

## 50 ANNI DI RIVELATORI A FRASCATI

di Pierluigi Campana

*Nell'articolo vengono ripercorse le tappe salienti dell'utilizzo dei rivelatori in fisica delle particelle, in 50 anni di vita dei Laboratori Nazionali di Frascati. Un impiego sempre finalizzato alle esigenze della ricerca fondamentale che l'INFN ha svolto sia nel Laboratorio che all'estero.*

### Introduzione

Tracciare una storia dei Laboratori di Frascati in questi primi cinquanta anni di vita, delle acquisizioni scientifiche nel campo della fisica delle particelle e nucleare, senza includere il cammino parallelo che hanno avuto i rivelatori, è certamente impossibile.

Del resto, anche il compito, seppure limitato ad un breve e quasi giornalistico riassunto di ripercorrere le tappe degli sviluppi degli apparati nei Laboratori Nazionali di Frascati, è impresa ardua, se non impossibile.

E questo per due ragioni contingenti.

Da un lato perché fisici, ingegneri e tecnici del Laboratorio, hanno avuto sempre una spiccata vocazione al "costruire apparati", sia che essi dovessero essere installati sugli acceleratori di casa o in laboratori esterni, tale da rendere ingente il numero di oggetti pensati, progettati e realizzati; dall'altro lato perché lo scrivente, per un evidente motivo anagrafico, ha potuto essere testimone degli eventi che si sono svolti "solo" negli ultimi trenta dei cinquanta e più anni del Laboratorio.

Raccontare della nascita di un apparato, del suo essere costruito ha forse uno svolgimento più diluito, che abbraccia un più grande ambito di persone, che non quello relativo alla descrizione di una scoperta, di una misura, che specie negli anni ruggenti della fisica delle particelle elementari spesso si svolgeva nell'ambito di una stagione, se non in poche ore (si pensi ad es. alla tumultuosa scoperta della particella  $J/\Psi$  nella "November revolution" del 1974).

In questo sforzo di compressione, ma anche di comprensione, ho cercato di identificare dei periodi omogenei tra loro, ed essenzialmente legati ai destini, più ampi, della politica scientifica del Laboratorio e dell'INFN.

Retrospectivamente ritengo che ci sia un "filo" che connette in maniera omogenea i fatti e le cose che mi accingo sommariamente a descrivere. Tale nesso è rappresentato dalla considera-

zione che i rivelatori nel Laboratorio sono stati sempre considerati funzionali all'esperienza di fisica da realizzare. La ricerca puramente tecnologica in questo campo, a parte qualche importante eccezione, ha sempre avuto un aspetto limitato e la stragrande maggioranza dei ricercatori ha sempre avuto l'interesse a sviluppare il rivelatore che doveva poi essere utilizzato nel ben preciso esperimento. E questo aspetto differenza, nel bene e nel male, il Laboratorio rispetto a grandi laboratori esteri (il CERN soprattutto, ma anche DESY e SLAC) ed ha in qualche modo definito poi il suo sviluppo sino ai nostri giorni.

Preannuncio che in questo excursus sui rivelatori costruiti a Frascati ci saranno delle lacune e delle assenze che lettori più attenti e anagraficamente più maturi dello scrivente noteranno. Me ne scuso sin d'ora, garantendo che la cosa è accidentale quanto involontaria.

### Il periodo eroico – Gli apparati al Sincrotrone

Questo periodo può essere orientativamente collocato tra la fine degli anni '60 (il Sincrotrone emetteva i primi "vagiti", per dirla alla Salvini, l'11 febbraio del 1959, fig. 1) e la partenza di Adone (che avveniva il 17 novembre del 1969).

Tale periodo, come si evince sfogliando i pregevoli "Rapporti di Attività" del tempo, era caratterizzato dalla presenza di un gran numero di piccoli gruppi sperimentali, in parte realizzati da gruppi utenti esterni, che portavano a Frascati le loro apparecchiature per fare misure di fisica.

Erano esperimenti semplici ma ingegnosi. Va sottolineato che in quel momento, si era alla fine degli anni '50, la strumentazione in Fisica "delle Alte Energie" era davvero ai primi passi.

L'Italia stava faticosamente emergendo dalla grave emergenza post bellica e ci si può immaginare quale fosse la difficoltà di avere dei contatti con i ricercatori che negli altri labo-



Fig. 1  
Sala congegno del Sincrotrone (1960)

ratori stavano sviluppando nuove tecniche di rivelazione.

E così gli apparati sfruttavano tecnologie consolidate e rappresentate da telescopi di contatori a scintillazione in una grande varietà di configu-

razioni (specialmente quando usati in spettrometri, (fig. 2), da camere a scintilla a piatti piani, dai rivelatori che sfruttavano l'effetto Cherenkov (con vetri al piombo, in acqua, in plexiglass o in gas. (fig. 3)



Fig. 2  
Spettrometro a coppie (1959)

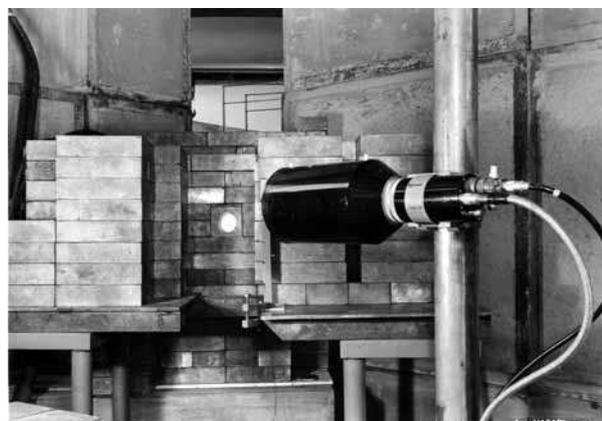


Fig. 3  
Contatore Cherenkov (1959)

Tali contatori, opportunamente collocati presso magneti che fungevano da spettrometri, permettevano di distinguere le cariche delle particelle e di fornire una misura dell'impulso.

Un rivelatore a ionizzazione, costituito da lastre di materiale metallico assorbente, detto quantametro di Wilson (fig. 4), permetteva di determinare il flusso dei fotoni in uscita dal sincrotrone.

