

Il Large Hadron Collider, l' LHC

C.Sciacca sciacca@na.infn.it

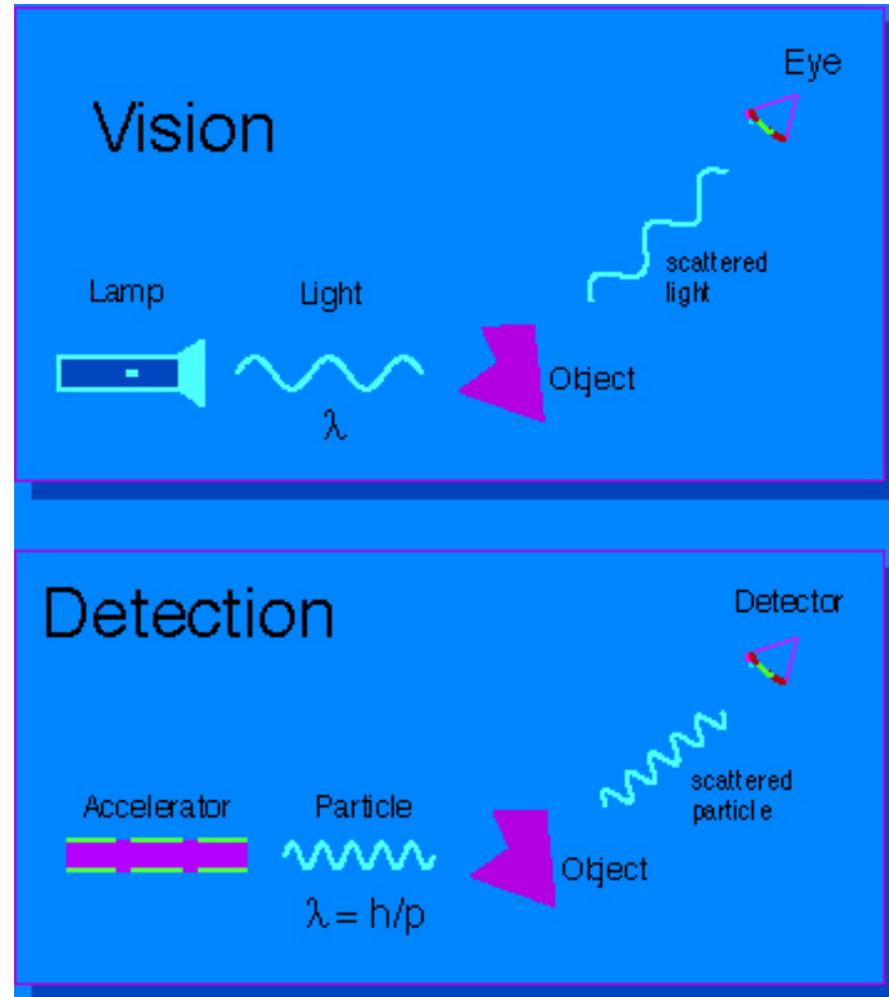


Perché accelerare le particelle ?

Visione con una lampada e gli occhi.

Visione con un acceleratore ed un rivelatore di particelle.

Aumentando l'energia della particella migliora la risoluzione con la quale si "vede" l'oggetto



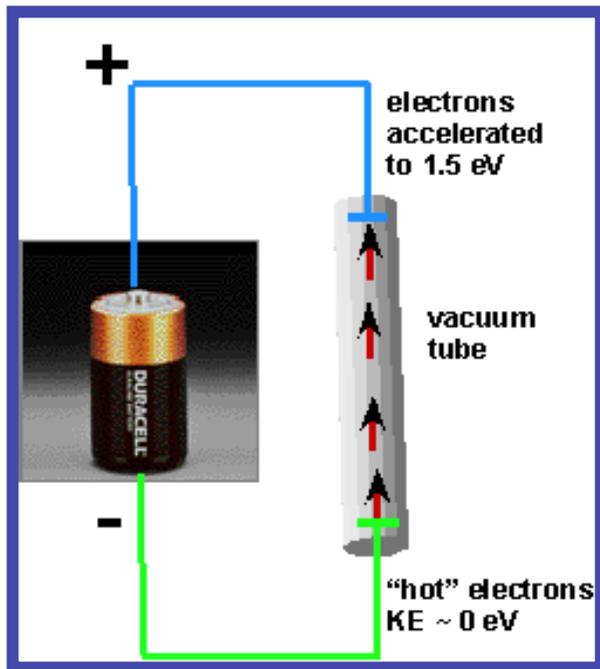
Un electron volt è una misura di energia: è l'energia cinetica guadagnata da un elettrone passando in una differenza di potenziale di un Volt.

Un Volt non è una misura di energia.

Un electron volt è una misura di energia.

