

La mia Passione per la Fisica e *gli Acceleratori di Particelle*

Catia Milardi

Responsabile Scientifico del Complesso di Acceleratori **DAΦNE**

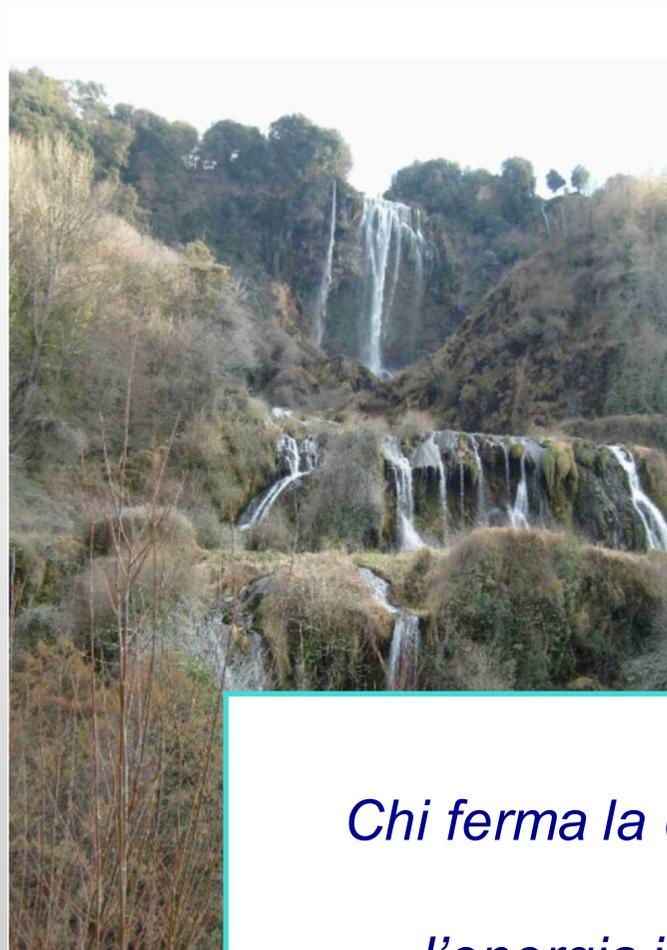
International Day of Women and Girls in Science 2017, 10 Febraio, LNF, Roma

Mi presento ...

- *Nata a Terni nel 1960*
- *Studi Classici*
- *Laurea in Fisica (con lode)*
- *dal 1988 lavoro presso i LNF*
- *Responsabile Scientifico del Complesso di Acceleratori DAΦNE*

.... nonché responsabile di due ragazze di 27 e 22 anni

La Cascata delle Marmore



Chi ferma la cascata?

l'energia idroelettrica

le Acciaierie

Le letture dagli 8 ai 15 anni



I primi viaggi di esplorazione del cosmo:

- *Sputnik il primo oggetto nello spazio 1957*
- *La cagnetta Laika*
- *Vostok 1 1961 Gagarin*

Le missioni sulla luna:

- *Apollo 11 Neil Armstrong e Buzz Aldrin sbarcano sulla luna 1969*
- *Apollo 13 1970*

Gli studi classici



Garzanti, Milano 1970-1976

Un libro scovato nella biblioteca del mio Liceo

Il primo libro scientifico



Il Lavoro come Ricercatrice dei LNF

- Ho svolto il mio lavoro di tesi presso I LNF dove lavoro dal 1988 nel campo della fisica degli acceleratori partecipando alle attività':
 - LISA
 - Adone
 - DAFNE sin dal progetto

