro è costruito con sottili (0.5 mm) lastre di piombo in cui durante il processo costruttivo vengono prodotte delle scanalature per alloggiare le fibre scintillanti di 1 mm di diametro. Una volta depositato il primo strato, si vernicia con colla, si aggiunge il secondo strato e così via. Gli strati sono poi compressi per ottenere una struttura uniforme di piombo, fibre scintillanti e colla. Dopo sei anni di funzionamento, il calorimetro di KLOE è in buono stato e l'attenuazione della luce di scintillazione non costituisce un limite alle prestazioni del rivelatore. Le guide che convogliano la luce sul catodo dei fotomoltiplicatori sono state progettate e realizzate da alcuni dei proponenti: ciascun fotomoltiplicatore raccoglie la luce prodotta da una superficie di  $4.4 \times 4.4 \text{ cm}^2$ . Aumentando la granularità di lettura si può migliorare l'efficienza di rivelazione, la precisione di ricostruzione di eventi in cui sono prodotti molti fotoni e il potere di separazione tra pioni, muoni e elettroni di bassa energia.

Un'ottima capacità di distinguere elettroni, muoni e pioni è anche l'obiettivo dei proponenti che partecipano all'esperimento MICE per "raffreddare" un fascio di muoni da accelerare in un anello di accumulazione e produrre una sorgente di neutrini. Con la tecnologia di oggi è possibile costruire una neutrino-factory a condizione di produrre un fascio di muoni di alta intensità e bassa emittanza. Nell'esperimento MICE, pioni vengono prodotti nell'interazione del fascio del protosincrotrone ISIS del Rutherford-Appleton-Laboratory e decadono in muoni. La massima intensità si ottiene con muoni di impulso 100-200 MeV/c. Questi vengono "raffreddati" riducendo la componente trasversa dell'impulso col metodo di ionization cooling in idrogeno liquido e accelerati con cavità a radio-frequenza in un sistema di magneti focalizzanti. La diagnostica delle caratteristiche del fascio è realizzata con una serie di rivelatori che hanno il compito di misurare la dispersione in impulso e in angolo dei muoni e la contaminazione dei pioni genitori e degli elettroni di decadimento sia all'inizio che alla fine del canale di raffreddamento. La misura della composizione in elettroni-muoni-pioni alla fine del canale di raffreddamento verrà fatta con un calorimetro a fibre scintillanti costruito nel Dipartimento di Fisica di Roma Tre con la stessa tecnica sviluppata per KLOE.

Il progetto di ricerca si propone di

- 1) studiare la sensibilità dell'esperimento KLOE nell'analisi di alcuni processi di particolare interesse;
- 2) studiare con programmi di simulazione disponibili (ad esempio FLUKA, GEANT4) le interazioni delle particelle in un rivelatore che ha la struttura del calorimetro di KLOE;
- 3) studiare gli algoritmi di ricostruzione di sciame e di tracce nel calorimetro per ottimizzare la granularità, cioè il numero di fibre da interfacciare con il singolo canale di lettura;
- 4) studiare come migliorare la raccolta di luce (utilizzando il programma sviluppato per progettare le guide di luce di KLOE);
- 5) scegliere un opportuno fotosensore che assicuri la granularità e l'efficienza quantica ottimale (fotomoltiplicatori multi-anodo adatti sono stati sviluppati recentemente dall'industria, rivelatori a gas hybrid-photo-detectors sono stati sviluppati per esperimenti e per applicazioni mediche);
- 6) progettare l'elettronica di amplificazione, formazione e digitizzazione del segnale che assicuri la sensibilità e la risoluzione necessaria nella misura di tempo di volo e di energia rilasciata;
- 7) costruzione di un prototipo di dimensioni sufficienti sia in profondità che in estensione laterale;
- 8) collaudo del prototipo con fasci di particelle (per elettroni e fotoni si utilizzerà la Test-Beam-Facility presso il LINAC di DAFNE, per muoni e pioni il fascio in preparazione al Rutherford-Appleton Laboratory per l'esperimento MICE, o in alternativa il fascio del

Paul Sherrer Institute (dove è stato collaudato il prototipo del calorimetro di KLOE) per neutroni si utilizzerà la sorgente presso TSL, The Svedberg Laboratory di Uppsala;

9) progetto di modifica della granularità di lettura del calorimetro dell'esperimento KLOE e di come utilizzare i segnali per potenziare il potere di selezione del trigger e delle modifiche al calorimetro dell'esperimento MICE.

Il programma sarà strutturato in diverse fasi: la prima fase dedicata in parallelo agli studi 1), 2), 3), al progetto del prototipo 4), 5), 6) e alla costruzione meccanica del prototipo; la seconda fase alla realizzazione delle varie parti: raccolta di luce dalle fibre, interfacciamento con i fotosensori, accoppiamento dei fotosensori con l'elettronica di lettura; la terza fase al collaudo del prototipo in laboratorio; la quarta fase al collaudo con fasci di particelle. Date le diverse competenze e specializzazioni dei gruppi proponenti, le attività che riguardano la prima e seconda fase possono procedere in parallelo in sedi diverse.

#### **Testo inglese**

The project outlined in the following is of interest for two research programs pursued in our Departments in the last years: the study of symmetries of fundamental interactions and the search for neutrino oscillations; the first with the KLOE (K-Long Experiment) at the Frascati National Laboratory, the second with the NOMAD (Neutrino Oscillation Magnetic Detector) at CERN and then with the MICE (Muon Ionization Cooling Experiment) experiment at Rutherford-Appleton Laboratory within the design study group to build a neutrino factory

The KLOE experiment has taken data at the phi-factory DAFNE in 2000-2005 collecting an integrated luminosity of  $2.4 \text{ fb}^{-1}$ . The analysis of 1/5 of the data statistics has proven the excellent performance of the detector and produced a number of important results. Among these, some of the best today measurements of the decays of K mesons, the KL lifetime, the Cabibbo angle, the CP-symmetry violation parameter  $|\epsilon_K|$ , the properties of light mesons, the electron-positron annihilation cross section into hadrons using for the first time the "radiative return" method. These and other results have prompted the interest of the Laboratory to upgrade the DAFNE accelerator complex and to propose the design for a new collider with higher luminosity ( $1 \text{ nb}^{-1} \text{ s}^{-1}$  at the phi-resonance) that could reach the center of mass energy of 2.5 GeV. Within this project, the KLOE Collaboration has presented an "Expression of interest for the continuation of the KLOE physics program at DAFNE upgraded in luminosity and in energy", and two other collaborations have presented proposals for "Measurement of the nucleon form factors in the time-like region" (Dante Collaboration), and for "Study of deeply bound kaonic nuclear states at DAFNE-2" (Amadeus Collaboration).

The motivation is based on the physics potential of the KLOE experiment, with an integrated luminosity of  $40 \text{ fb}^{-1}$ , to study the quantum interference of K0 mesons, the validity of CPT-symmetry, and to reach sensitivity for the measurement of some interesting decays of light unflavored mesons and K mesons. Moreover the increase in energy up to 2.5 GeV allows the measurement of the  $e^+e^-$  annihilation cross section in a poorly explored region, the study of gamma-gamma interactions in a wide energy range and the measurement of the time-like baryon electromagnetic form factors. To exploit the increase in physics potential, there is need for examine the possible improvements of the detector. There are three promising ways: 1) a vertex detector coupled with a new design of the beam pipe in the interaction region; 2) the increase of the calorimeter read-out granularity to improve the detection of low energy showers and the electron-muon-pion identification; 3) the addition of a "tagging" detector to measure electrons and/or positrons in gamma-gamma interactions.

The goal of this project is to increase the read-out granularity of the KLOE calorimeter. The calorimeter is built with thin (0.5 mm) grooved lead foils and 1 mm diameter scintillating fibers. During construction, the fibers are located in the grooves and the lead+fiber stack is painted with glue, the same with the second stack and so on. The layers are then pressed to obtain a uniform rigid structure of lead fibers and glue: the scintillating fibers cover half of the surface seen by the light guides. This assembly process has been used by physicists and technicians in our Departments who know well the technique and own part of the equipment for the assembly. After six years of running, the KLOE calorimeter is in good shape and the light attenuation is not a limit of the detector performance. The light guides were designed and built in our Departments: the light from a surface of  $4.4 \times 4.4 \text{ cm}^2$  is guided to the cathode of a photomultiplier. Preliminary studies have shown that it is possible to improve the detection efficiency and the separation power of low energy pions, muons and electrons by increasing this read-out granularity.