Un eV è un'energia molto piccola.

$$\text{un eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ joules}$$



**Unità di misura
dell'energia usate
negli acceleratori:**

$$10^3 \text{ eV} = 1 \text{ KeV}$$

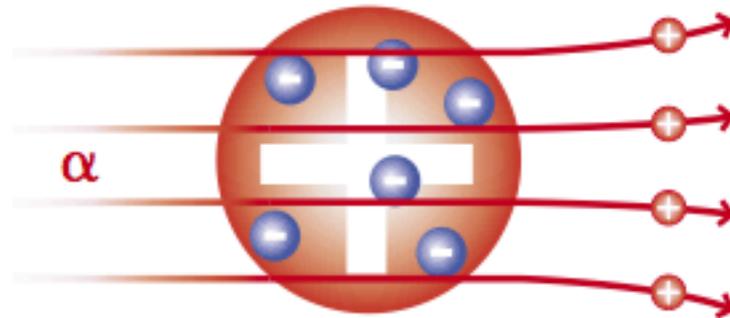
$$10^6 \text{ eV} = 1 \text{ MeV}$$

$$10^9 \text{ eV} = 1 \text{ GeV}$$

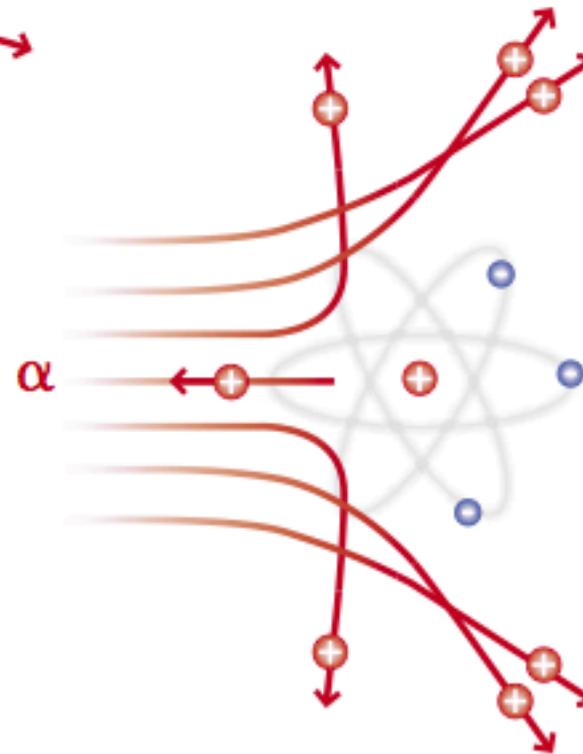
$$10^{12} \text{ eV} = 1 \text{ TeV}$$

Thomson o Rutherford?

Per raggiungere il nucleo, serve energia



atomo di J. J. Thomson



atomo di E. Rutherford

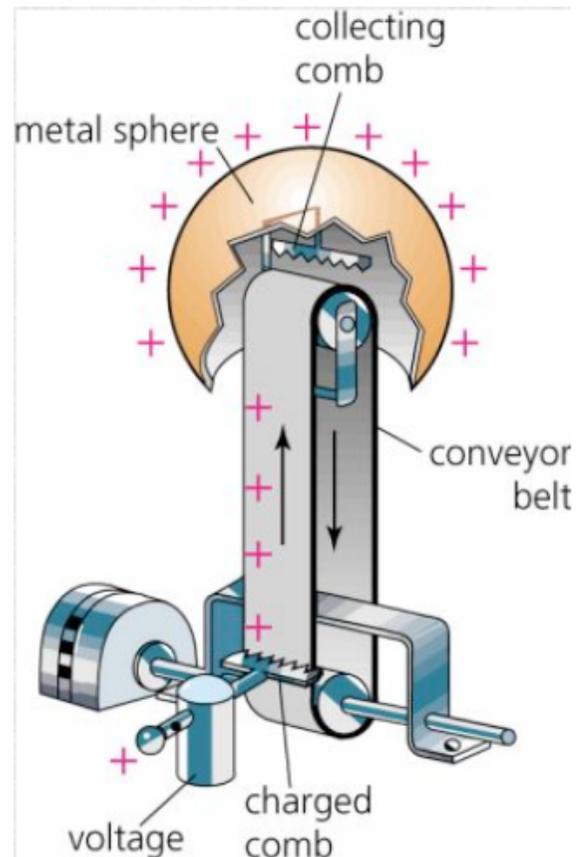
L'acceleratore Van de Graaff

Per ottenere energie piu' elevate: nuove idee per i sistemi di carica e di isolamento