Particle Accelerators

ATOMI

MATERIA animata ed inerte

Strumenti per:
 Diagnostica Medica
 Terapia Oncologica

Produzione di
 componenti avanzate
 per l'elettronica

Presently in the world there
 are **30000** operating particle
 accelerators

ATOMI variamente organizzati

Proprietà atomiche e molecolari
 Studio delle strutture cristalline

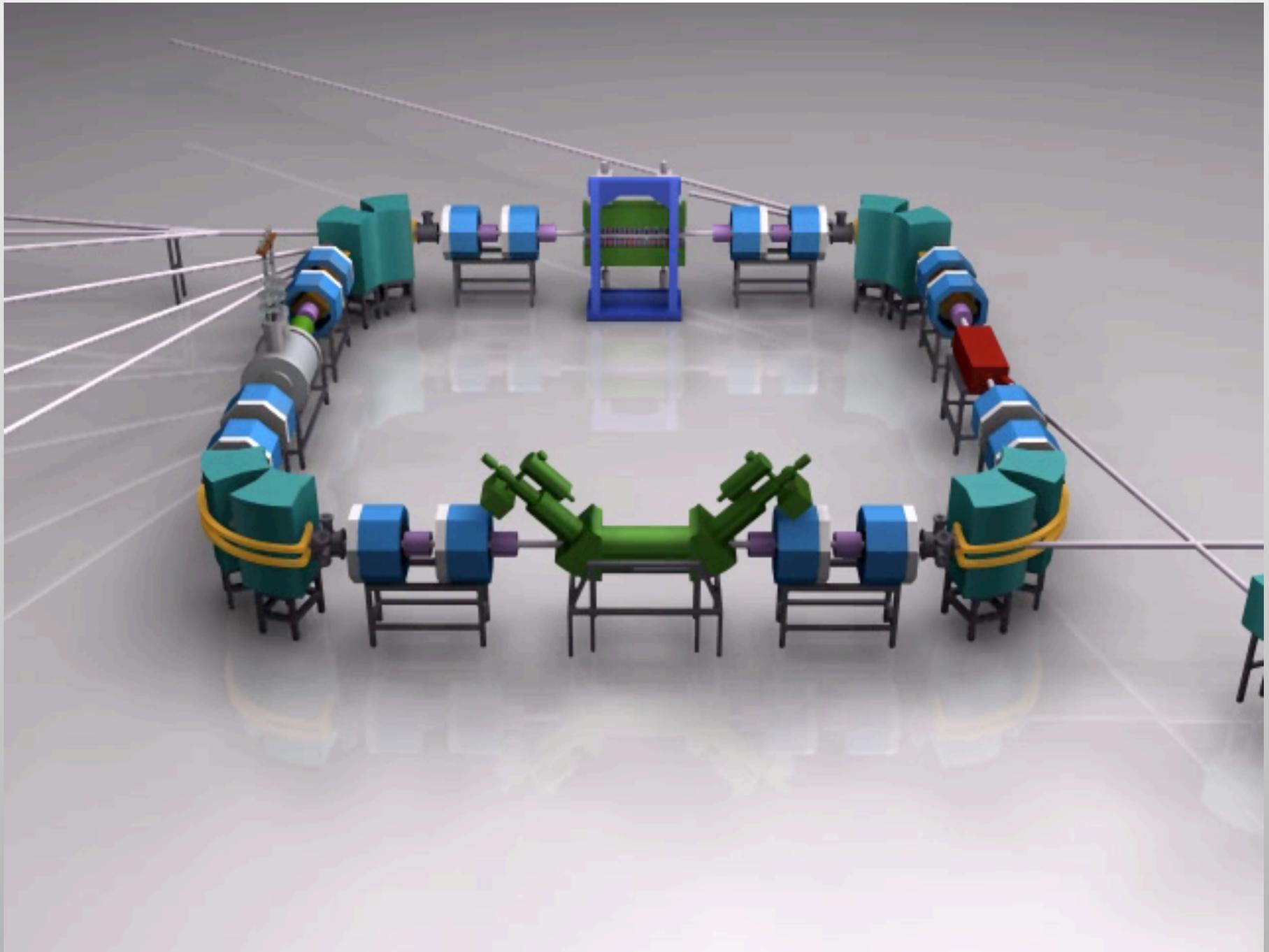
NUCLEO

NUCLEONE

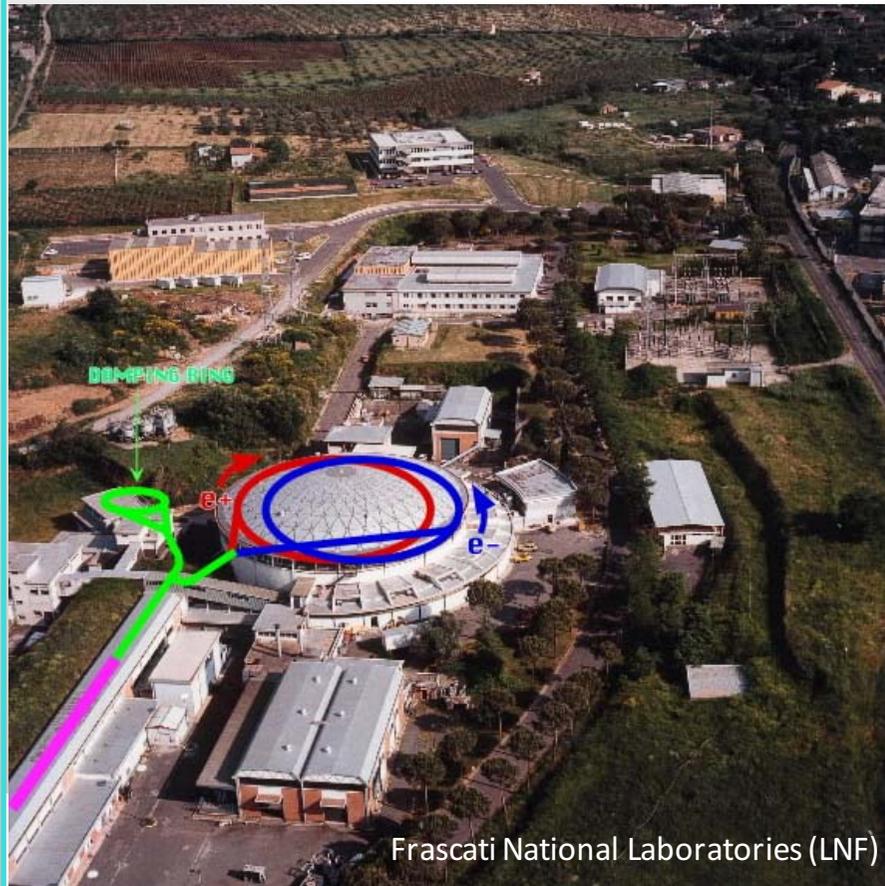
Struttura del nucleo
 Studio delle particelle elementari

Gli elementi costituenti di un acceleratore di particelle

- Sorgente di particelle da accelerare (LINAC)
- Elementi che consentano di definire la traiettoria aperta o chiusa delle particelle da accelerare (DIPOLI)
- Elementi che consentano di tenere sotto controllo la divergenza angolare delle particelle accelerate (QUADRUPOLI)
- Elementi che reintegrino l'energia persa dal fascio di particelle per emissione di Luce di Sincrotrone (Cavità a Radio Frequenza)