Optimum performance in the detection of low energy pions, muons and electrons is also the goal of the MICE experiment for the cooling of a high intensity muon beam to be accelerated in a storage ring as a high energy neutrino factory. In fact, within the design study effort, it has been shown that today technology allows building a neutrino factory provided one can build a high intensity, low emittance, muon beam. In the MICE experiment, pions are produced in interactions of the ISIS protosynchrotron beam and decay to muons. The maximum intensity is obtained with muons of 100-200 MeV/c. The muon beam is "cooled" by reducing the transverse momentum by ionization in liquid hydrogen and accelerated with RF-cavities in a magnetic focusing system. The characteristics of the beam are studied with different detectors that measure the momentum and direction of the beam particles and the contamination of parent pions and decay electrons, at the beginning and at the end of the cooling channel. The measurement of the beam composition in pions, muons and electrons at the end of the cooling channel will be done with a scintillating fiber calorimeter built in the Physics Department of Roma Tre using the same technique developed for the KLOE calorimeter.

The goals of this research program are:

- 1) study of the sensitivity of the KLOE experiment in the analysis of some cornerstone physics processes of interest for the new proposal;
- 2) Monte Carlo simulation of the interactions of different particles in the KLOE calorimeter using existing transport codes (e.g. FLUKA, GEANT4);
- 3) study of the reconstruction algorithms for tracks and showers to optimise the calorimeter granularity, i.e. the number of fibers interfaced to the single read-out channel;
- 4) optimize the light collection using the code developed for the design of the light guides for the KLOE calorimeter;
- 5) choose a suitable photodetector that matches the design specifications for read-out granularity and quantum efficiency (suitable multi-anode photomultipliers are produced by industry, gas hybrid-photo-detectors were recently developed for experiments and medical applications);
- 6) design the circuits for amplification-shaping-digitization of the signals that match the design specifications for time-of-flight and energy/multiplicity measurement;

- 7) construction of a prototype with sufficient lateral and longitudinal extension;
- 8) test of the prototype in the laboratory with cosmic rays, and then with particle beams (with electron and photon at the Test-Beam-Facility of the DAFNE LINAC; with muon and pion beams at the secondary ISIS beam at the Rutherford-Appleton Laboratory; with neutrons at The Svedberg Laboratory (TSL) in Uppsala;
- 9) design of the specific modifications for use in the KLOE upgraded experiment and in the MICE project.

The time schedule of the project can be divided in several phases:

during phase one we will proceed in parallel to study points 1), 2), 3), design the components of the prototype 4), 5), 6), and start the mechanical construction of the prototype;

during phase two we will proceed with the construction of the components for the light collection, the light sensors and the read-out, and with the assembly of the prototype;

during phase three we will test the prototype in the laboratory;

phase four will be devoted to the test of the detector with particle beams.

Given the experience and know-how in the different Departments participating in this project, the activities of phase one and two will proceed in parallel in different sites.

## **2.2 Base di partenza scientifica nazionale o internazionale**

### **Testo italiano**

I proponenti partecipano da anni ad esperimenti condotti in collaborazione internazionale sullo studio delle simmetrie delle interazioni fondamentali, alcuni all'esperimento KLOE (K-Long Experiment) [1] presso i Laboratori Nazionali di Frascati incentrato sullo studio della violazione della simmetria CP nell'interazione debole e sulla verifica della simmetria CPT [2], sull'interferenza quantistica dei mesoni K neutri [3] sulle proprietà delle interazioni adroniche (simmetrie dei mesoni leggeri) e delle interazioni elettromagnetiche (accoppiamento del fotone con adroni), e altri a iniziative sperimentali sulla ricerca di oscillazioni di neutrino, prima con l'esperimento NOMAD (Neutrino Oscillation MAgnetic Detector) [4] al CERN e successivamente a studi di fattibilità di una neutrino-factory, con l'esperimento HARP (HADron Production) [5] al CERN (produzione di mesoni  $\pi$  e K con diversi bersagli) e con l'esperimento MICE (Muon Ionization Cooling Experiment) [6] al Rutherford-Appleton Laboratory.

Le esperienze di ricerca anteriori a questi progetti riguardano gli esperimenti UA1 e UA2 [7] al Collider protone-antiprotone del CERN, l'esperimento WA92 [8] al Super-Proto-Sincrotrone del CERN, l'esperimento NUSEX [9] al Laboratorio del Monte Bianco, l'esperimento MACRO [10] presso i Laboratori Nazionali del Gran Sasso, l'esperimento FENICE [11] presso l'anello di collisione  $e^+e^-$  dei Laboratori Nazionali di Frascati, gli esperimenti DELPHI [12], L3 [13] e LEP5 [14] al Large Electron-Positron collider del CERN.

Nell'ambito di queste linee di ricerca, i proponenti hanno sviluppato esperienza pluriennale in progettazione e costruzione di rivelatori, circuiti di amplificazione-formazione-analisi dei segnali, acquisizione dati, sviluppo di codici Monte Carlo per la generazione e simulazione di eventi nei rivelatori, sviluppo di programmi di analisi e nell'analisi dei dati sperimentali svolgendo in alcuni casi importanti ruoli di responsabilità nei rispettivi progetti.

Competenze specifiche dei proponenti.

Circa 1/4 del calorimetro a fibre scintillanti [15] dell'esperimento KLOE e' stata costruita nei laboratori del Dipartimento di Fisica dell'Università La Sapienza. I docenti di questo Dipartimento hanno grande esperienza nella calorimetria con fibre scintillanti [16] e nella formazione dei segnali con fotomoltiplicatori [17], e hanno progettato e costruito le guide di luce che convogliano la luce delle fibre sul catodo dei fotomoltiplicatori scrivendo a questo scopo un codice [18] basato sulle equazioni di trasporto con le condizioni al contorno imposte dal teorema di Liouville. Questo programma verra' utilizzato per studiare il modo piu' efficace per ottimizzare la raccolta di luce e quindi l'intensità del segnale (che definisce la risoluzione temporale del rivelatore).

I proponenti del Dipartimento di Scienze Fisiche dell'Università Federico II hanno acquisito notevoli competenze nella progettazione elettronica analogica e digitale [19] e dispongono di attrezzature di laboratorio di primo ordine per progettazione, realizzazione e collaudo di circuiti.

I proponenti del Dipartimento di Energetica dell'Università La Sapienza hanno partecipato alla realizzazione del sistema di trigger e acquisizione dati [20] dell'esperimento KLOE e hanno notevoli competenze nella progettazione elettronica analogica e digitale e nella diagnostica di sistemi a componenti elettronici complessi. Partecipano al progetto alcuni ricercatori che hanno sviluppato il codice di trasporto FLUKA [21] per la simulazione delle interazioni di particelle in materiali.

I proponenti del Dipartimento di Fisica dell'Università Roma Tre hanno partecipato sia alla costruzione dell'esperimento KLOE, in particolare del sistema di acquisizione dati [22], sia alla realizzazione del calorimetro a fibre scintillanti per la diagnostica del fascio di muoni [23] dell'esperimento MICE. Per questo e' stata utilizzata l'attrezzatura per la costruzione dei moduli del calorimetro a fibre scintillanti di KLOE che sara' disponibile per questo progetto.

Tutti i gruppi hanno grande esperienza nell'analisi di esperimenti di fisica delle particelle e, in particolare, nello sviluppo degli algoritmi per il riconoscimento e la ricostruzione di sciami in calorimetri elettromagnetici, ad esempio in quello a vetri al piombo dell'esperimento NOMAD [24], in quello dell'esperimento HARP e nel calorimetro di KLOE. Per migliorare il potere di analisi di sciami elettromagnetici di bassa energia, che e' cruciale per la misura di alcuni decadimenti rari che si vogliono studiare in KLOE (ad esempio il decadimento  $KS \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^0$  [25], o il decadimento  $\eta \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^0$  [26] che e' l'oggetto della tesi di dottorato di uno dei proponenti) si e' iniziata un'analisi basata su codici di trasporto dedicati, FLUKA [27], GEANT4 [28] con cui si intende simulare con il maggior dettaglio possibile la risposta di un calorimetro a fibre scintillanti finemente segmentato.

Oltre alle competenze citate, che coprono i vari aspetti del progetto proposto, i gruppi proponenti dispongono delle attrezzature di

base (laboratori, officine per realizzazioni meccaniche ed elettroniche, mezzi di calcolo sia per la progettazione - CAD meccanico e elettronico - che per le simulazioni Monte Carlo necessarie per lo studio dei processi fisici di interesse delle due linee di ricerca e per la rappresentazione del percorso di particelle di diversa natura nel calorimetro. Quindi le richieste per il programma proposto riguardano il materiale per la costruzione del prototipo, spese per contratti per progettazione e lavorazioni all'interno delle strutture dei Dipartimenti, alcune attrezzature specifiche necessarie per questo progetto, e le spese di viaggi e missioni per il collaudo su fasci di particelle in Laboratori Nazionali e Internazionali.

