

# AdA

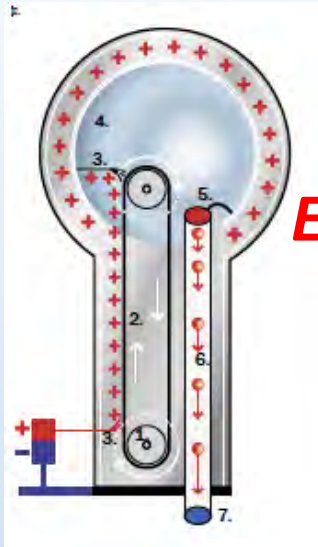
il primo collisore positrone-elettrone  
a sessanta anni dai primi fasci accumulati

Enzo Iarocci

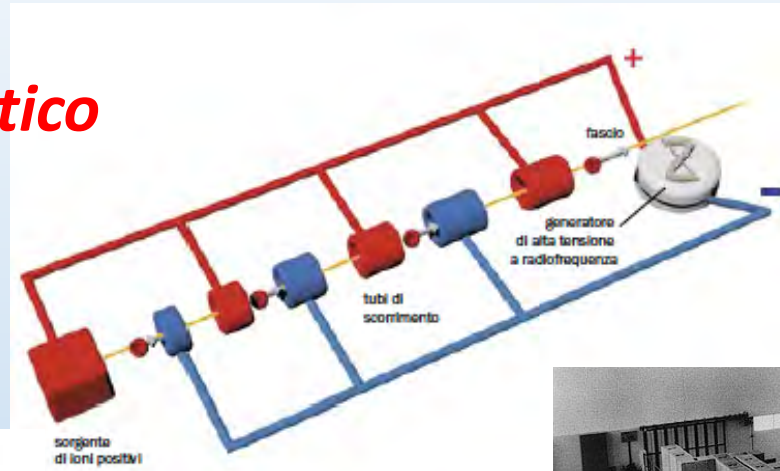
Laboratori Nazionali di Frascati, INFN

Congresso Sif 2021

# Acceleratori: evoluzione dei principali tipi

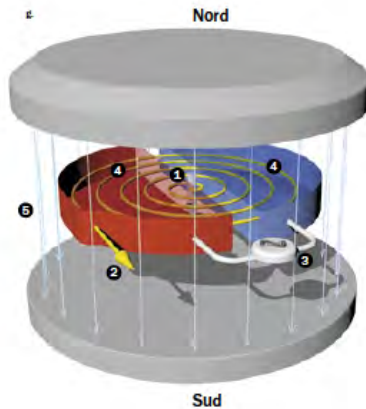


**Elettrostatico**



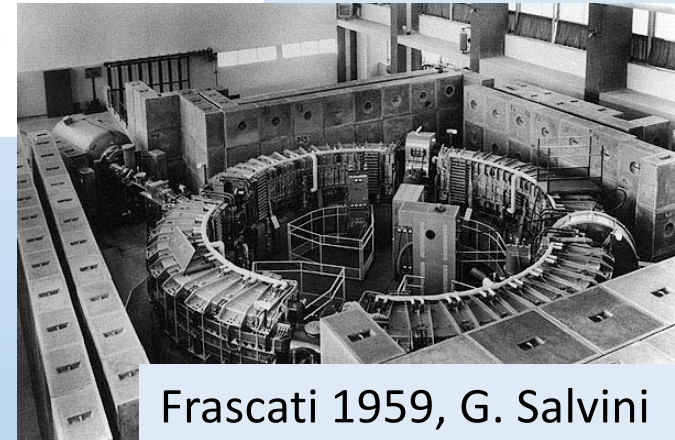
**Lineare**

**Sincrotrone**



**Ciclotrone**

$$\omega = eB/m \text{ per } v \ll c$$



Frascati 1959, G. Salvini

Particelle di energia  $E$  su bersaglio fisso

$$E_{\text{utile}} = E_{\text{c.m.}}$$

In regime relativistico

$$E_{\text{c.m.}} \propto \sqrt{E}$$

**Collisore**

di fasci accumulati

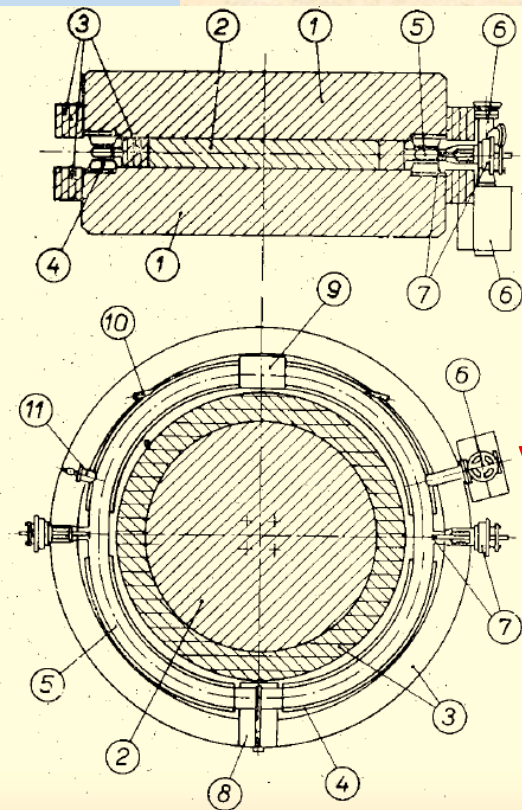
$$E \text{ vs } E \rightarrow E_{\text{utile}} = 2E$$

# 1960 l'idea

oltre il vantaggio cinematico

IL NUOVO CIMENTO

## il progetto



vuoto

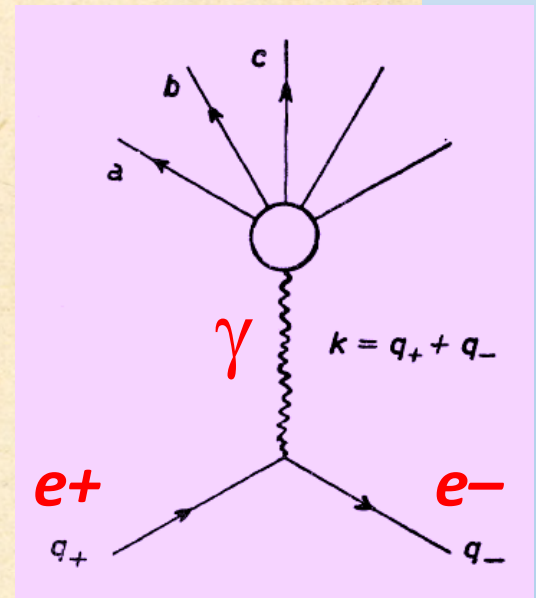
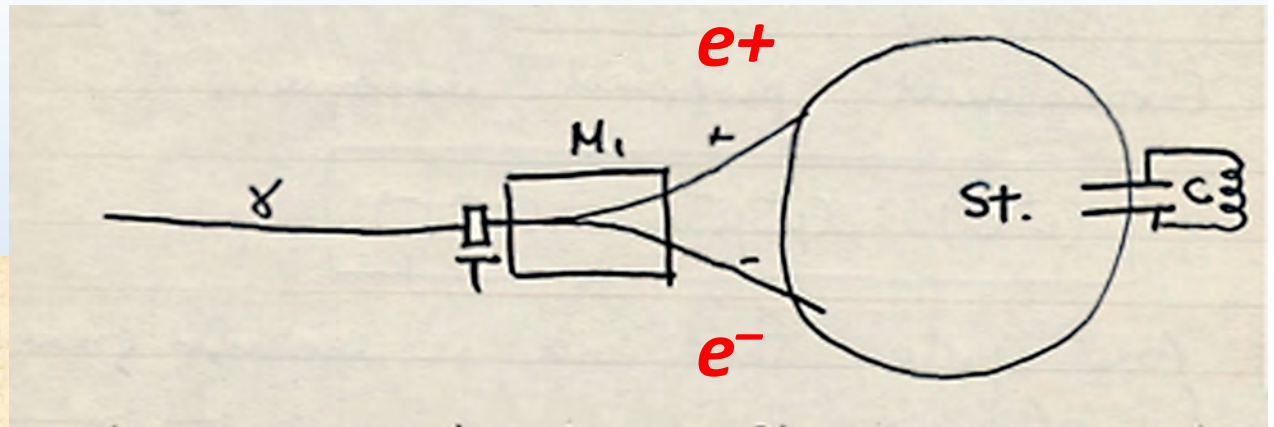
### The Frascati Storage Ring.