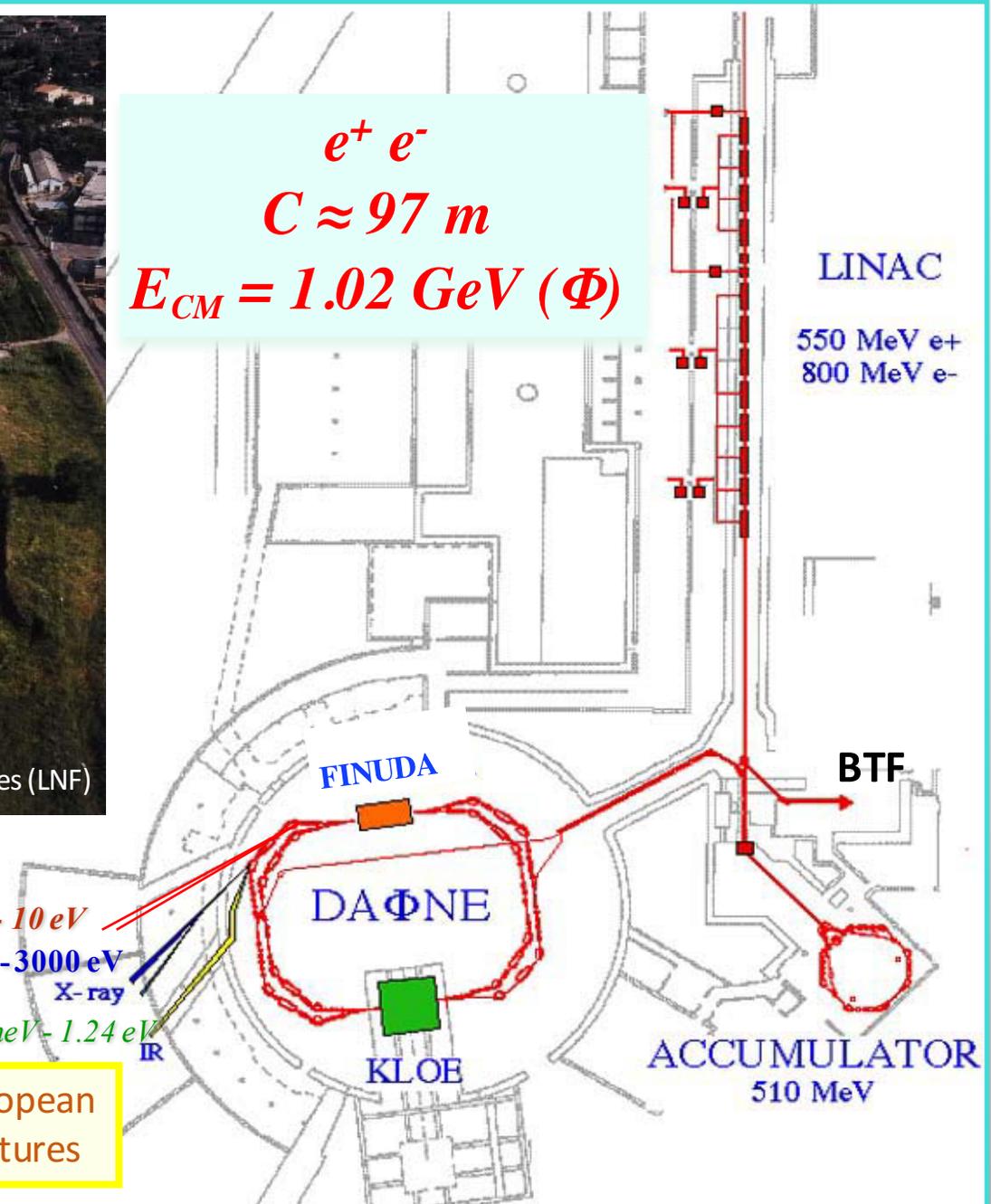
The DAΦNE Accelerator Complex



$e^+ e^-$
 $C \approx 97 \text{ m}$
 $E_{CM} = 1.02 \text{ GeV } (\Phi)$

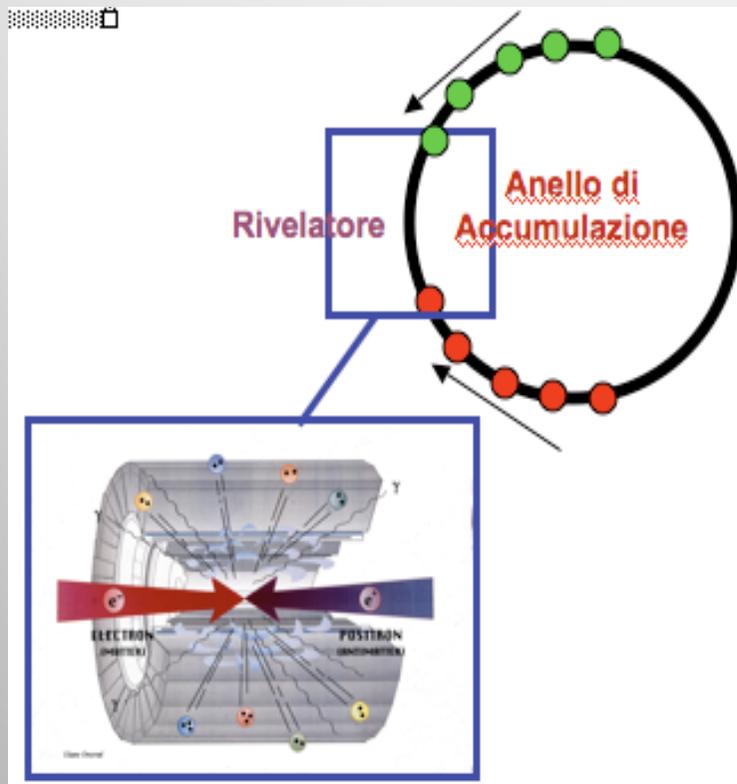
UV 2-10 eV
X-ray 900-3000 eV
X-ray
IR 1.24 meV-1.24 eV
IR