### **Testo inglese**

The members of the four Departments proposing this project participate since years in experiments in international collaboration for the study of symmetries of fundamental interactions. Some of us participate in the Frascati National Laboratory experiment KLOE (K-Long Experiment) [1] on the study of CP-symmetry violation, the verification of the validity of CPT-symmetry in K meson decays [2], quantum interference of neutral K mesons [3], properties of hadron interactions (symmetries of light mesons) and electromagnetic interactions (photon-hadron coupling). Some others participate in experiments to search for neutrino oscillations, first with the experiment NOMAD (Neutrino Oscillation Magnetic Detector) [4] at CERN and more recently, within the design studies to build a neutrino factory, with the experiment HARP (HADron Production) [5] at CERN on the production of pions and K mesons on different targets and with the experiment MICE (Muon Ionization Cooling Experiment) [6] at the Rutherford-Appleton Laboratory.

Research experience prior to these experiments was on UA1 and UA2 [7] at the CERN proton-antiproton collider, the WA92 experiment [8] at the CERN Super-Proto-Synchrotron, the NUSEX [9] experiment at the Monte Bianco Laboratory, the MACRO [10] experiment at the Gran Sasso National Laboratory, the FENICE [11] experiment at the electron-positron collider Adone of the Frascati National Laboratory, and the experiments DELPHI [12], L3 [13] e LEP5 [14] at the CERN Large Electron-Positron collider.

Within these lines of research, we have developed a long experience in the design and construction of particle detectors, electronics circuits for analysis of detector signals, data acquisition, development of Monte Carlo codes for event generation and simulation of the detector response, development of analysis tools, in the analysis of experiment results, and have taken relevant responsibilities in the above projects.

Specific experience and know-how of the members of the four Departments proposing this project.

About 1/4 of the lead-scintillating fiber calorimeter [15] of the KLOE experiment was built in the Physics Department of the University La Sapienza. The members of this department have long experience in scintillating fiber calorimetry [16] and in the signal formation with photomultipliers [17]. They have designed and built the light guides [18] to collect the light of the KLOE calorimeter writing to this purpose a code based on transport equations with the Liouville theorem boundary conditions. This program will be used to optimize the light collection and thus the light yield (relevant for the time resolution of the detector).

The members of the Department of the University Federico II have a long experience in the design of analog and digital electronics [19] for particle detectors and, in the years, have built an excellent laboratory for the design, construction and evaluation of electronic circuits.

The members of the Energy Department of the University La Sapienza had a relevant role in the design and construction of the trigger [20] and data acquisition systems of the KLOE experiment, have a long experience in the design of analog and digital electronics for particle detectors and in survey and monitoring of complex electronic systems. Participate to this project some of the authors of the development of the transport code FLUKA [21] for the simulation of particle interactions in materials.

The members of the Department of the University Roma Tre have participated in the construction of the data acquisition system [22] and the trigger of the KLOE detector and, more recently, they have designed and built the scintillating fiber calorimeter to characterize the "cooled" muon beam [23] of the MICE experiment. For this they have used the assembly equipment built for the construction of the KLOE calorimeter modules and this equipment is available for this project.

All teams have experience in the analysis of particle physics experiments, in particular in the development of algorithms for reconstructing showers in calorimeters, e.g. in the calorimeter of the NOMAD experiment [24], the HARP and KLOE experiments. To improve the detection of low energy showers, relevant for many rare decays of interest of the new KLOE proposal (e.g. the decay  $KS \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^0$  [25] or the decay  $\eta \rightarrow \pi^0 \gamma \gamma$  [26] studied in the Ph.D. thesis of one of the authors) we have initiated an analysis with particle transport codes, FLUKA [27], GEANT4 [28], to simulate in detail the response of a fine grain scintillating fiber calorimeter.

Besides the availability of know-how on the different aspects of this projects, the teams involved have access to the laboratories, workshops for electronics and mechanical design and construction, computing facilities for the Monte Carlo simulation of both the physics processes of interest and the detailed response of the detector. Thus the budget required for this project is mainly for the material necessary for the construction, contracts for personnel to work in the Departments and for travel expenses for the tests with particle beams in national and international laboratories.

## **2.2.a Riferimenti bibliografici**

1 - M.Adinolfi et al., The KLOE experiment at DAPHNE, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A463 (2000) 1103-1106.

2 - V.Patera, Rare Kaon decays and CP, TCP violation, International Journal of Modern Physics, A20 (2005) 5095-5104.

3 - A.Di Domenico, Testing quantum mechanics in the neutral kaon system at a phi factory, Nuclear Physics B450 (1995) 293-324.

- 4 - J.Altegoer et al., *The NOMAD experiment at the CERN SPS*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*404 (1998) 96-128.
- 5 - D.Orestano, *Secondary hadron production by protons and pions: results from the HARP experiment*, *International Journal of Modern Physics A*20 (2005) 6924-6927.
- 6 - G.Gregoire et al., *Proposal to the Rutherford Appleton Laboratory: an international muon ionization cooling experiment (MICE)*, January 2003.  
A.Tonazzo, *Machine R&D towards a neutrino factory*, *Nuclear Physics B(Proc.Suppl.)* 143 (2005) 297-302.
- 7 - F.Ceradini, *Annichilazione protone-antiprotone*, *Enciclopedia delle Scienze Fisiche*, Vol. I, pag. 160-165, ed. Enciclopedia Italiana Treccani, 1992.  
F.Ceradini, *Il programma sperimentale al Collider protone-antiprotone*, pubblicato nel libro "L'Italia al CERN", ed. F.Menzinger, SIS - Ufficio Pubblicazioni, Laboratori Nazionali di Frascati, 1995, ISBN 88-86409-06-0, p.267-289.
- 8 - M.Adamovich et al., *WA92: a fixed target experiment to trigger on and identify beauty particle decays*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*379 (1996) 252.
- 9 - G.Battistoni et al., *The NUSEX detector*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, A245 (1986) 277.
- 10 - M.Ambrosio et al., *The MACRO detector at Gran Sasso*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, A486 (2002) 663-707.
- 11 - A.Antonelli et al., *The FENICE detector at the e+e- collider ADONE*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, A337 (1993) 34-43.
- 12 - P.A.Arnio et al., *The DELPHI detector at LEP*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, A303 (1991) 233-276.
- 13 - O.Adriani et al., *Results from the L3 experiment at LEP*, *Physics Reports* 236 (1993) 1-146.
- 14 - C.Bini et al., *Fast measurement of luminosity at LEP by detecting the single bremsstrahlung photons*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*306 (1991) 467-473.  
C.Bini et al., *Fast luminosity monitor at LEP*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*349 (1994) 27-31.
- 15 - A.Antonelli et al., *Construction and performance of the lead scintillating fiber calorimeter prototypes for the KLOE detector*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*354 (1995) 352-363.  
M.Adinolfi et al., *Calibration and reconstruction performance of the KLOE calorimeter*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*461 (2001) 344.  
M.Adinolfi et al., *The KLOE electromagnetic calorimeter*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*482 (2002) 363.
- 16 - G.De Zorzi et al., *Space resolution obtained with a highly segmented SCIFI EM calorimeter*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*315 (1992) 327-331.  
A.Asmane et al., *Performance of a highly segmented SCIFI EM calorimeter*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*326 (1993) 477-482.  
A.Asmane et al., *Thermal neutron radiation damage on light yield and attenuation length of scintillating fibers*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*338 (1994) 398-403.  
M.Bertino et al., *Performance of a scintillating fibers semiprojective electromagnetic calorimeter*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, A357 (1995) 363-368.
- 17 - M.Antonelli et al., *Performance of fine mesh photomultiplier tubes in magnetic fields up to 0.3-T*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, A368 (1996) 628-634.  
M.Antonelli et al., *Measurements of light yield, attenuation length and time response of long samples of 'blue' scintillating fibers*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, A370 (1996) 367-371.
- 18 - A. Di Domenico, *Possibile verifica della teoria quantistica a DAFNE con il rivelatore dell'esperimento KLOE*, Ph.D. Thesis, Università La Sapienza di Roma, december 1994.
- 19 - A.Aloisio et al., *ROCK: the readout controller for the KLOE experiment*, *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 43 (1996) 167-171.  
A.Aloisio, F.Cevenini and P.Branchini, *Real-time diagnostic and performance monitoring in a DAQ environment*, *IEEE Transactions on Nuclear Science* 47 (2000) 162-165.  
A.Aloisio, F.Cevenini and M.Severi, *A parallel optical link architecture using FPGAs*, *IEEE Transactions on Nuclear Science* 49 (2002) 507-512.  
A.Aloisio, S.Cavaliere, P.Parascandolo and P.Branchini, *FPGAs widen the ARGO-YBJ experiment's eyes*, *IEEE Transactions on Nuclear Science* 49 (2002) 401-404.  
A.Aloisio, F.Cevenini and V.Izzo, *An approach to DWDM for real-time applications*, *IEEE Transactions on Nuclear Science* 51 (2004) 526-531  
A.Aloisio, F.Cevenini and P.Branchini, *Timing analysis of asynchronous block transfer cycles on VME and VME64x Physical Layers*, *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 51 (2004) 401-406.  
A.Aloisio, P.Branchini, F.Cevenini, V.Izzo, S.Loffredo and R.Lomoro, *Signal integrity and timing issues of VME64x double edges cycles*, *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 53 (2006).

