

1954: da Conversi e Gozzini, nuovi rivelatori a gas

Marco M. Massai, Gloria Spandre

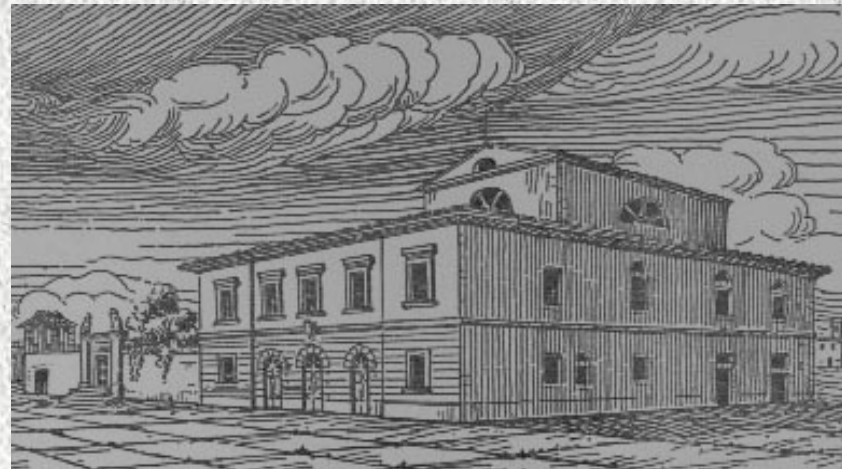
INFN - sez. di Pisa e Dipartimento di Fisica 'E.Fermi', Pisa

Nel **1954**, a Pisa nel suo Laboratorio in Piazza Torricelli, **Adriano Gozzini**, cercando la spiegazione di un fenomeno osservato durante un esperimento di spettroscopia a radiofrequenza, ha una geniale intuizione che lo porta a realizzare, insieme a **Marcello Conversi**, la **prima camera odoscopica a riempimento di gas** per la visualizzazione delle tracce di particelle ionizzanti.

E' una tra le sue più importanti scoperte e permetterà ai fisici di tutto il mondo di poter osservare le tracce prodotte dai raggi cosmici o dalle particelle generate nelle interazioni agli acceleratori.

Negli anni seguenti vengono sviluppati diversi tipi di **rivelatori a gas**, risultati cruciali nelle scoperte di Fisica fondamentale; sono **le Camere a scintilla, le Camere a deriva, le Camere Proporzionali a Multifilo,...**

Ma non solo, agli inizi degli anni '80 a Pisa le grandi potenzialità di questi rivelatori vengono anche utilizzate in **applicazioni interdisciplinari**, quali la **Medicina** e la **Biologia**.



L'Istituto di Fisica, quando fu costruito, a metà Ottocento

Ma andiamo con ordine.....

- 1) I rivelatori di particelle, prima del '54: *Contatori Geiger-Mueller, Camere a ionizzazione...*
- 2) Nel Laboratorio di Adriano Gozzini, in piazza Torricelli, nell'autunno del '54...
- 3) Inverno del '55: Adriano Gozzini e Marcello Conversi sono all'opera...
- 4) Dalle *camere di Gozzini-Conversi* alle gigantesche *camere a scintilla*: la traccia di una particella si può vedere e sentire
- 5) Come a Pisa nel 1955, Conversi e Gozzini, al CERN nel 1968, Georges Charpack ...
- 6) L'esperimento B-B bar ad Adone utilizza migliaia di "*Flash Chambers*" opportunamente sviluppate
- 7) Il sistema 4π di *Camere a deriva* per l'esperimento R-209 agli ISR del CERN (1978)
- 8) L'esperimento FRAMM NA1, al CERN: *Camere a deriva e Camere Proporzionali a Multifilo*, come tracciatori dello spettrometro
- 9) Dalla fisica delle alte energie alla fisica medica: le *Camere Proporzionali a Multifilo* per studi di medicina e biologia (1980)

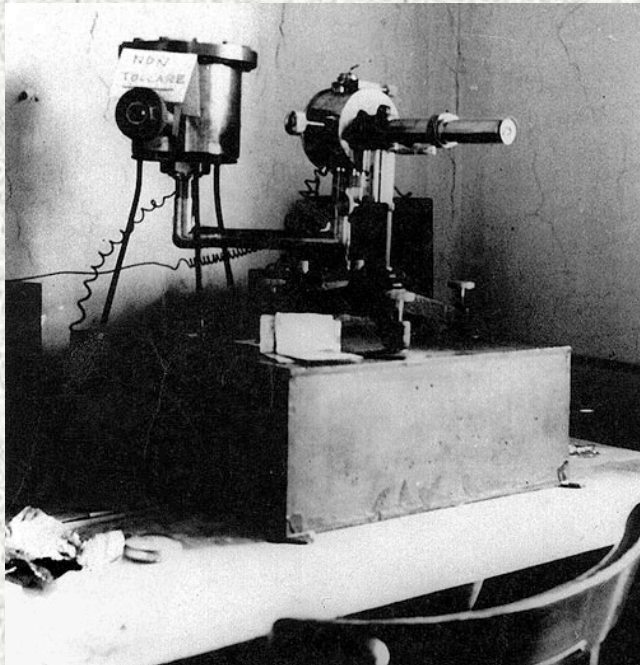


Palazzo Matteucci, già sede dell'Istituto di Fisica.
L'angolo tra P.za Dante e P.zza Torricelli

I rivelatori di particelle, prima del '54: contatori Geiger-Mueller, camere a ionizzazione...

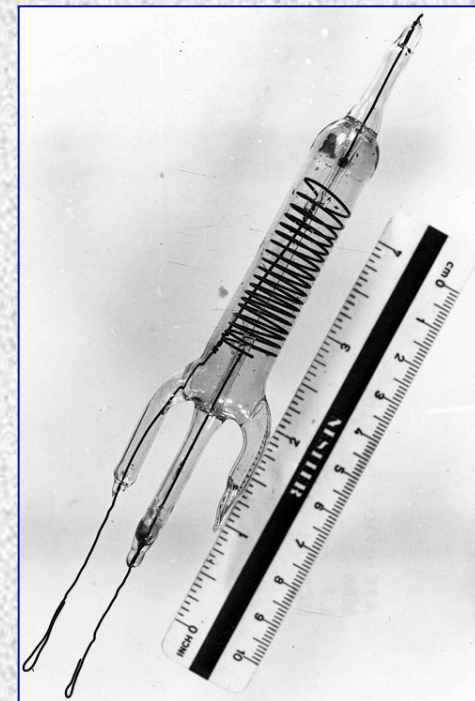
Fin da quando Roentgen scoprì i Raggi X (fine del1985) e Henri Becquerel (1986) scoprì che da un minerale di uranio veniva emessa una radiazione sconosciuta, uno dei problemi più urgenti e difficile da risolvere per i fisici fu quello di costruire strumenti idonei alla rivelazione e alla misura dei vari tipi di radiazione.