Il Laboratorio Criogenico era in grado di fornire un'ampia gamma di bersagli per gli esperi-

menti, e operava con regolarità una camera a bolle del gruppo di Roma (fig. 5) ed in generale, insieme al Laboratorio di Tecnologie e a quello di Elettronica, forniva un costante supporto ai gruppi sperimentali in termini di studio di nuovi rivelatori e di circuiti di lettura. Tali laboratori manterranno un'intensa ed importante attività sino alla separazione del Laboratorio dal CNEN. Particolarmente originale era anche la tecnica di ottenere fotoni polarizzati dall'interazione di questi con un monocristallo (dapprima al Silicio



Fig.4  
Quantometro di Wilson (1960)



Fig. 6  
Goniometro per il polarizzatore a cristallo (1960)



Fig. 5  
Camera a bolle (1959)

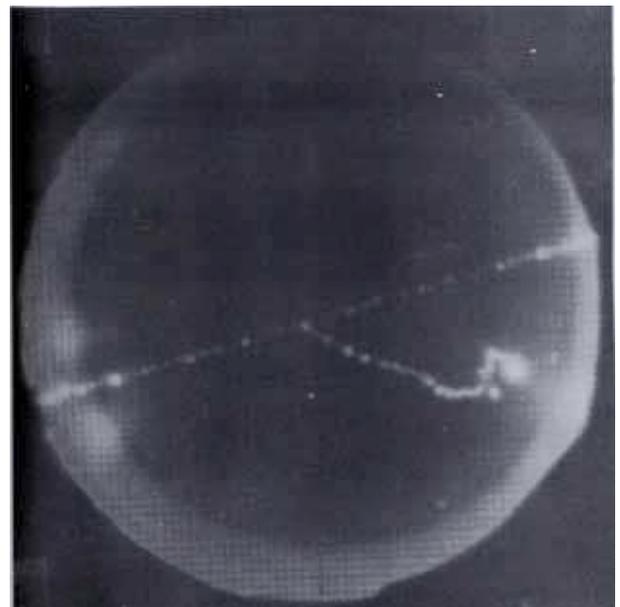


Fig. 7  
Traccia in camera a scintilla (1964)

e poi in Diamante) che, se orientato opportunamente, forniva un elevato campo elettrico e ne permetteva la polarizzazione (fig. 6)

Certamente i rivelatori sui quali si concentrava a Frascati il maggior sforzo costruttivo erano rappresentati dalle camere a scintilla, nelle quali un arco scoccava tra gli elettrodi al passare di una particella ionizzante, e alla loro lettura ottica, in particolare con lo sviluppo degli intensificatori di immagini, a partire dal 1962 (fig. 7 e fig. 8).

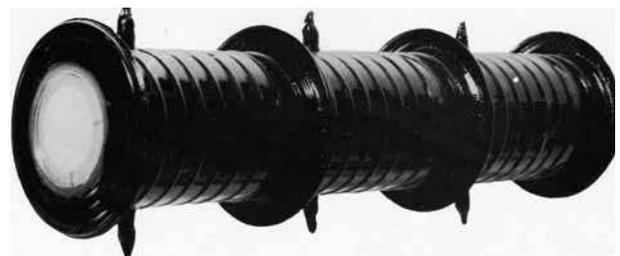


Fig. 8  
Intensificatore d'immagine (1965)

Parallelamente agli sviluppi di ottica, nel 1966 vengono realizzate delle camere a scintilla a fili digitalizzate con lettura magnetostriativa, che permettono una registrazione elettronica del segnale.

Le camere proporzionali a fili dovevano ancora svilupparsi in maniera completa: l'articolo pionieristico di Charpak è del 1968. Nonostante questo, i primi prototipi di questo nuovo rivelatore vengono studiati nel Laboratorio già a partire dal 1969.

La strada dello sviluppo per Frascati è segnata. Il successo di AdA apre la via all'approvazione di Adone: una macchina circolare nella quale collideranno fasci di elettroni e di positroni. Le collaborazioni diventano più numerose e le esigenze di rivelazione degli apparati a simmetria cilindrica intorno al nuovo acceleratore, obbligano da un lato ad adattare le vecchie tecnologie, dall'altro a crearne di nuove.

### Il consolidamento delle tecnologie – Gli apparati ad Adone

La fine degli anni '60 vede la preparazione dei rivelatori per la prima generazione di esperimenti ad Adone: camere a scintilla a piccola e grande gap (esperimenti Gamma-Gamma e Mu-Pai, fig. 9 e fig. 10) con complessi sistemi di specchi e obiettivi fotografici; lastre di scintillatori plastici e, per la prima volta, camere a scintilla con lettura magnetostriativa (esperimento Bosone, fig. 11).

In queste ultime il segnale generatosi al passaggio della particella veniva prelevato non più in modo ottico, ma attraverso un'induzione elettrica su di un cavo speciale (detto magnetostriativo) che permetteva una registrazione elettronica degli eventi su di un nastro IBM collegato ad un calcolatore PDP8: una vera novità per l'epoca, che permetteva una grande semplificazione nell'analisi dei risultati fisici.

Tali apparati iniziano la presa dati nel 1969, per far posto, tre anni più tardi, a più raffinate configurazioni di rivelatori (la cosiddetta seconda generazione).

L'esperimento MEA (fig. 12) è il primo che utilizza un campo magnetico solenoidale trasversale ai fasci (che semplificava l'accesso al rivelatore e permetteva di visualizzare l'apparato tracciante, ma con lo svantaggio di convogliare dentro il rivelatore i fondi macchina). Una



Fig. 9

L'apparato Gamma - Gamma in corso di montaggio (1968)

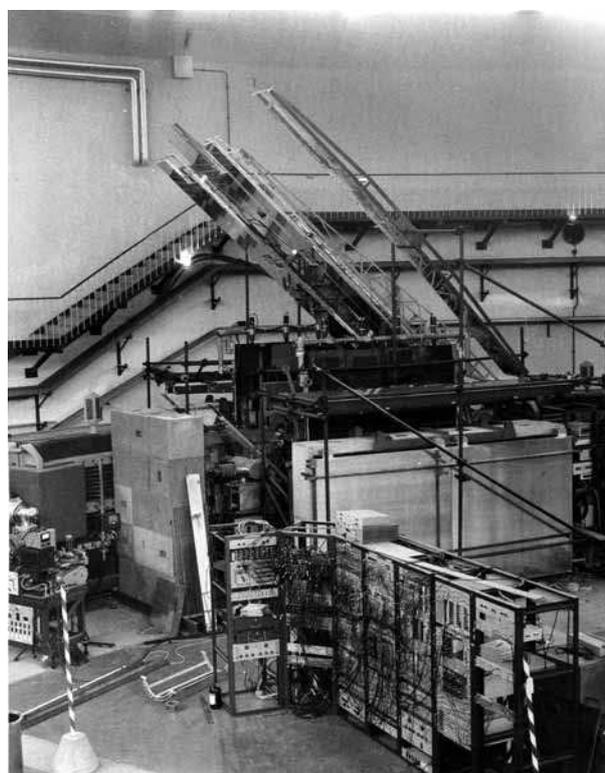


Fig. 10

L'apparato Mu-Pai e i suoi specchi riflettenti (1970)



Fig. 11  
L'apparato Bosone (1970)

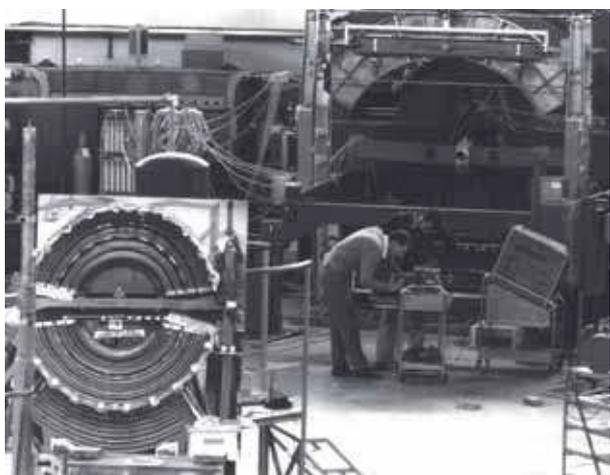


Fig. 12  
L'apparato MEA e riflesso nello specchio, l'esperimento Gamma-Gamma2 (1973)

simile configurazione sarà poi utilizzata a collisori circolari solo da UA1 (l'esperimento del Nobel a Rubbia e Van der Meer per la scoperta dei bosoni deboli). È anche il primo esperimento nel quale viene utilizzata la tecnologia delle camere proporzionali (di responsabilità di un gruppo americano).