- 20 - M.Antonelli et al., *The ADCs and TDCs for the KLOE electromagnetic calorimeter*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, A409 (1998) 675-678.  
M.Adinolfi et al., *The KLOE trigger system*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, A461 (2001) 465-469.  
M.Adinolfi et al., *The trigger system of the KLOE experiment*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research* A492 (2002) 134-146.
- 21 - A.Ferrari, P.Sala, A.Fasso' and J.Ranft, *FLUKA: a multi-particle transport code (program version 2005)*, *CERN yellow report*, CERN-2005-010, INFN-TC-05-11, SLAC-R-773.
- 22 - A.Aloisio et al., *Data acquisition and monitoring for the KLOE detector*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research* A516 (2004) 288-314.  
F.Ambrosino et al., *Data handling, reconstruction, and simulation for the KLOE experiment*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research* A534 (2004) 403-433.
- 23 - *MICE project gets the green light*, *CERN Courier*, IoP Publishing Company, 45-4, May 2005.  
D.Kaplan, *MICE: the international Muon Ionization Cooling Experiment*, e-print archive arXiv:phys/0601147, 19.1.2006.
- 24 - D.Autiero et al., *The electromagnetic calorimeter of the NOMAD experiment*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research* A373 (1996) 358-376.  
D.Autiero et al., *Test beam performance of the electromagnetic calorimeter of the NOMAD experiment*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research* A387 (1997) 352-364.  
D.Autiero et al., *A study of the transverse fluctuations of hadronic showers in the NOMAD electromagnetic calorimeter*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research* A411 (1998) 285-303.  
D.Autiero et al., *Parameterization of electron and gamma initiated showers in the NOMAD lead-glass calorimeter*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research* A425 (1999) 188.
- 25 - F.Ambrosino et al., *A direct search for the CP-violating decay  $KS \rightarrow 3\pi^0$  with the KLOE detector*, *Physics Letters* B619 (2005) 61.
- 26 - B.Di Micco, *Measurement of the branching ratio for the decay  $\eta \rightarrow \pi^0 \gamma \gamma$  and upper limit for the decay  $\eta \rightarrow \gamma \gamma \gamma$* , Ph.D. Thesis, Università Roma Tre, december 2004.
- 27 - B.Di Micco, A.Ferrari, A.Passeri and V.Patera, *KLOE EMC simulation with FLUKA*, presented at the FLUKA meeting, Milano, 27.2.2006.
- 26 - J. Allison et al., *GEANT4: a simulation toolkit*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research* A506 (2003) 250-303.  
J. Allison et al., *GEANT4 developments and applications*, *IEEE Transactions in Nuclear Science* 53 (2006) 270-278.

## **2.3 Descrizione del Programma di Ricerca e del ruolo delle Unità operative locali**

### **Descrizione del Programma di Ricerca**

#### **Testo italiano**

*Il progetto e' inquadrato nell'interesse scientifico comune a due linee di ricerca sullo studio delle simmetrie delle interazioni fondamentali. La misura dei parametri di violazione della simmetria CP e la verifica della simmetria CPT e' stata perseguita da anni con lo studio dei decadimenti dei mesoni K neutri e, di recente, con il programma dell'esperimento KLOE. Lo studio della proprieta' di simmetria dei neutrini e' stato incentrato sulla ricerca delle oscillazioni con diversi approcci sperimentali, neutrini solari, atmosferici, prodotti da reattori o in interazioni ad alta energia. La scoperta delle oscillazioni di neutrino e' il contributo di maggior rilievo ad estensioni del Modello Standard delle interazioni fondamentali negli ultimi anni.*

*I proponenti di questo progetto intendono mettere in comune le competenze acquisite in questi campi di ricerca per realizzare un prototipo di rivelatore innovativo che abbia le caratteristiche di calorimetro tracciante con ricostruzione di immagine. Infatti, sia nella proposta di ampliare gli obiettivi scientifici che si possono raggiungere con il potenziamento del complesso di acceleratori DAFNE dei Laboratori Nazionali di Frascati, sia nei programmi di ricerca e sviluppo per realizzare una neutrino factory, e' necessario utilizzare un rivelatore capace di distinguere diverse particelle (fotoni, elettroni, muoni, pioni, neutroni) di energia relativamente bassa (da 10 MeV a poche centinaia di MeV) con un elevato potere risolutivo temporale. I programmi di queste due linee di ricerca sono descritti in dettaglio in due proposte, la prima ai Laboratori Nazionali di Frascati, "Expression of interest for the continuation of the KLOE physics program at DAFNE upgraded in luminosity and in energy", la seconda al Rutherford-Appleton Laboratory, "Proposal to for an international muon ionization cooling experiment (MICE)".*

*Il modello di partenza per realizzare questo rivelatore e' il calorimetro dell'esperimento KLOE. Il calorimetro di KLOE e' costruito con sottili ( 0.5 mm) lastre di piombo in cui vengono prodotte durante il processo costruttivo delle scanalature per alloggiare le fibre scintillanti di 1 mm di diametro. Una volta depositato il primo strato, si vernicia con colla, si aggiunge il secondo strato e cosi' via. Gli strati successivi sono poi compressi per ottenere una struttura uniforme di piombo, fibre scintillanti e colla in ragione di 42:10:48 in volume. Le fibre occupano la meta' della superficie laterale cui sono interfacciate le guide di luce per la raccolta del segnale. Il processo e' stato utilizzato da alcuni dei proponenti che conoscono bene la tecnica e dispongono dell'attrezzatura per l'assemblaggio. Dopo sei anni di funzionamento, il calorimetro di KLOE e' in buono stato di conservazione e l'attenuazione della luce di scintillazione non costituisce un limite alle prestazioni del rivelatore. La raccolta di luce e' fatta con guide che convogliano la luce sul catodo di fotomoltiplicatori e che sono state progettate e realizzate da alcuni dei proponenti. Ciascun fotomoltiplicatore raccoglie la luce prodotta da una superficie di  $4.4 \times 4.4 \text{ cm}^2$  e questa granularita' di lettura e' un limite al potere di analisi del calorimetro. Questo si traduce in alcune limitazioni nella efficienza di rivelazione e nella precisione di ricostruzione di eventi in cui*

sono prodotti molti fotoni e nel potere di separazione tra pioni, muoni e elettroni. Come esempi citiamo l'analisi del decadimento raro  $KS \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^0$  (particolarmente interessante perché avviene con violazione diretta della simmetria CP) in cui si osservano nel calorimetro sei fotoni e l'interazione del mesone KL; del decadimento  $\eta \rightarrow \pi^0 \text{ gamma gamma}$  (che fornisce una verifica puntuale della teoria perturbativa chirale) e dei decadimenti dei mesoni  $f_0$  e  $a_0$  (di cui occorre ancora chiarire la struttura nell'ambito del modello a quark). Un altro esempio è la misura di precisione dei decadimenti leptonici  $K \rightarrow e \nu$ ,  $K \rightarrow \mu \nu$ ; infatti il rapporto è particolarmente sensibile a eventuali violazioni della universalità dell'accoppiamento di Fermi. Attualmente la separazione tra elettroni e muoni è basata sulle capacità del calorimetro come misuratore di tempo di volo e si può migliorare sfruttando la granularità del calorimetro per ottenere un'immagine dettagliata delle interazioni di elettroni e muoni.