Già dai primi del Novecento, per superare la lenta *lastra fotografica*, fu messo a punto il *Contatore di Geiger* che, perfezionato da Mueller e passato alla storia come Geiger-Mueller, è risultato lo strumento maggiormente usato per decenni e molto utile per **contare il numero di particelle** che lo attraversavano, ma **non per identificarle o misurarne l'energia**.



Idoneo a rivelare la radioattività naturale, anche se con bassa efficienza, si mostrò presto inadeguato ad affrontare le nuove imprese che la fisica del nucleo, e quindi dei raggi cosmici, richiedeva.

Un secondo strumento largamente utilizzato era la *Camera a ionizzazione*; questa raccoglie la ionizzazione generata da una particella carica nell'interazione con un gas per mezzo di campo elettrico sufficientemente elevato affinché non abbia luogo il processo di ricombinazione. Il segnale ricavato può essere proporzionale alla ionizzazione primaria e quindi all'energia rilasciata dalla particella incidente.



Un contatore Geiger usato da Fermi in via Panisperna

**Nel Laboratorio di Adriano Gozzini,
in piazza Torricelli, nell'autunno del '54...**

Si sta studiando l'interazione tra radiazione e.m. polarizzata (microonde generate da un magnetron) con impurità polari in un liquido non polare ultra puro, il cicloesano .

Il trasferimento di energia dalle molecole polari al liquido ha come conseguenza un aumento locale della temperatura che fa variare l'indice di rifrazione provocando la diffusione di una luce bianca incidente. Questa viene rivelata mediante PM posti in posizione ortogonale al fascio di luce.

L'apparato sperimentale deve essere mantenuto al buio.

Arrigo Battaglia, giovane allievo di Gozzini, per verificare la corretta emissione dal magnetron utilizza, come di consueto, una lampadina al neon che si accende spontaneamente in presenza di una sorgente di onde e.m.

Tuttavia, al buio, il neon NON si accende, salvo, sporadicamente, quando emette deboli lampi inizialmente trascurati.

Pensando ad un malfunzionamento del magnetron viene interpellato Gozzini. Tutto viene controllato: il magnetron funziona bene alla luce, ma al buio il neon rimane spento, salvo quella debole luce emessa in maniera casuale.



Tra i giovani del gruppo fu formulata la seguente 'legge': **“I Magnetron al buio funzionano male!”**

La spiegazione della NON accensione del neon è data subito: la luminosità del neon viene innescata dagli elettroni liberi prodotti per effetto fotoelettrico dalla luce esterna sui metalli presenti nel bulbo.

Al buio viene a mancare questo meccanismo di innesco.

Il fenomeno delle accensione debole e casuale attira l'attenzione di Gozzini che intuisce che alla base ci deve essere un altro meccanismo che genera elettroni liberi nel gas. Discutendone con Marcello Conversi arrivano a formulare l'ipotesi che poteva spiegare lo strano fenomeno:

I raggi cosmici ionizzavano per un brevissimo intervallo di tempo il neon; ma, se prima della ricombinazione con gli ioni, sopravveniva l'onda e.m. generata dal magnetron, questi venivano accelerati, fino ad innescare una piccola scarica visibile all'esterno

E' il principio di funzionamento dei rivelatori a gas dei successivi 60 anni!

L'Istituto, tanto tempo fa...



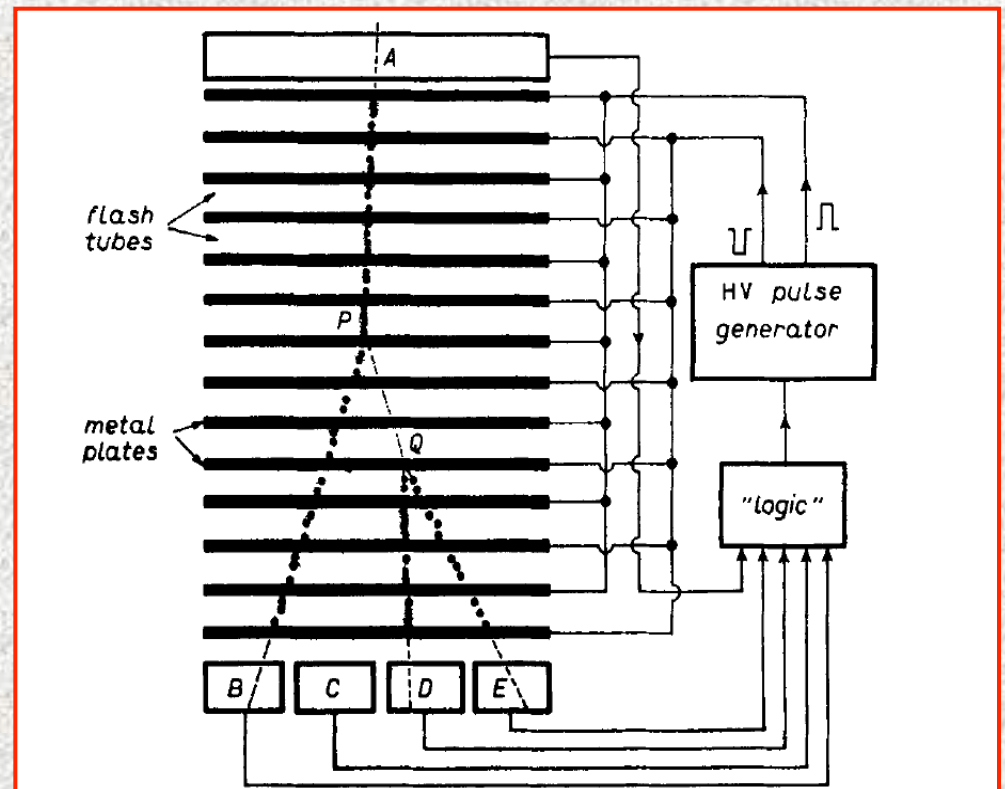
In piazza Torricelli, nell'inverno del '55 Adriano Gozzini e Marcello Conversi sono all'opera...