C. BERNARDINI, G. F. CORAZZA, G. GHIGO  
*Laboratori Nazionali del CNEN - Frascati*

B. TOUSCHEK

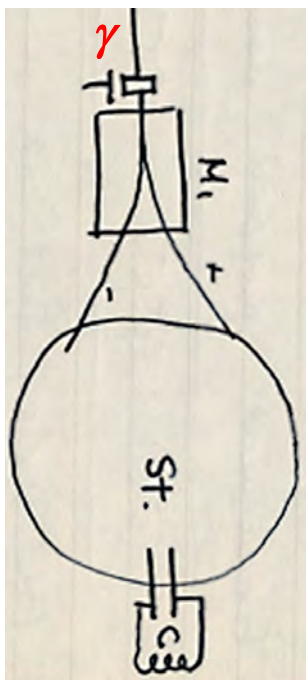
*Istituto di Fisica dell'Università - Roma*  
*Istituto Nazionale di Fisica Nucleare - Sezione di Roma*

(ricevuto il 7 Novembre 1960)



da Cabibbo e Gatto  
1961





# 1961 primi fasci accumulati

## difficoltà di iniezione

*“progetto di fisici che avevano fretta”*  
(C. Bernardini)

IL NUOVO CIMENTO

VOL. XXIII, N. 1

1° Gennaio 1962

### Progress Report on AdA (Frascati Storage Ring).

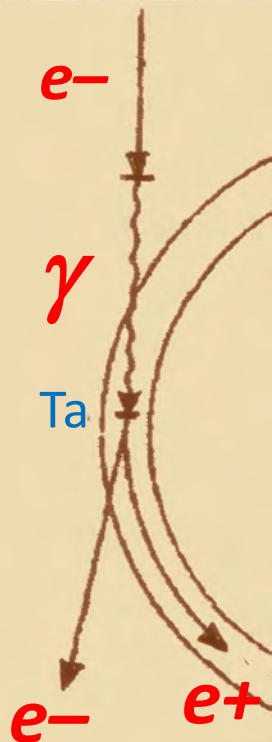
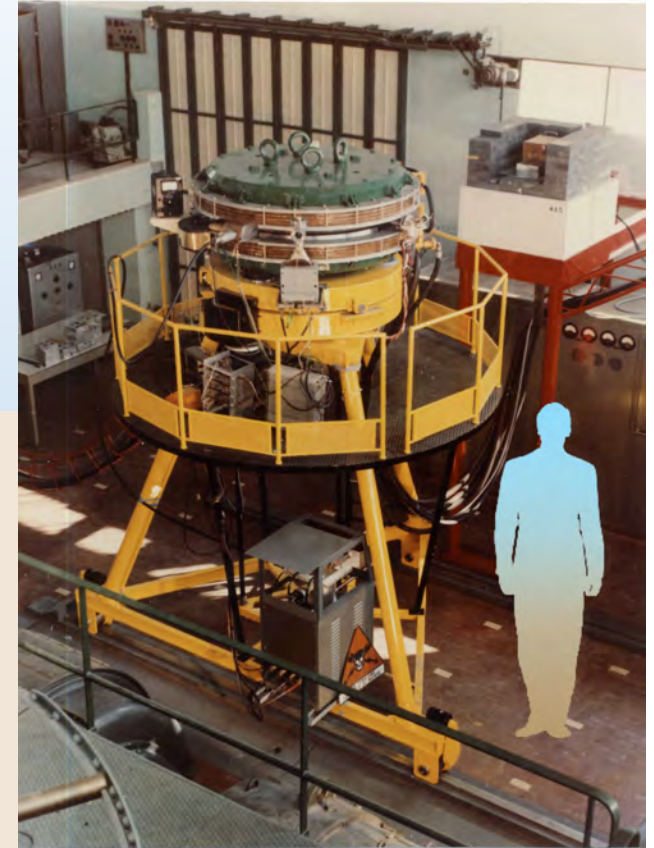
C. BERNARDINI, U. BIZZARRI, C. F. CORAZZA, G. GHIGO and R. QUERZOLI  
*Laboratori Nazionali del C.N.E.N. - Frascati (Roma)*

B. TOUSCHIEK

*Istituto di Fisica dell'Università - Roma*  
*Istituto Nazionale di Fisica Nucleare - Sezione di Roma*

(ricevuto il 28 Dicembre 1961)

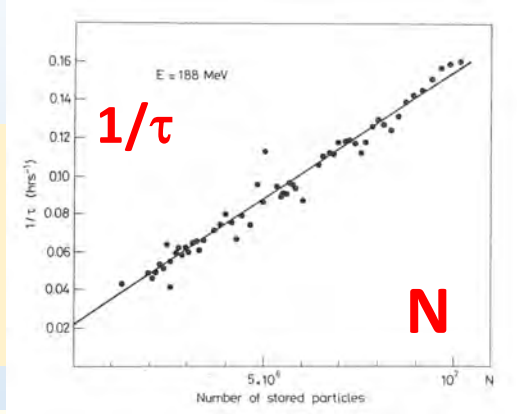
**Summary.** — The Frascati-storage ring AdA has reached a capture rate of 8 electrons (or positrons) per second at a distance of 15 m from the synchrotron. The maximum mean life so far observed is 5 h.



**vita media 5 ore**

# 1962 a Orsay e<sup>-</sup> dal Linac

*effetto Touschek  
perdita particelle di un pacchetto  
per interazioni fra loro*



9 PHYSICAL REVIEW LETTERS

LIFETIME AND BEAM SIZE IN A STORAGE RING

C. Bernardini, G. F. Corazza, G. Di Giugno, and G. Ghigo  
Laboratori Nazionali del Sincrotrone, Frascati, Roma, Italy

and

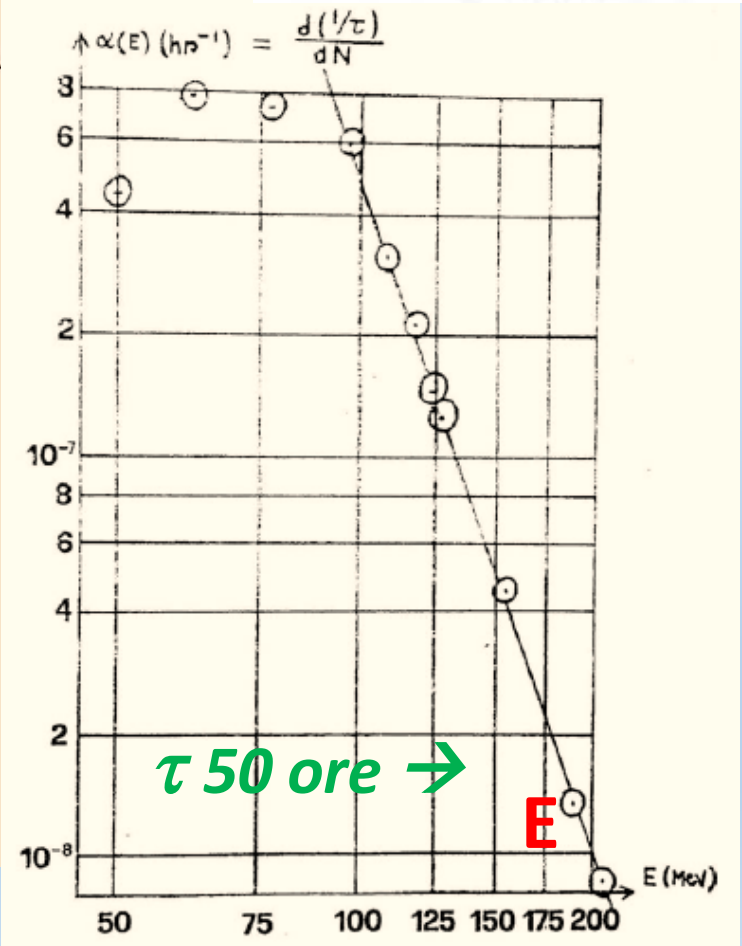
J. Haissinski and P. Marin  
Laboratoire de l'Accelerateur Lineaire, Orsay, France