Un notevole aumento della capacità di distinguere elettroni, muoni e pioni di bassa energia e' anche l'obiettivo di alcuni dei proponenti che partecipano all'esperimento MICE (Muon Ionization Cooling Experiment) nell'ambito degli studi di fattibilità per realizzare un fascio di muoni di alta intensità da accelerare in un anello di accumulazione e produrre una sorgente di neutrini  $\nu_e$  e  $\nu_\mu$ . Questi studi hanno dimostrato che con la tecnologia di oggi è possibile costruire una neutrino-factory a condizione di produrre un fascio di muoni di alta intensità e bassa emittanza e questo è l'obiettivo dell'esperimento MICE. Pioni vengono prodotti nell'interazione del fascio del protosincrotrone ISIS del Rutherford-Appleton Laboratory, e, una volta focalizzati decadono in muoni. La massima intensità si ottiene con muoni di impulso 100-200 MeV/c. Questi vengono "raffreddati" riducendo la componente trasversa dell'impulso col metodo di ionization cooling in idrogeno liquido e accelerati con cavità a radio-frequenza in un sistema di magneti focalizzanti. La diagnostica delle caratteristiche del fascio è realizzata con una serie di rivelatori che hanno il compito di misurare la dispersione in impulso e in angolo dei muoni e la contaminazione dei pioni genitori e degli elettroni di decadimento sia all'inizio che alla fine del canale di raffreddamento. La misura della composizione in elettroni-muoni-pioni alla fine del canale di raffreddamento verrà fatta con un piccolo calorimetro a fibre scintillanti costruito nel Dipartimento di Fisica dell'Università Roma Tre con la tecnica sviluppata per KLOE (ma con lastre di Piombo più sottili).

L'obiettivo di questo progetto è di aumentare la granularità della lettura delle fibre scintillanti che producono il segnale di luce. L'ipotesi di base è di utilizzare la presente struttura del calorimetro di KLOE in modo da introdurre il minimo di cambiamenti strutturali e poter utilizzare lo stesso rivelatore e modificare solo il metodo di raccolta dei segnali. Nel corso del progetto verrà anche studiato come realizzare una struttura geometrica più adatta agli obiettivi di ricerca dell'esperimento MICE in modo da ottimizzare la separazione tra elettroni, pioni e muoni nell'intervallo di energia di interesse per la costruzione di un fascio raffreddato di muoni.

1) Il progetto sarà basato sullo studio del potere di discriminazione tra particelle diverse e il potere risolutivo necessario per ottenere la massima sensibilità nello studio di alcuni processi tipici. Citiamo ad esempio il processo  $\phi \rightarrow KL KS$  seguito dal decadimento  $KS \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^0$ , o dai decadimenti di  $KS$  e  $KL$  in  $\pi^0 \pi^0$ ;  $\phi \rightarrow \eta \text{ gamma gamma}$  seguito dal decadimento  $\eta \rightarrow \pi^0 \text{ gamma gamma}$ , il processo  $e^+e^- \rightarrow \text{neutrone antineutrone}$ . Questi studi saranno basati sulla simulazione Monte Carlo dei processi fisici utilizzando l'esperienza acquisita e utilizzando come base di partenza programmi di generazione di eventi già esistenti.

2) La simulazione dettagliata dei processi di interazione di diverse particelle nel calorimetro sarà basata su codici esistenti (FLUKA, GEANT4) sfruttando le specifiche competenze degli autori di FLUKA e di alcuni dei proponenti nell'interfacciamento di questi codici con i programmi di generazione di eventi.

3) I risultati saranno utilizzati per ottimizzare gli algoritmi di ricostruzione di singola traccia, sciame elettro-magnetico, interazione nucleare oppure decadimento, in modo da definire la granularità di lettura a diverse profondità del calorimetro, cioè il numero di fibre scintillanti da interfacciare con il singolo canale di lettura.

4) In parallelo si vuole studiare come realizzare la raccolta di luce che assicuri la migliore granularità e la migliore efficienza in modo da preservare al meglio la intrinseca ottima risoluzione in tempo del calorimetro che deve funzionare anche come misuratore di tempo di volo. Per questo si utilizzeranno i codici già sviluppati da alcuni dei proponenti per il progetto delle guide di luce di KLOE.

5) La scelta dei fotosensori verrà fatta sulla base della stima delle prestazioni, in termini di granularità e efficienza quantica, e dei costi dei recenti prodotti industriali, fotomoltiplicatori multi-anodo, e dei rivelatori a gas hybrid-photo-detectors sviluppati per esperimenti di fisica delle particelle, astrofisica o per applicazioni mediche sfruttando, in questo caso, l'esperienza e le competenze acquisite nei nostri Dipartimenti.

6) La progettazione di base dell'elettronica per l'amplificazione, formazione e analisi del singolo canale di lettura non è fortemente dipendente dalla scelta del fotosensore e quindi potrà procedere in parallelo con gli altri studi. Per questo sfrutteremo le notevoli competenze all'interno dei gruppi proponenti, i laboratori e le strutture di cui dispongono. Gli studi dettagliati delle interazioni di diverse particelle nel calorimetro guideranno il progetto, e' plausibile che la sola lettura digitale e la conversione TDC sia sufficienti nelle regioni a granularità più fine.

7) Il prototipo sarà realizzato sulla base della struttura geometrica del calorimetro di KLOE e per questo disponiamo in laboratorio delle attrezzature e del necessario know-how. Le dimensioni minime saranno definite con la simulazione dettagliata. La stima dei costi è basata sull'ipotesi di una sezione di  $20 \times 30 \text{ cm}^2$  che corrisponde a 20000 fibre scintillanti della lunghezza di un metro circa con lettura da entrambe le estremità per ricostruire la coordinata longitudinale. Una buona granularità si può ottenere convogliando in media 16 fibre scintillanti sul singolo canale di un fotomoltiplicatore multi-anodo con segmentazione  $8 \times 8$ .

8) Per il collaudo del prototipo prevediamo tre campagne di misura, una con elettroni e fotoni, utilizzando la Test Beam Facility presso il LINAC di DAFNE ai Laboratori Nazionali di Frascati, una seconda con pioni e muoni utilizzando il fascio in preparazione presso ISIS al Rutherford-Appleton Laboratory dove si svolge l'esperimento MICE e la terza con neutroni utilizzando la sorgente del The Svedberg Laboratory (TSL) di Uppsala.

9) La fase finale del programma sarà il progetto delle modifiche da apportare alla lettura del calorimetro di KLOE nell'ambito della proposta "For the continuation of the KLOE physics program at DAFNE upgraded in luminosity and in energy", il progetto

delle modifiche da apportare allo schema di trigger dell'esperimento e le eventuali proposte di modifiche del calorimetro dell'esperimento MICE che si riveleranno opportune dopo la prima fase di sperimentazione.

Il programma sarà strutturato in diverse fasi:

- i) la prima fase dedicata in parallelo agli studi 1), 2), 3), al progetto del prototipo 4), 5), 6) e alla costruzione meccanica del prototipo;
- ii) la seconda fase dedicata alla realizzazione della parti: raccolta di luce dalle fibre, interfacciamento con i fotosensori, accoppiamento dei fotosensori con l'elettronica di lettura;
- iii) la terza fase dedicata al collaudo del prototipo in laboratorio con raggi cosmici;
- iv) la quarta fase dedicata al collaudo del prototipo con fasci di particelle.

Durante la fase i) studieremo se è possibile realizzare una struttura meccanica sufficientemente rigida senza incollare le fibre scintillanti e senza correre il rischio di danneggiarle. Dato che la costruzione meccanica è la parte meno impegnativa e dispendiosa, ma più ingombrante e pesante, questo avrebbe il vantaggio di poter costruire strutture di dimensioni diverse utilizzando le stesse fibre (che sono la parte che influisce sui costi della struttura) e di poter provare diverse soluzioni per convogliare la luce di scintillazione sul fotosensore. In parallelo alla fase i) si farà una misura della risposta di un prototipo del calorimetro di KLOE ad un fascio di neutroni di ~100 MeV di energia che è di particolare interesse per la misura dei fattori di forma elettromagnetici del neutrone e per verificare le simulazioni fatte con FLUKA.

Date le diverse competenze e specializzazioni dei gruppi proponenti, le attività che riguardano la prima e seconda fase possono procedere in parallelo in sedi diverse.

10) Una volta completato e collaudato il prototipo, ci ripromettiamo di utilizzarlo come strumento di dimostrazione didattica - sia per i corsi universitari che per le scuole superiori - utilizzando i raggi cosmici. Infatti, per le sue qualità di rivelatore capace di produrre "immagini" di tracce, di sciami, di interazioni, eventualmente di decadimenti in volo, e in grado di produrre un segnale di trigger di energia o di configurazione topologica che segnali i diversi tipi di evento, per la sua semplicità di operazione e la facilità di interfacciamento con un display grafico, questo rivelatore ci sembra particolarmente adatto come prototipo di un dimostratore didattico per diffondere la cultura dei rivelatori di radiazione e delle interazioni di raggi cosmici.

#### **Testo inglese**

The proposed project is of common interest of two research lines aimed at the study of symmetries in fundamental interactions. For many years the measurement of CP-symmetry violation parameters and the verification of CPT-symmetry was done studying neutral K meson decays and, more recently, with the KLOE experiment. Neutrino flavour symmetry was studied searching for neutrino oscillations with a variety of experimental approaches: solar and atmospheric neutrinos, neutrinos from reactors and from high energy interactions. The discovery of neutrino oscillations is last years major achievement in extending the Standard Model of fundamental interactions.