Dalla collaborazione tra due fisici che provenivano da campi molto diversi tra di loro, sia per la strumentazione utilizzata, sia per problematiche da affrontare, stava nascendo una nuova tecnica di rivelazione e visualizzazione di raggi cosmici che presto verrà applicata alla tracciatura delle particelle sui principali acceleratori del mondo.

Tuttavia, questa era ancora un'ipotesi che doveva essere verificata.

E soprattutto doveva essere messo a punto il sistema di generazione dell'intenso campo elettrico che doveva provocare la cascata elettronica.

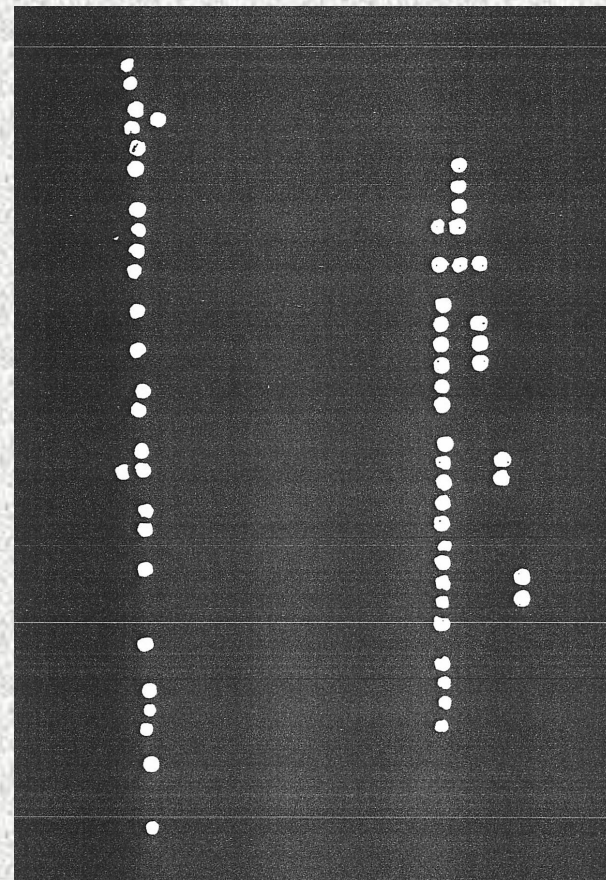
Conversi aveva a disposizione numerosi contatori Geiger-Mueller e propose di utilizzarli per verificare la coincidenza temporale tra il passaggio dei raggi cosmici e l'accensione del neon contenuto nei tubicini di vetro.



L'apparato fu messo in opera nel giro di pochi mesi: due piani di Geiger-Mueller esterni davano il segnale di trigger; dieci strati di tubi di diametro da 0.65 cm e circa 22 cm di lunghezza, riempiti di neon a 35 cmHg, costituivano la prima camera odoscopica.

Il segnale di trigger pilotava a sua volta la generazione di un impulso di alta tensione, dopo un opportuno ritardo di circa $1 \mu\text{s}$,

La granularità del sistema dei tubicini quindi garantiva una risoluzione spaziale notevolmente superiore rispetto ai Geiger-Mueller ed ai contatori proporzionali allora in uso.



The flash-tube hodoscope chamber (HC), developed in 1954-55 at Pisa, was the first member of a new family of particle detectors which have played an important role in the development of cosmic-ray and elementary-particle physics during the last 15 years or so. All detectors of this new family — the most popular of which is the ordinary spark chamber — may be regarded as “electrically pulsed chambers” (EPC), as they operate on the same basic principle involving the application of a pulsed electric field.

M. Conversi, Il Nuovo Cimentoll vol.3 n.3 (1973)

Dalle camere di Gozzini-Conversi alle gigantesche camere a scintilla: la traccia di una particella si può vedere eascoltare

Nello stesso periodo, altri ricercatori osservano il passaggio di raggi cosmici utilizzando sistemi formati da armature metalliche con interposto del gas. Ma questi sono di gran lunga più complessi e meno maneggevoli.

1949 **Keuffel** osserva il formarsi di una scarica tra due piastre metalliche poste a tensione diversa e con interposto un gas al passaggio di raggi cosmici

1953 **Bella e Franzinetti** riescono a fotografare le scintille che si formano lungo il percorso di raggi cosmici

1955 **Hennings e Bragge** migliorano il rivelatore mettendo in parallelo diverse piastre e rendendo più intensa la scarica mediante un condensatore

1957 **Harwell, Cranshaw e de Beer** applicano un voltaggio aggiuntivo subito dopo il passaggio della particella

1959 **Fukui e Migamoto** usano un gas nobile e rendono più rapida l'applicazione della tensione aggiuntiva e osservano l'interazione di più particelle

A questo punto il tracciatore è pronto. Ma ha sempre bisogno di un trigger esterno ed ha un tempo morto che non sarà sufficiente per gli alti rate che caratterizzeranno i nuovi acceleratori.



Come a Pisa nel 1955, Conversi e Gozzini, al CERN nel 1968, Georges Charpak...

Le MWPC (Multiwire Proportional Chamber) proposte da Georges Charpak, Nobel 1992) rappresentano un innovativo passo in avanti, e un ulteriore sviluppo del contatore cilindrico proporzionale.

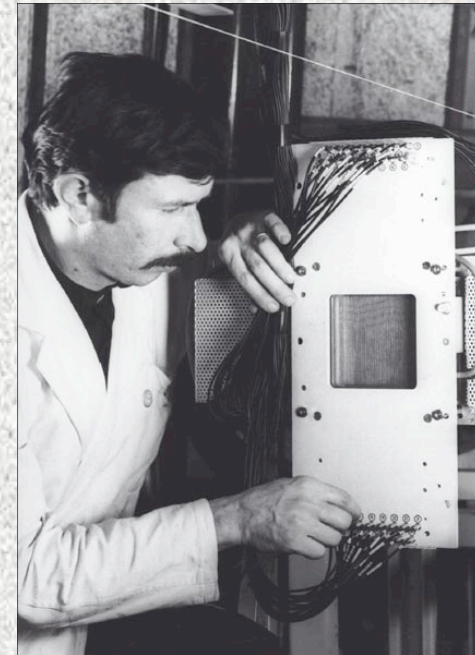
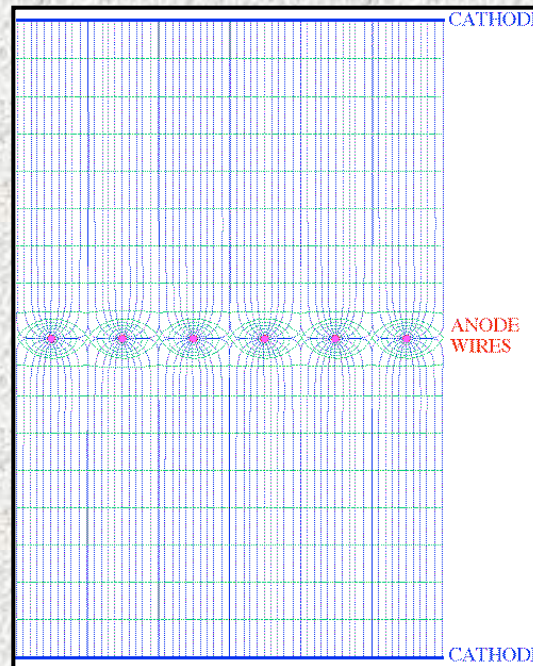
La particolare configurazione del campo elettrico intorno al *sense wire* rende non necessario un trigger esterno.