LNF are also part of the European synchrotron light Infrastructures

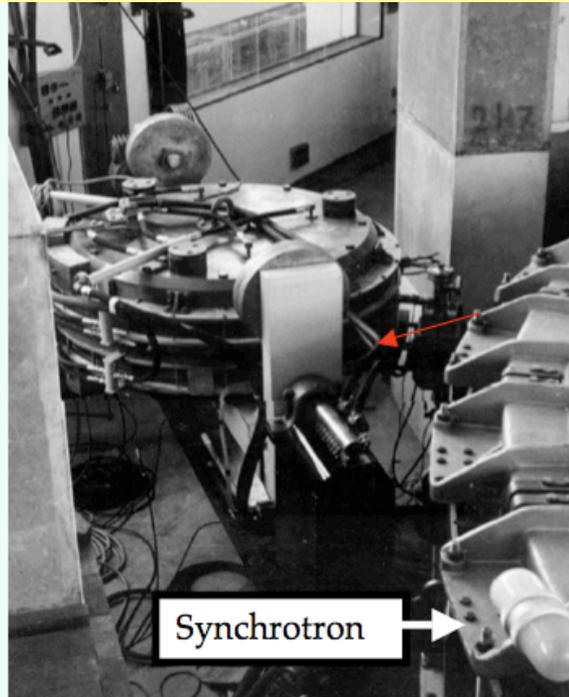


Uno dei pionieri di questo concetto

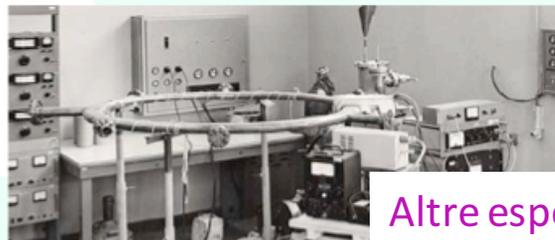
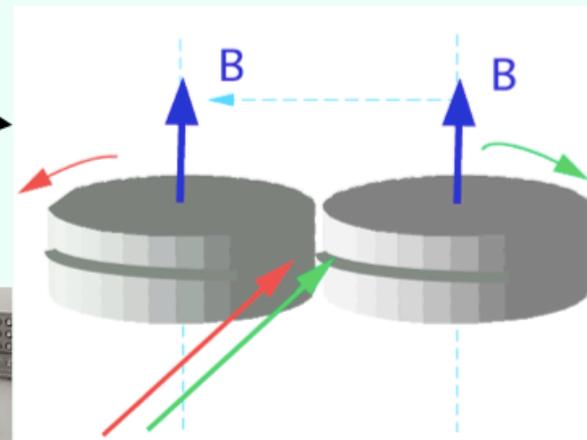
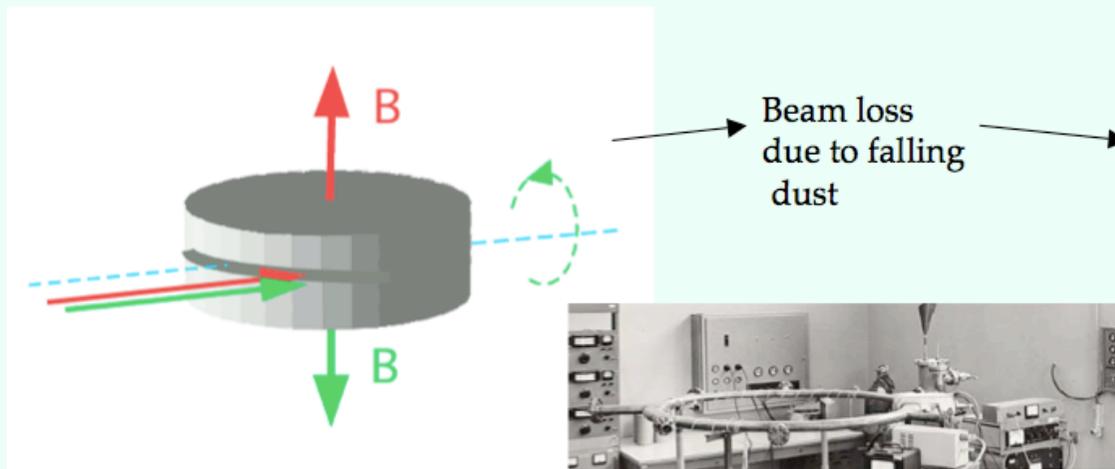
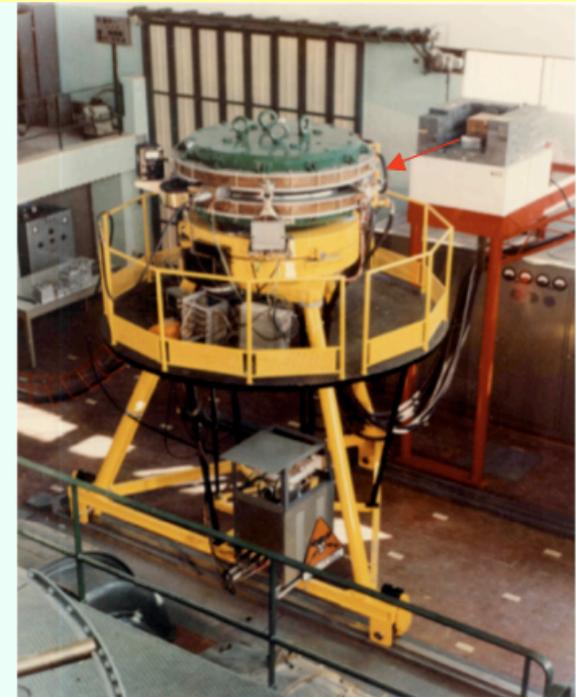
Bruno Touschek (1921-1978) concepì la brillante idea di accumulare elettroni e positroni in un anello che, nella loro annichilazione, avrebbero rilasciato tutta la loro energia per dar vita a nuove particelle.



ADA (1962) il primo collisore $e^+ e^-$



Nobody could tell which were positrons and which electrons !



Tazzari CAS - IC-2006

Altre esperienze con collisori $e^- e^-$
1957 G.K.O'Neil, et al. a Princeton-Stanford
1964 VEP1 a Novosibirsk (URSS)

Il CONCETTO di SEZIONE D'URTO

Due particelle che collidono possono produrre tipi diversi di eventi, alcuni più probabili di altri

la *sezione d'urto* σ di un determinato evento è proporzionale alla probabilità che l'evento avvenga
si misura in cm^2

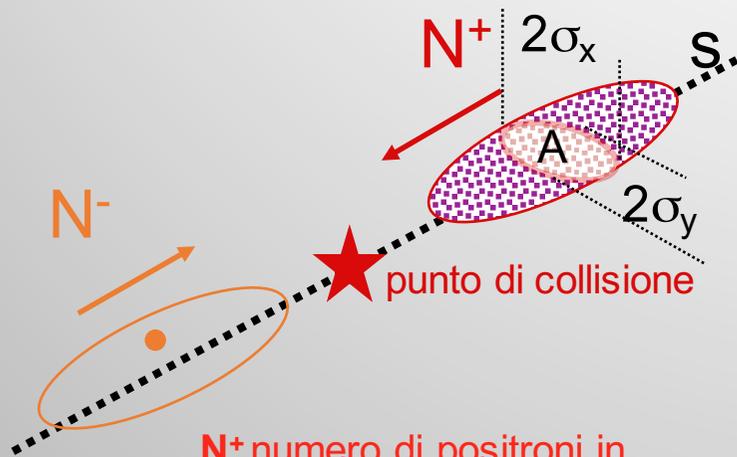
Luminosità L

Perchè è così importante?