Contatori a scintillazione, camere a scintilla a grande e piccola gap completavano il rivelatore e permettevano, mediante registrazione su pellicola fotografica, di misurare l'impulso delle particelle deviate dal magnete dell'apparato.

L'esperimento Gamma-Gamma2, destinato ad osservare canali con neutri nello stato finale è costruito in maniera concettualmente diversa. Strati di assorbitore (piombo per favorire la conversione di fotoni) si alternano con camere a scintilla lette otticamente, e contatori a plastico scintillante: con la nomenclatura moderna

verrebbe chiamato un apparato calorimetrico tracciante.

L'esperimento Barione-antiBarione vedeva una partecipazione del Laboratorio più limitata, nella quale il contributo costruttivo era quello delle camere a scintilla con lettura magnetostriativa.

Una citazione particolare merita invece un rivelatore prototipale chiamato Madka (fig. 13 e fig. 14). Si trattava di una camera cilindrica a più strati di tubi proporzionali, costruita in collaborazione tra Frascati e DESY, montata nel 1973 in una delle zone di interazione di Adone, con la quale si voleva studiare la capacità di selezionare, on line, topologie interessanti per la fisica: quello che oggi si chiama "trigger di traccia di primo livello", e viene investigato con grandissimo interesse alle moderne macchine di grande luminosità, nelle quali è opportuno pre-selezionare gli eventi.

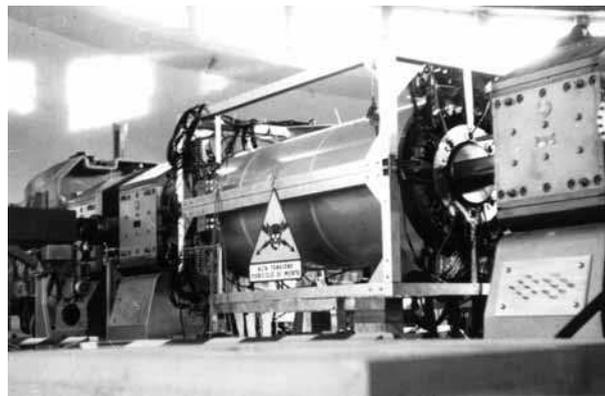


Fig. 13  
Il rivelatore Madka installato su Adone (1973)

È certamente stato un lavoro pionieristico, forse anche prematuro per i tempi, visto che, in seguito, fu proposto per qualcuno degli apparati al LEP negli anni '80, ma cadde nel dimenticatoio.

La componente di fisici nucleari, formatasi sul Sincrotrone, che continuò ad operare anche durante il periodo di Adone, stava invece preparando una importante facility (Leale) per la sperimentazione su bersaglio fisso, sfruttando il fascio del Linac. Su questa linea furono installate diverse tipologie di rivelatori, sia dei gruppi esterni che di quelli locali. Particolarmente interessante è la tecnologia della Jet Target, nella quale il bersaglio con il quale venivano prodotti fotoni quasi monocromatici era costituito da un sottilissimo pennello di gas iniettato nella camera dell'acceleratore.

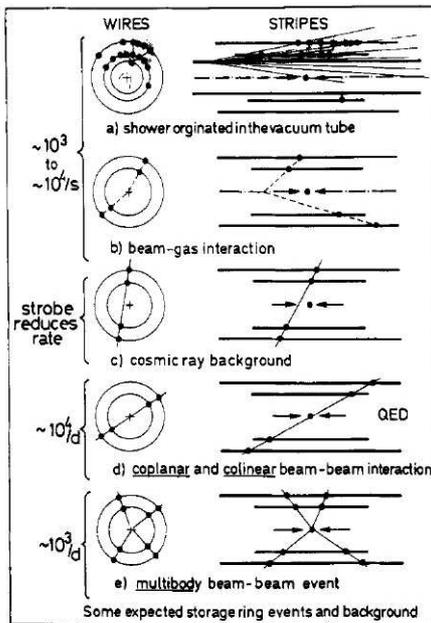


Fig. 14

Le configurazioni di trigger attese in Madka (1973)

Un'altra facility di concezione originale (Ladon) era costituita da un laser di potenza che, scontrandosi con il fascio di elettroni, per effetto Compton inverso, generava fotoni polarizzati.

Le caratteristiche di tale fascio venivano determinate da una microstrip al silicio – unica applicazione nel Laboratorio di tale tecnica – posizionato a pochi mm dal fascio di elettroni.

La progressiva diminuzione dell'interesse nelle attività di ricerca in fisica sub nucleare su Adone, che di fatto inizia con la scoperta della  $J/\Psi$ , obbliga i ricercatori del Laboratorio a guardare all'estero, ed in particolare alle grandi macchine a protoni al Fermilab e al CERN e alle macchine ad elettroni di DESY e SLAC. La macchina conclude la sua gloriosa attività a fasci collidenti nel 1977. Da quel momento e per ulteriori vent'anni, la fisica sub nucleare dell'INFN si farà tutta all'estero, e i fisici di Frascati ne prenderanno, loro malgrado, atto.

### Il dopo - Adone e la diaspora – Lo sviluppo dei tubi a streamer

Certamente una delle prime consistenti partecipazioni di ricercatori del Laboratorio in un esperimento all'estero è rappresentata dalla costruzione dei rivelatori per l'esperienza Framm nell'area Nord del SPS del CERN (1975). Va detto però che già da qualche anno singoli

ricercatori avevano iniziato collaborazioni con esperimenti all'estero (Orsay, SLAC, ecc...).

Per Framm gli impegni costruttivi di Frascati sono molteplici: la preparazione di una serie di camere a fili ultra-leggere per la determinazione delle tracce uscenti dal vertice dell'interazione (fig. 15 e fig. 16), altre camere a fili per la tracciatura a più ampia superficie, un calorimetro elettromagnetico a piombo e piani di scintillatore plastico (fig. 17).

