



ACCELERATORI DI PARTICELLE

Storia dei Laboratori Nazionali di Frascati

Andrea Ghigo

Antefatto

L'idea di proseguire quel filone di studi aperto da Enrico Fermi e dai "ragazzi di via Panisperna" era forte ma prima la guerra poi le ristrettezze della ricostruzione rallentarono il progetto di costruire acceleratori di particelle di alta energia come si cominciava a fare in America. Ma il fermento di quella scuola che enumerava fra i migliori fisici nucleari e delle particelle del mondo non era arrestabile.



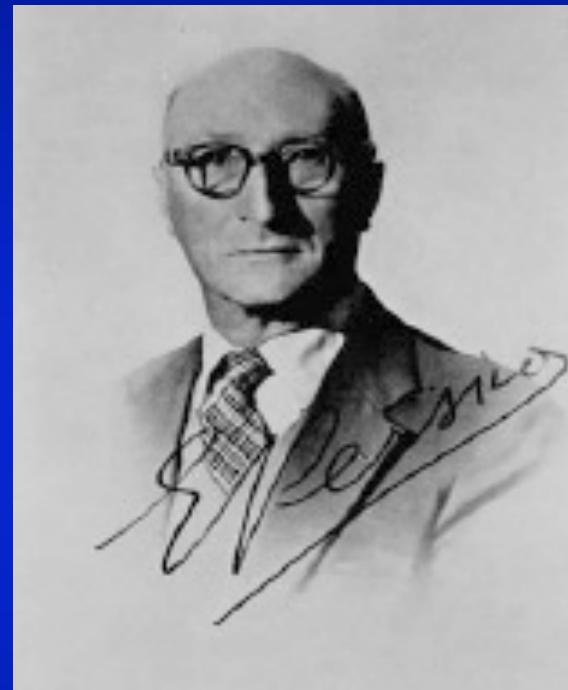
Nel 1948 fu creato sul Cervino un laboratorio per l'osservazione dei raggi cosmici nell'attesa di "farseli in casa con gli acceleratori", come diceva Gilberto Bernardini, e alla Testa Grigia a 3500 m di altezza si incontrarono fisici di tutte le universita' italiane istituendo forti legami personali e professionali che risultarono fondamentali per la crescita dell' INFN

I Padri Fondatori



**Edoardo Amaldi e Gilberto Bernardini
Pensavano che sarebbe stato importante
costruire un acceleratore di alta energia in Italia**

**Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) costituisce presso alcune
Università' centri specializzati nello studio della fisica nucleare**



Enrico Persico

Come si decise la costruzione del Sincrotrone

- La richiesta di Amaldi di costruire un acceleratore in Italia arrivo' fino a De Gasperi, tramite Leone Cattani Ministro dei Lavori Pubblici, ma la finanza pubblica aveva altre priorita' in quel periodo di ricostruzione. Il prof. Francesco Giordani allora contatto' l'onorevole Pietro Campilli, Ministro dell'Industria, che si rivelò' fortemente interessato alle iniziative di studio sul nucleare.
- Amaldi, Giordani e Campilli concordarono di istituire il Comitato Nazionale per la Ricerche Nucleari CNRN per Decreto del Presidente del Consiglio e finanziato dall'IRI e dal Ministero dell'Industria.
- Si decise la costruzione di un Sincrotrone di energia compresa fra i 500 ed i 1000 MeV.

Perche' Frascati?

- Si contendevano la realizzazione del Laboratorio Milano, Roma e Pisa
- Ma quando gli industriali milanesi capirono che il sincrotrone non era una macchina per la ricerca sull'energia gli preferirono la realizzazione del reattore nucleare (costruito poi a Ispra).
- Il Ministro Campilli, illustre frascatano, convinse l'amico senatore Pietro Micara sindaco di Frascati a regalare un terreno dal curioso nome di Macchia dello Sterparo (e il nome la dice lunga...)



On. Pietro Campilli



The Boss

La costruzione del Sicrotrone e del Centro di Ricerca fu affidato al fisico 31enne Giorgio Salvini che reclutò una squadra di motivati fisici e ingegneri provenienti dalle migliori Università Italiane



Giorgio Salvini

G. SALVINI
1934 - N. 1
Supplemento al Nuovo Cimento
12 - 77-100

NON CONSULTABILE
FUORI SEDE

C.N.R.N.
EDIFICATORI
DI LASCATI
PBL'OTICA
Pos.
VA/66

Il progetto italiano di un elettrosinerotone.

G. SALVINI
Istituto di Fisica dell'Università - Pisa
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare - Sezione Acceleratore

1. - Decisione di costruire una macchina nucleare.

1-1. - Nel mese di Febbraio del 1953 si sono iniziati in Italia gli studi per la costruzione di un sinerotrone per elettroni (elettrosinerotrone) da porsi a disposizione di tutti i fisici nucleari italiani.

22

G. SALVINI

[98]

per irraggiamento. In Tab. II, osservando i dati della seconda e terza colonna, è possibile fare il confronto tra la macchina da 600 MeV, e le dimensioni corrispondenti (approssimative) per un elettrosinerotrone da 1 000 MeV. Analogo confronto può farsi esaminando le fig. 4 e 5. Come si vede, maggiore deve essere

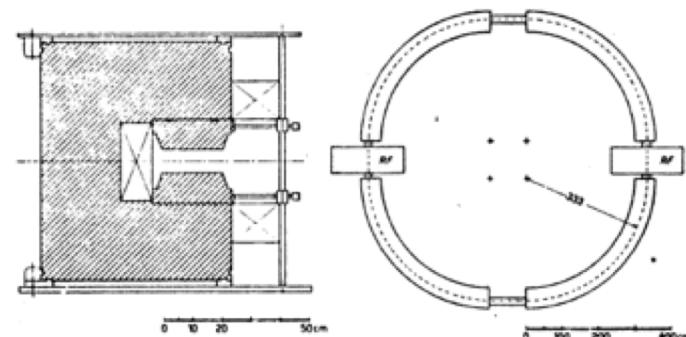


Fig. 5. - Sezione e vista dall'alto (disegno solo approssimativo) dell'elettrosinerotrone da 1 000 MeV considerato in tab. II, col. (3).

Pisa 1955: Ricercatori in partenza per Roma. Nel 1955 la sezione acceleratore dell'INFN a Pisa inizia il trasferimento a Roma per la costruzione del sincrotrone. In seguito alla decisione di costruire il sincrotrone a Frascati, la sezione acceleratore diventerà i Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN.



1955: Pisa: Partenza per Frascati

L'edificio del Sincrotrone in costruzione



Il problema della mancanza d'acqua fu risolto scavando un pozzo di 160 m
“Assurdamente profondo fin quasi agli antipodi” (Touschek)

Il Laboratorio Criogenico

Il primo edificio costruito a Frascati conteneva il liquefattore comprato per realizzare targhette criogeniche che sarebbero state usate come bersaglio per il fascio del sincrotrone



1956: La prima Mensa dei Laboratori di Frascati

1956: La prima mensa a Frascati. La foto e' presa durante la pausa pranzo in una fase dell'installazione del liquefattore per la criogenia del Sincrotrone. Riconoscibili Scaramuzzi, Bellatreccia, Careri e Moneti

**Un laboratorio di fortuna fu allestito in un tendone
nell' attesa della costruzione dell' edificio**



L'edificio è pronto!

L'ingresso del
centro di ricerca



Lavori in corso @ LNF



La sala
generatore

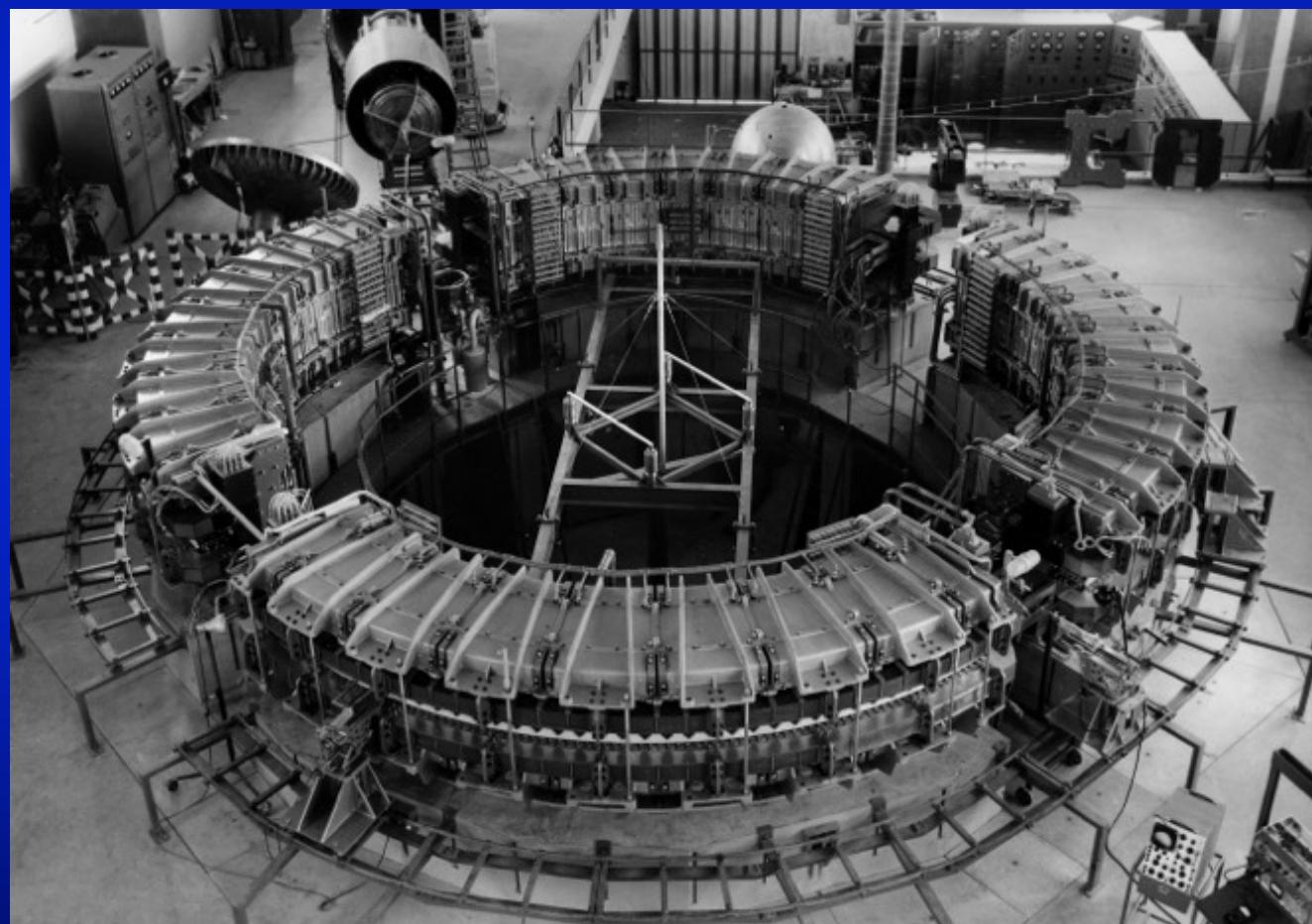
Seminari on-line



2 Aprile 2020

L' ELETTROSINCROTRONE (1959-1975)

L'elettrosincrotrone è stato il *primo acceleratore ad alta energia* realizzato in Italia. Fu approvato nel 1953 e la sua costruzione iniziò nel 1957. Dopo appena due anni l'acceleratore era operativo.