N_e è il numero di eventi prodotti dalle collisioni

σ_p è la probabilità di ottenere un dato evento dall'urto tra particelle collidenti (sezione d'urto del processo da studiare)

L è il numero di collisioni realizzate per unità di superficie A per unità di tempo



N^+ numero di positroni in ogni pacchetto

N^- numero di elettroni in ogni pacchetto

$$\frac{\Delta N_e}{\Delta t} = \sigma_p L \quad \text{Numero di eventi nell'unità di tempo}$$

$$\frac{\Delta N_e}{\Delta t} = \sigma_p \frac{f_r b N^+ N^-}{4\pi\sigma_x\sigma_y}$$

$$L = \frac{f_r b N^+ N^-}{4\pi\sigma_x\sigma_y}$$

$$I = N b f_r e$$

$$L = \frac{I^+ I^-}{4\pi e^2 f_r b \sigma_x \sigma_y}$$

$$L_{\text{integrata}} = L \Delta t$$

Unità di misura

$$L[\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}] = L[10^{33} \text{ nb}^{-1}\text{s}^{-1}]$$

$$1 \text{ b} = 10^{-24} \text{ cm}^2$$

$$\text{nb} = 10^{-9} \text{ b}$$

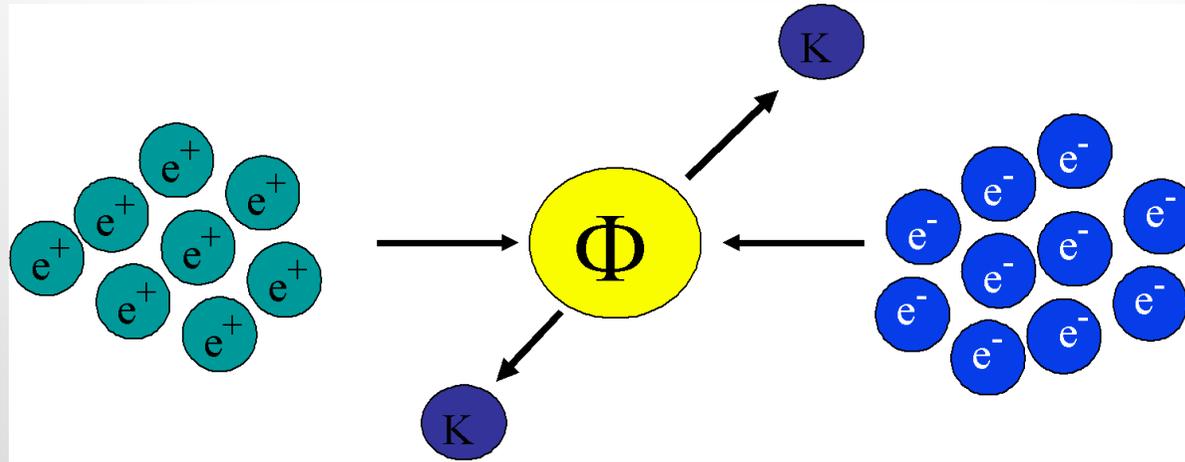
$f_r = c/L$ frequenza di rivoluzione

b numero dei pacchetti

$f_r b$ frequenza di collisione

FISICA DELLE PARTICELLE a DAΦNE

Dalla collisione di e^-/e^+ all'energia di 1.02 GeV si produce la particella Φ . Questa decade in kaoni (K) carichi o neutri.



I K sono utilizzati dagli esperimenti KLOE, FINUDA, DEAR e SIDDHARTA

KLOE

(K LOnG Experiment)

KLOE studia il rapporto tra materia e antimateria tramite i decadimenti dei Kaoni

FINUDA

(Fisica Nucleare a DAΦNE)

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

Ipernucleo

Ecco come appare un evento ipernucleare all'interno del rivelatore

di macchine acceleratrici - Acitrezza 11-15 Giugno 2007

DEAR

(DAΦNE Exotic Atom Research)

Idrogeno Kaonico

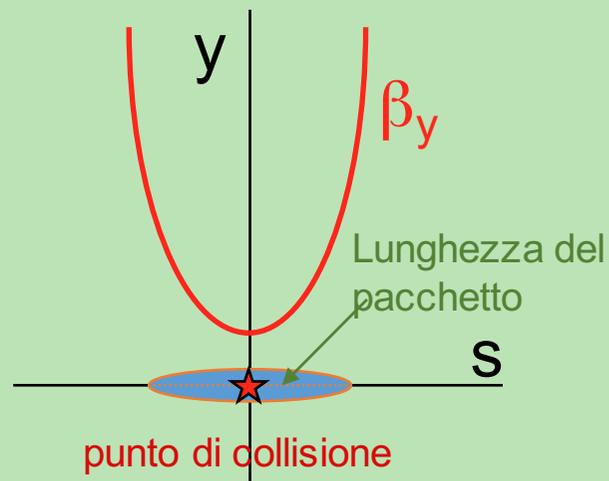
L'esperimento DEAR studia la **forza forte** attraverso lo studio degli **atomi kaonici** (in cui un K- ha sostituito un elettrone atomico).

Come si ottiene un'alta Luminosità ?

$$L = \frac{f_r b N^+ N^-}{4\pi \sigma_x \sigma_y}$$

- Aumentando le correnti dei singoli fasci ed il numero di pacchetti da cui sono costituiti
- Diminuendo le dimensioni trasverse dei fasci
- Nei collisori ad anelli separati ottimizzando la sovrapposizione dei pacchetti collidenti trasversalmente e longitudinalmente

$$\sigma_y = \sqrt{\beta_y(s) \varepsilon_y(s)}$$



Fattori limitanti:

Più alte sono le correnti:

- maggiori sono le loro **instabilità**
- maggiore è l'energia U persa per emissione di radiazione di sincrotrone
- Maggiore è la perturbazione elettromagnetica di un fascio sull'altro nel punto di collisione

Diminuire σ_x e σ_y comporta una diminuzione della vita media dei fasci con conseguente aumento del rumore sul rivelatore