With this project we want to exploit the experience made in our Departments in this two research fields to build a prototype of a novel detector that should work as a tracking calorimeter with image read-out. In fact, both in the proposal to extend the physics program of the DAFNE phi-factory at the Frascati National Laboratory, and in the research and development program for a neutrino factory there is need for a detector able to identify different particles (photons, electrons, muons, pions, neutrons) of relatively low energy (few tens of MeV) with sub-nanosecond time resolution. The programs of these two research lines are described in detail in two proposals: "Expression of interest for the continuation of the KLOE physics program at DAFNE upgraded in luminosity and in energy" for the Frascati National Laboratory and "Proposal to for an international muon ionization cooling experiment (MICE)" at the Rutherford-Appleton Laboratori.

The starting model to build such a detector is the calorimeter of the KLOE experiment. The calorimeter is built with thin (0.5 mm) grooved lead foils and 1 mm diameter scintillating fibers. During construction, the fibers are located in the grooves and the lead+fiber stack is painted with glue, the same with the second stack and so on. The layers are then pressed to obtain a uniform rigid structure of lead fibers and glue: the scintillating fibers cover half of the surface seen by the light guides. This assembly process has been used by physicists and technicians in our Departments who know well the technique and own part of the equipment for the assembly. After six years of running, the KLOE calorimeter is in good shape and the light attenuation is not a limit of the detector performance. The light guides were designed and built in our Departments: the light from a surface of  $4.4 \times 4.4 \text{ cm}^2$  is guided to the cathode of a photomultiplier. This read-out granularity is a potential limiting factor in the analysis of rare events with many photons in the final state or when the discrimination power of different type of particles is the driving factor in the background rejection. Preliminary studies have shown that increasing this read-out granularity it is possible to improve the detection efficiency for photons and the separation power of low energy pions, muons and electrons. As examples, the analysis of the rare decay  $KS \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^0$  (of great interest since proceeds via direct violation of CP-symmetry) is characterized by six photons and the KL meson interaction in the calorimeter; the decay  $\text{del } \eta \rightarrow \pi^0 \gamma \gamma$  (a cornerstone to validate the prediction of chiral perturbation theory); the decays of  $f_0$  and  $a_0$  mesons (whose structure in the quark model is still controversial) into many photons final states. Another example is the precise measurement of the leptonic decays  $K \rightarrow e \nu$ ,  $K \rightarrow \mu \nu$ ; in fact their ratio is sensitive to possible deviations from the Fermi coupling universality. With the present read-out the identification of electrons and muons is based on the measurement of time of flight and can be improved increasing the read-out granularity to obtain a more detailed image of the interactions of electrons and muons.

Optimum performance in the detection of low energy pions, muons and electrons is also the goal of the MICE experiment for the cooling of a high intensity muon beam to be accelerated in a storage ring as a high energy neutrino factory. In fact, within the design study effort, it has been shown that today technology allows building a neutrino factory provided one can build a high intensity, low emittance, muon beam. In the MICE experiment, pions are produced in interactions of the ISIS protosynchrotron beam and decay to muons. The maximum intensity is obtained with muons of 100-200 MeV/c. The muon beam is "cooled" by reducing the transverse momentum by ionization in liquid hydrogen and accelerated with RF-cavities in a magnetic focusing system. The characteristics of the beam are studied with different detectors that measure the momentum and direction of the beam particles and the contamination of parent pions and decay electrons, at the beginning and at the end of the cooling channel. The measurement of the beam composition in pions, muons and electrons at the end of the cooling channel will be done with a scintillating fiber calorimeter built

in the Physics Department of Roma Tre using the same technique developed for the KLOE calorimeter.

The goal of the project is to increase the read-out granularity of the signals from the scintillating fibers. The starting hypothesis is to use the present structure of the KLOE calorimeter in order to minimize structural interventions and to use the same detector modifying only the way the signals are collected. During the project we will also study how to optimize the geometrical structure of a calorimeter that matches the requirement of the MICE experiment in the identification of electrons, muons and pions in the energy range of interest for the muon ionization cooling.

The project will proceed as follows

1) The design will be driven by the study of the discriminating power of different particles and the time and energy resolution needed to gain sensitivity to study a number of typical physics processes: e.g.  $\phi \rightarrow KL KS$  followed by the decay  $KS \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^0$ , or the decays of  $KS$  and  $KL$  both into  $\pi^0 \pi^0$ ;  $\phi \rightarrow \eta \gamma$  followed by the decay  $\eta \rightarrow \pi^0 \gamma \gamma$ ; annihilation  $e^+e^- \rightarrow$  neutron-antineutron. These studies will be based on Monte Carlo simulation of the physics processes using the experience in the analysis of KLOE data and existing event generation codes.

2) In parallel we will proceed with a detailed simulation of the interactions of different particles in the calorimeter using existing codes (FLUKA, GEANT4) exploiting the specific competence of the authors of FLUKA and the experience of some of us in linking these programs with the event generation codes.

3) The results of 1) and 2) will be used to optimize the algorithms for event reconstruction (single track, electro-magnetic shower, nuclear interaction or decay) and to define the read-out granularity as a function of the calorimeter depth, i.e. the number of fibers to interface with the single read-out channel.

4) In parallel with 1) 2) and 3) we will study how to implement the fibers light collection in order to match the design specifications and preserve the intrinsic excellent time resolution of the calorimeter as time of flight detector. For this we will use the light transport codes developed for the design of the KLOE calorimeter light guides.

5) The choice of a suitable photo-detector will be done on the basis of the above performance studies in terms of granularity, quantum efficiency and costs. Multi-anode photomultipliers are produced by industry. Gas hybrid-photo-detectors were developed for particle physics, astrophysics experiments and for medical applications and we can use some experience made by other groups within our Departments.

6) The base-line design of the electronic circuits for amplification, shaping and digitization of the signals does not depend of the choice of the photo-detector and thus can proceed in parallel with the other studies. For this we will exploit the know-how within our Departments and well equipped laboratories for electronic design and circuit evaluation. The detector response simulation will drive the design and the decision whether only a digital read-out based on multiplicity and time of flight is sufficient to match the desired performance.

7) We plan to build a prototype with the same geometrical structure as the KLOE calorimeter; for this we have in house the know-how and the assembly equipment used to build the calorimeter for the MICE experiment. The minimal dimensions will be defined by the performance studies. The cost estimate is based on a section  $20 \times 30 \text{ cm}^2$ , corresponding to 20000 scintillating fibers of about 1 meter length read-out from both ends in order to measure the longitudinal coordinate. A good granularity can be obtained by merging on average 16 scintillating fibers in a single channel of a multi-anode photomultiplier segmented  $8 \times 8$ .

8) The prototype will be first tested in the laboratory with cosmic rays. For the test with particle beams, we foresee three campaigns: with electrons and photons, at Test Beam Facility available at the DAFNE LINAC in the Frascati National Laboratory; with pions and muons using a secondary beam of ISIS at the Rutherford-Appleton Laboratory (where the MICE experiment will be installed); and with neutrons at TSL, The Svedberg Laboratory in Uppsala.

9) The last part of the project will be devoted to the design of the specific modifications to be implemented for the KLOE calorimeter and the trigger signals within the proposal "For the continuation of the KLOE physics program at DAFNE upgraded in luminosity and in energy", and the modification to the calorimeter of the MICE project that eventually look promising after the first tests of the experiment.

The time schedule of the program will be divided in different phases:

- i) during phase one we will proceed in parallel with the studies 1), 2), 3) above, the design of the prototype 4), 5), 6) and with the mechanical construction of the prototype;
- ii) phase two will be devoted to the construction of the different components for the light collection, the photo-detectors, the read-out electronics, and then to the assembly to build the detector;
- iii) phase three to the test of the prototype in the laboratory with cosmic rays;
- iv) phase four to the test of the prototype with particle beams.

During phase one we will also study whether it is possible to build a mechanical structure without gluing the fibers. Since the mechanical structure is the less committing and expensive part, but the most labour intensive and heavy, this could allow to use the same fibers (the most expensive part of the calorimeter structure) to make tests of the coupling to the light guides and to the photodetectors. In parallel we will make a test of an existing prototype of the KLOE calorimeter with a neutron beam of  $\sim 100 \text{ MeV}$ , of particular interest for the measurement of the neutron electromagnetic form factors, to compare the measurement with the results of the simulation with FLUKA.

Given the experience and know-how distributed in the Departments all activities of phase one and two will proceed in parallel in different sites.