Le MWPC operano come una **serie di contatori proporzionali indipendenti**.

Le proprietà che rendono le MWPC particolarmente utili nella ricostruzione di eventi ad alta molteplicità ed ad alto rate sono le seguenti.

- piena efficienza ad alti flussi di particelle incidenti
- risoluzione spaziale inferiore alla spaziatura dei fili (< 1 mm)
- risoluzione temporale della decina di Nanosecondi
- *recovery-time*, per singolo filo, dell'ordine del microsecondo;
- grandi dimensioni, con spazi morti trascurabili ($< 5\%$);
- assemblaggio in multipiani
- capacità di operare in campo magnetico

Fin dall'inizio le ricerche si diressero sia nella direzione di studiare ed ottimizzare la miscela di gas (efficienza, invecchiamento, velocità di diffusione), sia nel continuo miglioramento dell'elettronica di lettura (velocità, basso rumore, multi-hits)



R. Bouclier al lavoro
sulla prima MWPC

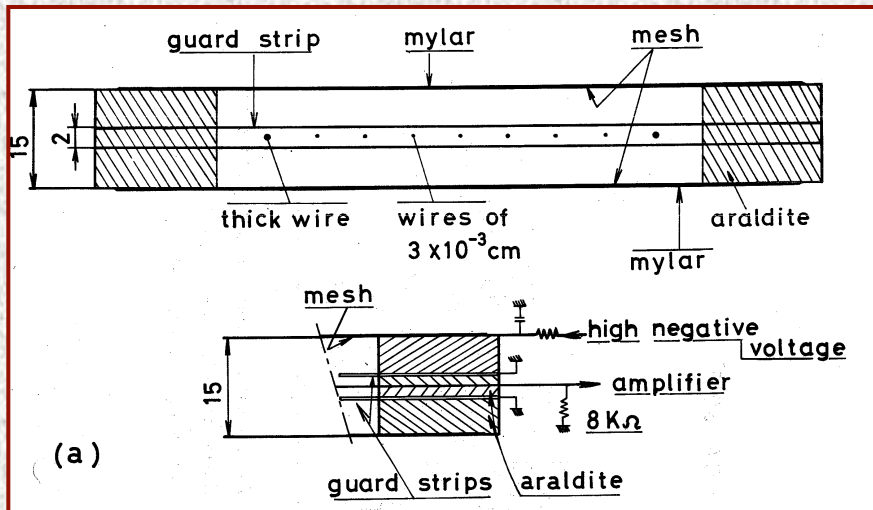
Il primo contatto con questa nuova classe di rivelatori, a Pisa, lo ebbe Carlo Bemporad che in quegli a cavallo ra i '60 e '70, era al CERN dove fu costruito il primo set di camere proporzionali multifililo.

3 maggio 1969

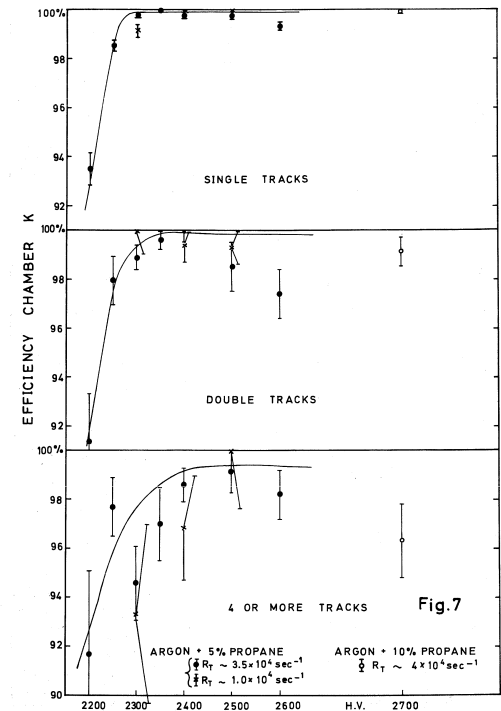
PERFORMANCE OF A SYSTEM OF
PROPORTIONAL WIRE CHAMBERS

C. Bemporad^{*)}, W. Beusch, A.C. Melissinos^{**)} and E. Schuller
CERN, Geneva

P. Astbury and J.G. Lee
Imperial College, London



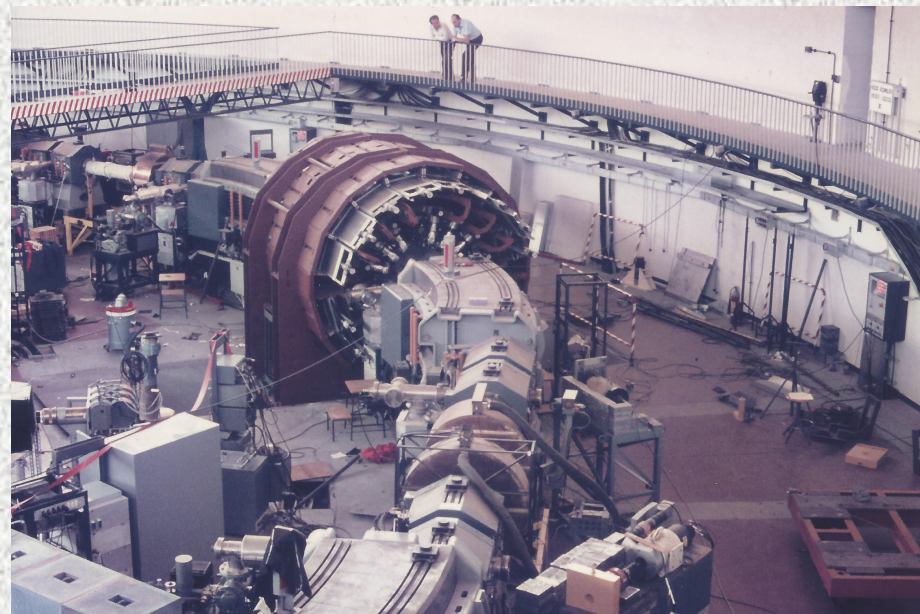
Come succede ogni volta che si sviluppa e si costruisce un nuovo strumento per effettuare un esperimento di fisica, strumento che si basa anch'esso sulle conoscenze che la fisica offre, diventa necessario studiare e comprendere meglio quelle leggi che sono alla base del suo funzionamento. Queste infatti ne determinano le caratteristiche e le prestazioni. Quindi, anche studiando i meccanismi di rivelazione, si dà un contributo alla conoscenza del mondo fisico.