Giochiamo con la luminosità di DAΦNE

$e^+ e^-$ collidendo con $E_{\text{CM}} = 1.02 \text{ GeV}$ producono mesoni Φ

$$L = \frac{N^+ N^-}{4\pi\sigma_x \sigma_y} \times f_r b \cong 10^{32} [\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}]$$

$$N^+ = N^- = 10^{10}$$

$$\sigma_y = 10 \mu\text{m} = 10^{-5} \text{ m}$$

$$\sigma_x = 1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$$

$$b = 100$$

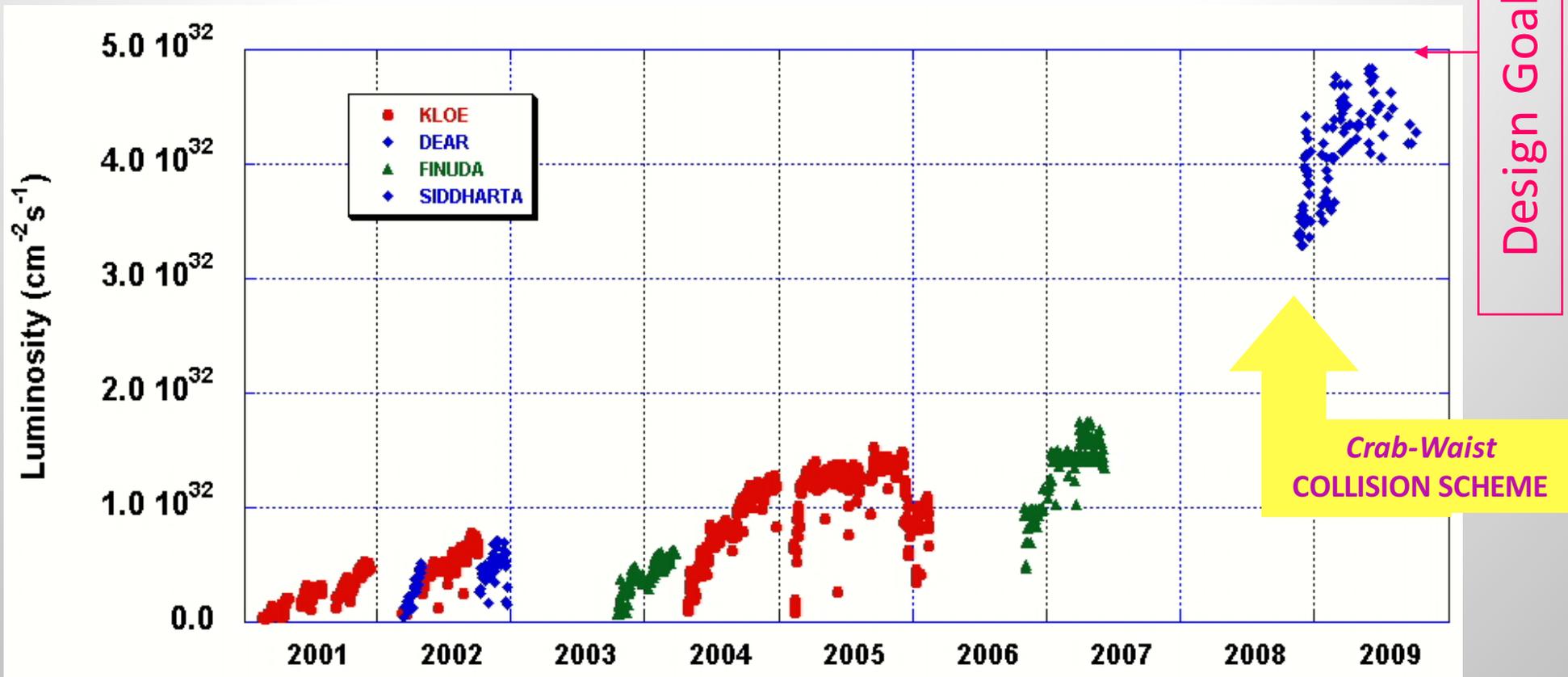
$$f_r = 3076923 \text{ s}^{-1}$$

$$\sigma_\Phi = 3 \cdot 10^{-30} \text{ cm}^2$$

$$L \cdot \sigma_\Phi \sim 300 \text{ eventi s}^{-1}$$

frequenza di produzione dei mesoni Φ

Luminosity at DAΦNE 2001 ÷ 2009

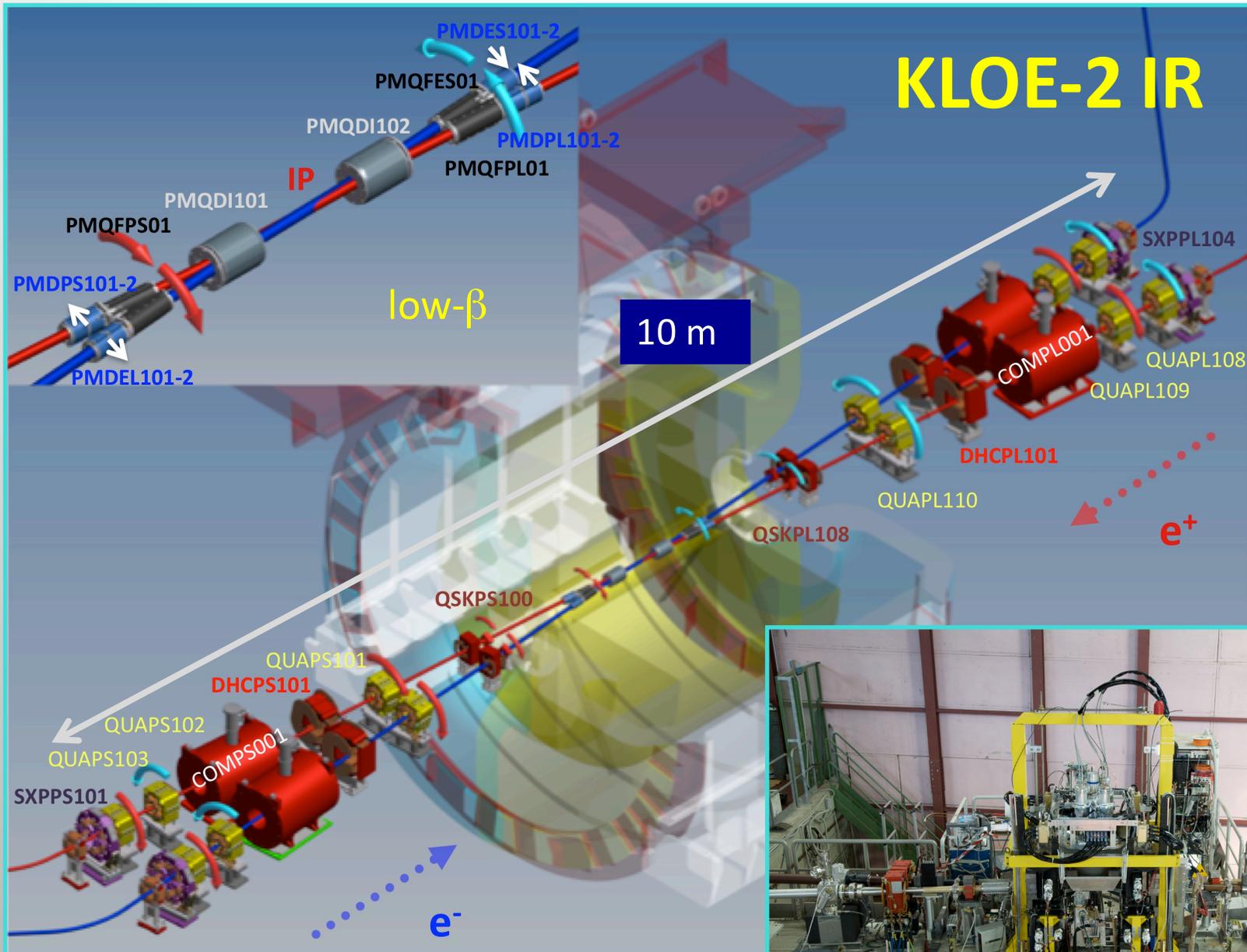


A factor 3 higher luminosity achieved without increasing beam currents

No evidence of vertical BB saturation with *CW-Sextupoles* on ($\xi_y = 0.044$)