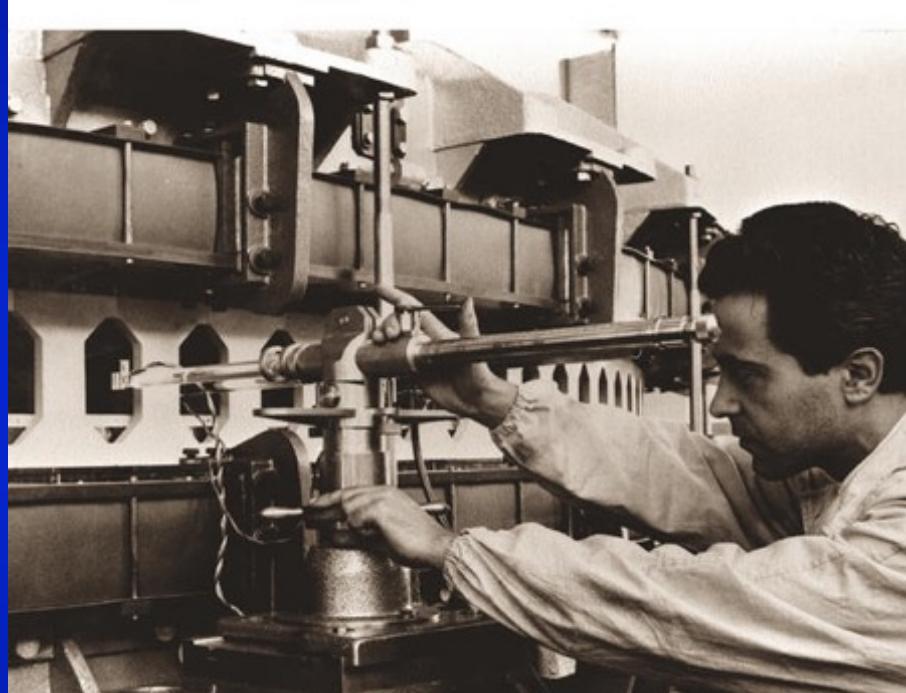


**Foto di gruppo del personale di Frascati (tecnici, fisici, amministrativi). Al centro,
seduto, G.Salvini. Esterno edificio Alte Energie (ora area ENEA)**
**Ghira,Quercia,Toschi,Bologna,Querzoli,Zanetti,Agostini,DiStefanoGuido,Trevisan,
Pistoni,Santangeli,Cavusotti,Brolatti,Murtas,Marra,Pecchi,Scaramuzzi,Bonini,
Cerchia,Propersi,Stipchic,Puglisi,Sanna,Martellucci,Eddi,Ivagnes,D'Amato,
Sacerdoti,Piredda,Ghigo,Bernardini,Grilli e Cinti.**



Frascati

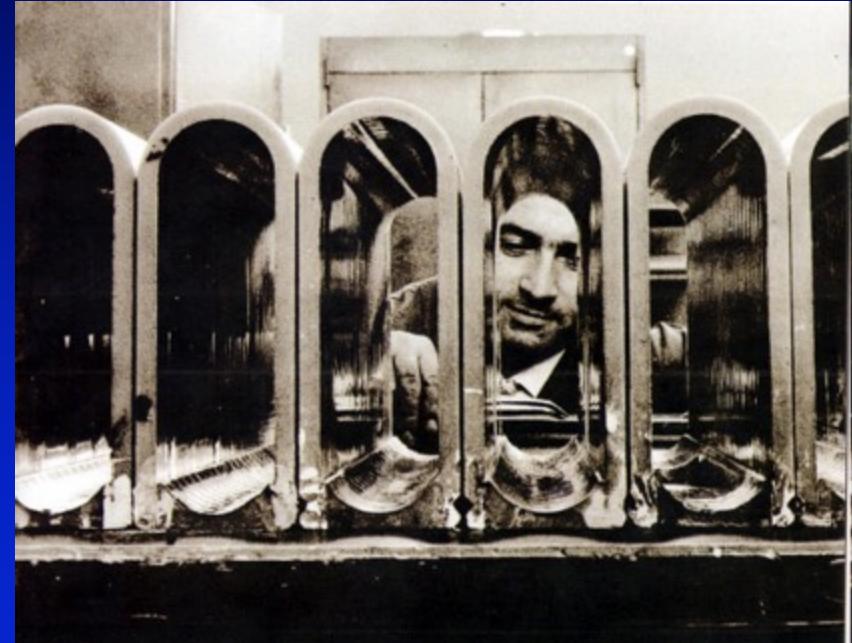
Gran lavoro dei tecnici di laboratorio



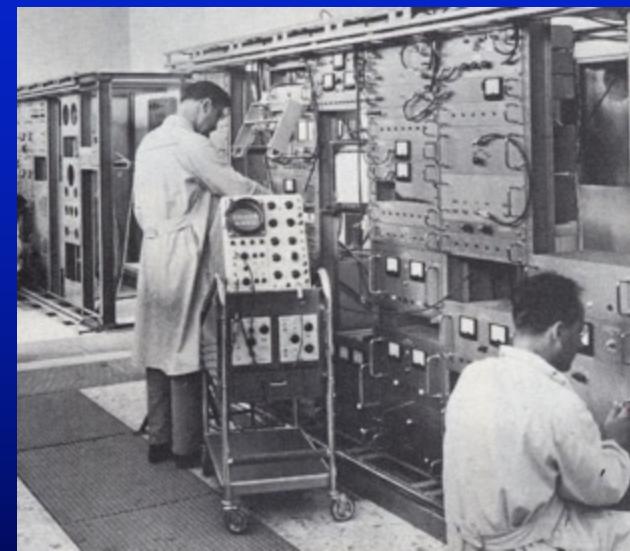
**Misure all'interno di un magnete del
Sincrotrone.
Nella foto: Di Stefano.**

**Sala controllo
nella foto:Eddy
Gradl**

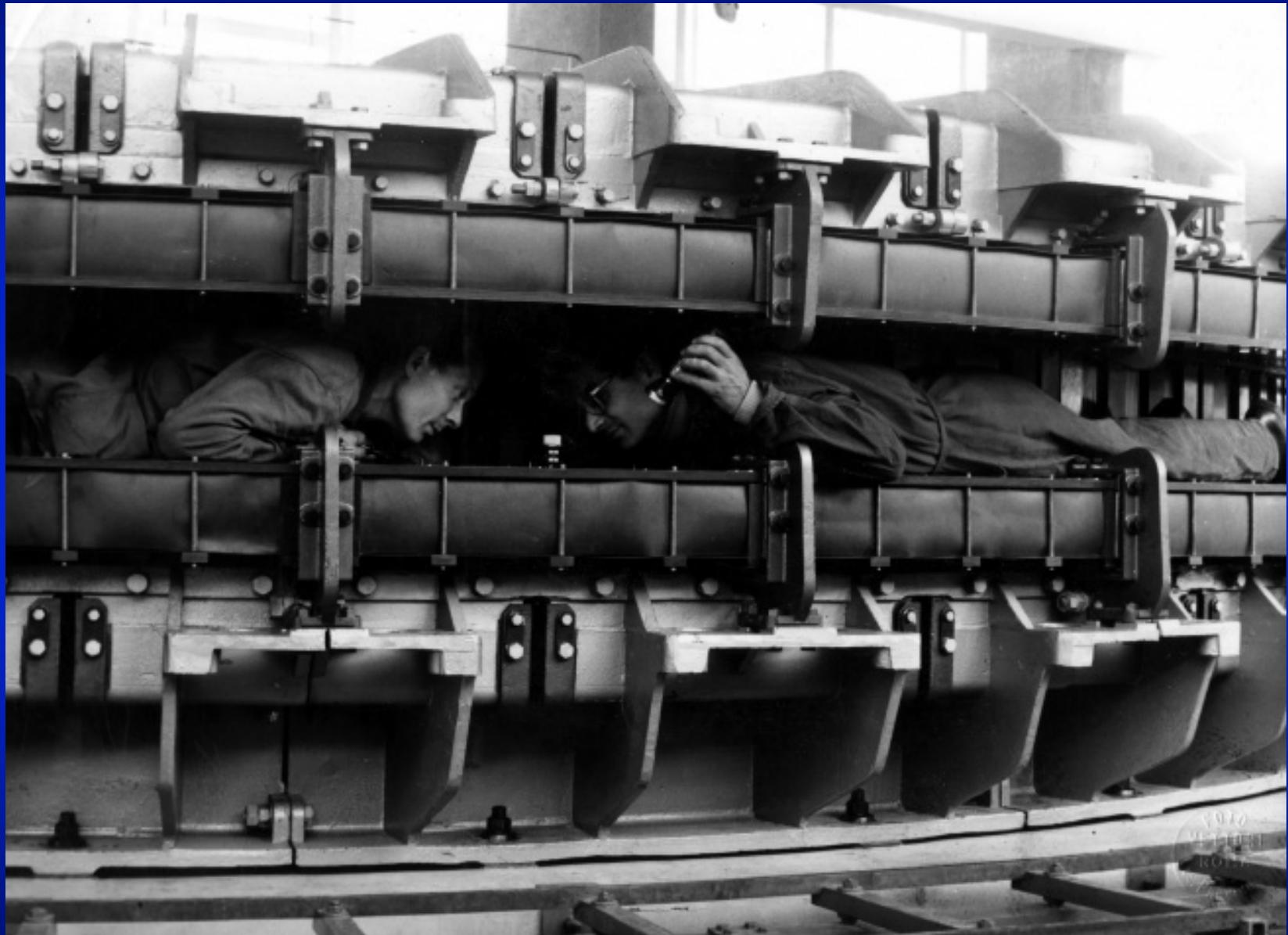
Lavori in corso @ LNF
Seminari on-line 2 Aprile 2020



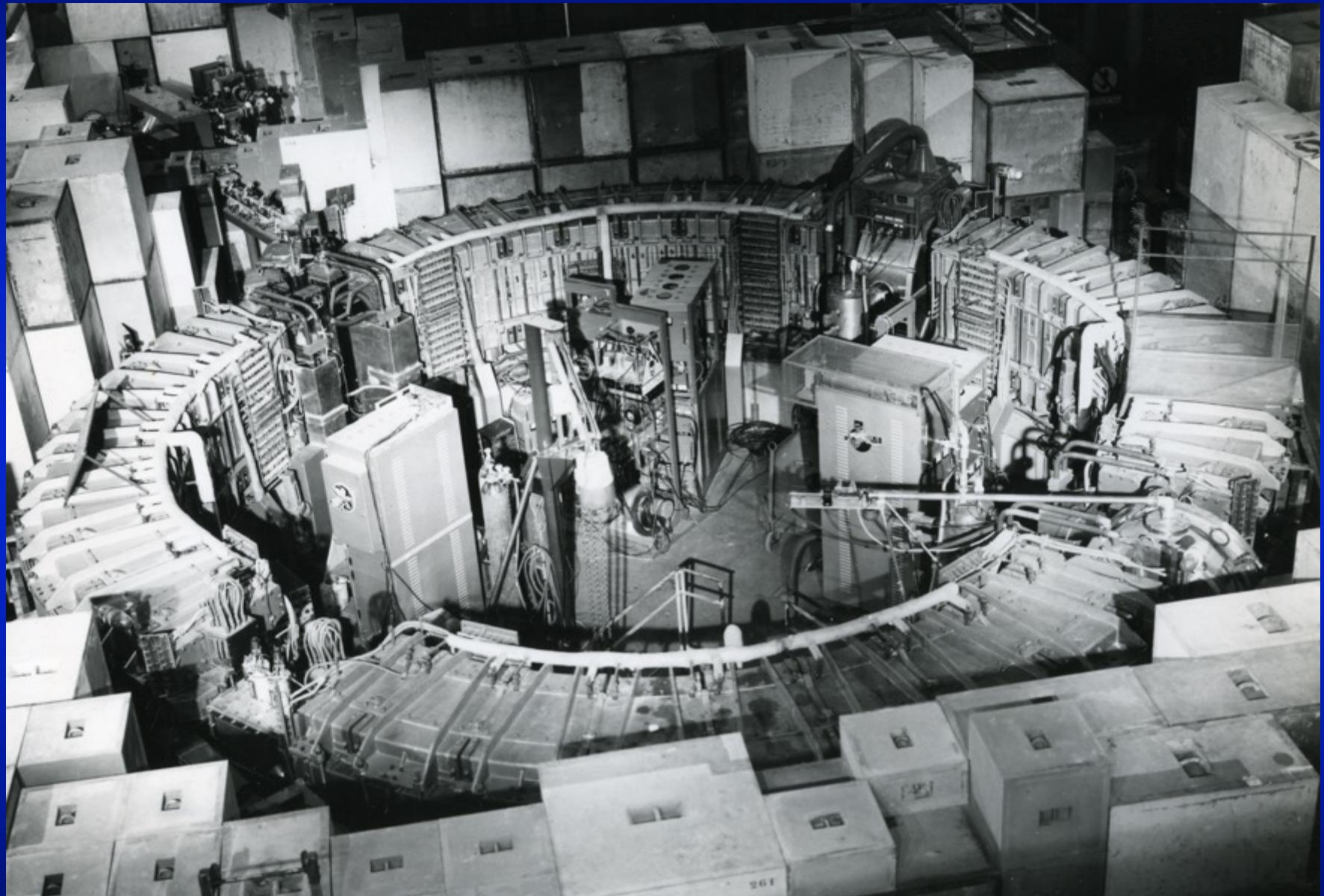
**Attivita' di controllo su di una
sezione di una camera da vuoto del
Sincrotrone (nella foto, Clozza).**