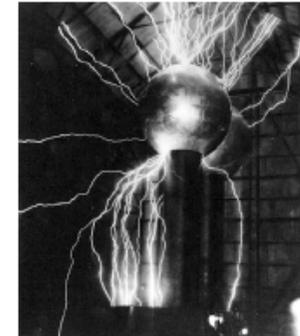
Una cinghia isolante raccoglie le cariche attraverso un "pettine" da un terminale e le trasferisce all'interno di una sfera conduttrice cava

Alte tensioni ottenute: dapprima 5 MV, poi fino a 25 MV

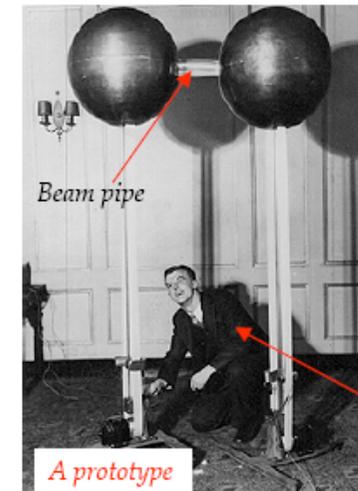
VdG charging scheme



Air-insulated

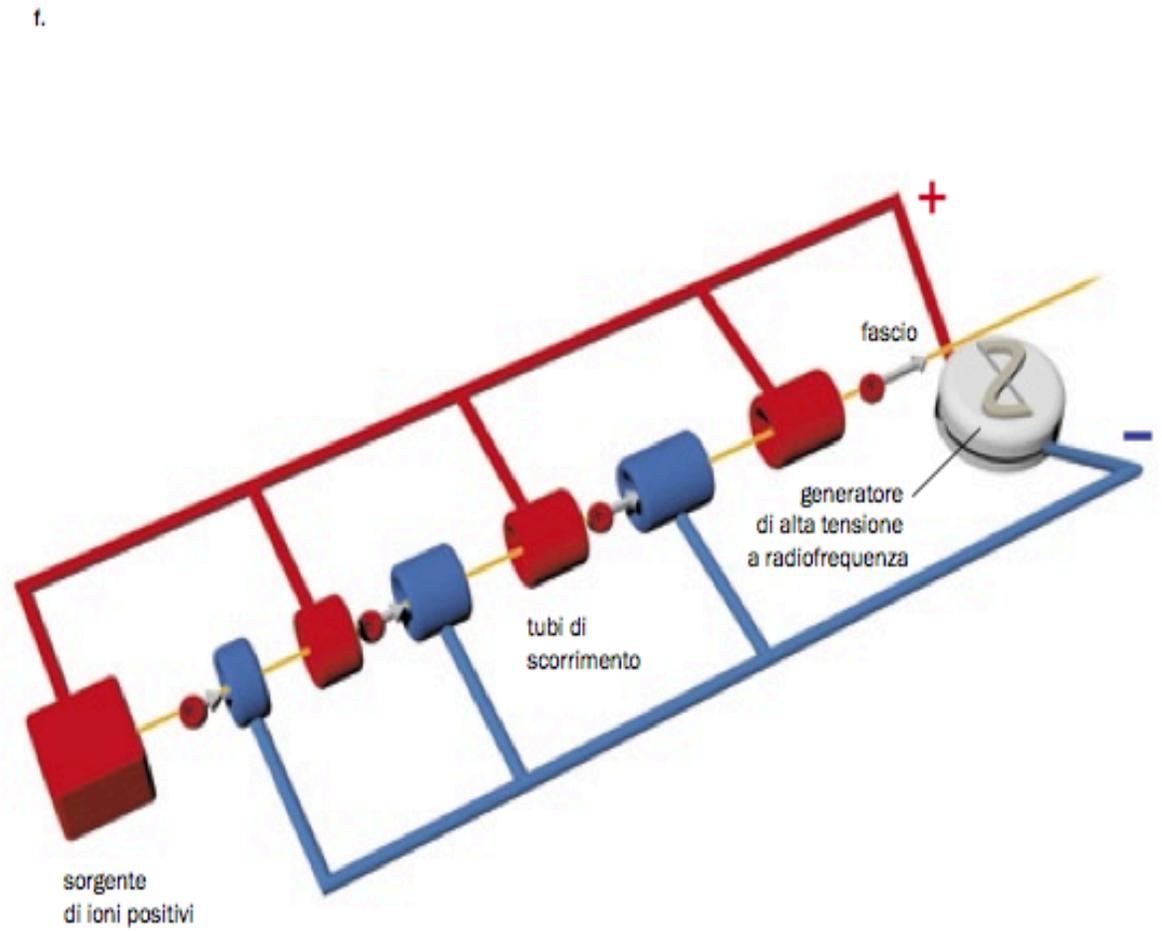


High voltage problems!