LRBB interaction cancelled

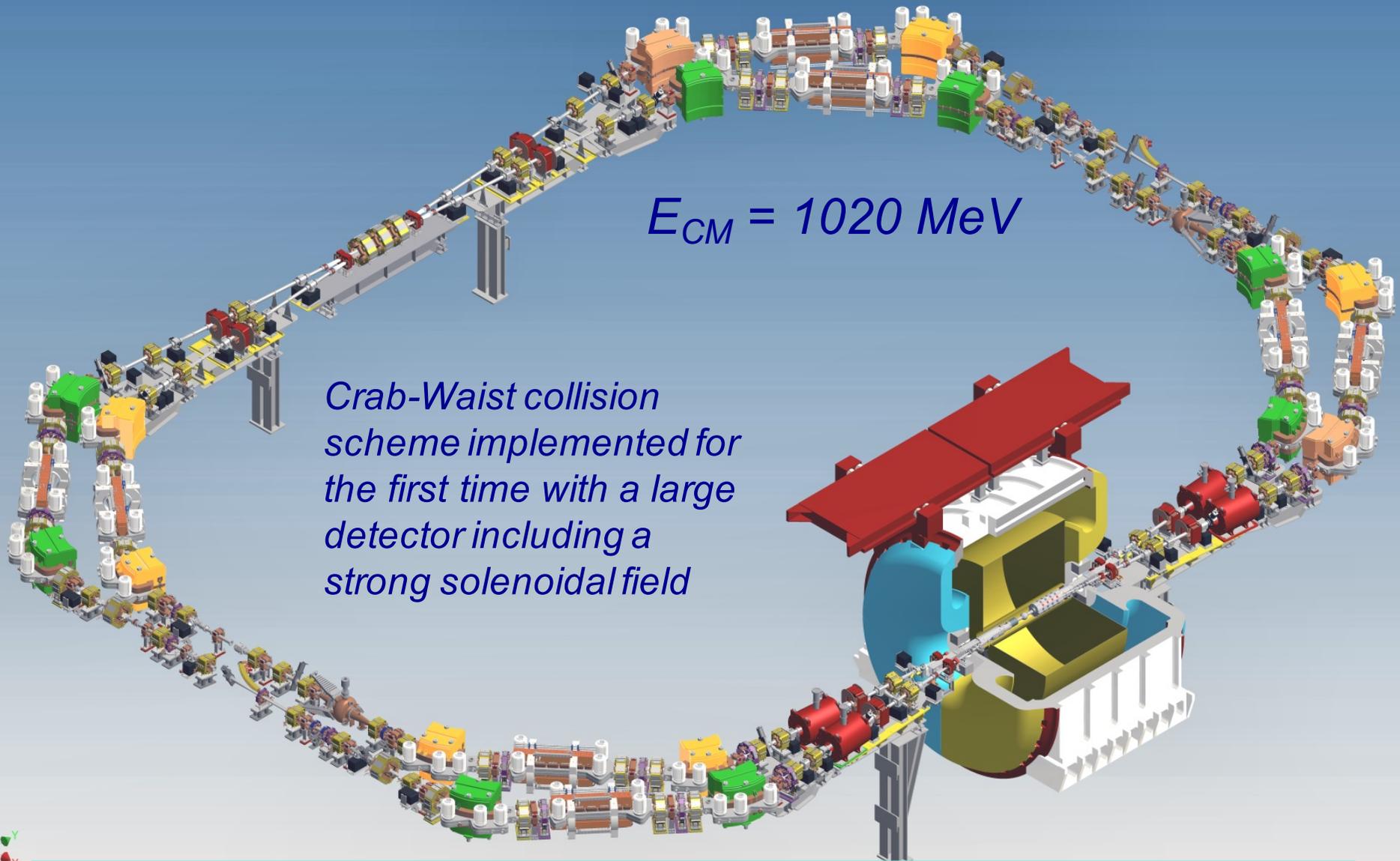




C. Milardi *et al* 2012 JINST 7 T03002.



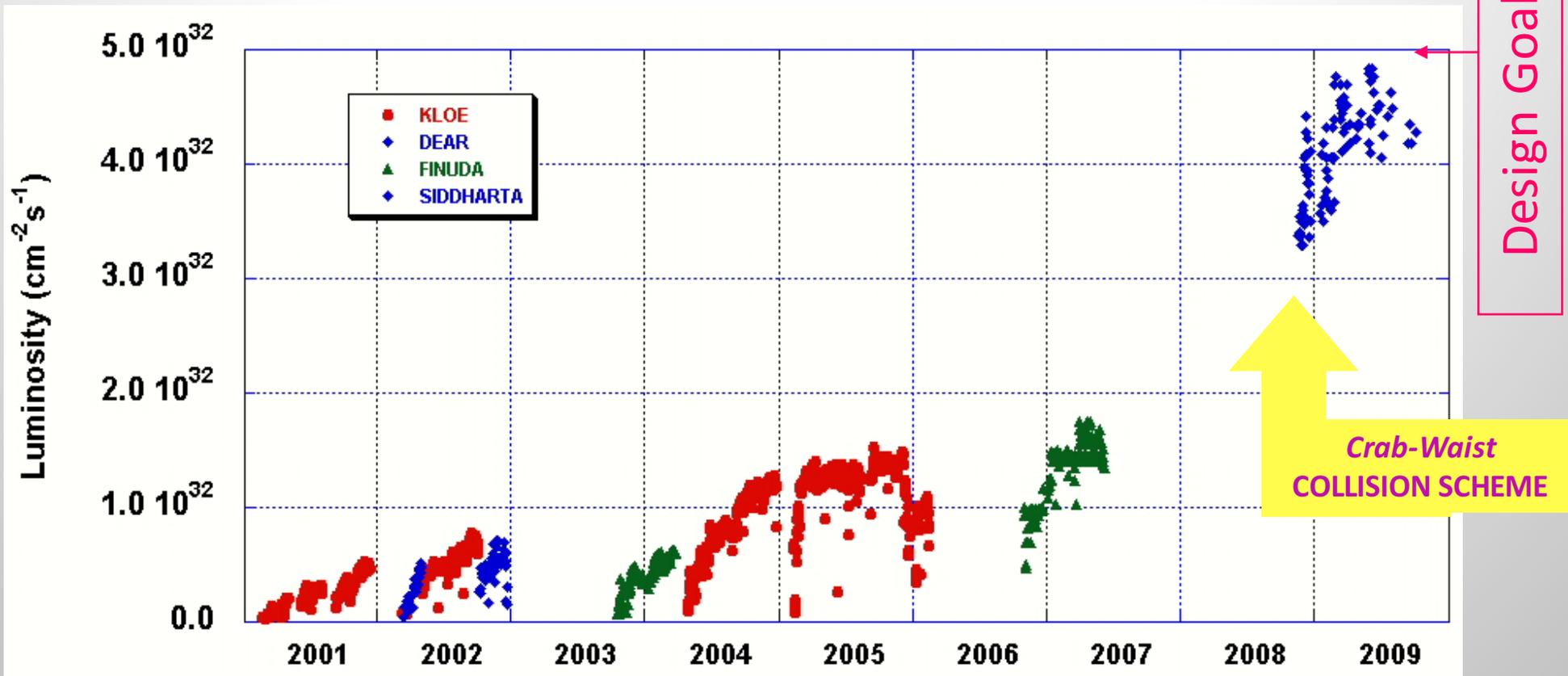
DAΦNE and KLOE-2



Crab-Waist collision scheme implemented for the first time with a large detector including a strong solenoidal field

Luminosity achieved at DAFNE is **2 order of magnitude higher** than the best measured in colliders working at the **same E**

Luminosity at DAΦNE 2001 ÷ 2009



A factor 3 higher luminosity achieved without increasing beam currents

No evidence of vertical BB saturation with *CW-Sextupoles* on ($\xi_y = 0.044$)

LRBB interaction cancelled



Crab-Waist Colliders

Colliders	Location	Status
DAΦNE	Φ-Factory Frascati, Italy	In operation
SuperKEKB	B-Factory Tsukuba, Japan	Commissioning starts in first months of 2016
SuperC-Tau	C-Tau-Factory Novosibirsk, Russia	Russian mega-science project
FCC-ee	Higgs-Factory CERN, Switzerland	100 km, CW baseline design option
CEPC	Higgs-Factory China	54 km, local double ring option with CW
LHC Upgrade	LHC CW Option CERN, Switzerland	LHC with very flat beams (low priority)

Le persone che lavorano su DAΦNE

30 tra Fisici ed Ingegneri (4 donne)

40 Tecnici (1 donna)

Conclusioni

DAΦNE e' il complesso di acceleratori realizzato per produrre eventi di fisica all'energia di risonanza dei mesoni Φ .

Costituisce una delle più grandi infrastrutture dell'INFN, come tale rappresenta un'opportunità unica in Italia per esperimenti di fisica delle particelle e nucleare.

DAΦNE ha fornito dati a tre diversi esperimenti KLOE, FINUDA e DEAR-SIDDHARTA migliorando, al tempo stesso, le proprie prestazioni in termini di luminosità mediante un'intensa attività di studi e prove sperimentali.