Ispezione finale dei magneti: Prof. Murtas nella gap



Il Sincrotrone in operazione



La notorietà : arrivano gli ospiti



Il Presidente della Repubblica: Gronchi
3 Aprile 1959



1959: Il Presidente dell'EURATOM



Il principe Filippo di Edimburgo
3 Maggio 1961



La visita più famosa: Ranieri di Monaco e Grace Kelly
16 Novembre 1959

Il programma di Fisica con il Sincrotrone(1)

- Il Sincrotrone di Frascati poteva accelerare un fascio di elettroni fino ad un'energia di poco superiore a $E= 1 \text{ GeV}$
- Il fascio di elettroni a sua volta è stato usato per generare raggi γ con il processo di bremsstrahlung su una targhetta messa all'interno della macchina.
- Il fascio γ è stato usato per studiare le interazioni fra materia e radiazione elettromagnetica.
- In particolare per studiare le forze nucleari ed elettromagnetiche fra le particelle elementari

Il programma di Fisica con il Sincrotrone(2)

- Fotoproduzione singola e multipla di pioni carichi e neutri.
- Fotoproduzione di particelle strane: mesoni pesanti e iperoni



- Esperimenti che usavano elettroni fotoni per studiare i fattori di forma nucleari.
- Fotoproduzione di coppie di particelle ($\mu^+\mu^-$, $\pi^+\pi^-$)

Le collisioni materia antimateria



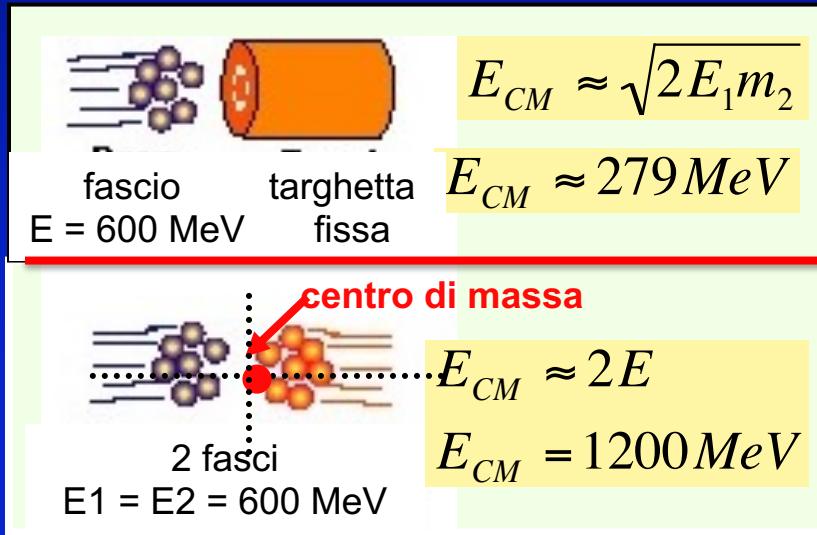
La geniale idea di *Bruno Touschek* fu quella di utilizzare come elementi collidenti *particelle ed antiparticelle* che, nella loro annichilazione, avrebbero rilasciato *tutta la loro energia* per creare nuove particelle. Inoltre i *prodotti delle collisioni* sarebbero stati relativamente “semplici” rispetto a quelli prodotti dall’ interazione tra due fasci di materia.

A Touschek non piaceva il baccano di quella che era solito definire “teppaglia adronica”

La grande sfida consisteva, come Bruno scrive nei suoi appunti, nel costruire la prima macchina in cui particelle che non esistono in natura possono essere accumulate in considerevole quantità e con una ragionevole vita media.

Cinematica delle collisioni tra fasci

VANTAGGI



Parte dell'energia del fascio incidente è spesa nel ricreare le particelle iniziali (conservazione dei numeri quantici)

Particella e antiparticella annichilano quindi tutta l'energia dei due fasci è a disposizione per creare una nuova particella di energia somma delle energie iniziali

LIMITE

La densità dei fasci relativistici che si sanno realizzare è molto bassa rispetto a quella della materia condensata di una targhetta.

Uno dei fasci circolanti in DAΦNE contiene un numero di particelle np
 $N_p = 100 \cdot 10^{10}$

La prima pagina del quaderno di appunti di Bruno Touschek su AdA

18.2.60.

State of affairs. Discussed place with
Aligo. Decided for "subsole" storage.
G. proposed use of γ -beam also
for electrons.

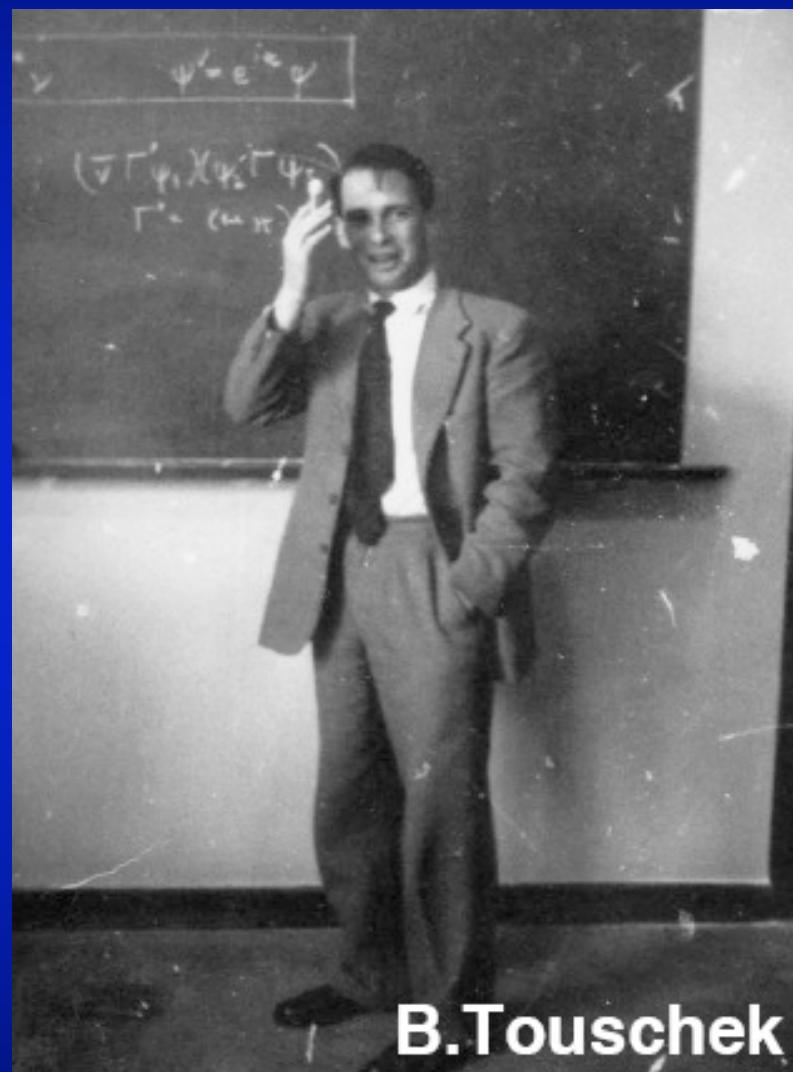
Typical possibility:

γ = γ -beam, T = target, M₁ = separating magnet, St. = Storage magnet, C = acc. circuit.

Basic formulae

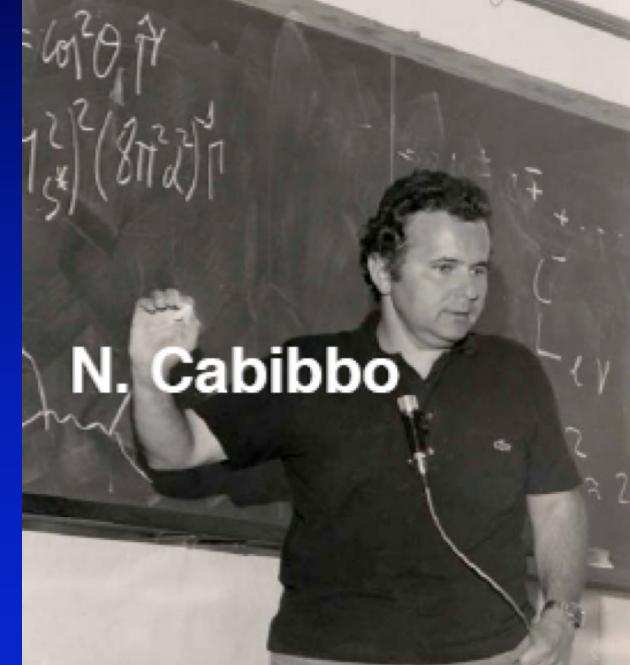
$$q = N^2(v\tau)^2 \frac{\sigma}{q} \cdot \frac{c}{\pi R}$$

N = number of particles accepted per pulse
v = repetition rate of the Synch ($v=20$)



I fisici che supportarono la costruzione di AdA

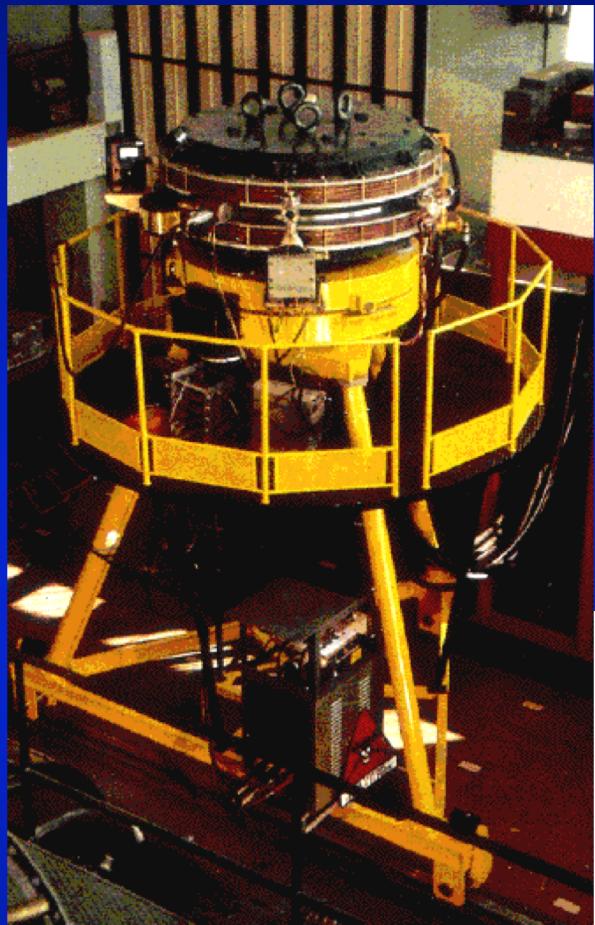
Fisici Teorici →



Fisici Sperimentali



AdA (Anello di Accumulazione) 1960-1965



AdA è costituito da un magnete a focaggio debole in grado di far circolare particelle (e^+/e^-) con una energia di 250 MeV.