10) Once the detector is completed and tested, we plan to use it as a "demonstrator" for university or high school laboratory classes using cosmic rays. In fact, its characteristic to produce "pictures" of tracks, showers, interactions and, eventually, decays, its capability to produce a trigger based on total energy or topology, the easiness of operation and of connection to a graphic display, makes this detector attractive for didactic demonstrations to spread the culture of radiation detectors and cosmic ray science.

## **Descrizione del ruolo delle Unità operative locali**

### **Testo italiano**

**Unità I** Il ruolo dell'unità di ricerca del Dipartimento di Fisica dell'Università Roma Tre e' la simulazione di alcuni processi  
**CERADINI** fisici di interesse per il programma di ricerca a DAFNE potenziato in luminosità e energia per definire la granularità  
**Filippo** di lettura del calorimetro, in particolare lo studio di quei processi in cui e' importante un ottimo potere di separazione tra elettroni-muoni-pioni, la definizione delle specifiche del fotosensore, la progettazione e la costruzione meccanica del prototipo.

*Gli aspetti originali del progetto e i compiti specifici sono:*

- 1) Simulazione di alcuni decadimenti e definizione delle specifiche del progetto di calorimetro per ottimizzare la separazione tra elettroni, muoni e pioni. Simulazione delle interazioni nel calorimetro di elettroni, muoni, pioni nell'intervallo di energia di interesse per il programma di ricerca a DAFNE potenziato in luminosità e energia, e per l'esperimento MICE.
- 2) Scelta e caratterizzazione del fotosensore che converte il segnale di luce delle fibre, connessione del fotosensore con le guide di luce da un lato e con l'elettronica per la formazione del segnale dall'altro.
- 3) Progettazione e realizzazione della parte meccanica, costruzione e assemblaggio del prototipo.
- 4) Organizzazione del collaudo del prototipo con raggi cosmici.

*Date le competenze specifiche dei proponenti, essi parteciperanno anche alla caratterizzazione e alla scelta delle fibre scintillanti, alla realizzazione del sistema di acquisizione dati, cureranno l'assemblaggio del prototipo e il collaudo in laboratorio con raggi cosmici e parteciperanno alle misure di collaudo con fasci di particelle.*

*Il bilancio della parte del progetto di responsabilita' dell'unità di ricerca riguarda l'acquisto di strumentazione per l'alimentazione dei fotomoltiplicatori e dell'elettronica di lettura del prototipo, l'acquisto dei fotomoltiplicatori multi-anodo, il materiale per la costruzione del prototipo, un contratto per la costruzione meccanica e l'assemblaggio del prototipo, e le missioni per il collaudo del prototipo di calorimetro con fasci di particelle.*

**Unità II** Il ruolo dell'unità di ricerca del Dipartimento di Scienze Fisiche dell'Università Federico II e' la progettazione e la  
**ALOISIO** realizzazione del sistema di lettura digitale, conversione tempo-digitale e acquisizione dati del prototipo di calorimetro.  
**Alberto**

*Gli aspetti originali del progetto e i compiti specifici sono:*

- 1) La discriminazione del segnale dei fotomoltiplicatori che assicuri il miglior rapporto segnale/rumore e ottima risoluzione temporale della conversione tempo-digitale.
- 2) Realizzazione di un convertitore tempo-digitale (TDC) multicanale basato su Full Programmable Gate Arrays (FPGA) che garantisca una risoluzione in tempo di poche centinaia di picosecondi. Attualmente il calorimetro di KLOE ha una eccellente risoluzione temporale che e' sfruttata per la misura di tempo di volo. La risoluzione e' ottenuta sfruttando la notevole ampiezza del segnale prodotto da molte fibre scintillanti e un TDC "analogico" con risoluzione fine. Questo pero' ha due principali limitazioni: la risposta del singolo canale TDC non e' molto stabile e va calibrata continuamente, e il range dinamico del TDC e' limitato, per cui le particelle che arrivano al rivelatore con ritardo rispetto al segnale di trigger non vengono registrate. Entrambe questi due aspetti si possono migliorare con un progetto basato sulla tecnologia dei circuiti digitali oggi disponibile.
- 3) Progettare il sistema di acquisizione dati utilizzando il nuovo standard VME64x in modo da compattare i dati e aumentare la banda passante della trasmissione dati. Questo sara' necessario se aumentano i canali di lettura e, nell'ambito del programma di potenziamento di DAFNE, se aumenta la frequenza di trigger dovuta all'aumento di luminosità del Collider.

*Date le competenze specifiche dei proponenti, essi parteciperanno anche alla definizione delle specifiche e alla scelta del fotosensore, all'assemblaggio del prototipo e alle misure di collaudo con raggi cosmici e fasci di particelle.*

*Il bilancio della parte del progetto di responsabilita' dell'unità di ricerca riguarda l'acquisto di strumentazione elettronica per valutazione dei circuiti, il materiale per la costruzione dei TDC e del sistema di acquisizione dati, un assegno di ricerca per la progettazione del TDC e le missioni per il collaudo del prototipo di calorimetro con fasci di particelle.*

**Unità III** Il ruolo dell'unità di ricerca del Dipartimento di Fisica dell'Università La Sapienza e' la simulazione di alcuni  
**DE ZORZI** processi fisici di interesse per il programma di ricerca a DAFNE potenziato in luminosità e energia, per definire la  
**Guido** granularità di lettura del calorimetro (in particolare lo studio di quei processi in cui sono prodotti molti fotoni nello stato finale) e l'ottimizzazione della lettura per ottenere la migliore efficienza con neutroni, la definizione delle specifiche delle fibre ottiche, la progettazione e realizzazione del sistema di raccolta di luce.

*Gli aspetti originali del progetto e i compiti specifici sono:*

- 1) Simulazione dei processi fisici e definizione delle specifiche del progetto di calorimetro in termini di risoluzione spaziale, risoluzione temporale, risoluzione in energia.
- 2) Scelta delle fibre scintillanti con caratteristiche simili, in termini di resa di luce e lunghezza di attenuazione, a quelle

del calorimetro di KLOE.

3) Progettazione e realizzazione del sistema di raccolta del segnale di luce dalle fibre scintillanti e di focalizzazione sul fotosensore. Questo è un aspetto delicato del progetto perché l'intensità del segnale e la dispersione in tempo influiscono sulla risoluzione del rivelatore. I proponenti hanno sviluppato il programma per il progetto delle guide di luce del calorimetro di KLOE, questo verrà utilizzato per definire il progetto e fare la scelta tra diversi metodi di raccolta e focalizzazione (guida tipo Winston-cone oppure tipo lente di Fresnel).

Date le competenze specifiche dei proponenti, essi parteciperanno anche alla definizione delle specifiche e alla scelta del fotosensore, all'assemblaggio del prototipo e alle misure di collaudo con raggi cosmici e con fasci di particelle.

Il bilancio della parte del progetto di responsabilità dell'unità di ricerca riguarda l'acquisto di strumentazione per la valutazione di fibre scintillanti e delle proprietà ottiche di materiali per le guide di luce, l'acquisto delle fibre scintillanti, il materiale per la costruzione delle guide di luce, un assegno di ricerca per il perfezionamento dei codici di trasporto ottico e per il progetto del calorimetro, un contratto per la lavorazione delle guide di luce, e le missioni per il collaudo del prototipo di calorimetro con fasci di particelle.

**Unità IV**  
**PATERA**  
**Vincenzo**

Il ruolo dell'unità di ricerca del Dipartimento di Energetica dell'Università La Sapienza è la simulazione del modello di calorimetro con il codice FLUKA e la progettazione e realizzazione del sistema di lettura analogico del prototipo di calorimetro e del sistema di trigger per l'acquisizione dati.

Gli aspetti originali del progetto e i compiti specifici sono:

- 1) Simulazione delle interazioni delle diverse particelle (elettroni, fotoni, muoni, pioni, protoni, neutroni) nel calorimetro con il codice FLUKA. L'intervallo di energia delle particelle, di interesse per il programma di ricerca a DAFNE potenziato in luminosità e energia, va da 10 MeV a poche centinaia di MeV.
- 2) Progettazione e realizzazione della parte analogica della lettura del prototipo di calorimetro partendo dall'amplificatore-formatore del segnale del fotosensore. Nell'esperimento KLOE l'energia rilasciata dalle particelle è misurata con la conversione analogico-digitale del segnale dei fotomoltiplicatori che vanno anche a formare la logica di trigger dell'esperimento. In questo progetto si vuole utilizzare lo stesso schema logico prelevando i segnali dai fotomoltiplicatori multi-anodo per sommarli a formare i segnali per la misura di energia e per il trigger.
- 3) Studio e realizzazione della formazione dei segnali da utilizzare per il trigger, questo sarà basato sia sull'informazione analogica che sulla molteplicità e topologia dei segnali digitali.