Il tutto condito dai primi problemi che poi saranno caratteristici di tutte le collaborazioni all'estero: la pianificazione dei lavori di fisici e tecnici, le difficoltà in un laboratorio straniero (il CERN, ma ben presto anche Fermilab, SLAC o DESY): tutti problemi nuovi per i "frascatani", a

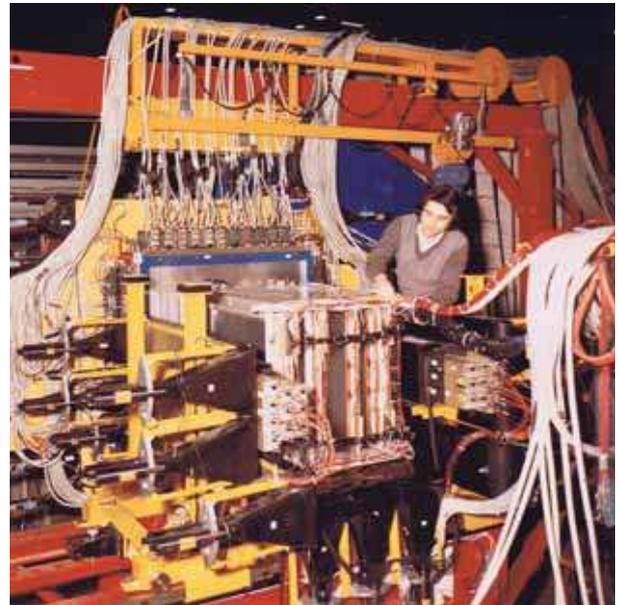


Fig. 15

Le camere a fili nel vertice dell'esperimento Framm (1978)



Fig. 16

Prototipi di camere cilindriche per Framm (1977)

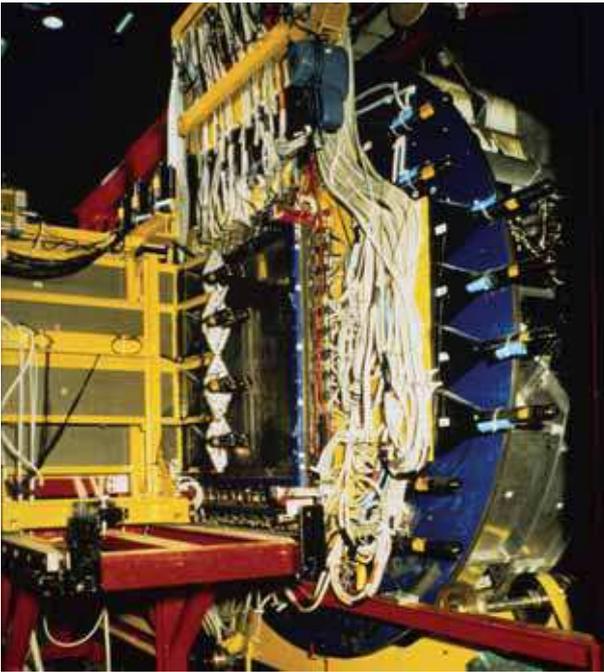


Fig. 17

Il calorimetro elettromagnetico di Framm (1978)

differenza di quanto accadeva nelle altre sezioni INFN che già da anni vedevano la loro attività principalmente svolta all'estero. La facilità odierna degli spostamenti e delle telecomunicazioni erano sconosciute e le trasferte, vista l'esiguità dei fondi, duravano mesi, con pesanti ricadute sulla vita familiare.

Quasi contemporaneamente nasce anche l'interesse per una importante partecipazione all'esperimento CDF al Fermilab, finalizzato alla calorimetria adronica, con l'utilizzo di tecniche che alternano strati di assorbitore a scintillatore plastico (fig. 18). Per questa impresa il Laboratorio si attrezza con un moderno sistema automatico a laser di taglio delle barre, che permette di costruire in casa il rivelatore e poi spedirlo negli USA.

Negli stessi anni giungevano a maturazione gli studi e i test di uno dei rivelatori che avrebbe avuto moltissime applicazioni negli anni '80 e che sarebbe stato identificato con Frascati: i tubi a streamer limitato con catodo resistivo. Una tecnica che può essere considerata come un prodotto originale del Laboratorio.

Tra il 1976 e il 1980 vengono messi a punto gli ingredienti base della tecnologia (fig. 19, fig. 20 e fig. 21): l'intervallo di trasparenza dei catodi resistivi, l'operazione in regime di alto guadagno, la scelta dei gas, la modellizzazione del principio elettrico di propagazione del segnale, la progettazione dell'elettronica di lettura.



Fig. 18

Preparazione del calorimetro a scintillatore di CDF (1980)

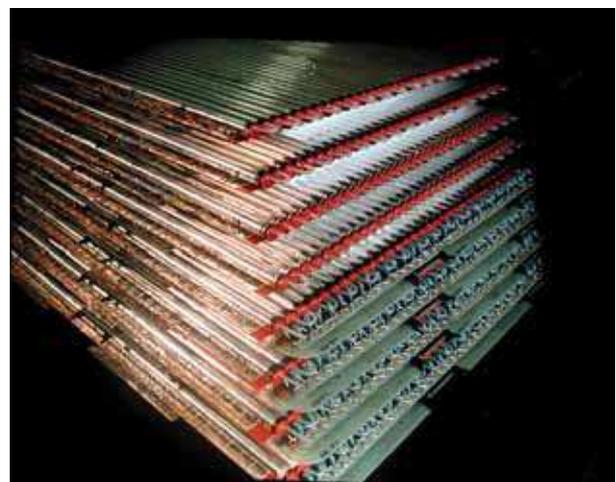


Fig. 19

I primi esemplari di tubi a streamer limitato (1978)



Fig. 20

La linea di produzione dei catodi per i tubi a streamer dell'apparato Nussex (1980)

Si trattava di un rivelatore a filo che sfruttando una miscela di gas che generava un segnale elettrico particolarmente intenso, semplificava

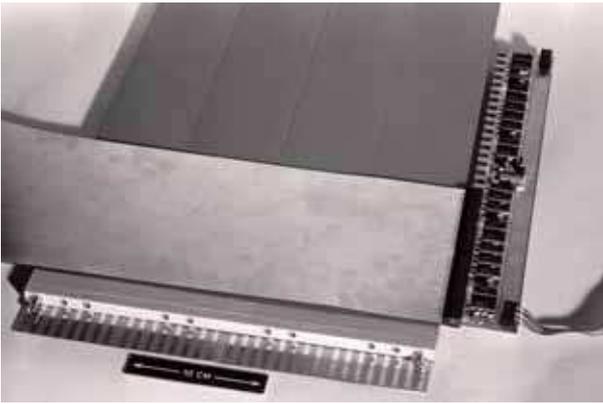


Fig. 21

Il sistema di lettura bidimensionale del rivelatore a streamer limitato (1980)

molti aspetti costruttivi delle camere proporzionali. Non meno importante poi, l'ingegnerizzazione del processo di costruzione dei tubi a streamer, cosa che poi li ha resi esportabili e utilizzabili su moltissimi esperimenti (nei quattro esperimenti al LEP, in apparati a SLAC, a Cornell, a DESY, etc...), principalmente nell'ambito della calorimetria adronica digitale e tracciante e nell'identificazione dei muoni.

Le prime applicazioni di questa tecnica sono realizzate in DM2 (1978) ad Orsay-ACO e in CHARM (1978, fig. 22), un esperimento sul fascio di neutrino del CERN, che vedono anche una limitata partecipazione di ricercatori del Laboratorio.