L'esperimento $B\bar{B}$ ad Adone utilizza migliaia di *flash-tubes* opportunamente sviluppati

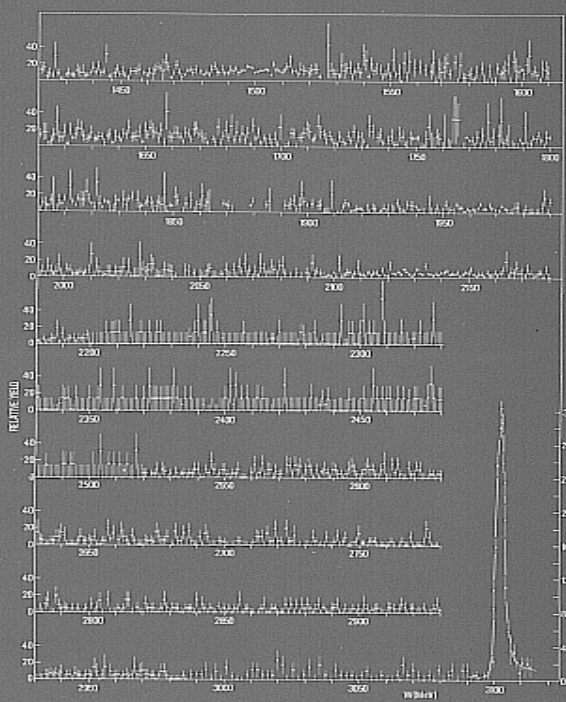
Dal 1969, a Frascati era in funzione ADONE, l'anello di accumulazione per elettroni e positroni, che raggiungeva l'energia nel c.m. di 3 GeV, la maggiore al mondo.

Dopo gli esperimenti di prima generazione, fu proposto dalla collaborazione Frascati-Napoli-Pisa-ISS, un esperimento per studiare la produzione di coppie di adroni.



Nel 1974 $B\bar{B}$ partecipa alla scoperta della J/Ψ

Ormai i rivelatori visualizzanti erano in grado di essere accoppiati all'elettronica di lettura, automatizzando e velocizzando la *data-acquisition*. Ma proprio per questa nuova esigenza, i 'vecchi' tubicini di Conversi-Gozzini andavano sviluppati, in termini di rapidità nella risposta e di rate capability. Era la prima volta che si utilizzavano su un anello di accumulazione che per topologia degli eventi prodotti poneva problemi completamente diversi rispetto a quelli a targhetta fissa.



Il sistema 4π di camere a deriva: *vertex detector* per l'esperimento R-209 agli ISR del CERN (1978)

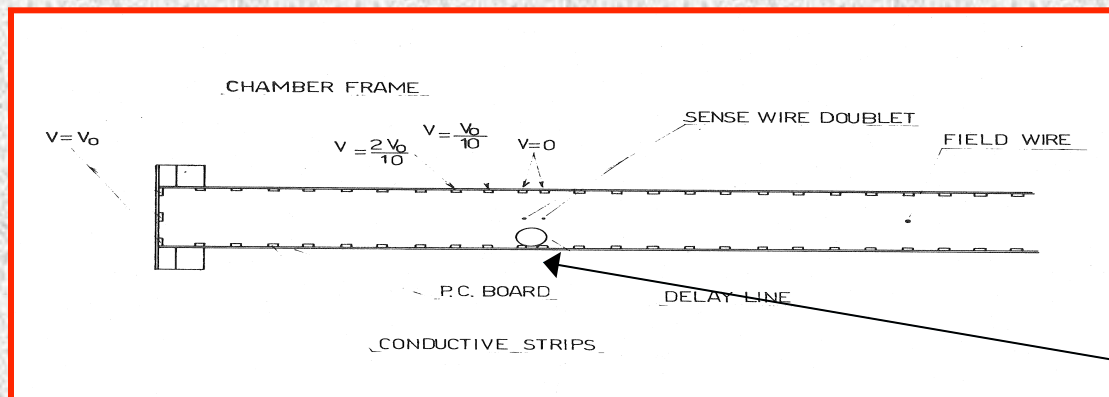
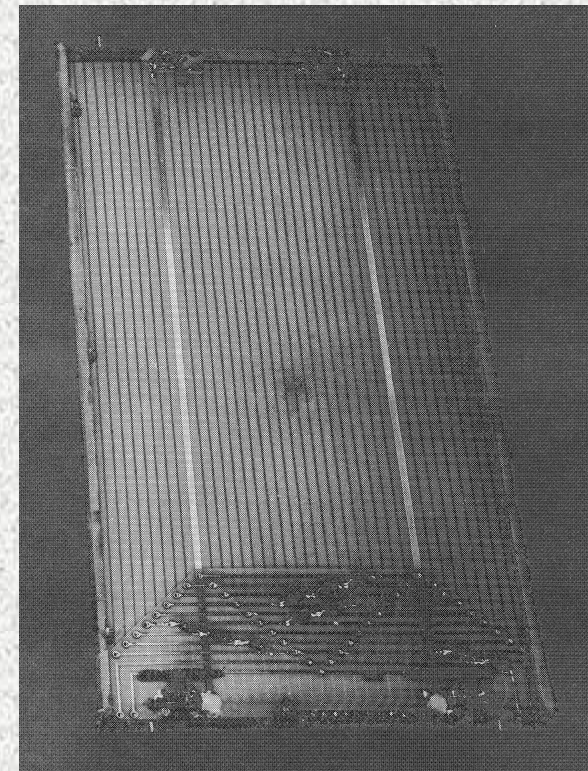
Il principio di funzionamento di una **Drift-Chamber** è la misura del tempo che intercorre tra la prima ionizzazione e la rilevazione del segnale sull'anodo che, nota la velocità di deriva, permette di localizzare la traccia.