Date le competenze specifiche dei proponenti, essi organizzeranno il progetto generale della parte di lettura, di trigger e di controllo, parteciperanno anche alla definizione delle specifiche e alla scelta del fotosensore, all'assemblaggio del prototipo e alle misure di collaudo con raggi cosmici e fasci di particelle.

Il bilancio della parte del progetto di responsabilità dell'unità di ricerca riguarda l'acquisto di mezzi di calcolo per potenziare le risorse locali per simulazioni Monte Carlo, il materiale per la costruzione degli amplificatori di front-end, dei circuiti per la lettura analogica e per il trigger, un assegno di ricerca per il perfezionamento dei codici di trasporto e la simulazione Monte Carlo, un contratto per progettazione elettronica, e le missioni per il collaudo del prototipo di calorimetro con fasci di particelle.

#### **Testo inglese**

**Unit I**  
**CERADINI**  
**Filippo** The task of the research unit of Dipartimento di Fisica dell'Università Roma Tre is the simulation of some physics processes of interest for the program at DAFNE upgraded in luminosity and in energy and for the program of the MICE experiment in order to define the read out granularity of the calorimeter, the specifications for the photodetector, the design and mechanical construction of the calorimeter prototype.

The original aspects of the project and the specific tasks are:

- 1) Simulation of the physics processes to define the requirements on the read out granularity for optimum separation of electrons, muons and pions.
- 2) Choice of the photodetector and design of the interface with the light guides on one end and the front-end electronics on the other end.
- 3) Design and construction of the mechanical structure and assembly of the calorimeter prototype.
- 4) Organization of the tests in the laboratory with cosmic rays.

Given the specific know-how of the team, the members of the research unit will also participate in defining the specifications for the light guides and the data acquisition system, and in the tests with particle beams.

The budget for this part of the project is for purchasing the high voltage power supplies of the photodetectors, the low voltage power supplies for the read out, for purchasing the photodetectors, materials for the assembly of the calorimeter prototype, a contract for mechanical technician, and travel expenses for the test of the prototype with particle beams.

**Unit II**  
**ALOISIO**  
**Alberto**

The task of the research unit of Dipartimento di Scienze Fisiche dell'Università Federico II is the design and construction of the digital read out, the time-to-digital converter and the data acquisition of the calorimeter prototype.

The original aspects of the project and the specific tasks are:

- 1) Discrimination of the photomultiplier signals with optimum signal-to-noise ratio and optimum time resolution.
- 2) Design of a multichannel time-to-digital converter (TDC) based on Full Programmable Gate Arrays (FPGA) with a time resolution of few hundreds picoseconds. The KLOE calorimeter has excellent time resolution for the measurement of particle time of flight. This is obtained exploiting the large signals produced by many scintillating fibers and using an "analog" TDC with very good resolution. However there are two drawbacks: the response of the single TDC channel is not very stable and should be continuously calibrated, and the dynamic range is limited: particles delayed respect to

the trigger are not recorded. Both these two limitations can be reduced with a design based on modern digital circuits technology.

3) Design the data acquisition system based on the new standard VME64x to increase the bandwidth for data transmission. This is mandatory if the number of read out channels and the trigger rate increase in the upgraded detector at DAFNE upgraded in luminosity and energy.

Given the specific know-how of the team, the members of the research unit will also participate in defining the specifications for the photodetector, in the assembly of the calorimeter prototype and its test with cosmic rays and particle beams.

The budget for this part of the project is for purchasing equipment for evaluation of electronic circuits, the material for the TDCs and the data acquisition system, a post-doc position for electronics design, and travel expenses for the test of the prototype with particle beams.

**Unit III**  
**DE ZORZI**  
**Guido**

The task of the research unit of Dipartimento di Fisica dell'Università La Sapienza is the simulation of some physics processes of interest for the program at DAFNE upgraded in luminosity and in energy in order to define the read out granularity of the calorimeter read out, the specifications for the scintillating fibers, the design and construction of the light guides.

The original aspects of the project and the specific tasks are:

1) Simulation of the physics processes to define the requirements on the read out granularity for optimum performance in terms of space, time and energy resolution.

2) Choice of the scintillating fibers with light yield and attenuation length similar to those used for the KLOE calorimeter.

3) Design and construction of the optical system for the light collection. This is a delicate item for the project since the intensity of the light signals and their time jitter define the calorimeter resolution. The members of the team have written a code for the design of the light guides of the KLOE calorimeter which will be used to choose the solution.

Given the specific know-how of the team, the members of the research unit will also participate in defining the specifications for the photodetector, in the assembly of the calorimeter prototype and its test with cosmic rays and particle beams.

The budget for this part of the project is for purchasing equipment for evaluation of the optical properties of materials, for purchasing the scintillating fibers, material for the construction of the light guides, a post-doc position to help in the simulation codes and in the design of the light guides, a contract for mechanical technician, and travel expenses for the test of the prototype with particle beams.

**Unit IV**  
**PATERA**  
**Vincenzo**

The task of the research unit of Dipartimento di Energetica dell'Università La Sapienza is the simulation of the calorimeter model, the design and construction of the analog read out of the calorimeter prototype and of the trigger for the data acquisition.

The original aspects of the project and the specific tasks are:

1) Simulation of the interactions of photons, electrons, muons, pions, protons and neutrons in the calorimeter with the FLUKA Monte Carlo code. The particle energy range of interest for the research program at DAFNE upgraded in luminosity and energy is from few tens to few hundreds MeV.

2) Design and construction of the analog part of the read out. In the KLOE experiment the energy is measured with the analog-to-digital conversion of the photomultiplier signals, these signals are also used to form the trigger. The same logical scheme will be followed in this project: sums of the signals from different groups of scintillating fibers (read by the multi-anode photomultipliers) will form the energy signals and the trigger signals.

3) Design of the trigger for the calorimeter prototype exploiting both the analog information and the topology of the digital signals.

Given the specific know-how of the team, the members of the research unit will overview the general design of the read out, trigger and controls, they will also participate in defining the specifications for the photodetector, in the assembly of the calorimeter prototype and its test with cosmic rays and particle beams.

The budget for this part of the project is for upgrading the computing power for the Monte Carlo simulations, the material for the front-end amplifiers and the analog read out, a post-doc position for the development of the simulation codes, a contract for electronics design, and travel expenses for the test of the prototype with particle beams.

### PARTE III

#### 3.1 Spese delle Unità di Ricerca

	Unità I	Unità II	Unità III	Unità IV
<b>Materiale inventariabile</b>	12.000	16.000	20.000	5.000
<b>Grandi Attrezzature</b>	0	0	0	0
<b>Materiale di consumo e funzionamento (comprensivo di eventuale quota forfetaria)</b>	79.000	19.500	30.000	60.000
<b>Spese per calcolo ed elaborazione dati</b>	0	0	0	0
<b>Personale a contratto</b>	19.500	19.000	27.000	54.000
<b>Dottorati a carico del PRIN da destinare a questo specifico programma</b>	0	0	0	0
<b>Servizi esterni</b>	2.000	0	0	0
<b>Missioni</b>	11.000	6.000	10.000	10.500
<b>Pubblicazioni</b>	0	0	0	0
<b>Partecipazione / Organizzazione convegni</b>	1.500	2.000	1.000	1.500
<b>Altro</b>	0	0	0	0
<b>TOTALE</b>	<b>125.000</b>	<b>62.500</b>	<b>88.000</b>	<b>131.000</b>

#### 3.2 Costo complessivo del Programma di Ricerca

	Unità I	Unità II	Unità III	Unità IV
<b>RD+RA (fondi di Ateneo)</b>	37.500	19.000	26.500	40.000
<b>Cofinanziamento di altre amministrazioni pubbliche, private o fondazioni</b>	0	0	0	0
<b>Cofinanziamento richiesto al MIUR</b>	87.500	43.500	61.500	91.000
<b>Costo totale del programma</b>	<b>125.000</b>	<b>62.500</b>	<b>88.000</b>	<b>131.000</b>

	<b>Euro</b>
<b>Costo complessivo del Programma</b>	406.500
<b>Risorse complessivamente disponibili all'atto della domanda (RD + RA)</b>	123.000
<b>Cofinanziamento di altre amministrazioni pubbliche, private o fondazioni</b>	0
<b>Cofinanziamento richiesto al MIUR</b>	283.500

*(per la copia da depositare presso l'Ateneo e per l'assenso alla diffusione via Internet delle informazioni riguardanti i programmi finanziati e la loro elaborazione necessaria alle valutazioni; D. Lgs, 196 del 30.6.2003 sulla "Tutela dei dati personali")*

Firma \_\_\_\_\_

Data 03/05/2006 ore 12:00