Il primo utilizzo su larga scala dei tubi a streamer, con un forte coinvolgimento del Laboratorio,

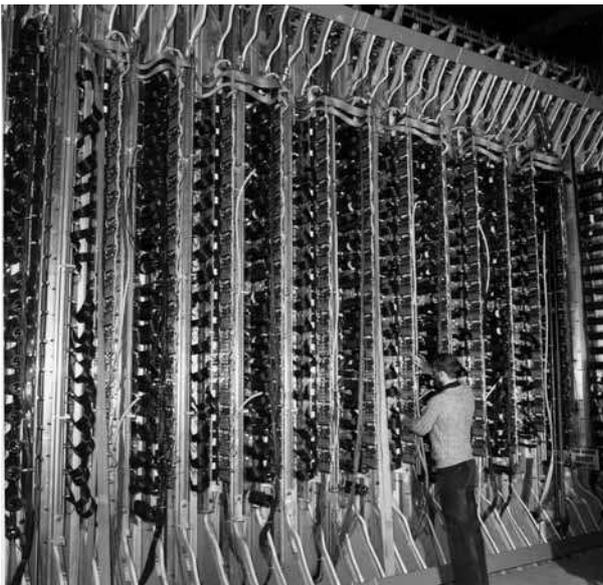


Fig. 22

I rivelatori a streamer nell'apparato Charm (1980)

rio, è rappresentato dall'esperimento NUSEX nel tunnel autostradale del M.Bianco per lo studio del decadimento del protone (1980). Qui i tubi a streamer con lettura bidimensionale ( $x,y$ ) avevano il compito di tracciare un eventuale decadimento del protone. Poiché esso è risultato stabile (almeno entro la sensibilità con la quale l'apparato lo poteva determinare), ovviamente furono in grado solo di rivelare una cinquantina di spettacolari eventi di neutrino sotto circa 2000 metri di roccia. Tuttavia il Laboratorio non aveva ancora sufficienti infrastrutture per una produzione così massiccia di rivelatori (50,000 unità elementari di scarica) e così fu deciso di effettuare una parte della produzione delle camere al CERN, in un laboratorio opportunamente allestito, e dotato di un limitato numero di attrezzature automatizzate, realizzate con il concorso dei tecnici di Frascati.

Furono poi gli esperimenti al LEP che decretarono la maturità e il successo della tecnologia, per i quali si organizzarono veri e propri "centri di produzione" sia a Frascati, che in altre sezioni INFN, ma anche in Cina, a Cornell e in Russia. Tali "catene di montaggio" prevedevano un largo uso di automatismi, l'introduzione dei controlli di qualità e di un intenso lavoro da parte di fisici e tecnici. Erano il banco di prova per quello che si sarebbe realizzato su scala ancora più grande, un po' in tutto l'INFN, per LHC, il grande collisore a protoni in preparazione al CERN.

A Frascati vengono realizzati i tubi a streamer per la parte centrale del calorimetro e delle camere a muoni di Aleph (1986, fig. 23, fig. 24 e fig. 25). La stessa tecnica viene scelta per la preparazione di SLD (1986) alla macchina SLC di SLAC, al tempo il grande competitore di LEP.

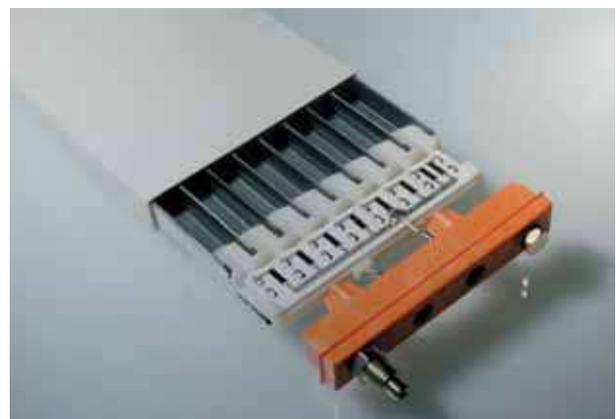


Fig. 23

Dettaglio dei tubi a streamer dell'esperimento Aleph (1985)



Fig. 24

La linea di produzione di rivelatori per Aleph (1985)

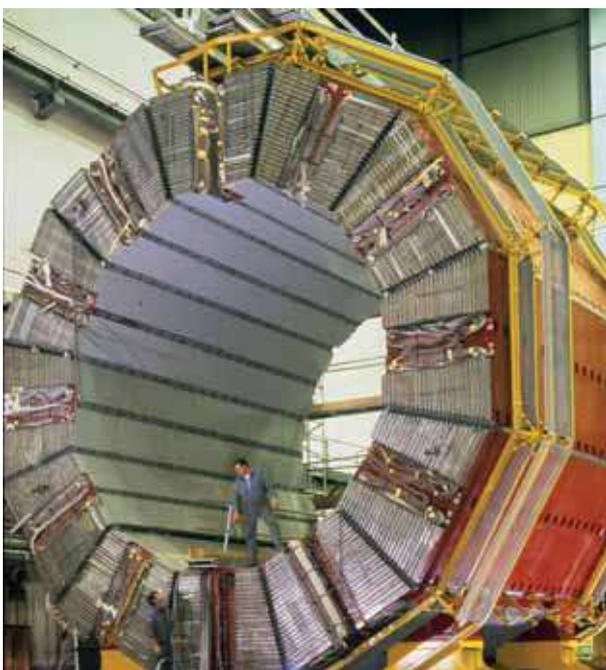


Fig. 25

Un esempio di calorimetro adronico a tubi a streamer al LEP (Aleph, 1988)

È del 1983 la costruzione di un calorimetro tracciante a tubi a streamer per il riconoscimento dei pioni in un esperimento all'ISR del CERN.

Qualificato ed importante è anche il contributo dei ricercatori del Laboratorio all'esperienza Zeus alla macchina HERA di DESY. Oltre alla progettazione dei magneti toroidali in avanti, vengono costruite in sede grandi camere a streamer limitato con lettura catodica (fig. 26) per lo spettrometro a muoni.

Parte della comunità che aveva partecipato a Framm, una volta concluso l'esperimento al CERN, si spostò a Fermilab, forte delle competenze nella fotoproduzione di mesoni charmati, e soprattutto, in calorimetria elettromagnetica,



Fig. 26

Le camere dello spettrometro a muoni in avanti di Zeus (1990)

dando vita all'esperimento Flatev (1990), continuato poi con Focus. La stessa comunità ha poi contribuito allo sviluppo di una tecnologia tracciante con tubi a deriva a bassissimo spessore di materiale ("straw tube"), utilizzato per Finuda e proposto per un esperimento sulla fisica del mesone B a Fermilab, poi cancellato (Btev), insieme ad una raffinata tecnica di controllo micrometrico delle posizioni dei rivelatori, con particolare riferimento a quelli di vertice.

Il tubo a streamer conosce una grande diffusione sino alla metà degli anni '90, quando richieste più stringenti in termini di risoluzione temporale, spaziale, di resistenza alla radiazione ed al flusso, costringono ad abbandonarlo per altre tecnologie di rivelazione delle particelle.