and

R. Querzoli  
Laboratori Nazionali del Sincrotrone, Frascati, Roma, Italy

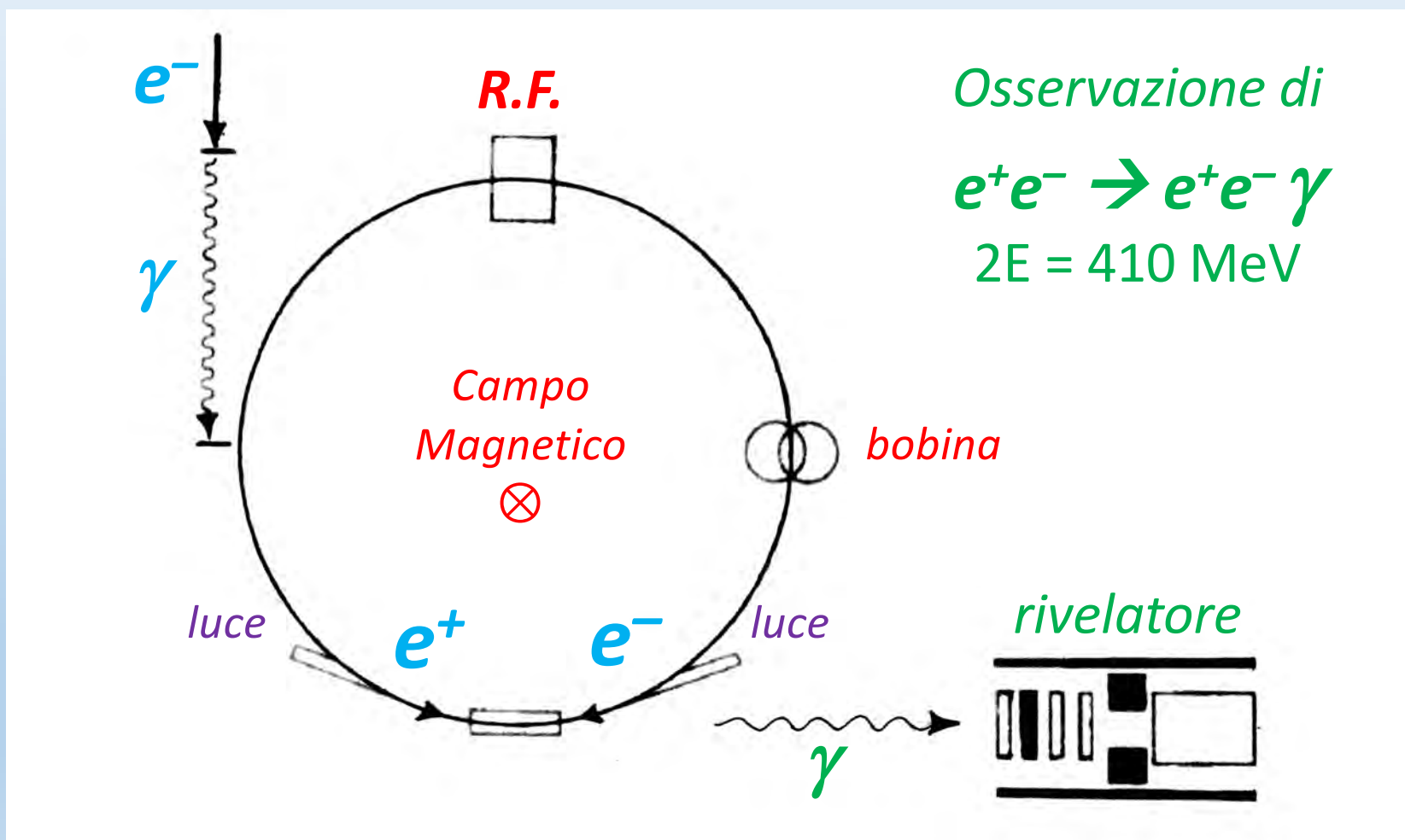
and

B. Touschek  
Istituto Nazionale de Fisica Nucleare, Roma, Italy  
(Received 1 April 1963)



# Dimostrazione delle interazioni $e^+e^-$

Luminosità insufficiente per osservare  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$





# 1964 lavoro conclusivo su $e^+e^- \rightarrow e^+e^-\gamma$

## Measurements of the Rate of Interaction between Stored Electrons and Positrons (\*)

C. BERNARDINI and G. F. CORAZZA

*Laboratori Nazionali - Frascati*

G. DI GIUGNO

*Istituto di Fisica Superiore dell'Università - Napoli*

J. HAISSINSKI and P. MARIN

*Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire - Orsay*

R. QUERZOLI

*Istituto di Fisica Superiore dell'Università - Napoli*  
*Laboratori Nazionali - Frascati*

B. TOUSCHEK

*Istituto Nazionale di Fisica Nucleare - Sezione di Roma*

(ricevuto il 16 Luglio 1964)