IL NUOVO CIMENTO

The Frascati Storage Ring.

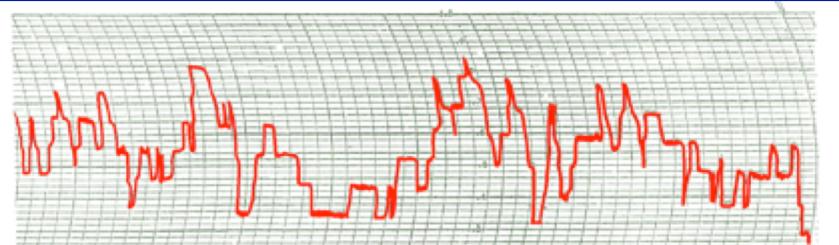
C. BERNARDINI, G. F. CORAZZA, G. GHIGO

Istituto Nazionale del CNEN - Frascati

B. TOUSCHER

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

(ricevuto il 7 Novembre 1960)



Registrazione dei primi elettroni accumulati in AdA. La vita media era 21 sec, il numero medio 2.3.

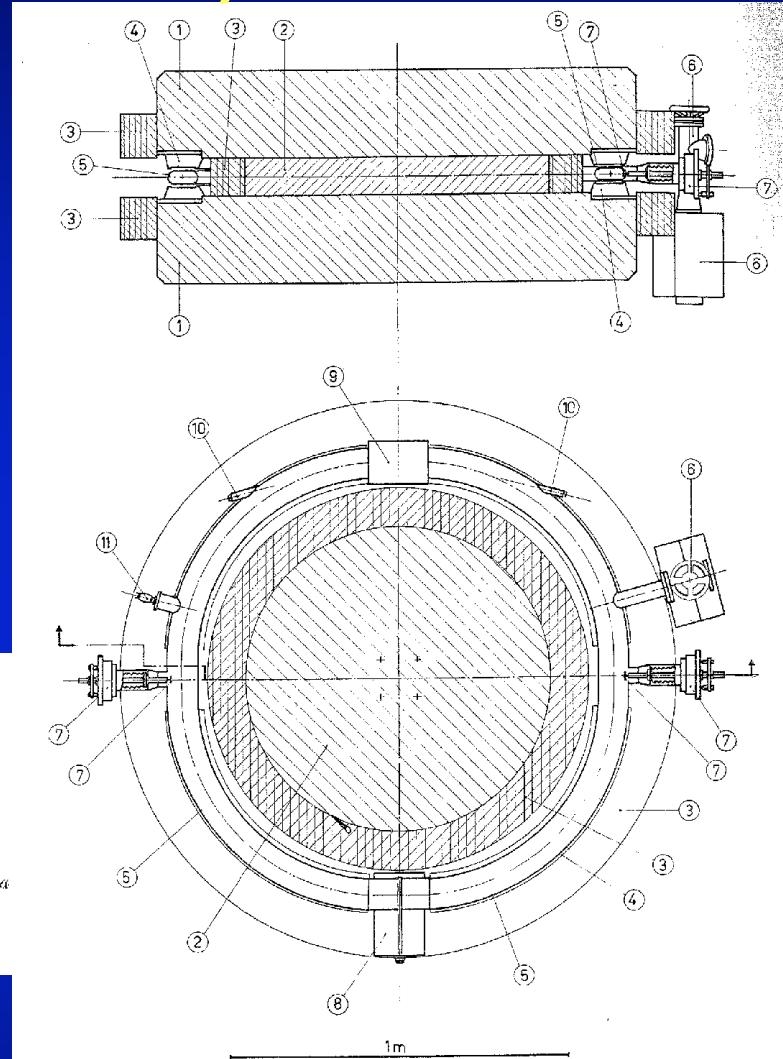
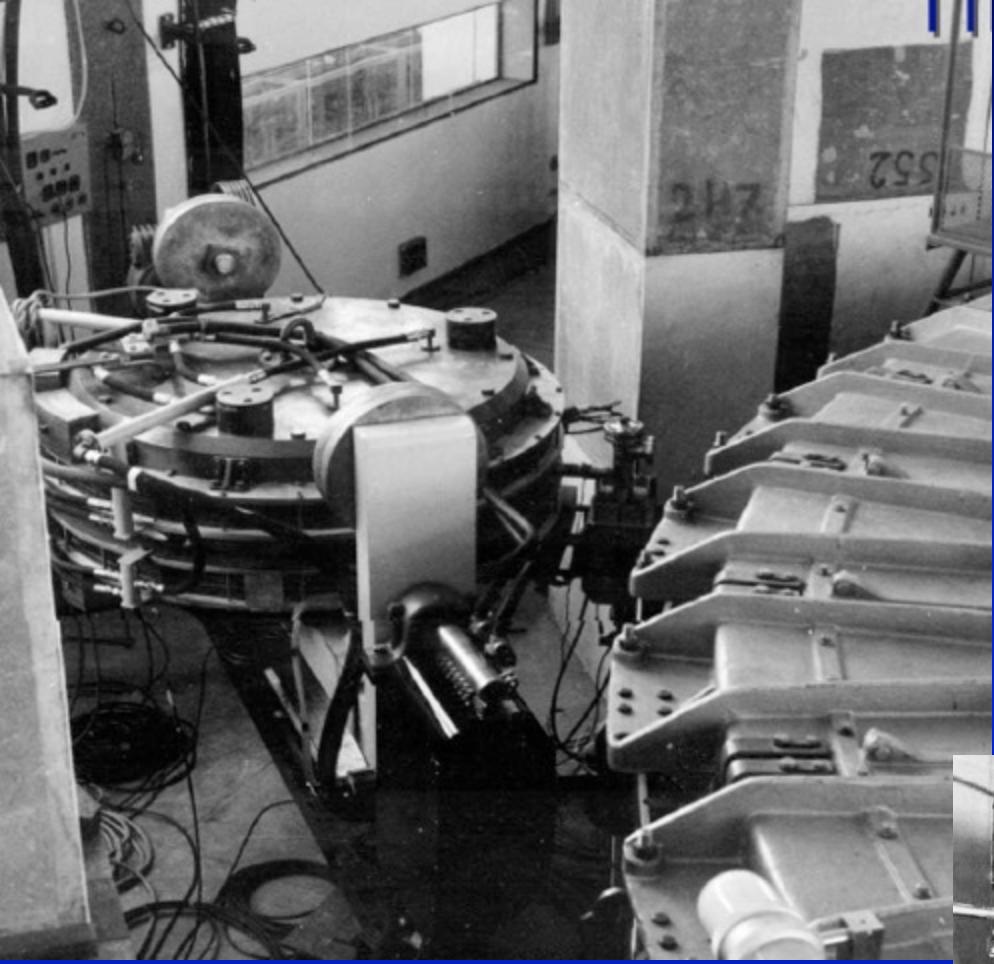


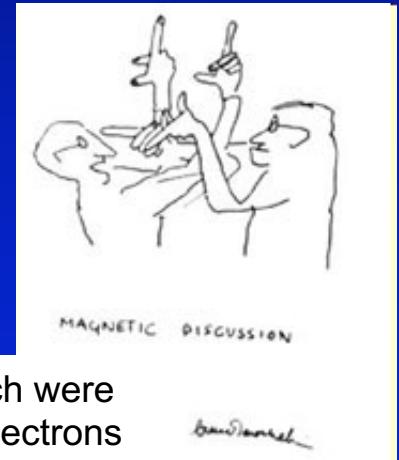
Fig. 1. - Elevation and plan section of the Frascati Storage Ring (anello di accumulazione = AdA): 1) magnet yoke; 2) magnet core; 3) coils; 4) polepieces; 5) doughnut; 6) titanium pump; 7) injection ports; 8) RF cavity; 9) experimental section; 10) windows for the observation of the synchrotron radiation; 11) vacuum gauge.



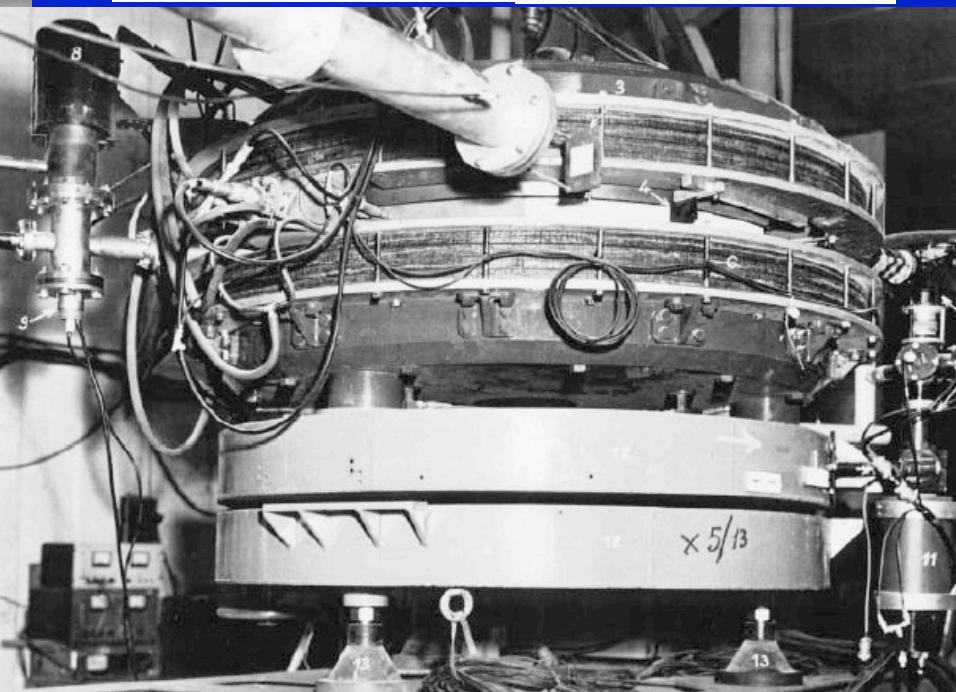
**Orsay: Elettroni vengono iniettati in AdA
dall' acceleratore lineare.
Per passare da elettroni a positroni
l' acceleratore veniva spostato e ruotato
intorno al suo centro**

Lavori in corso @ LNF
Seminari on-line 2 Aprile 2020

**Frascati: Elettroni vengono estratti dal Sincrotrone per essere iniettati in AdA
Per passare da elettroni a positroni
l' acceleratore veniva ruotato intorno
al suo asse
“Il girarrosto”**



Nobody could tell which were positrons and which electrons

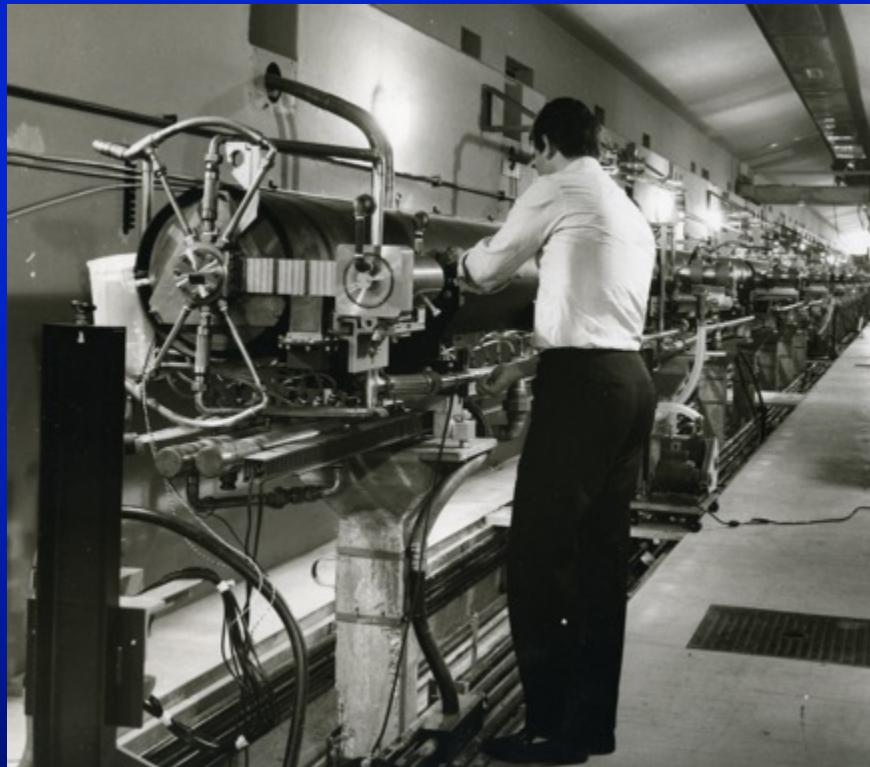


ADONE

Subito dopo la dimostrazione del funzionamento AdA cominciò la costruzione di ADONE (grande ADA) che poteva accelerare fasci di elettroni e positroni fino all'energia di 3 GeV nel centro di massa: il collisore di piu' alta energia al mondo