Questo approccio ha portato a proporre e a realizzare, nel 2007, un nuovo schema di collisione chiamato 'Crab-Waist' che provato con l'esperimento SIDDHARTA ha consentito di triplicare la luminosità di picco, aprendo la strada ad un'ulteriore fase sperimentale per il rivelatore KLOE, che prenderà dati nei prossimi 3-4 anni.

Gli studi di fisica di acceleratori intrapresi su DAΦNE hanno contribuito in maniera sostanziale alla comprensione e agli sviluppi relativamente a problematiche quali: le nonlinearità delle strutture magnetiche, l'interazione dei fasci collidenti, l'ottimizzazione dell'ottica e gli effetti collettivi caratteristici di fasci di particelle ad alta intensità.

Conclusioni

DAΦNE e' il complesso di acceleratori realizzato per produrre eventi di fisica all'energia di risonanza dei mesoni Φ .

Costituisce una delle più grandi infrastrutture dell'INFN, come tale rappresenta un'opportunità unica in Italia per esperimenti di fisica delle particelle e nucleare.

DAΦNE ha fornito dati a tre diversi esperimenti KLOE, FINUDA e DEAR-SIDDHARTA migliorando, al tempo stesso, le proprie prestazioni in termini di luminosità mediante un'intensa attività di studi e prove sperimentali.

Questo approccio ha portato a proporre e a realizzare, nel 2007, un nuovo schema di collisione chiamato 'Crab-Waist' che provato con l'esperimento SIDDHARTA ha consentito di triplicare la luminosità di picco, aprendo la strada ad un'ulteriore fase sperimentale per il rivelatore KLOE, che prenderà dati nei prossimi 3-4 anni.

L'attività di ricerca su DAFNE rappresenta un chiaro esempio di come anche con una *piccola attività* si può contribuire allo sviluppo della conoscenza scientifica.