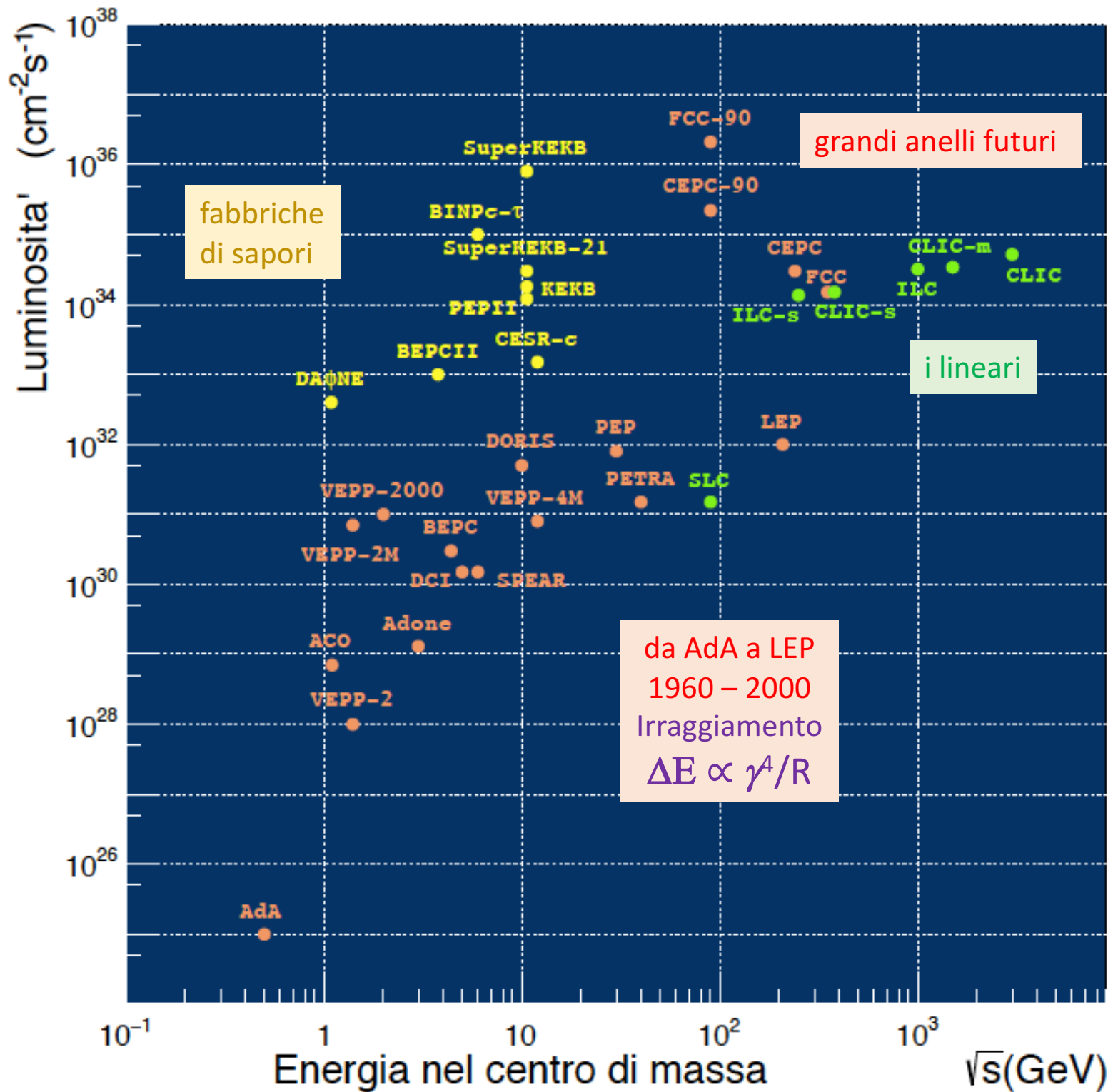
## 1961 Proposta ADONE

Laboratori Nazionali di Frascati del CNEN  
Servizio Documentazione

Nota interna n° 68

27 Gennaio 1961

F. Amman, C. Bernardini, R. Gatto, G. Ghigo, B. Touschek:  
ANELLO DI ACCUMULAZIONE PER ELETTRONI E POSITRONI (ADONE)



# Collisori $e^+e^-$

**Luminosità**

vs

**E centro di massa**

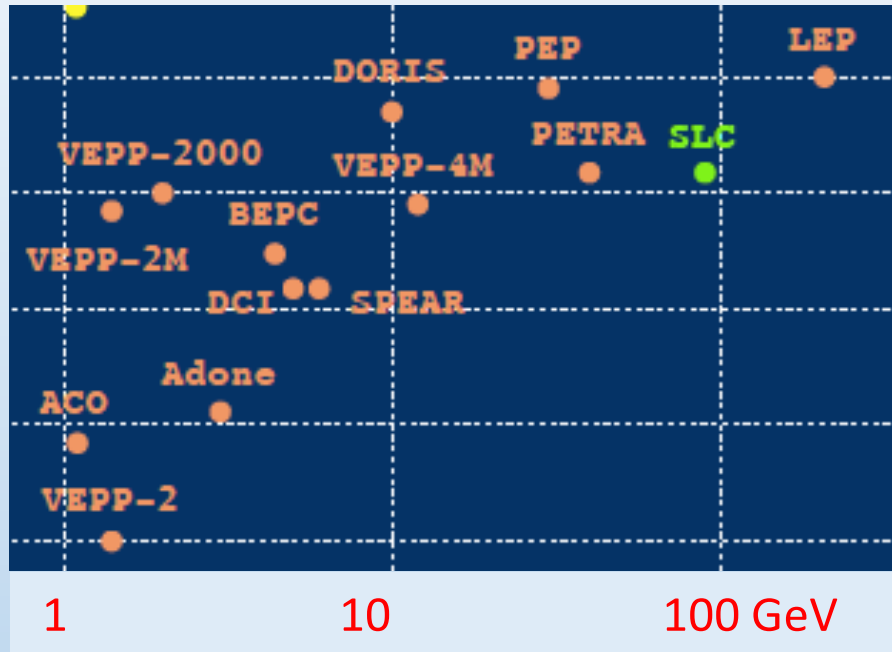
Frequenza eventi

= **Luminosità**

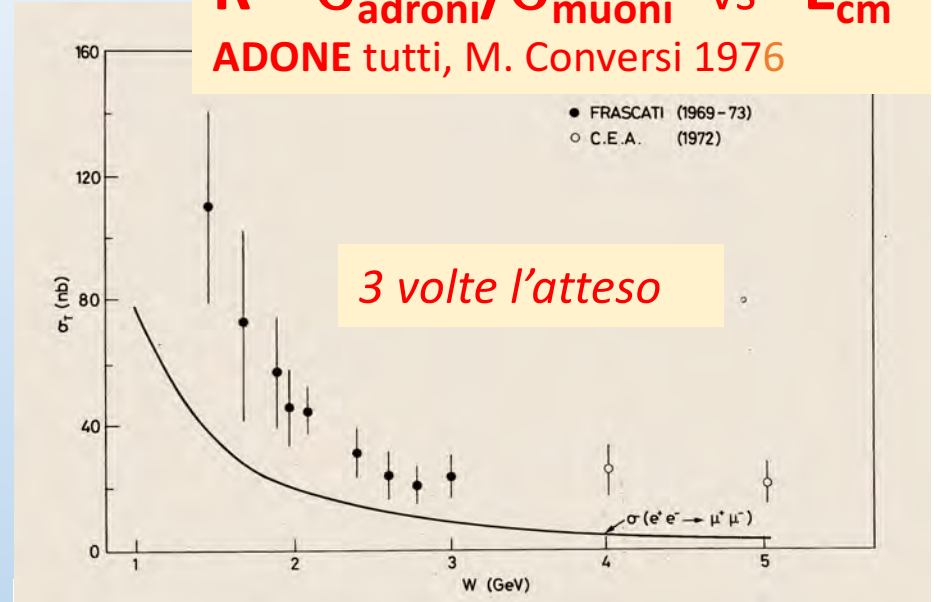
x Sezione d'urto



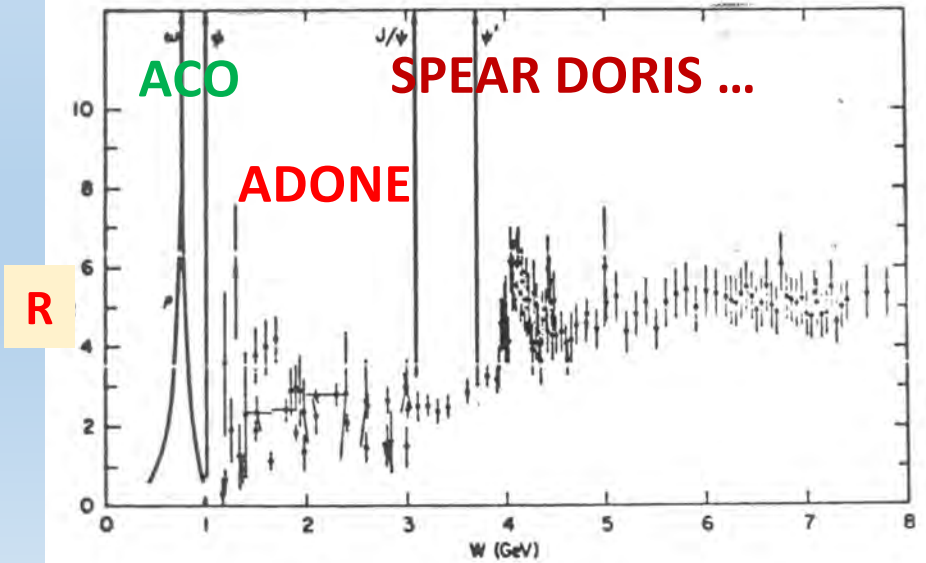
ACO<sub>Orsay</sub> ADONE<sub>LNf</sub> SPEAR<sub>SLAC</sub> DORIS<sub>DESY</sub> PEP<sub>SLAC</sub> PETRA<sub>DESY</sub> LEP<sub>CERN</sub>



$R = \sigma_{\text{adroni}} / \sigma_{\text{muoni}}$  vs  $E_{\text{cm}}$   
 ADONE tutti, M. Conversi 1976



ACO:  $\rho \omega \Phi$   
 ADONE: R e carica di colore dei quark  
 J/ $\Psi$   $\Psi'$  ...  $\tau$  mesoni D (il quark c) il leptone  $\tau$   
 I jet di quark e gluoni  
 Affermazione della Teoria Standard



# Priorità

## W.K.H. Panofski

Rev. Mod. Phys. 1999, centenario APS, Acceleratori: *non cita Touschek*

## Burton Richter

### Nobel lecture, 1976

cita solo G.K. O'Neill, l'idea di due anelli tangenti elettrone-elettrone, 1956

### The Rise of Colliding Beams, 1992

Referenze: R. Wideroe, D. W. Kerst, G. K. O'Neill.

Nel testo tuttavia commenta:

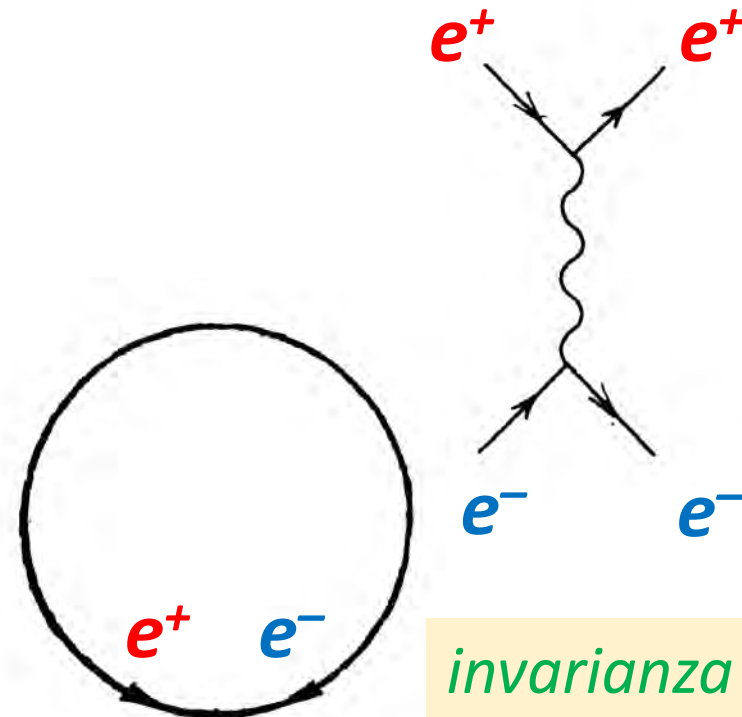
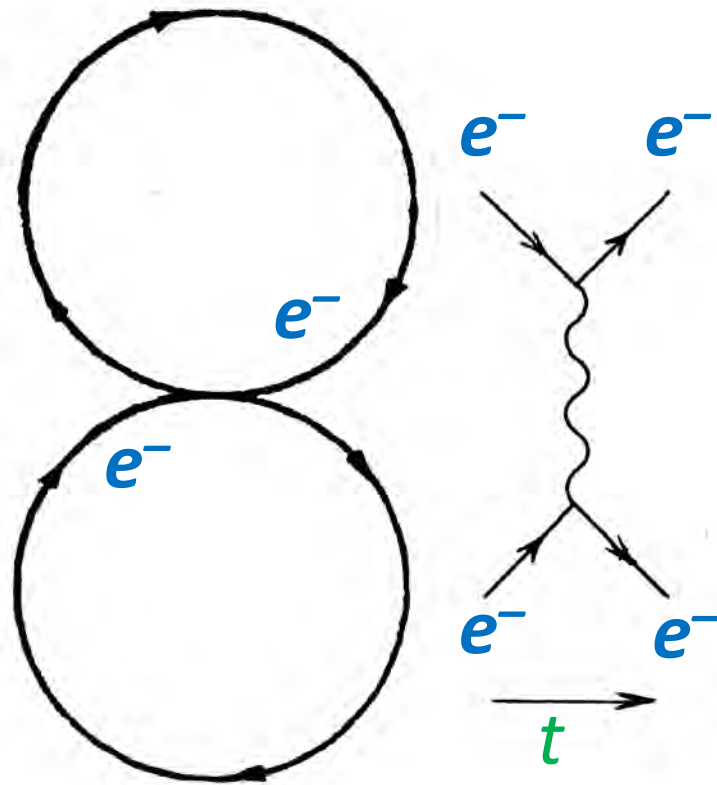
*"The first step in the electron-positron direction was taken in Italy, and the key personality was Bruno Touschek. There is a seminal moment in this story that occurred at a seminar by Touschek at Frascati on March 7, 1960, in which Touschek outlined the scientific potential of electron-positron annihilation studies."*

*"In my opinion, AdA was a scientific curiosity that contributed little of significance to the developments of colliding beams."*