Fernando Amman
Bruno Brunelli
Carlo Bernardini



L' acceleratore lineare



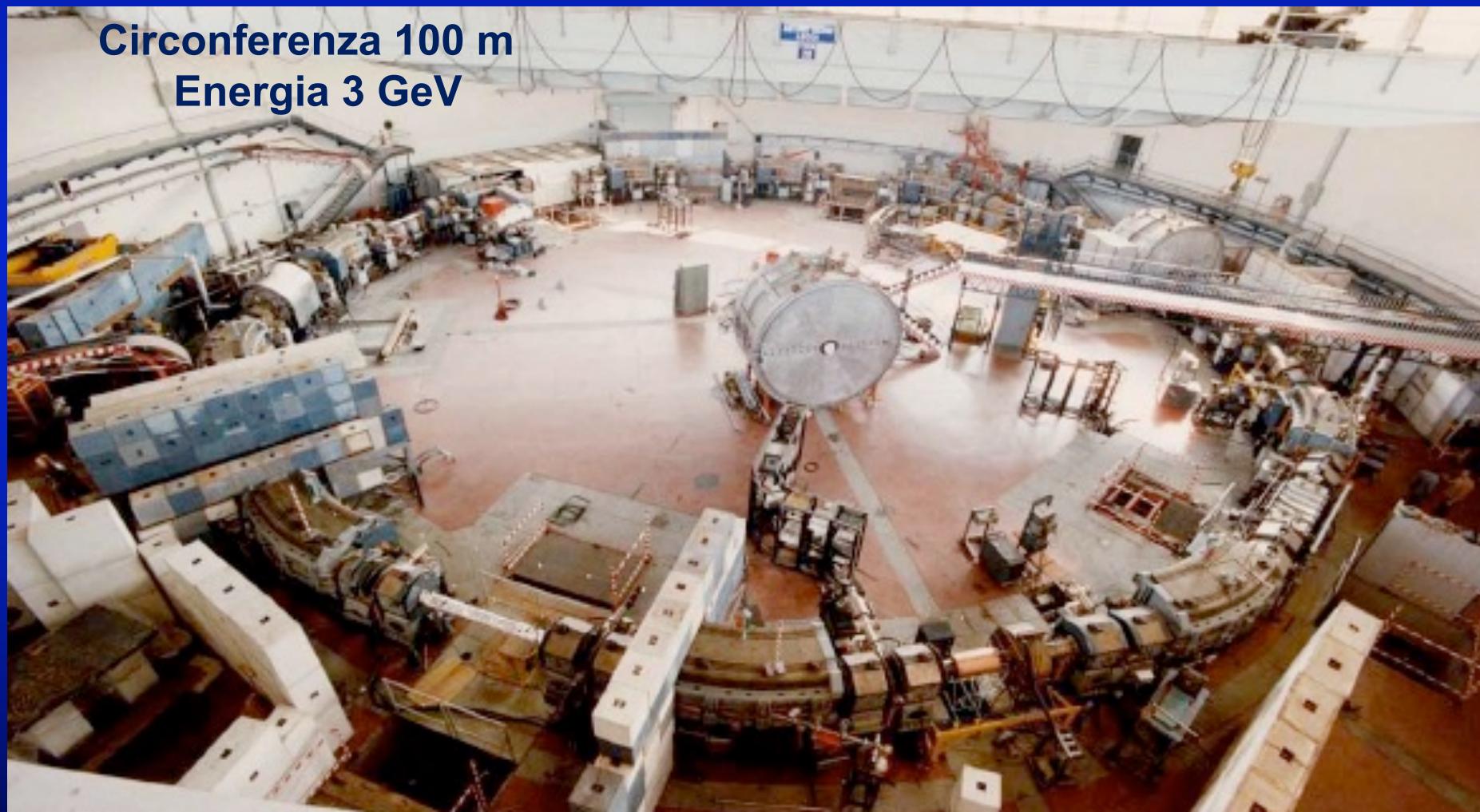
La cupola di Cerchia - Cestelli Guidi

ADONE

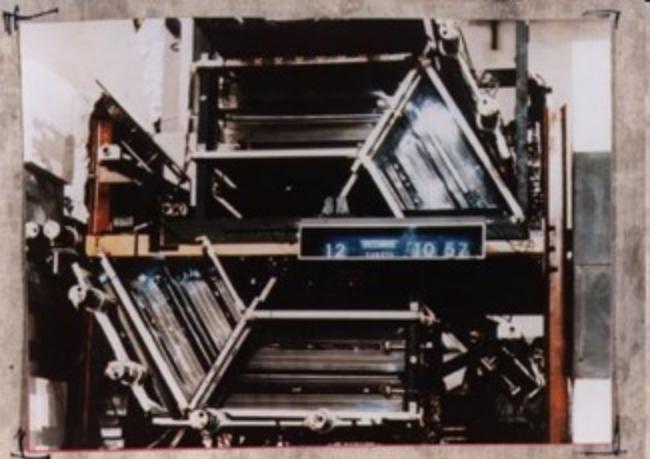
Un giovane Bruno Vespa →
intervista Fernando Amman



Circonferenza 100 m
Energia 3 GeV



Esperimenti ad ADONE



Gamma-
Gamma

Barione
antibarione



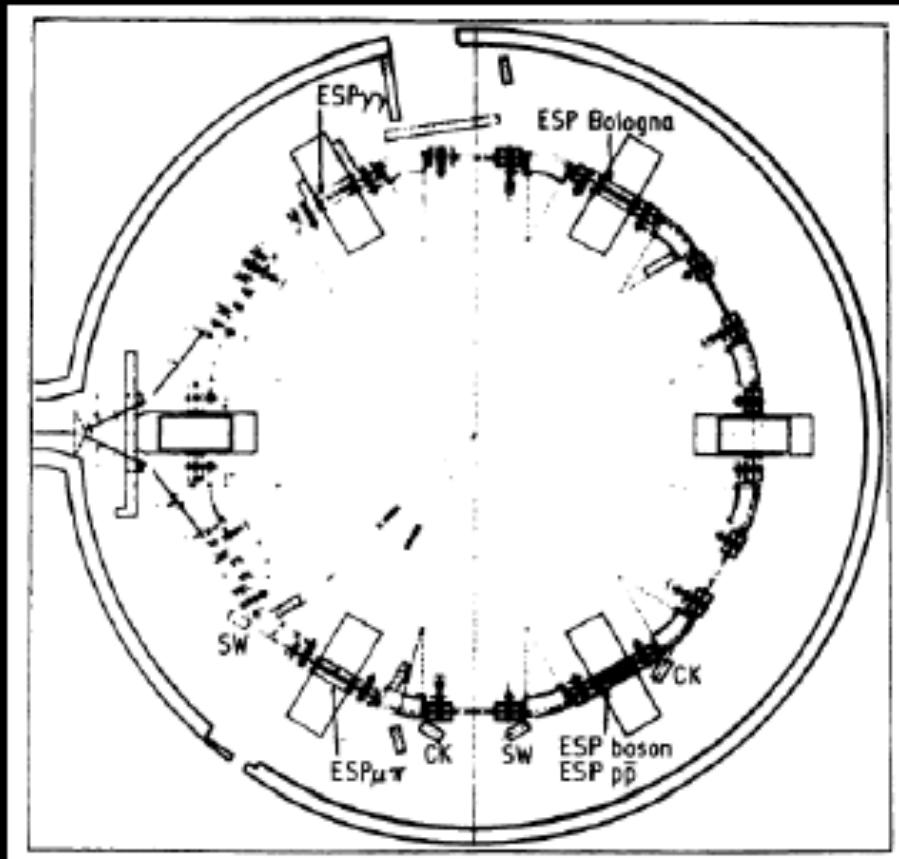
Esperimenti di prima generazione:

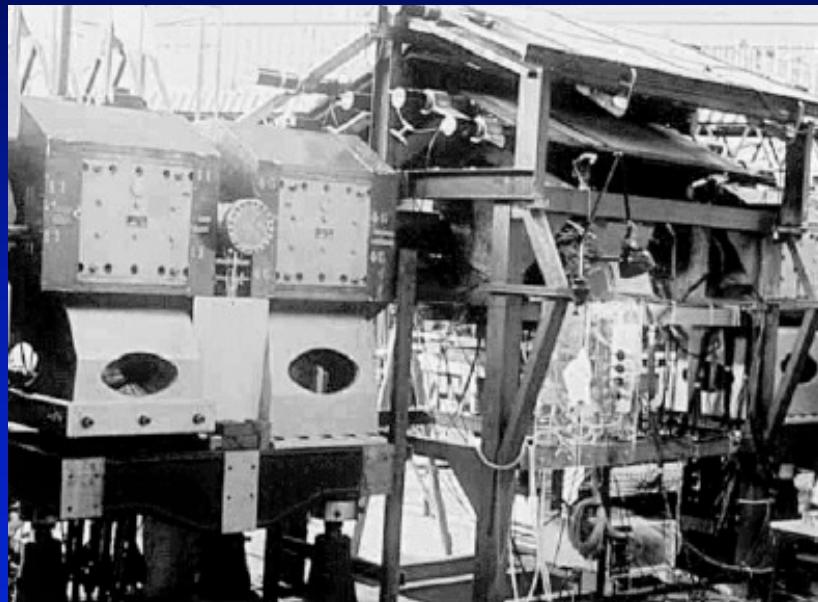
$\gamma\gamma$
 $\mu\pi$
Bosone
BCF

Esperimenti di seconda generazione:

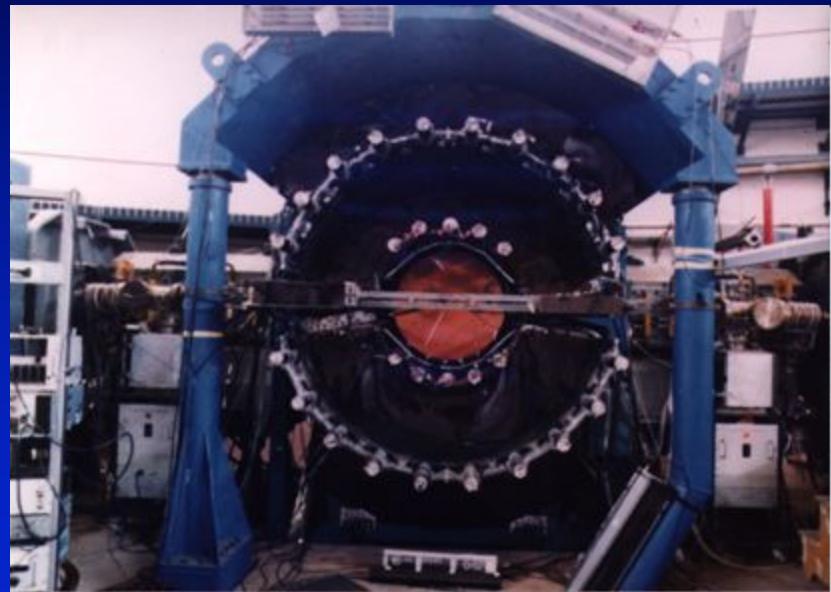
MEA
 $\gamma\gamma 2$
Barione-antibarione
[misura di luminosità]