Il primo utilizzo massiccio di camere a deriva di elettroni, proposte già nel 1970 da Charpack e Sauli e messe in opera da Walenta nel 1971, fu realizzato dal **Gruppo ISR di Pisa**.

L'esperimento **R-209**, agli **ISR**, l'anello di accumulazione per protoni fino a 62 Gev, aveva lo scopo di ricostruire la massa invariante di coppie di muoni prodotte in interazioni p-p mediante uno spettrometro magnetico, un rivelatore di vertice e tracciatori dei muoni fuori dal magnete.

I primi prototipi furono sviluppati dal Gruppo di Pisa a partire dal 1975. La configurazione dell'esperimento, imponeva la minimizzazione degli spazi morti, la risoluzione dell'ambiguità d/s e la lettura della seconda coordinata;

Il rivelatore di vertice era costituito da **136 camere a deriva di elettroni**.

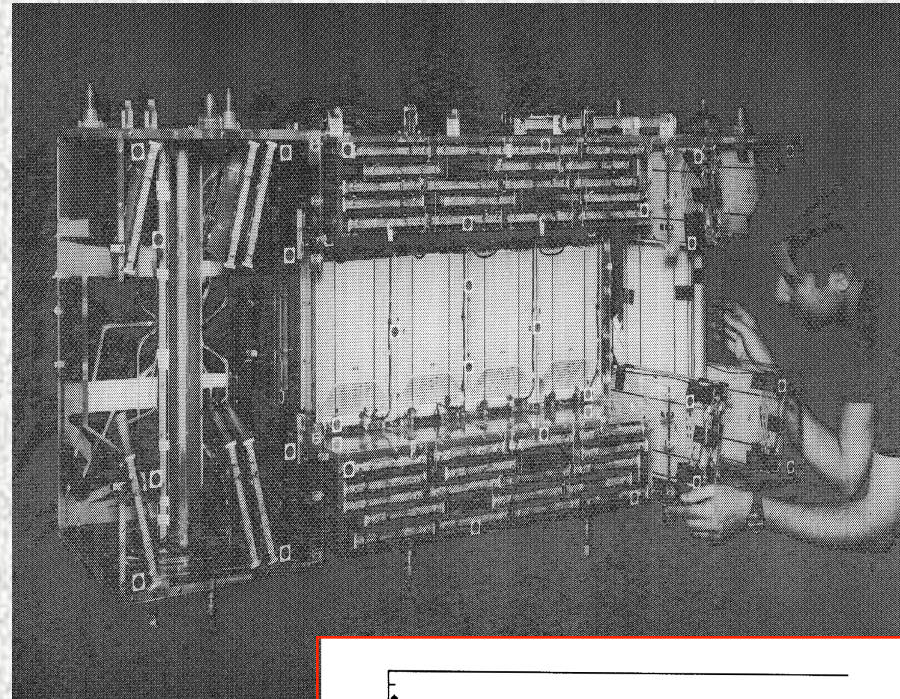


Efficienza, 99 %,
risoluzione, in x = 100 μm ,
in y, 1,5 mm
 $V_d = 5 \text{ cm/ns}$

Si vede la coppia di sense wire e la **delay-line** sul piano catodico

Fin dall'inizio le ricerche si diressero nella direzione di studiare ed ottimizzare la miscela di gas (efficienza, invecchiamento, velocità di diffusione), di sviluppare nuove delay-line, di continuo miglioramento dell'elettronica di *front-end* (velocità, basso rumore, multi-hits),

Un parametro cruciale era la verifica della uniformità del campo elettrico che poteva essere deformato da elettrodi posizionati localmente per portare l'alimentazione HV ai catodi. Anche le *delay-lines* poste immediatamente sotto la coppia di *sense wires* poteva generare distorsioni che avrebbero inficiato sia l'efficienza di rivelazione sia la risoluzione spaziale.

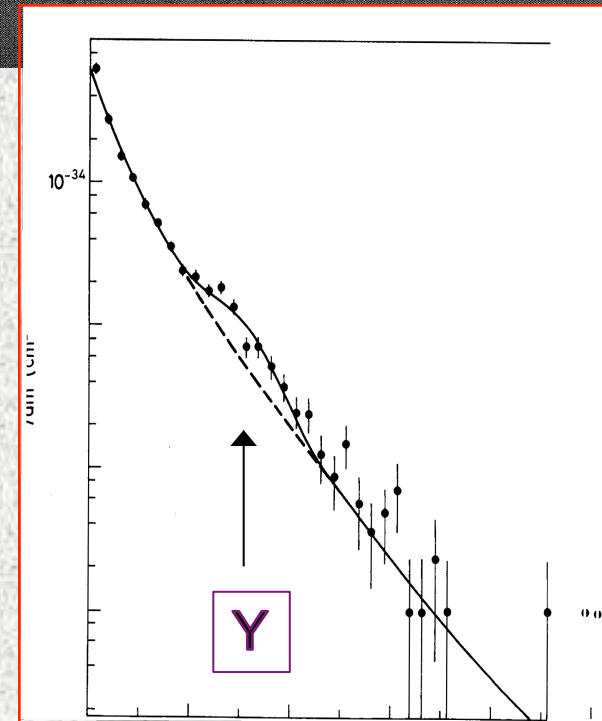


A MODULAR DRIFT-CHAMBER VERTEX DETECTOR AT THE CERN ISR

A. Bechini, C. Betti, F. Bosi, P.L. Braccini, R. Carrara,
R. Castaldi, V. Cavasinni, F. Cervelli, G. Ciancaglini,
T. Del Prete, P. Laurelli, P. Marchi, M.M. Massai, M. Morganti,
G. Sanguinetti, M. Valdata-Nappi and C. Vannini