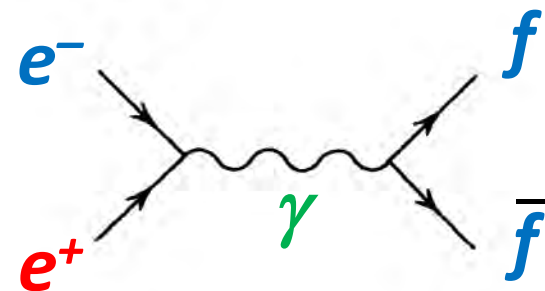
# $e^-e^-$ O'Neill 1956 vs $e^+e^-$ Touschek 1960

The Storage-Ring Synchrotron

The Frascati Storage Ring



*invarianza di CP*



## *Flessibilità nelle priorità*

R. Wideroe, 1943, concetto di collisore, *brevetto*

D. W. Kerst et al., 1956, *concetto*, Phys. Rev.

G. K. O'Neill, 1956, *progetto  $e^-e^-$* , Phys. Rev.

*AdA, 1960, l'idea  $e^+e^-$ , Nuovo Cimento*

*AdA, 1961, primi fasci accumulati*

*AdA, 1964, prime interazioni  $e^+e^-$  osservate (\*)*

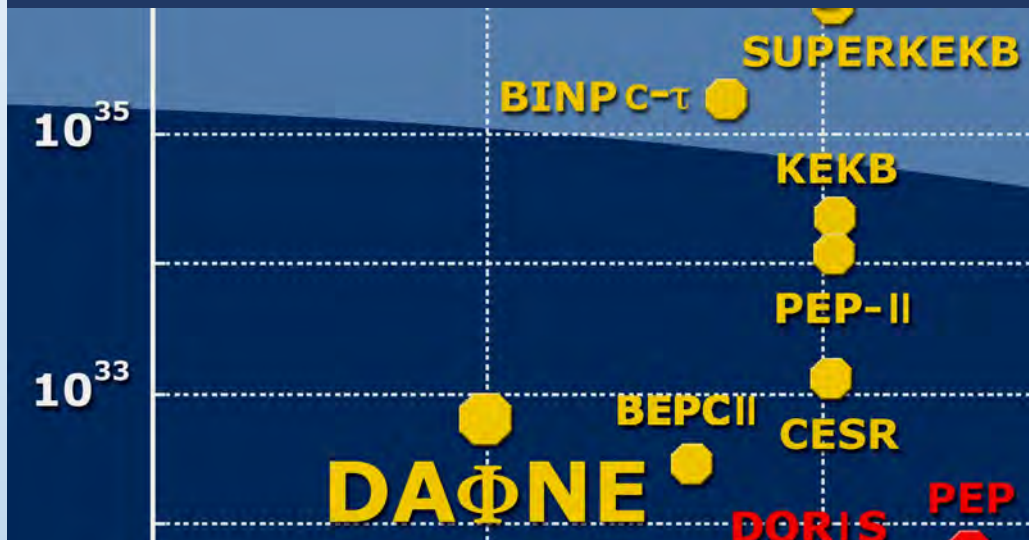
G. K. O'Neill con B. Richter et al, 1966, studio  $e^-e^-$

(\*) In questi lavori non ci sono riferimenti

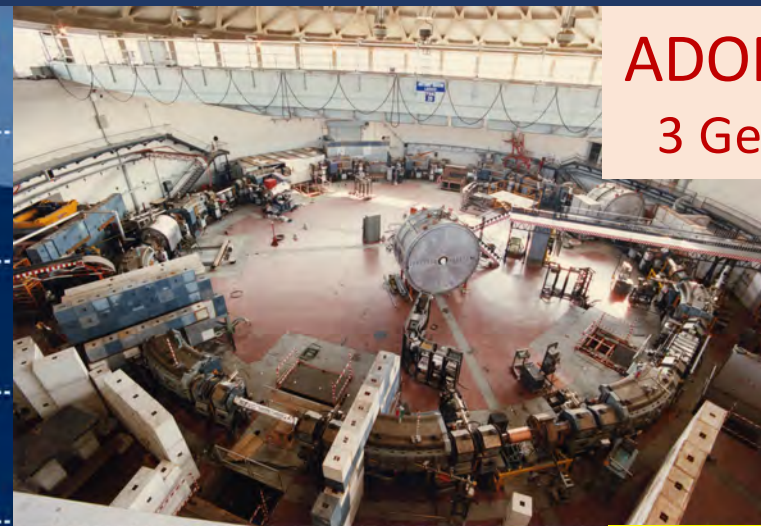


# Anni '90, verso le Alte Luminosità

per produrre particolari *sapori* di quark ( $s, c, b$ )  
col principale obiettivo di studiare la violazione di CP



A Frascati 1 GeV



ADONE  
3 GeV



DAFNE  
1 GeV

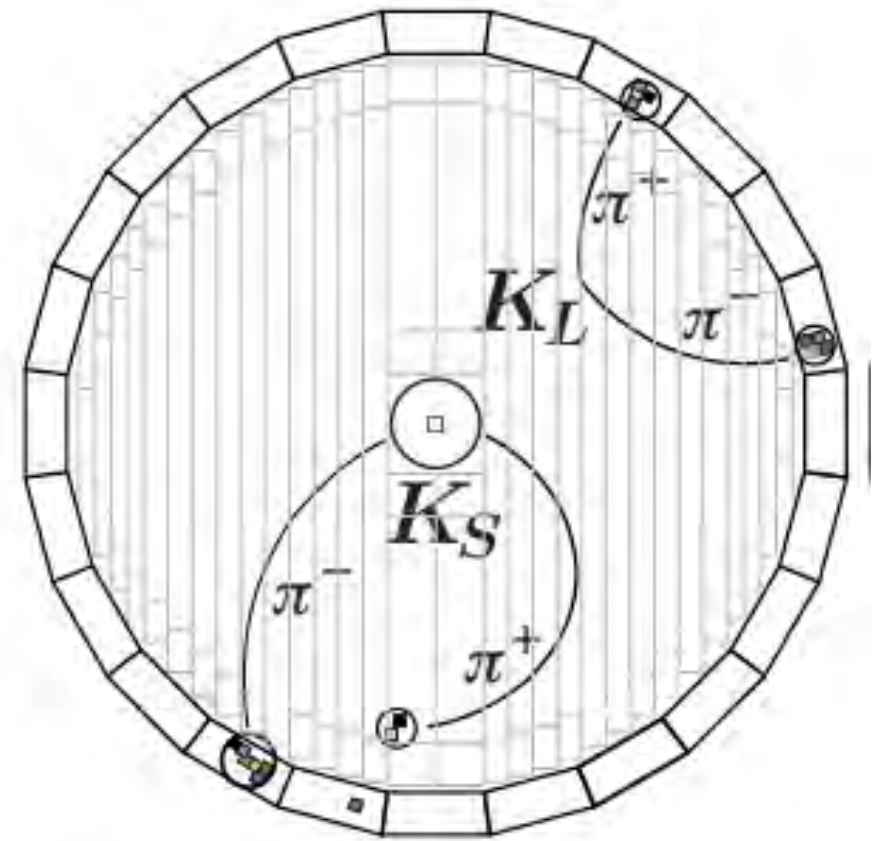
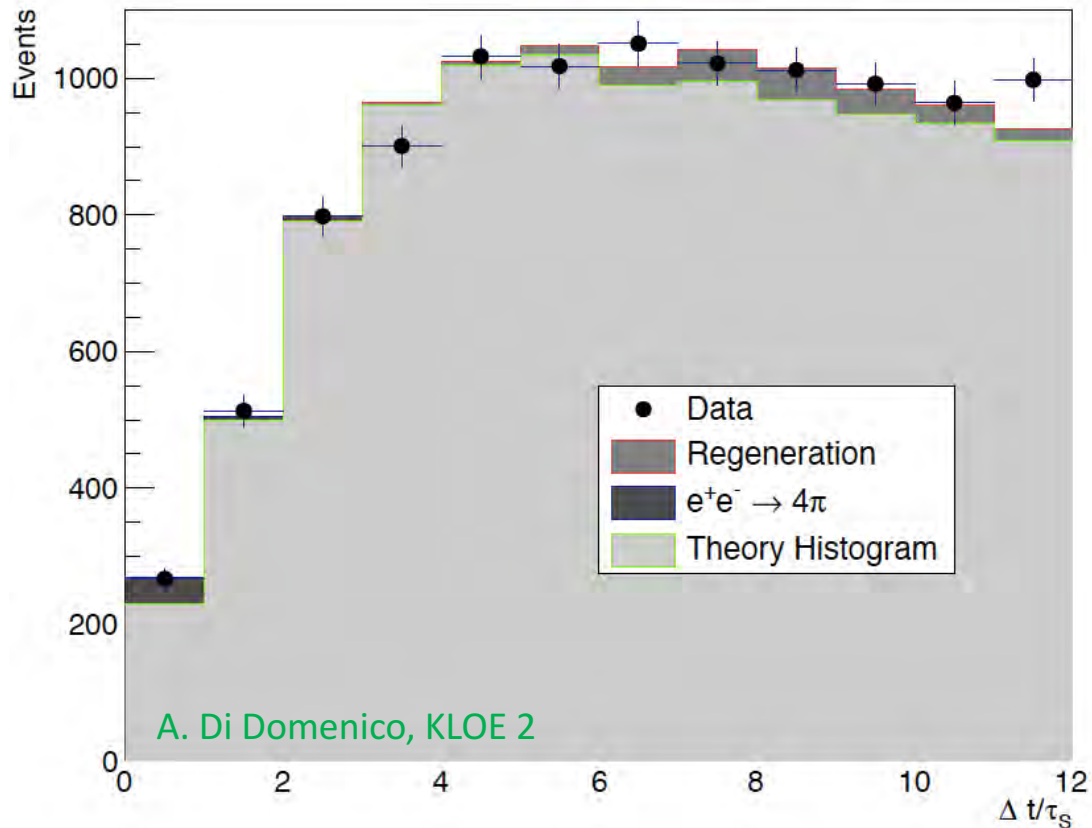
$e^+e^- \rightarrow \Phi (s\bar{s}, 1020 \text{ MeV})$   
 $\rightarrow$  Coppie  $K\bar{K}$   
carichi o neutri