Per un breve periodo, la fisica sub nucleare torna a Frascati: Adone ritorna alle collisioni nel 1989 per ospitare un esperimento chiamato Fenice (fig. 27) che utilizzerà una camera di vertice in regime di streamer limitato costruita nel Laboratorio. L'esperimento prenderà dati sino al 1993.

Nel contempo, agli inizi degli anni '80, e proprio con la sperimentazione del M.Bianco a metà tra fisica delle particelle e fisica con i raggi cosmici, nasce una nuova linea di ricerca: quella della "fisica passiva", termine che sta ad indicare il fatto che si dovevano costruire osservatori pronti a catturare l'evento cosmico raro (sia esso il decadimento del protone, o l'interazione di un neutrino o un fascio molto numeroso di muoni sotterranei, in coincidenza con apparati in superficie).

La linea era già stata aperta con la costruzione a Frascati di rivelatori a scintilla per un esperimento di raggi cosmici in un garage del Tunnel del M. Bianco per l'Istituto di Cosmogeofisica di Torino del CNR (1970, fig. 28).



Fig. 27

L'apparato Fenice in corso di montaggio (1987)



Fig. 28

Le camere a scintilla nel laboratorio CNR-ICGF del M. Bianco (1972)

La costruzione dei Laboratori del Gran Sasso e di quello del Frejus stimola la ricerca di nuove soluzioni tecnologiche per gli apparati, che devono essere grandi, con buona risoluzione temporale e spaziale, economici, sicuri da operare sottoterra.

In questo quadro si inserisce un'importante attività di ricerca, sviluppata in maniera originale nel Laboratorio (1978), che porterà alla costru-

zione di flash tube a basso costo (elementi tubolari in polipropilene riempiti con una miscela di neon ed elio, fig. 29), a riedizione degli analoghi rivelatori usati da Conversi negli anni '50 e costruiti in vetro e largamente usati in esperimenti a basso conteggio, quali quelli con raggi cosmici (ad es. nei primi anni '70 al M. Bianco).

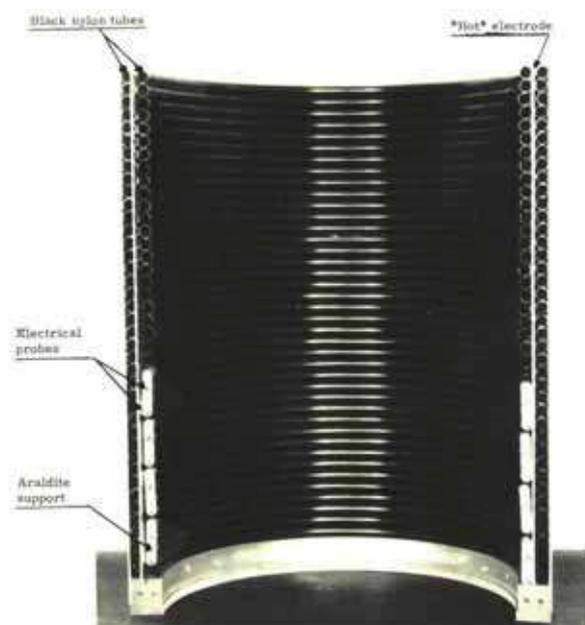


Fig. 29

L'esperimento franco-tedesco per la ricerca del decadimento del protone al Frejus ne userà un gran numero (circa 1,000,000 di canali), con un buon successo.

I ricercatori di Frascati si pongono in prima fila nello sviluppo della Fisica Astroparticellare: la disponibilità dei Laboratori del G. Sasso porta alla costruzione di MACRO e di LVD (1986). In particolare MACRO mutua una versione irrobustita della tecnologia dei tubi a streamer (a geometria più grande e costruttivamente semplificata) che viene commissionata ad una ditta esterna per la sua realizzazione (fig. 30): il passo, importante, perché rappresenta uno dei primi coinvolgimenti di una ditta nella delicata costruzione di rivelatori per particelle, non è comunque indolore dato che comunque l'impegno di tecnici e fisici presso la ditta che costruiva i rivelatori era importante.

Per quanto riguarda LVD invece, si utilizzano tubi a streamer, prodotti nel Laboratorio e utilizzati quale sistema per tracciare le particelle attorno ai grandi contenitori di scintillatore liquido russo.

Negli stessi anni la sperimentazione in fisica nucleare ad Adone si esaurisce e le comunità di



Fig. 30

La linea di produzione di rivelatori per l'esperimento Macro a Carsoli (1983)

fisici nucleari si spostano su grandi apparati in laboratori esteri, quali ad es. al CERN (Obelix), a DESY (Hermes) e a Cebaf (Clas), con importanti e significativi impegni costruttivi, in particolare nella calorimetria elettromagnetica con vetri al piombo e sandwich piombo-scintillatore (fig. 31 e fig. 32).

### Gli apparati a DaΦne - Le nuove tecnologie per LHC

I primi anni '90 vedono il Laboratorio fortemente impegnato nella preparazione degli espe-



Fig. 31

Un elemento dell'esperimento Hermes (1997)



Fig. 32

Il calorimetro elettromagnetico di Clas (1996)

rimenti a DAΦNE (in particolare Kloe). Un folto numero di fisici di Frascati converge sulle attività chiave per la nascita dell'apparato: la grande camera centrale a drift, il calorimetro elettromagnetico, l'on-line e il calcolo, l'elettronica (fig. 33 e fig. 34).

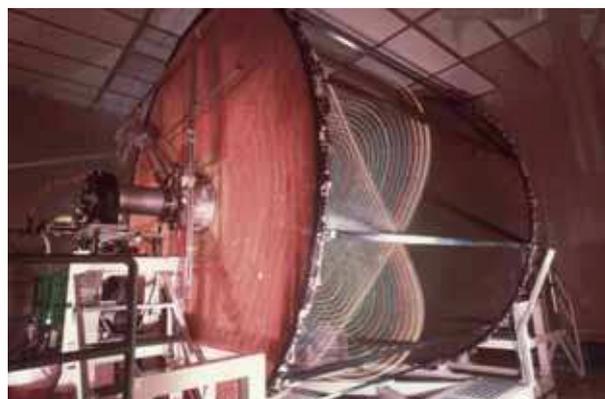


Fig. 33

La camera a deriva dell'esperimento KLOE (1998)

Per la prima volta nel Laboratorio, e sicuramente di nuovo dai tempi di Adone, ricercatori, tecnologi e tecnici si ritrovano ad affrontare problematiche di sistema, in collaborazione con altri Istituti ed Università, e con il gravoso onere di costruire, mettere in opera e gestire un grande rivelatore a Frascati.