CERN, Geneva, Switzerland

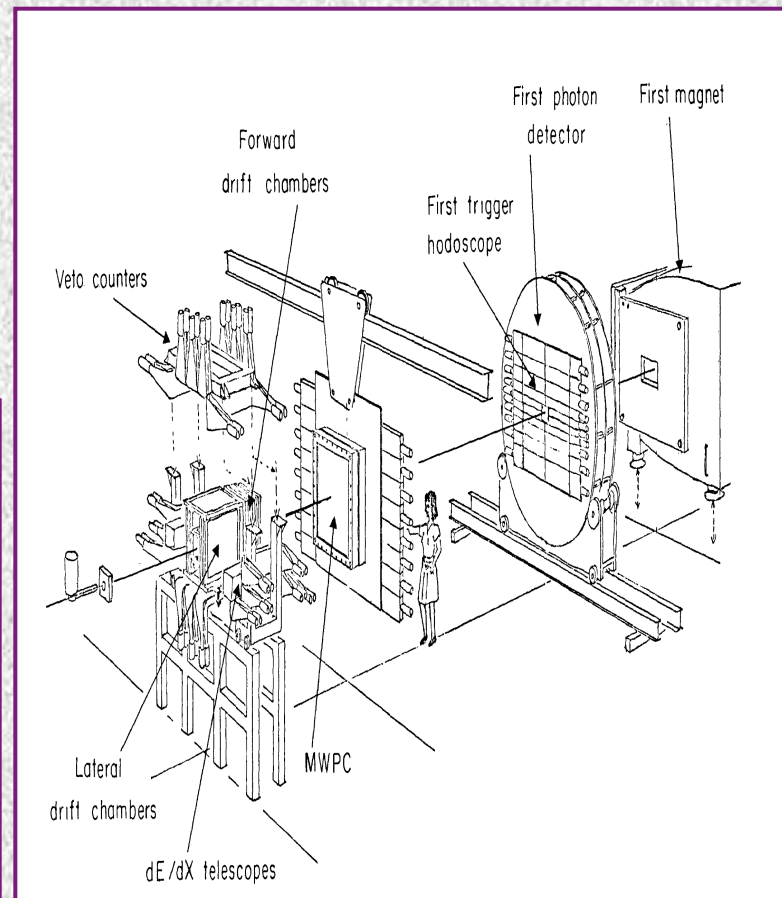
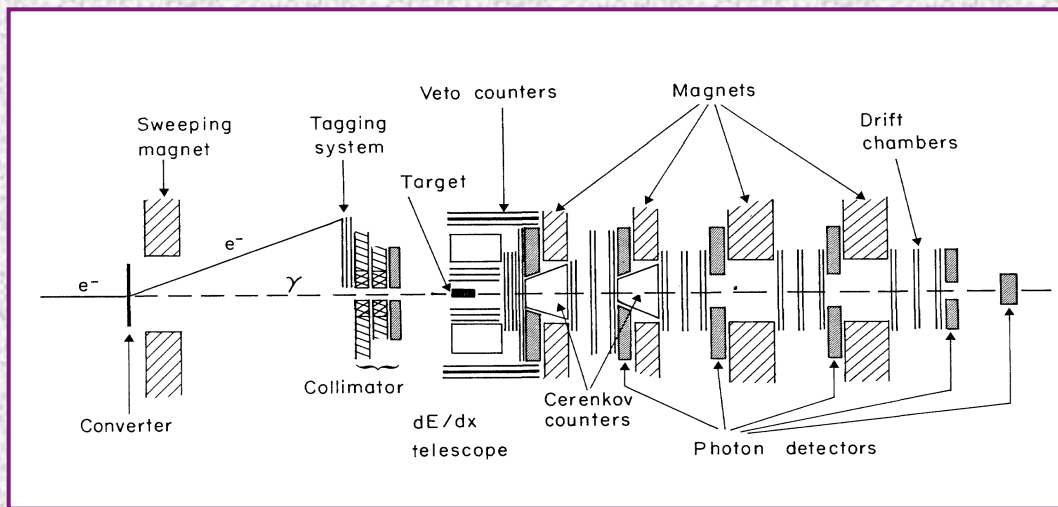
Istituto di Fisica dell'Università di Pisa,
Scuola Normale Superiore, Pisa,
Sezione di Pisa dell'INFN, Italy



L'esperimento FRAMM NA1, al CERN: MWPC e Drift Chambers, come tracciatori dello spettrometro

NA1 (FRAMM) è stato un esperimento al SPS del CERN, a partire dalla fine degli anni '70. Lo scopo dell'esperimento era l'indagine della produzione indotta da fotoni di bosoni scalari e vettoriali, nonché di adroni contenenti quark c . L'apparato sperimentale utilizzava diversi piani di drift chambers e MWPC che servivano a ricostruire le tracce delle particelle deflesse dal campo magnetico.

Alcune delle camere proporzionali di Framm troveranno una ben diversa ed originale applicazione...



Dalla fisica delle alte energie alla fisica medica: MWPC per studi di medicina e biologia (1980)

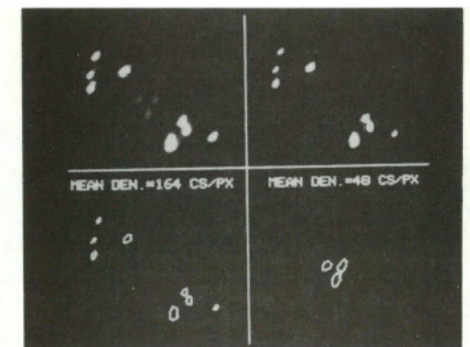
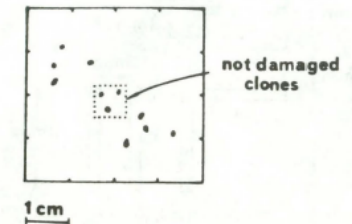
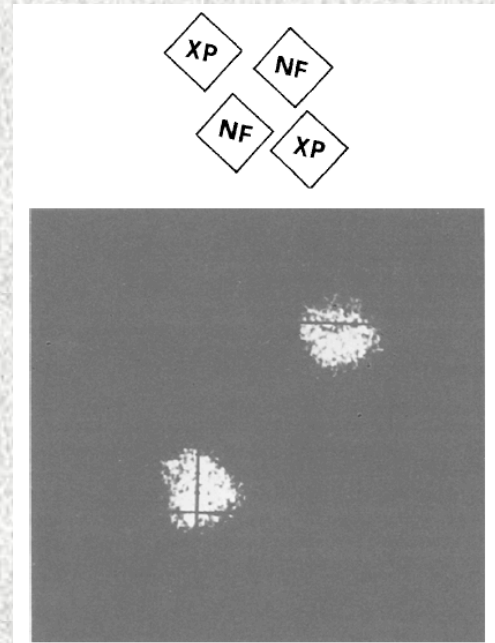
Alla fine degli anni '70 Alberto Del Guerra inizia lo studio di fattibilità dell'utilizzo dei rivelatori a gas, in particolare le MWPC, in campo biomedico. Dopo uno studio teorico, con l'assegnazione di tre tesi di laurea inizia la sperimentazione in Laboratorio.