120 pacchetti circolanti  $\rightarrow$  doppio anello

# Esperimento KLOE a DAFNE

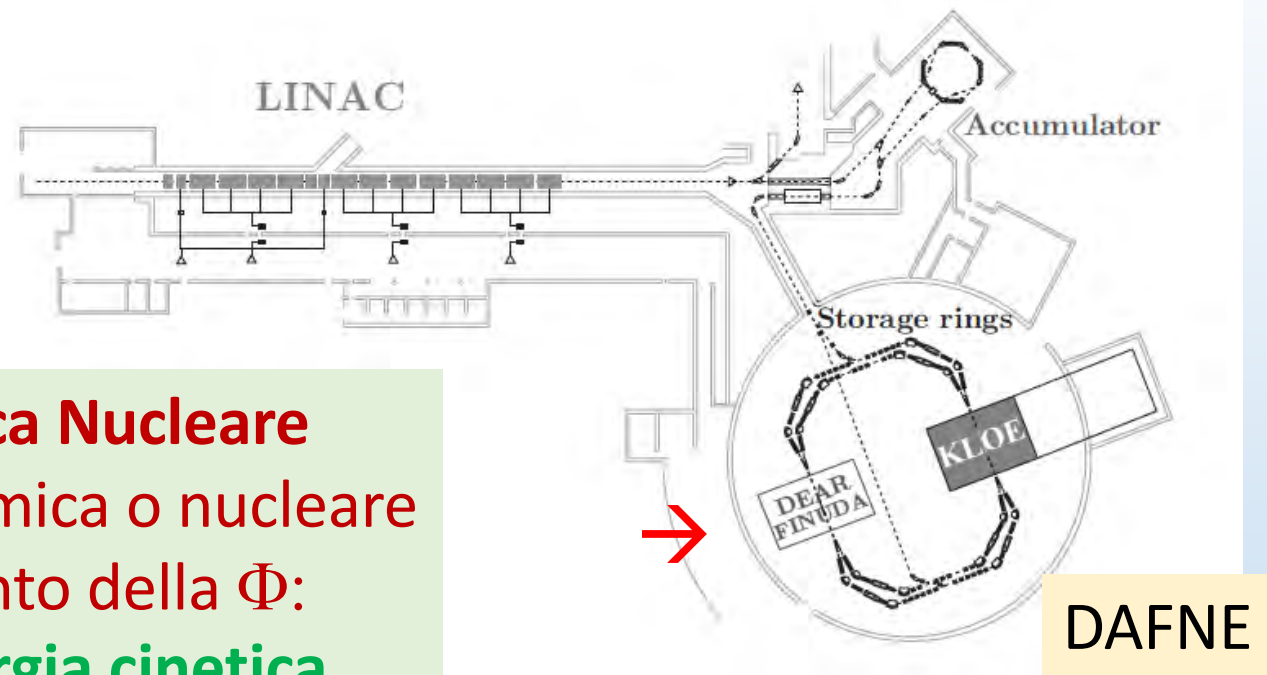
Studio della violazione di CP

Misura accurata  
dell'angolo di Cabibbo



Sezione d'urto adronica per calcolo  
anomalia del muone.

Interferometria Quantistica con  
precisione spesso senza precedenti.  
Es.:  $\Phi \rightarrow K_S K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+ \pi^-$  vietato  
se simultaneo, perché CP simmetrico  
contro stato iniziale antisimmetrico.



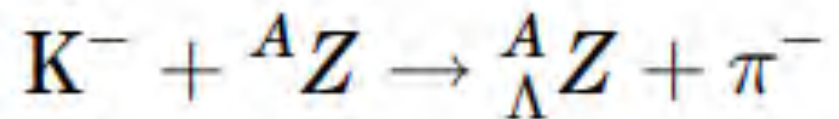
**Esperimenti di Fisica Nucleare**  
 basati sulla cattura atomica o nucleare  
 dei  $K^-$  di decadimento della  $\Phi$ :  
 solo **16 MeV di energia cinetica**

## DEAR e SIDDHARTA

Studio di atomi kaonici: idrogeno, deuterio, elio, ...

## FINUDA

Spettroscopia ad alta risoluzione  
 di ipernuclei prodotti in bersagli sottili





# Dal CRAB-CROSSING al CRAB-WAIST

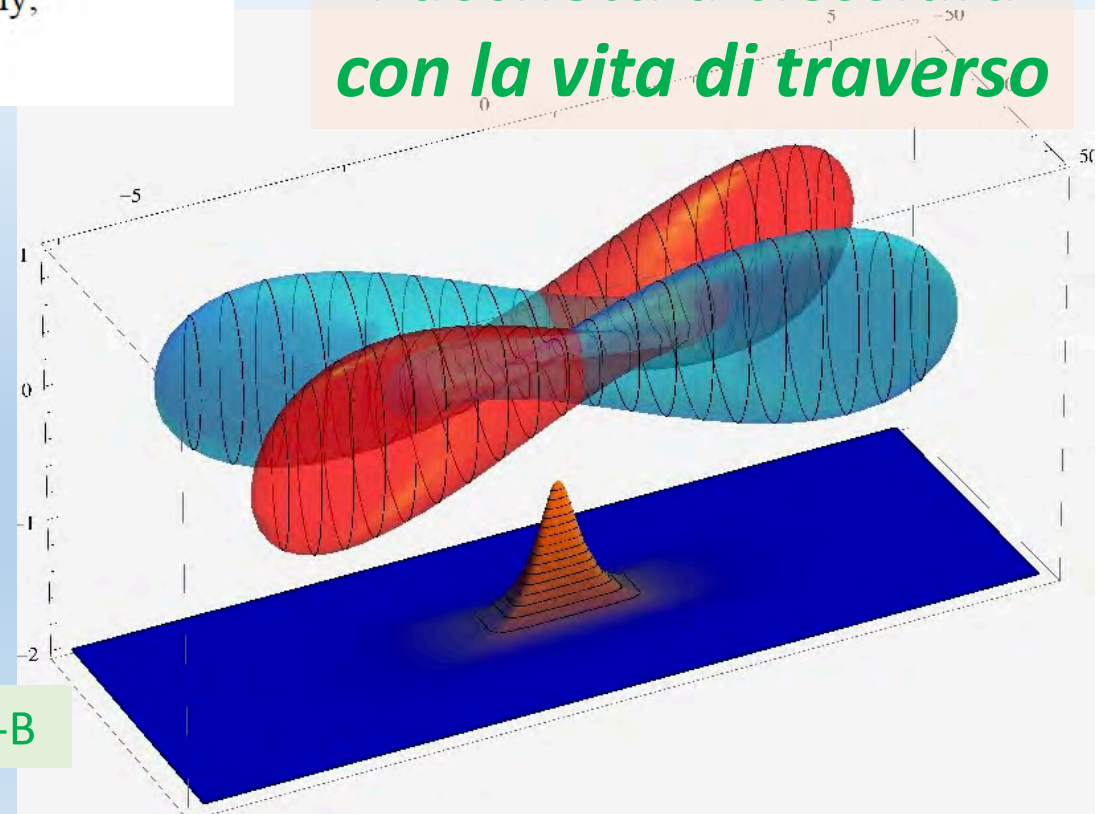
Record di luminosità a DAFNE  
di  $4 \times 10^{32} / \text{cm}^2 \text{ s}$  nel 2010  
con idea di rilievo internazionale.