Fenice





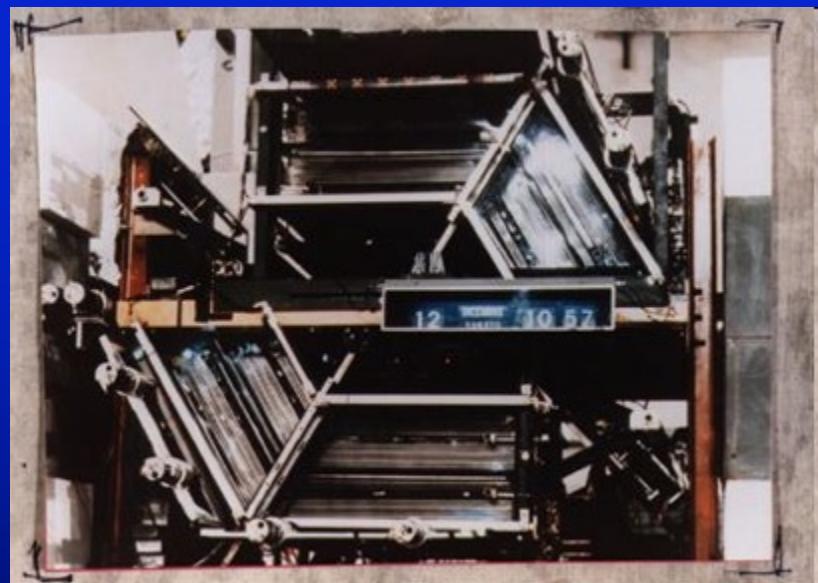
Bosone



Barione antibarione



BCM



Gamma-Gamma

Importanti risultati

- Nell' anno della sua entrata in funzione ADONE era l' acceleratore di piu' alta energia al mondo; furono compiute misure su tutto lo spettro di energie dei mesoni
- Produzione multi adronica
- Contributi alla scoperta del tau il terzo leptone
- Contributi alla scoperta del charm: il quarto quark
- I risultati piu' importanti sono stati la conferma della scoperta della J/Ψ .
- Lo studio delle interazioni adroniche
- Peccato che l' energia di progetto fosse stata leggermente piu' bassa dell' energia della risonanza J/Ψ . Invece di una conferma poteva essere una scoperta ma non era prevedibile!

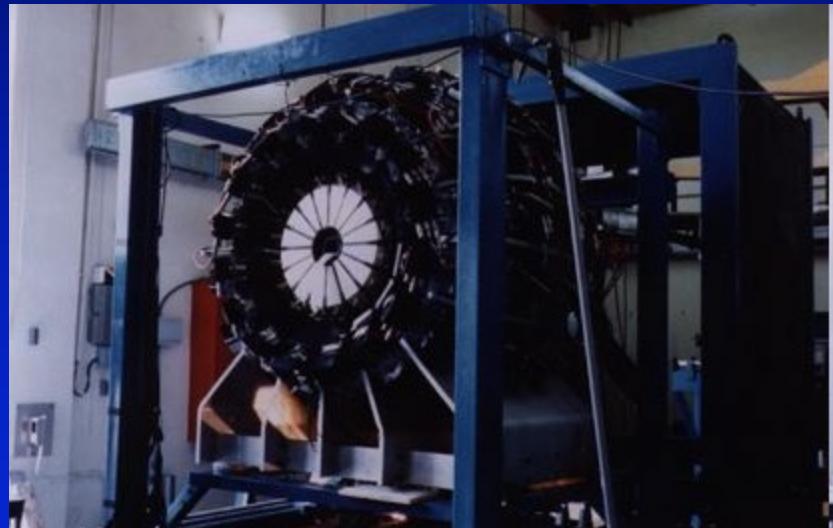
I Fotoni di ADONE

- ADONE fu uno dei primi acceleratori nei quali la Luce di sincrotrone venne utilizzata continuativamente con linee dedicate ad esperimenti
- Uno dei primi anelli di accumulazione nel quale viene installato un magnete ondulatore che, facendo scodinzolare gli elettroni, aumenta il flusso di radiazione X uscente
- Uno dei primi nei quali fu utilizzata la diffusione di fotoni laser da parte degli elettroni di alta energia di ADONE per produrre fotoni alta energia (MeV) (esperimento LADON)
- Sono stati prodotti raggi gamma facendo urtare gli elettroni con una lamina di gas (esperimento Jet Target)

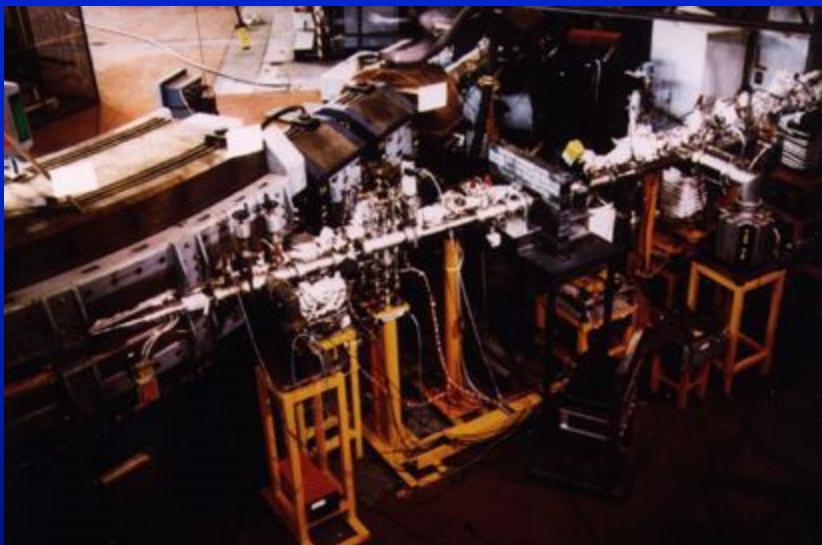
ADONE esperimenti di terza generazione



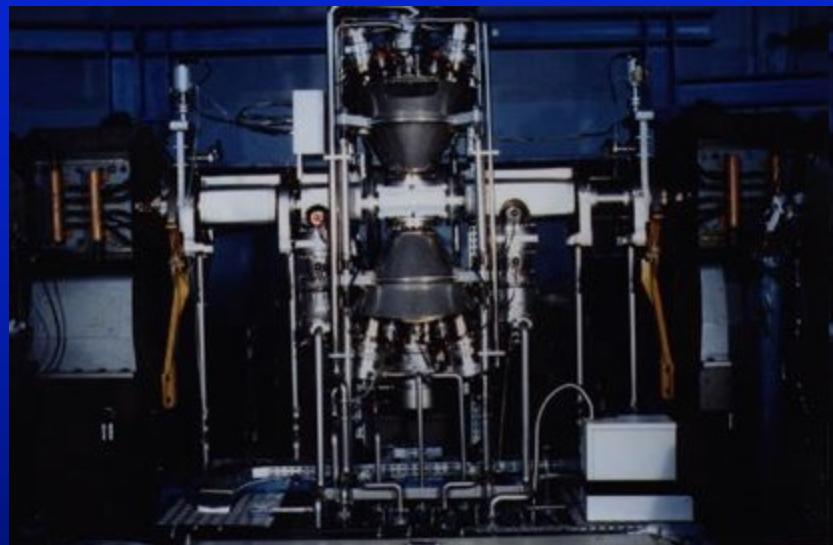
FENICE



LADON

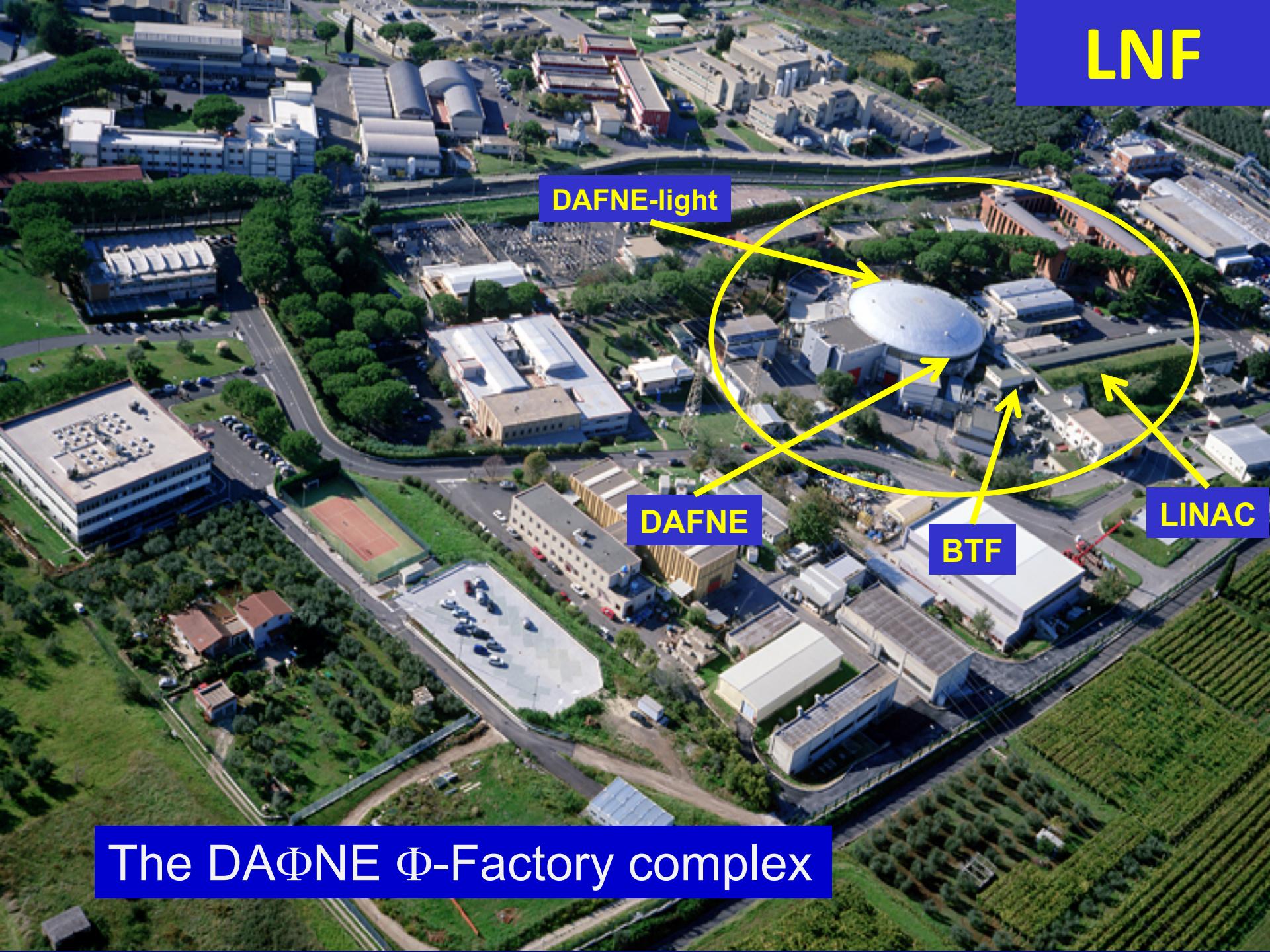


LUCE DI SINCROTRONE



JET TARGET

LNF



The DAΦNE Φ -Factory complex

La “fabbrica di particelle Φ ” di Frascati



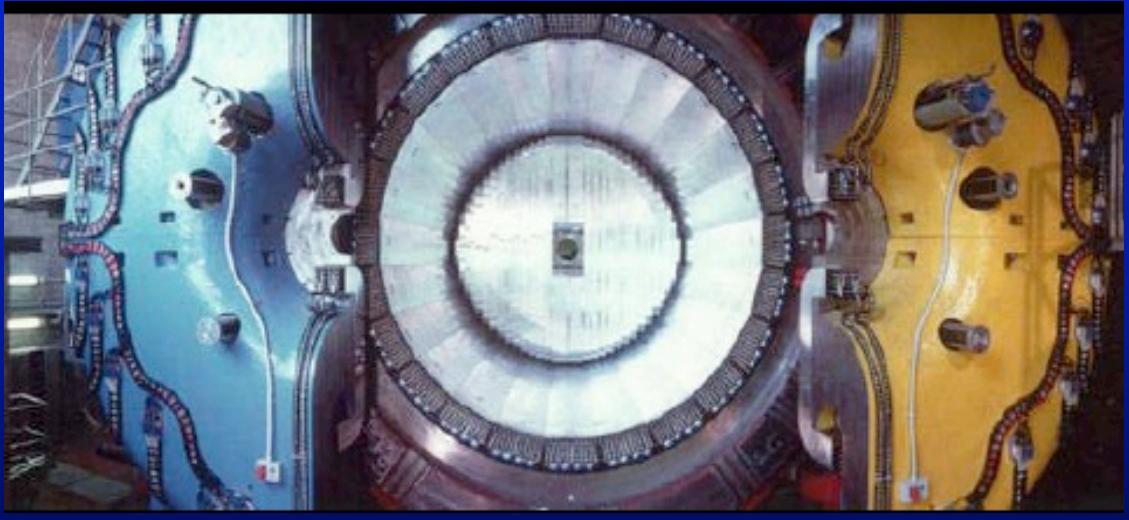
DAΦNE
Collisore ad altissima luminosita'