Il Laboratorio si organizza, dotandosi di infrastrutture quali camere pulite, macchine a controllo numerico, sistemi di misura 3D e struttura i suoi servizi, per quanto possibile, nell'otti-

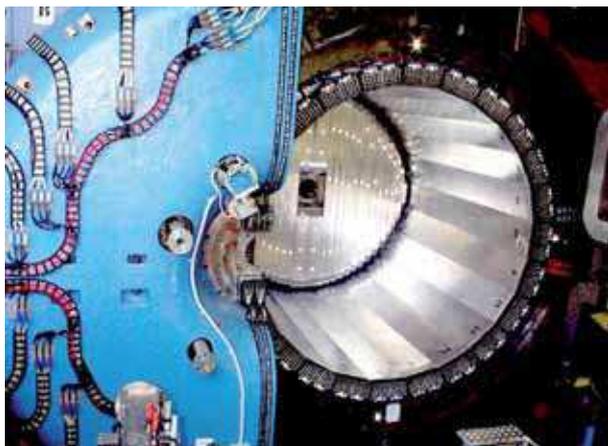


Fig. 34

Il calorimetro elettromagnetico dell'esperimento KLOE (1998)

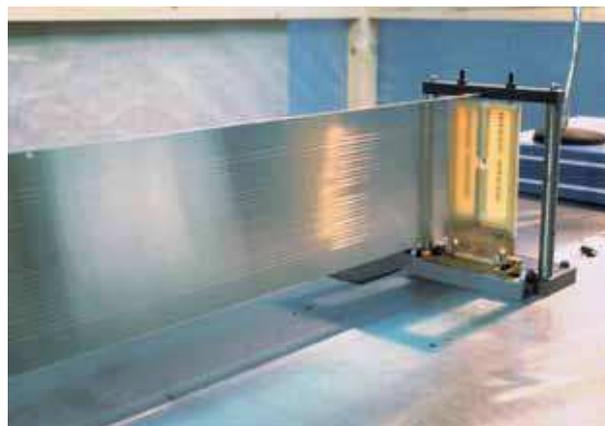


Fig. 35

Un prototipo di Jet Chamber per lo spettrometro di Atlas (1993)

ca di massimo appoggio agli esperimenti, dotandosi di un supporto ingegneristico meccanico, elettronico ed informatico. Un buon numero di giovani, assunti alla fine degli anni '80 e formati in esperimenti all'estero o al G. Sasso (Aleph, Cdf, Macro) partecipano all'impresa con grande spirito di iniziativa. Una importante componente del Laboratorio contribuisce anche alla costruzione di Finuda e di Dear. La trattazione delle tecnologie di rivelazione utilizzate in questi apparati è dettagliatamente affrontata in altri articoli di tale rassegna.

Nel contempo, alla fine degli anni '90, un grande sforzo realizzativo veniva effettuato nel Laboratorio per la costruzione del calorimetro adronico per BaBar a SLAC (1998), un esperimento per lo studio della violazione di CP nel sistema del mesone B, con rivelatori a RPC in bakelite che vengono prodotti in una ditta esterna. Questa è anche la prima grande e significativa impresa INFN nel laboratorio californiano.

Dalla metà degli anni '90 il Laboratorio partecipa con un numero sempre crescente di fisici, ingegneri e tecnici, agli esperimenti a LHC: attualmente tutti e quattro sono rappresentati a Frascati, seppure con differenti impegni costruttivi.

Le richieste in termini di risoluzione spaziale, affidabilità, realizzabilità, spingono la comunità impegnata nella costruzione dello spettrometro a muoni di Atlas ad una lunghissima fase di R&D, che si svolge durante la metà degli anni '90. In particolare il gruppo di Frascati è impegnato nel dimostrare la fattibilità delle Jet-Chambers (una sorta di camere a drift, fig. 35), che si dimostrano un ottimo apparato.

Tuttavia la scelta cade su una soluzione ibrida, il Monitored Drift Tube, che prevede l'uso di un tubo di grande precisione in alluminio con la tecnica della misura del tempo di deriva per la localizzazione spaziale (fig. 36).



Fig. 36

Le camere di precisione MDT dell'esperimento Atlas (1995)

Così a Frascati, dal 2000 in poi, vengono realizzate le attrezzature di automazione e le infrastrutture che permettono di costruire le camere necessarie a rivestire la parte "barrel" del sistema di toroidi di Atlas, insieme ad un folto numero di Università e laboratori italiani ed esteri.

Trafilata non dissimile è quella del gruppo di Frascati di Lhcb (2001), che partecipa e promuove l'R&D necessario per la realizzazione del sistema di trigger a muoni dell'esperimento.

L'impegno è su due linee: da un lato l'ingegnerizzazione di camere a fili a piccola spaziatura (fig. 37), elevata resistenza alla radiazione e



Fig. 37

La costruzione di una camera a fili per Lhcb (2004)

buona risoluzione temporale: quella necessaria ad identificare gli eventi significativi tra una collisione e l'altra di LHC (ossia entro 25 nsec).

Dall'altro, in cui c'è un contributo originale del Laboratorio, per la messa a punto di una GEM a triplo strato (fig. 38), capace di resistere ad intensi flussi e con risoluzioni temporali dell'ordine di qualche nanosecondo. Va sottolineato che anche in questo caso, uno dei contributi più significativi è stato quello di fornire nuove procedure e metodi di costruzione del rivelatore concepito al CERN. Anche per Lhcb si sono realizzate le attrezzature e le infrastrutture necessarie a produrre i rivelatori e a controllarne la qualità, secondo elevati standard, mai concepiti nel passato.

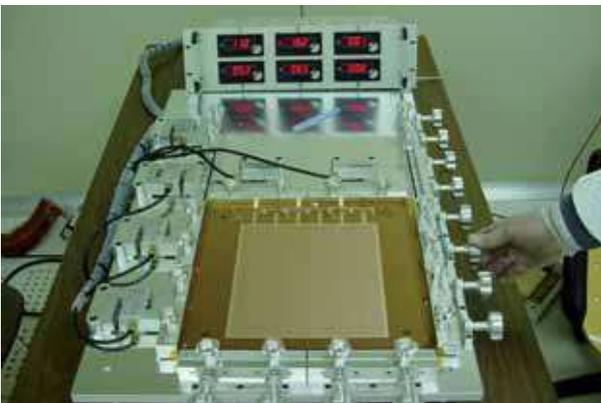


Fig. 38

Una GEM tripla per l'esperimento Lhcb (2006)

Va inoltre considerato che per Atlas e Lhcb vi sono stati importanti contributi nell'ambito della progettazione meccanica.

Analogamente, la componente di Frascati di Alice si sta preparando per una impegnativa produzione nel Laboratorio, di un calorimetro elettromagnetico (a tipologia detta "shashlik") nel quale la luce di scintillazione viene estratta ortogonalmente alle lastre con un ingegnoso sistema di fibre ottiche (fig. 39), e che verrà inserito nell'esperimento nei prossimi anni.

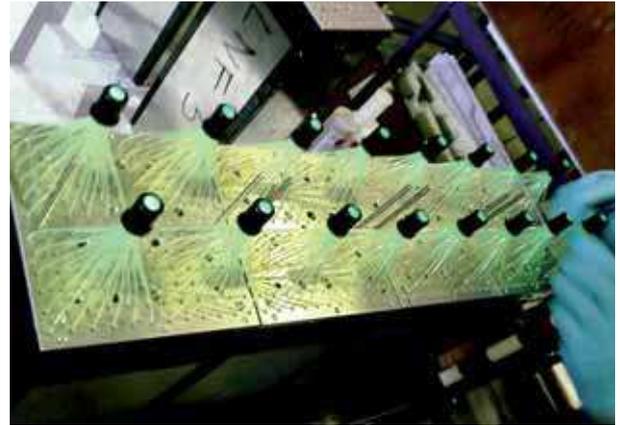


Fig. 39

Prototipi di moduli per il calorimetro di Alice (2007)

Un altro importante sforzo costruttivo che ha visto impegnato il Laboratorio è quello rappresentato da Opera, nel quale ha avuto la responsabilità della costruzione dello spettrometro (sia per la parte magnetica, che per quella degli RPC, fig. 40) e nella progettazione dei mattoncini di sandwich emulsioni-lastre di piombo.