Proceedings of EPAC08, Genoa, Italy

## SUPPRESSION OF BEAM-BEAM RESONANCES IN CRAB WAIST COLLISIONS

P. Raimondi, M. Zobov, LNF-INFN, Frascati, Italy;  
D. Shatilov, BINP, Novosibirsk, Russia

Pacchetti a clessidra  
*con la vita di traverso*



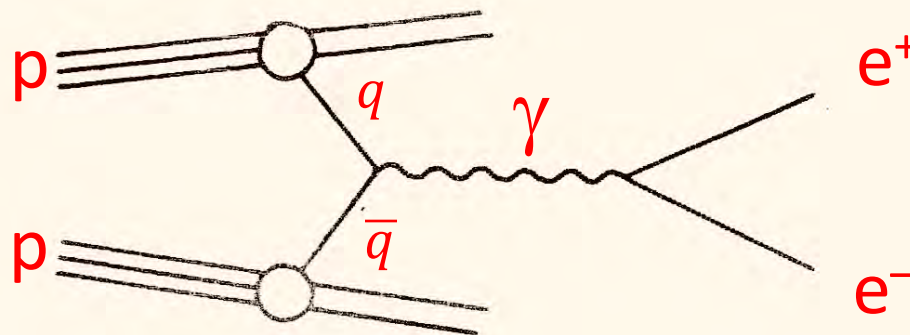
Tecnica adottata alla SuperKEK-B



# Collisori $p\bar{p}$ e $pp$

I protoni e gli antiprotoni sono composti di quark e gluoni e le collisioni interessanti sono quelle tra due costituenti. A energie elevate non c'è gran differenza tra  $p\bar{p}$  e  $pp$  e l'energia utile è circa 1/10 di quella totale  $2E$ , ma i collisori adronici hanno comunque un vantaggio energetico su quelli  $e^+e^-$ .

esempio



# Collisori protone-antiprotone

Al CERN e al Fermilab fu conveniente realizzare collisori protone-antiprotone in un unico preesistente anello

al SuperProtoSincrotrone del CERN,  $E_{c.m.} = 2 \times 270 \text{ GeV}$   
al TEVATRON del Fermilab,  $E_{c.m.} = 2 \times 980 \text{ GeV}$

Experimental observation of isolated large transverse energy electrons with associated missing energy at  $s=540\text{GeV}$

Scoperta del **W**, 1983

UA1 Collaboration, CERN, Geneva, Switzerland, G. Arnison<sup>j</sup>, A. Astbury<sup>j</sup>, B. Aubert<sup>b</sup>, C. Bacci<sup>l</sup>, G. Bauer<sup>l</sup>, A. Bézaguét<sup>d</sup>, R. Böck<sup>d</sup>, T.J.V. Bowcock<sup>f</sup>, M. Calvetti<sup>d</sup>, T. Carroll<sup>d</sup>, P. Catz<sup>b</sup>, P. Cennini<sup>d</sup>, S. Centro<sup>d</sup>, F. Ceradini<sup>d</sup>, S. Cittolin<sup>d</sup>, D. Cline<sup>l</sup>, C. Cochet<sup>k</sup> ... E. Zurfluh<sup>d</sup>

Observation of top quark production in  $\bar{p}p$  collisions

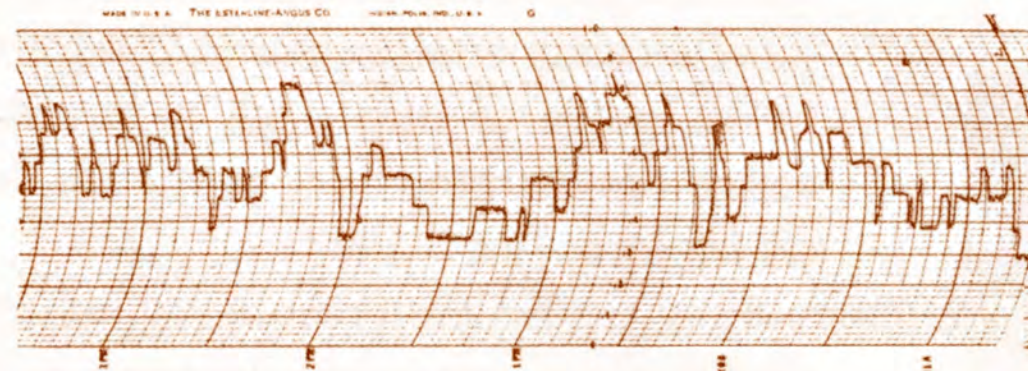
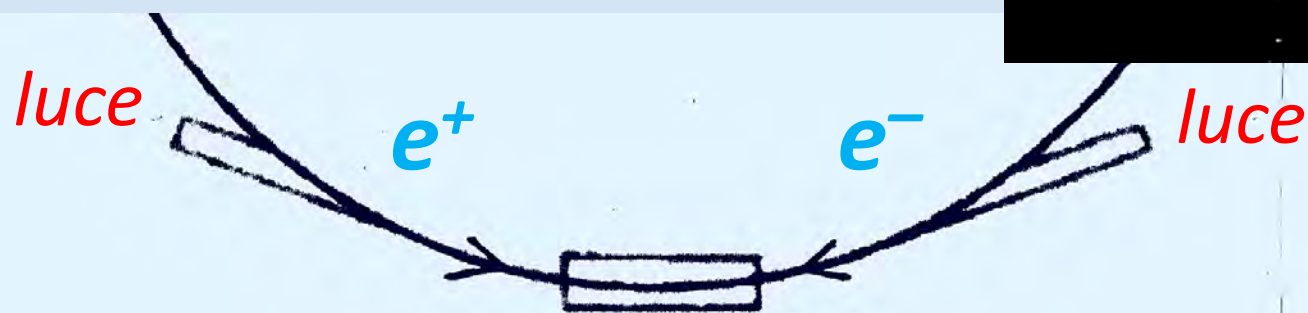
CDF Collaboration • F. Abe (KEK, Tsukuba) Show All (36)

Mar, 1995

La Luce di Sincrotrone  
usata per controllare  
i fasci accumulati in AdA

*Fotografia di un fascio*

$\Delta x \sim$  pochi millimetri



Corrente di fototubo

# L'importanza di chiamarsi *Sincrotrone*

## *Luce di Sincrotrone*

*perché osservata per la prima volta in un Sincrotrone (1947).*

*“ l'utilizzo della luce di sincrotrone per scopi sperimentali è stata resa possibile grazie all'invenzione di AdA”*

*(F. Sette, DG di ESRF, Researchitaly, MIUR)*

**ESRF**

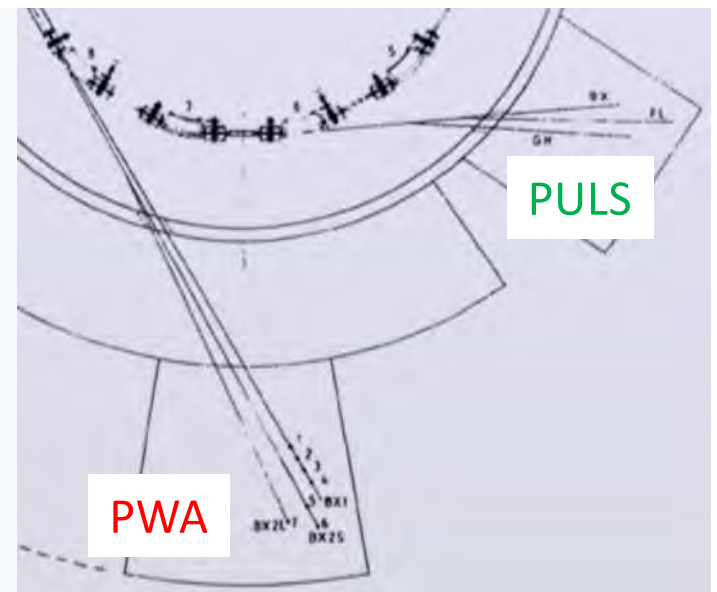
WHAT IS A SYNCHROTRON?





# Luce di Sincrotrone ad ADONE nella fase interdisciplinare conclusiva

PULS, Programma di Utilizzazione  
Luce di Sincrotrone, INFN-CNR 1976  
Radiazione U.V. – X da magnete curvante  
Fisica della materia e non solo



PWA, INFN

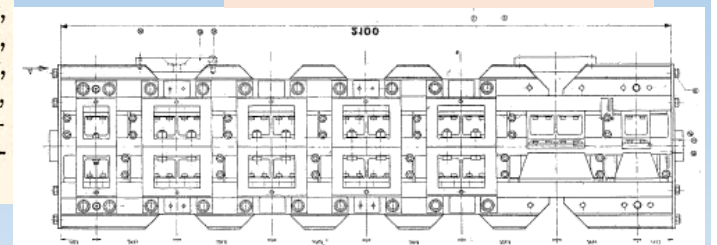
La Rivista del Nuovo Cimento  
della Società Italiana di Fisica  
1981

The Adone wiggler facility

R. BARBINI, M. BASSETTI, M. E. BIAGINI, R. BONI, A. CATTONI,  
V. CHIMENTI, S. DE SIMONE, B. DULACH, S. FAINI, S. GUIDUCCI,  
A. U. LUCCIO, M. A. PREGER, C. SANELLI, M. SERIO, S. TAZZARI,  
F. TAZZIOLI, M. VESCOVI, G. VIGNOLA, A. VITALI, E. BURATTINI,  
N. CAVALLO, M. FORESTI, C. MENCUCCINI, E. PANCINI, P. PAT-  
TERI, R. RINZIVILLO, U. TROYA, G. DALBA, F. FERRARI, P. FOR-  
NASINI, A. JACKSON and J. WORGAN

PWA: intensa sorgente  
di raggi X duri  
per scienza materiali  
microingegneria  
radiologia

WIGGLER B=1,9 T



Nuove avanzate macchine di luce oggi sono basate sul principio  
**SASE - Emissione Spontanea Auto-Amplificata**  
XFEL di grande brillantezza e alta definizione temporale