KLOE

Angolo di Cabibbo

Misure di
Precisione sui K

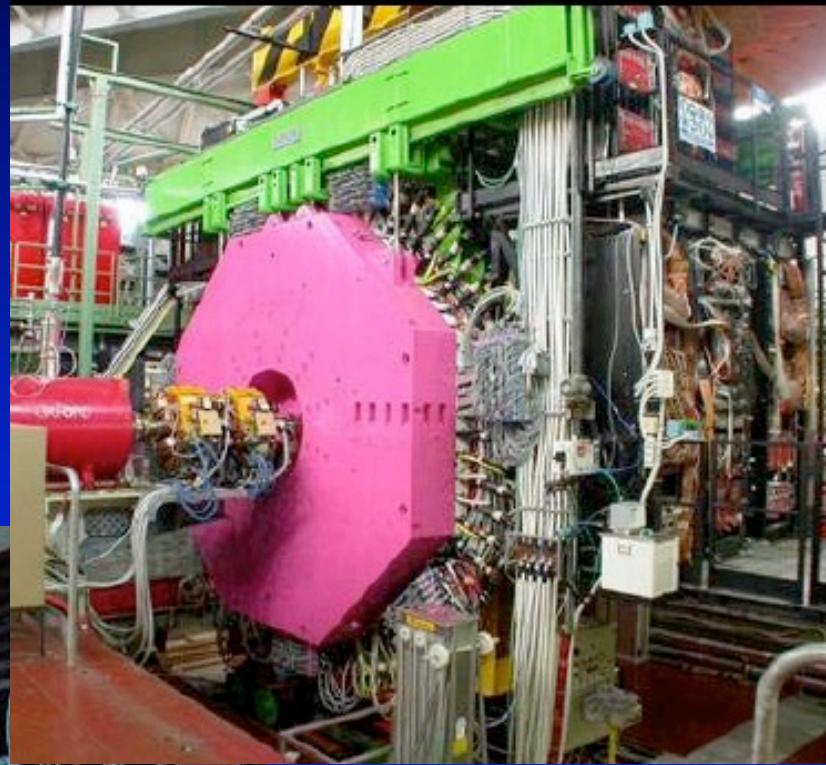
Violazione di CP



FINUDA

Produzione e studio di Ipernuclei

L' esperimento FINUDA studia la forza forte attraverso l' inserimento di un "corpo estraneo" all' interno del nucleo



**E' stato il
primo
apparato a
molte
targhette sul
punto di
interazione di
un collisore**

DEAR & SIDDHARTA

Produzione e studio di atomi Kaonici



Beamlines @ DAΦNE-Light

1) SINBAD - IR beamline (1.24 meV - 1.24 eV)

2) DXR1- Soft x-ray beamline (900-3000 eV)

Open to Italian and EU users

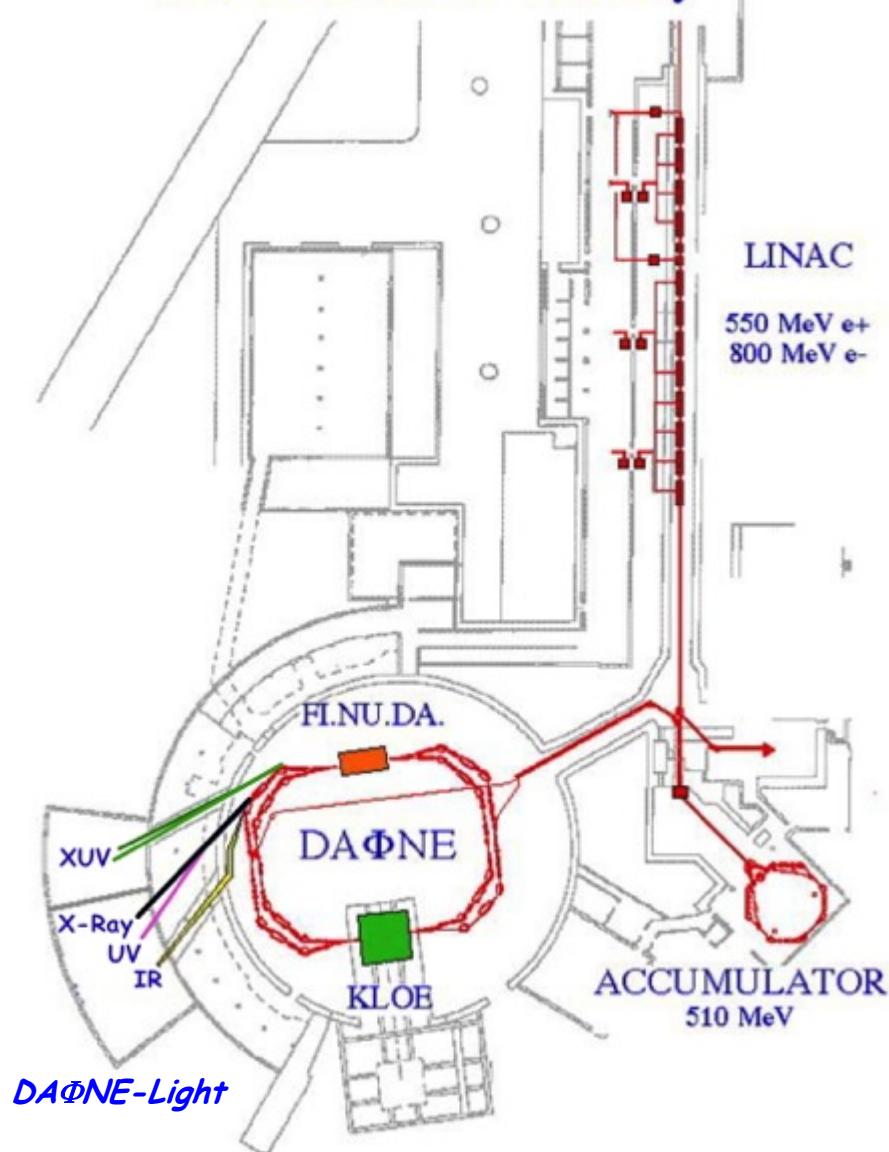
3) DXR2 - UV-VIS beamline (2-10eV)
new setup.

2 XUV beamlines

4) Low Energy Beamline (35-200 eV)
ready for commissioning;

5) High Energy Beamline (60-1000eV)
ready for commissioning.