Più di recente, un gruppo di ricercatori ha iniziato l'R&D per la preparazione di un veto per fotoni, nell'esperimento NA62 al CERN per la misura di decadimenti rari dei mesoni K, con tecniche di calorimetria a fibre scintillanti e vetri al piombo.

Proiettata nella prospettiva della sperimentazione alla futura macchina FAIR-GSI, è invece il lavoro di R&D su una camera centrale a straw tube, per l'esperimento Panda.

Oltre a quanto riportato, negli ultimi anni sono stati svolti R&D su vari rivelatori: RPC in vetro, calorimetria con cristalli pesanti scintillanti, GEM a struttura cilindrica per rivelatori di vertice (fig. 41), calorimetria per neutroni, contatori a piani paralleli multipli.

Si è studiata anche qualche prima, timida, applicazione delle tecnologie tipiche della fisica

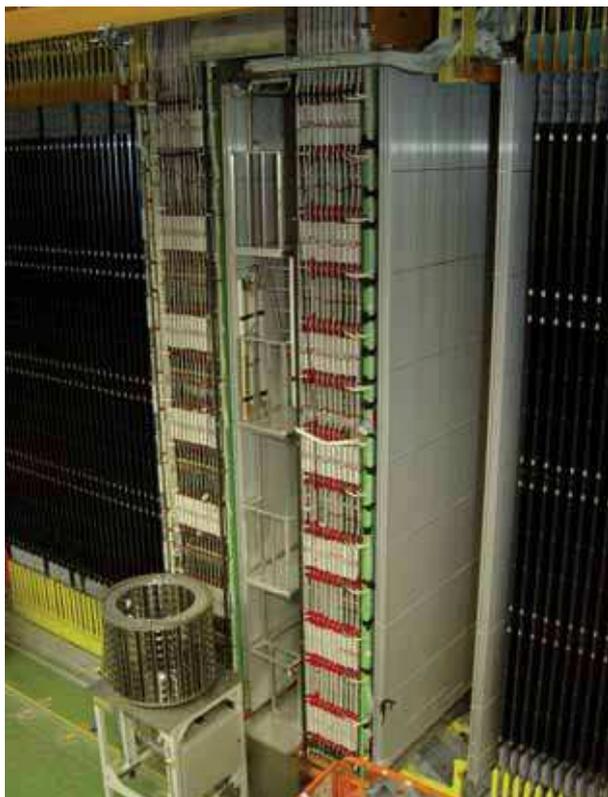


Fig. 40

Lo spettrometro magnetico dell'esperimento Opera (2007)



Fig. 41

Un prototipo di GEM cilindrica per la camera di vertice di Kloe-2(2008)

delle particelle a campi diversi (medicina nucleare, monitor di neutroni, ecc...).

Tuttavia molto c'è ancora da fare per un reale trasferimento tecnologico.

Nuove prospettive si sono poi aperte anche con esperimenti che hanno come campo d'osservazione lo spazio: interessante è il recente R&D sulle tecniche di telemetria su satelliti per la verifica delle leggi gravitazionali su grande scala (fig. 42).



Fig. 42

Pannello di dispositivi riflettenti per l'esperimento su satellite Lares (2007)

Cosa ci attende il futuro non è facilmente intuibile. Nuove tecnologie si affacciano all'orizzonte. Come già successo in passato, il Laboratorio saprà scegliere quelle utili per soddisfare le richieste che vengono dalla sperimentazione di fisica. Le altre saranno considerate, a torto o a ragione, come un utile esercizio tecnologico.

## Conclusioni

Non è facile passare in rassegna cinquanta anni di sviluppo e di costruzione dei rivelatori a Frascati: si rischia inevitabilmente di tralasciare eventi importanti, cosa che sicuramente sarà accaduta. Ho volutamente ignorato tutto ciò che afferiva agli sviluppi dell'elettronica e del calcolo, sia per mia incompetenza, ma anche per la sensazione che tale lavoro fosse comunque solo strumentale allo sviluppo dei rivelatori, e mai fine ad una ricerca a se stante.

Studiare il passato, seppure nella crescente difficoltà di attingere alle fonti originali, considerato che i fisici per loro natura non hanno grandi capacità storiografiche, mi è servito per comprendere il rapporto stretto tra le vicende della sperimentazione, quelle politico-scientifiche del Laboratorio e, soprattutto, quelle "umane", che dalla semplice descrizione delle tecniche non emergono, ma che permeano, come è naturale che sia, molte delle scelte dei fisici.

Mi auguro di aver potuto, almeno parzialmente, rendere partecipi i lettori di questa simbiosi.

## Ringraziamenti

Tale lavoro sarebbe stato impossibile senza l'aiuto di un nutrito gruppo di persone, alcune testimoni dei periodi più lontani. Ringrazio a vario titolo Gian Paolo e Fabrizio Murtas, Giovanni Nicoletti, Lucia Votano, Maria Curatolo, Giorgio Capon, Bellisario Esposito, Francesco Ronga, Pasquale DiNezza, Mario Anelli, Pedro

Waloschek e Danilo Babusci che ha riletto il testo.

Un ringraziamento particolare a Claudio Federici per la preparazione del materiale iconografico tratto dall'ampio archivio fotografico del Laboratorio.

Un grazie poi a Enzo Iarocci, non solo per avermi "obbligato" a scrivere queste note, ma anche per avermi insegnato molto di quel poco che so sui rivelatori.

## PIERLUIGI CAMPANA

*Nato nel 1957 e ricercatore presso i Laboratori Nazionali di Frascati dal 1983, ha svolto la sua attività contribuendo allo sviluppo dei rivelatori a streamer limitato, e alla costruzione e all'installazione del calorimetro adronico e delle camere a muoni dell'esperimento ALEPH al CERN di Ginevra (1989). Successivamente ha collaborato alla preparazione dell'esperimento KLOE alla macchina DAΦNE di Frascati, lavorando dapprima al calorimetro a fibre scintillanti, e poi alla costruzione della grande camera a deriva in fibra di carbonio (1996). Dal 2001 partecipa all'esperimento LHCb all'LHC di Ginevra, del quale è coordinatore nazionale. È attualmente Dirigente di Ricerca dell'I.N.F.N.*

### Contatti:

INFN, Laboratori Nazionali di Frascati  
Tel: 06 9403 2898 - fax: 06 9403 2475

Via E. Fermi, 40 - 00044

Frascati (Roma)

E-mail: pierluigi.campana@lnf.infn.it