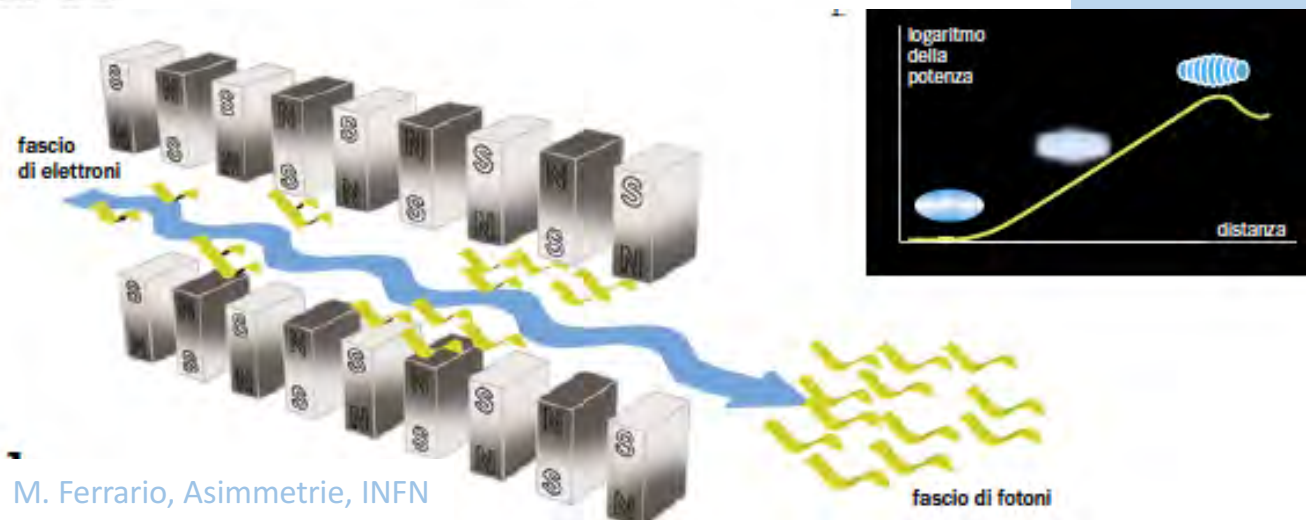
Optics Communications  
Volume 50, Issue 6, 15 July 1984, Pages 373-378



# Collective instabilities and high-gain regime in a free electron laser

R. Bonifacio <sup>\*</sup>, C. Pellegrini, L.M. Narducci

ADONE



M. Ferrario, Asimmetrie, INFN

# Collisore fotone-elettrone

R. Caloi, L. Casano, M. P. De Pascale, L. Federici, S. Frullani,  
G. Giordano, B. Girolami, G. Matone, M. Mattioli, P. Pelfer, P.  
Picozza, E. Poldi, D. Prosperi and C. Schaerf: A NEW  
MONOCHROMATIC AND POLARIZED PHOTON BEAM  
AT FRASCATI.

**LADON**, Laser ADONe:

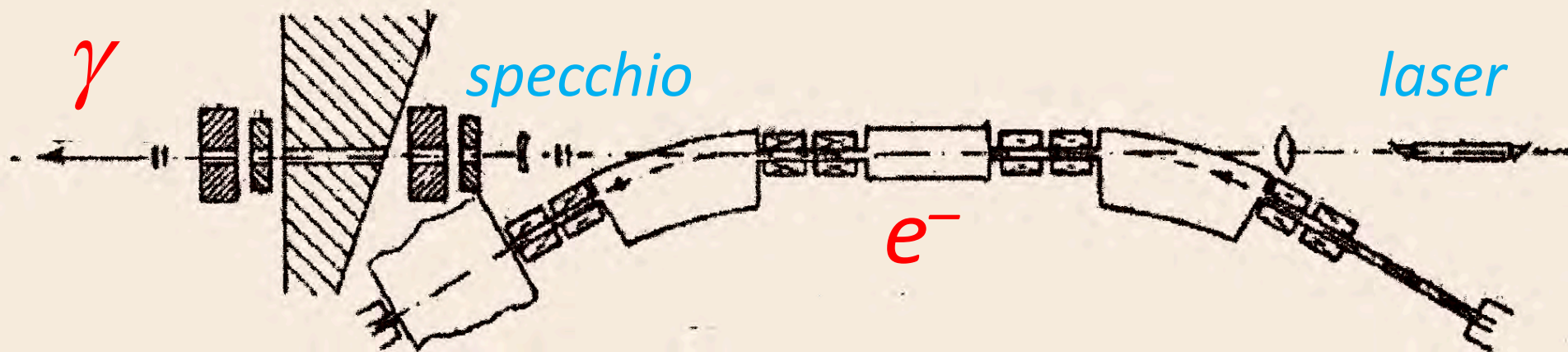
diffusione Compton all'indietro dei fotoni di luce laser

→ fascio  $\gamma$  da circa 200 MeV,

*monocromatico e linearmente polarizzato*,

per studi foto-nucleari.

Linea **GRAAL**, **GR**enoble **Anneau** **Accelerateur** **Laser** a ESRF





# Collisore elettrone – – getto di Argon



$\gamma$  marcati da energia persa dell'elettrone

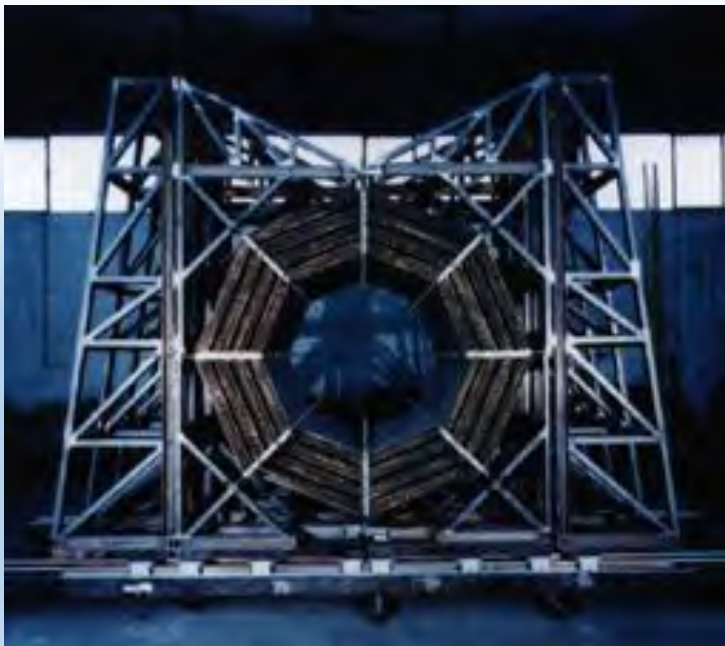
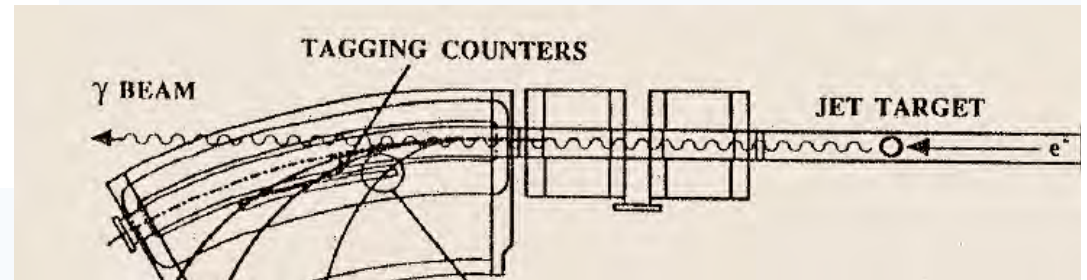
Fascio monocromatico,  $\Delta E/E \sim 1\%$

Intensità  $\sim 10^6 \gamma / \text{s}$ ,  $E = 0,2 - 1,2 \text{ GeV}$

Studi foto-nucleari

M. Anghinolfi, N. Bianchi, P. Corvisiero, E. De Sanctis, S. Frullani, F. Garibaldi, G. Gervino, C. Guaraldo, P. Levi Sandri, V. Lucherini, V. Muccifora, E. Polli, A.R. Reolon, G. Ricco, P. Rossi, M. Sanzone, M. Taiuti, G.M. Urciuoli, A. Zucchiatti:

## IL PROGETTO JET TARGET SU ADONE



Esperimento FENICE



per lo studio del fattore di forma e. m.  
del neutrone.

**ADONE conclude l'attività nel 1993.**

# L'eredità di AdA oggi

La fisica delle particelle ha fatto nascere e progredire gli acceleratori.  
Gli Anelli di Accumulazione oggi più numerosi sono i Sincrotroni sorgenti di luce.

SLAC e DESY, grandi laboratori dell' $e^+e^-$ , sono oggi centri di XFEL-SASE,  
sviluppati nell'ambito di progetti di collisori lineari  $e^+e^-$ .

→ SLAC National Accelerator Laboratory.

Frascati con DAFNE è rimasto un Laboratorio d'avanguardia negli Acceleratori.

Nel 2018 ha iniziato il progetto **EuPRAXIA@SPARC-LAB** – tappa preliminare  
verso gli acceleratori compatti a plasma – che include un XFEL.

EuPRAXIA con l'Italia capofila è entrato nella road-map di ESFRI.

La preminenza INFN nel campo degli acceleratori discende innanzitutto da AdA.