The Frascati Φ -Factory



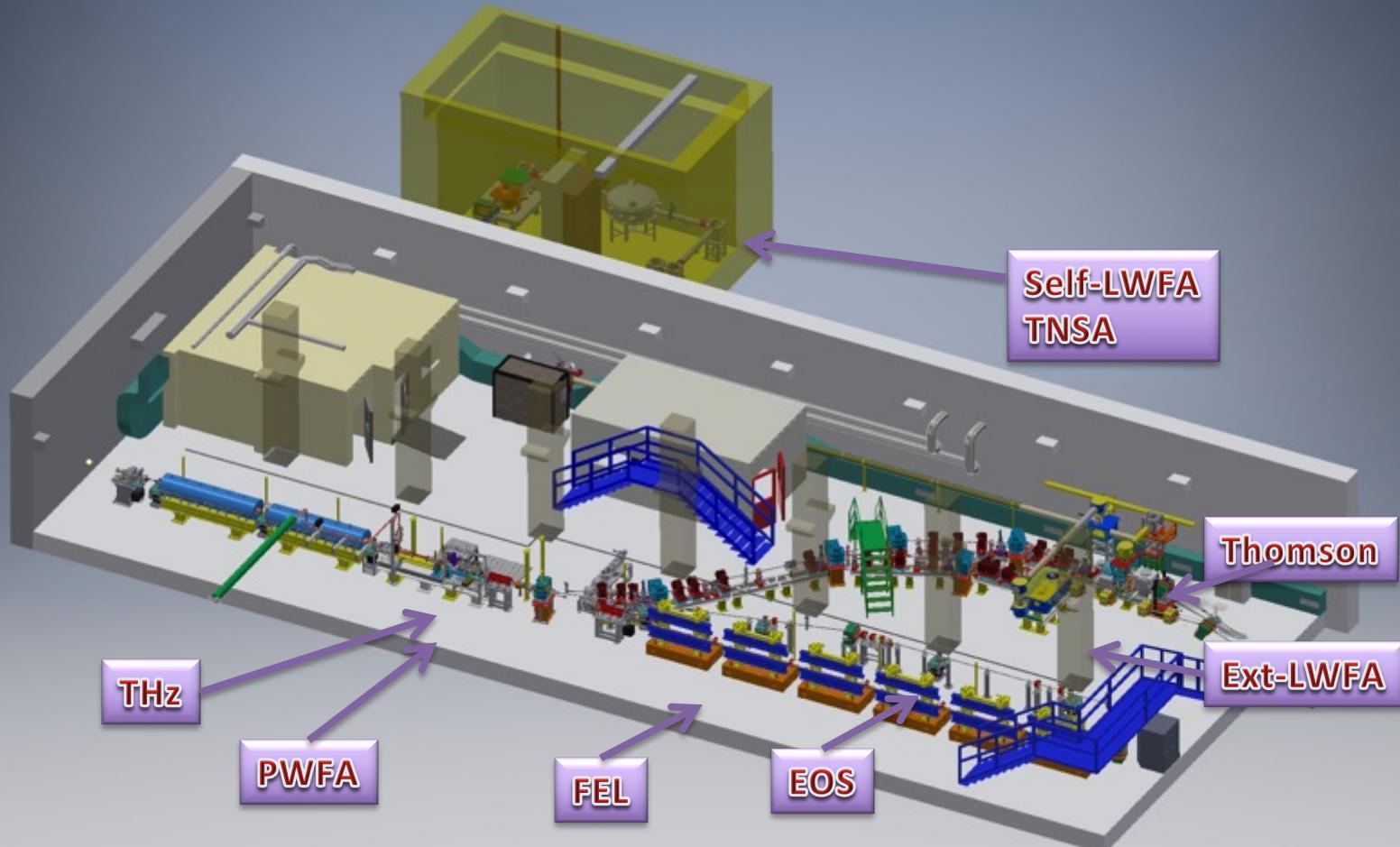
The SPARC-LAB complex

FLAME

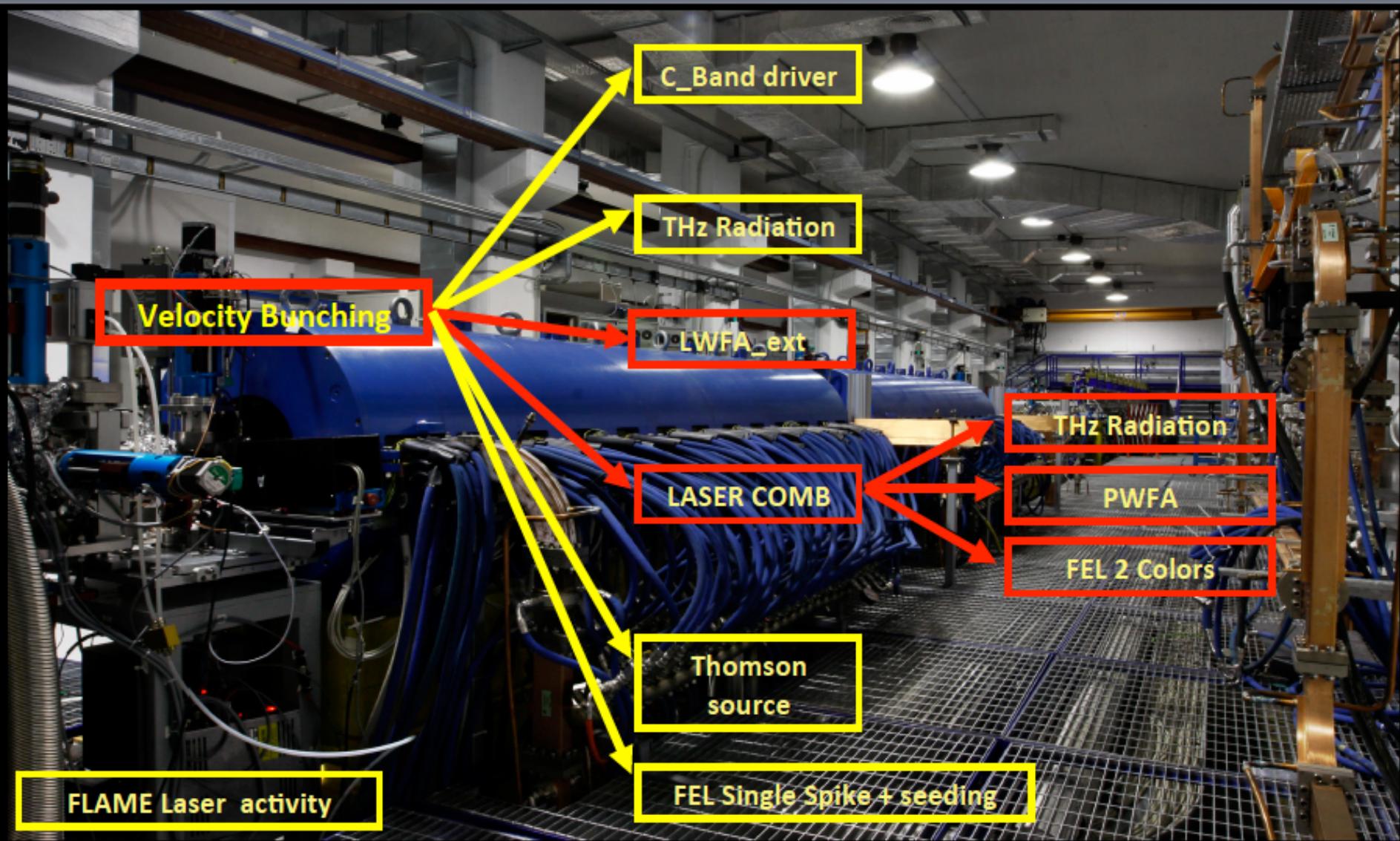
SPARC-LAB

SPARC-LAB

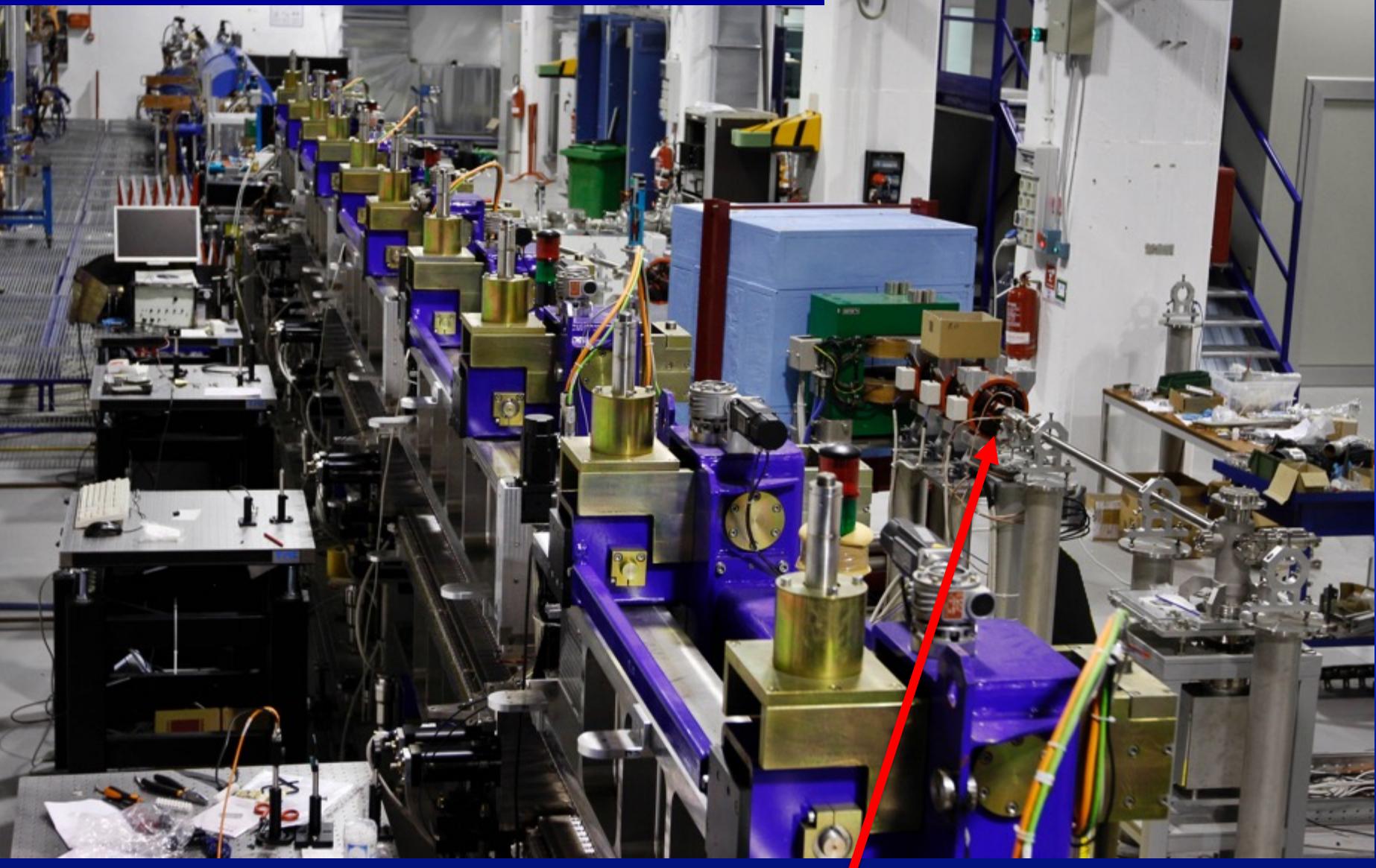
Sources for Plasma Accelerators and Radiation Compton with Lasers And Beams



Esperimenti a SPARC-LAB



Il Free Electron Laser di SPARC



SABINA nuova linea per utenti di luce infrarossa e THz in costruzione

EUPRAXIA@SPARC-LAB

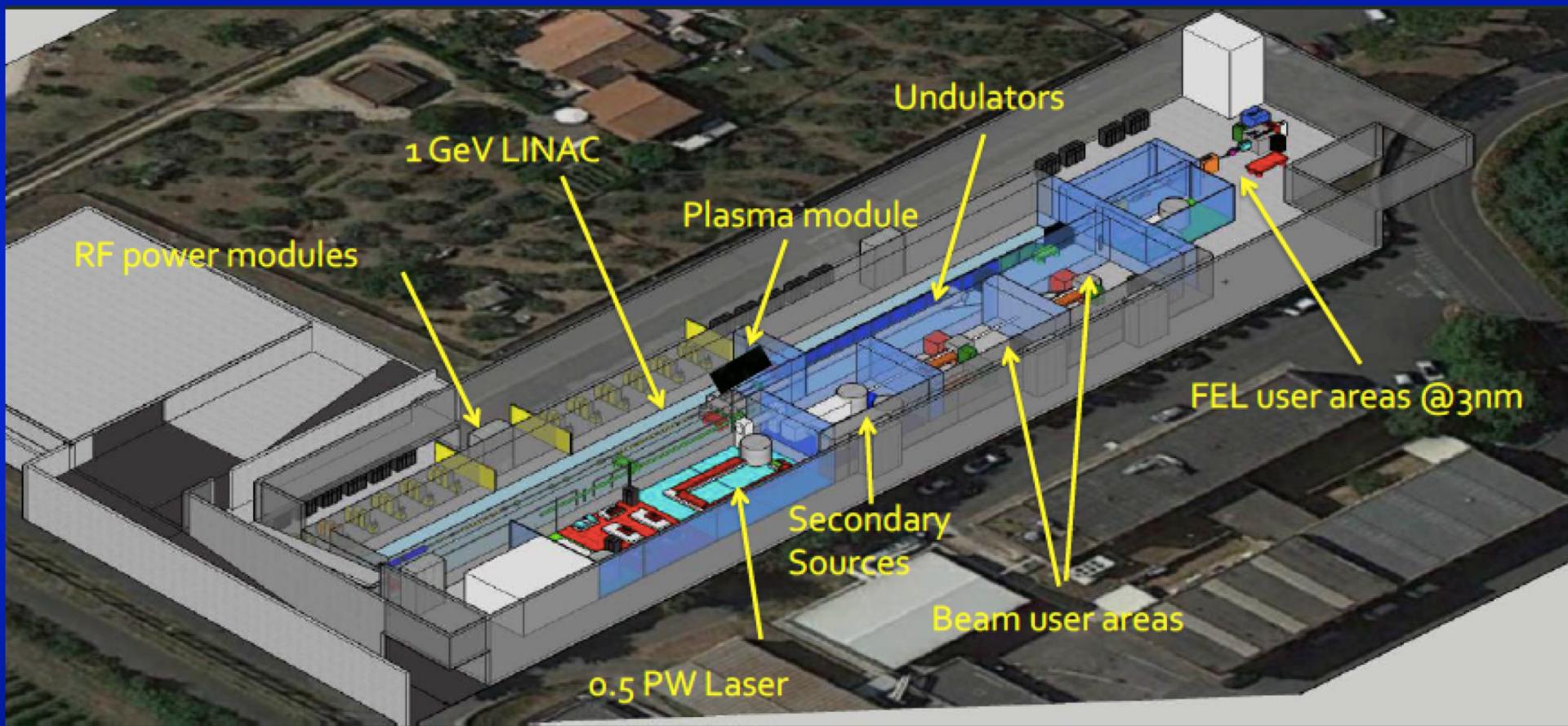
La nuova infrastruttura di Ricerca dei Laboratori Nazionali di Frascati approvata e finanziata dall'INFN e dal MUR: partita la progettazione edilizia!



I Laboratori di Frascati si candidano ad ospitare la realizzazione del progetto europeo EUPRAXIA

EUPRAXIA@SPARC-LAB

Il complesso EUPRAXIA@SPARC-LAB sarà costituito da un acceleratore lineare di nuova concezione basato su **cavità a radiofrequenza ad alta frequenza e ad alto gradiente** accelerante seguito da uno stadio di accelerazione a plasma.



EUPRAXIA sarà un'infrastruttura di ricerca per utenti di **Laser ad Elettroni Liberi** con linee sperimentali nei **raggi X e ultravioletti**. Si propone di sperimentare anche produzione di particelle da interazione di laser-materia

Grazie per l'attenzione



Sorgenti bibliografiche e fotografiche: E.Amaldi, G.Battimelli,
C.Bernardini, P.Campana, M.Ferrario, M.Ricci-Ghigo, G.Salvini,
V.Valente e ... molti colleghi e amici