Progetto, costruzione, test, prima di iniziare in collaborazione con biologi e medici.

Le fasi iniziali videro l'utilizzo di alcune camere di Framm!

Sono esperimenti nei quali era necessario rivelare e misurare la **distribuzione bidimensionale di isotopi radioattivi** utilizzati quali indicatori di processi biologici; i campioni erano marcati con ^3H o con ^{14}C .

- 1) Identificazione di cellule di Xeroderma pigmentoso incapaci di riparare danni indotti al DNA, in mezzo a colture di cellule normali opportunamente marcate con ^3H . (Istituto Mutagenesi e Differenziamento, CNR, Pisa)
- 2) Mappatura della distribuzione di deossiglucosio marcato con ^3H in campione di muscolo cardiaco preventivamente ischemizzato), Istituto di Fisiologia Clinica, CNR, Pisa
- 3) Misura del contenuto minerale delle ossa di donne in menopausa con X del Gadolinio (Istituto di Radiologia, Facoltà di Medicina, Pisa)



I primi lavori interdisciplinari che utilizzano rivelatori a gas, in collaborazione con biologi e medici

A MWPC with a cathode coupled delay line read-out as radioactivity detector for DNA repair studies”

R.Bellazzini, C.Betti, A. Del Guerra, M.M.Massai, M.Ragadini, G.Spandre
Istituto di Fisica dell'Università e sezione INFN
Nucl. Instr. And Methods190, 1981

Direct Screening of Living Mammalian Cell Colonies for the Identification of DNA Repair Deficient Mutants by a Multiwire Proportional Chamber

A. Abbondandolo* and S. Bonatti
Istituto di Mutagenesi e Differenziamento del C.N.R, Pisa
R. Bellazzini, G. Betti, A. Del Guerra, M. M. Massai, M. Ragadini,
G. Spandre, and G. Tonelli
Istituto di Fisica dell'Università e sezione INFN
Radiat. Environ. Biophys. 21, 1982

DNA –repair deficient cells identification with a MWPC

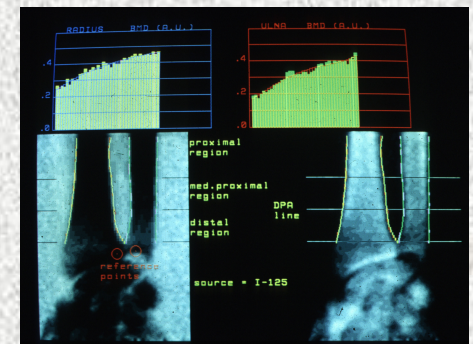
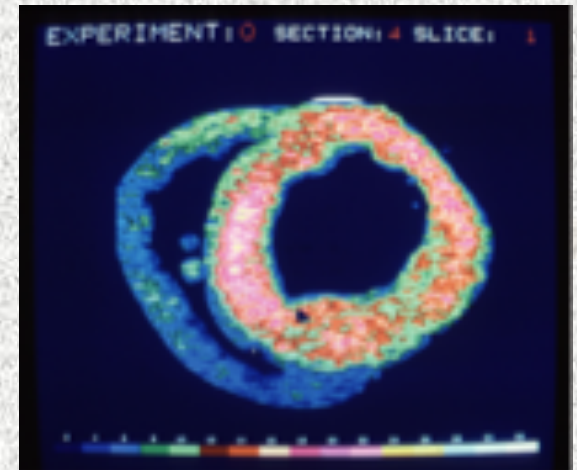
R. Bellazzini{, G. Betti, A. Del Guerra, M.M. Massai M. Ragadini{, G. Spandre{,
G. Tonelli
Istituto di Fisica dell'Università e sezione INFN
A.Abbondandolo, S. Bonatti
Istituto di Mutagenesi e differenziamento – CNC
Physics Letters 92A, 1982

Digital imaging of regional glucose metabolism of the hearthwith a MWPC

R. Bellazzini, A. Del Guerra, M.M. Massai M. Ragadini{, G. Spandre{, G.
Tonelli
IEEE Trans. Nucl. Sci. 30, 1 1983

Biomedica Applications of Digital Autoradiography With a MWPC

R. Bellazzini{, G. Betti, A. Del Guerra, M.M. Massai M. Ragadini{, G. Spandre{,
G. Tonelli{ F..Zito e, R. Venturi(
LBL, 13772, 1982



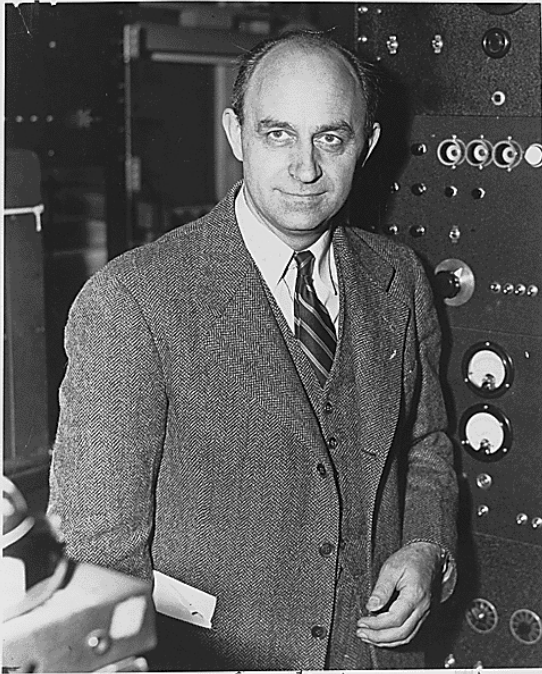
**...una inaspettata e gradita visita nel nuovo
Laboratorio di San Piero, alcuni anni dopo!**



Conclusioni

Ci sembra molto efficace, ed attuale ancor oggi, questo pensiero di Enrico Fermi che fu studente in questa Aula. Pensiero che può ben sintetizzare quello che è stato lo spirito dell'Istituto di Fisica di Piazza Torricelli, in questi lunghi e ormai lontani decenni appena trascorsi.

MMM e GS



La storia della scienza e della tecnologia ci ha spesso insegnato che i progressi scientifici nelle conoscenze di base hanno sempre portato prima o poi ad applicazioni tecniche e industriali che hanno rivoluzionato il nostro modo di vivere.

Enrico Fermi