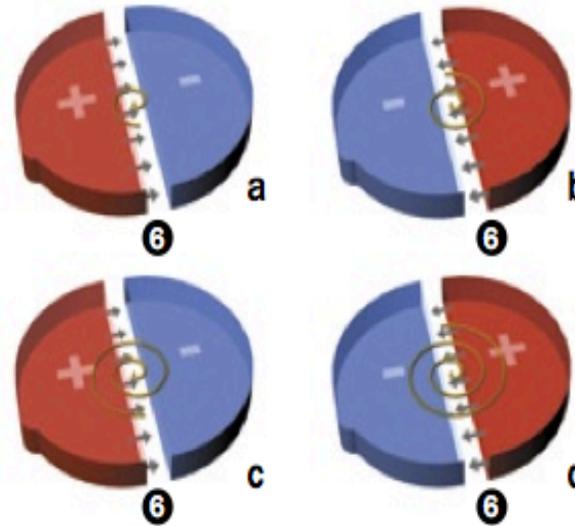
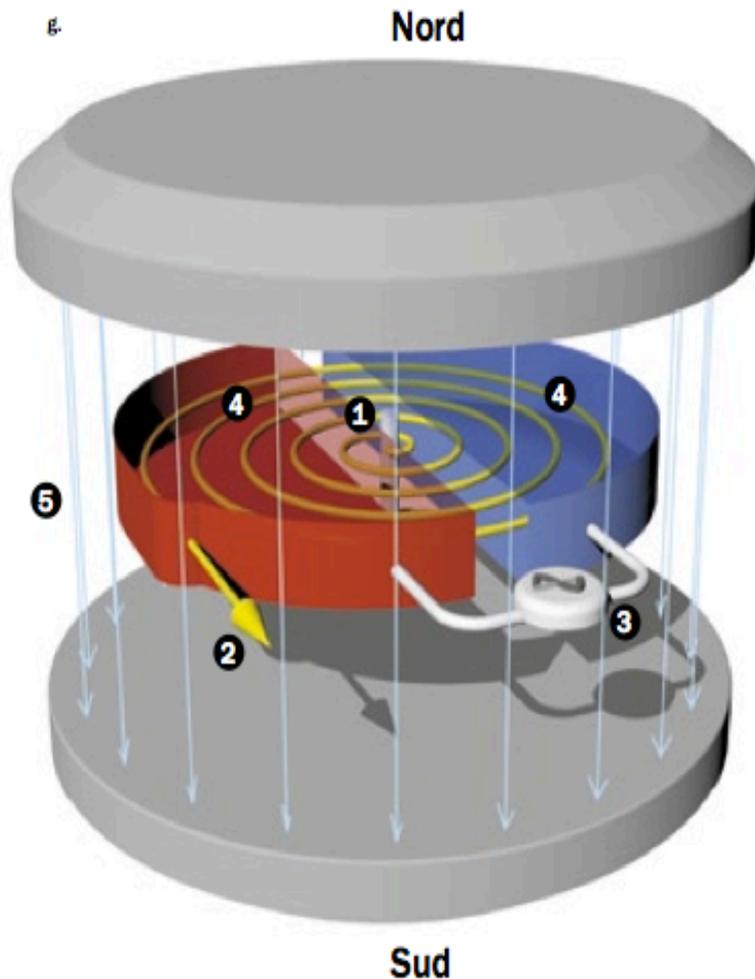


A prototype

Gli acceleratori lineari



IL CICLOTRONE



1. sorgente di ioni positivi
2. fascio di ioni positivi
3. generatore di tensione a radiofrequenza
4. elettrodi a forma di D ("dee's")
5. campo magnetico
6. campo elettrico

g. Schema di funzionamento del ciclotrone. Partendo dalla sorgente posta al centro, un protone, che ha carica positiva, è attratto dal semidisco carico negativamente e viene invece respinto da quello carico positivamente. Entra così all'interno dell'elettrodo dove non vi è campo elettrico ma solo magnetico, e compie quindi una semicirconfenza. Il campo elettrico tra gli elettrodi nel frattempo evolve (essi sono alimentati da un generatore di tensione alternata che, in un semiperiodo, inverte la sua polarità): proprio nel momento in cui il protone ritorna nell'intercapedine, incontra un campo accelerante, subisce un'ulteriore accelerazione, e compie una seconda semicirconfenza con raggio maggiore; il processo si ripete finché il protone, dopo aver compiuto tutto il percorso a spirale, arriva in periferia e viene estratto con la massima energia.

Il sincrociclotrone da 184" di Berkeley



340 MeV (protoni)

I primi acceleratori italiani (tempi duri...)

A partire dal 1930, Fermi aveva cercato di dotare la fisica italiana di una macchina acceleratrice competitiva sul piano internazionale e di un laboratorio adeguato. Era divenuta infatti pressante la necessità di disporre di sorgenti di neutroni molto più intense di quelle basate sull'impiego di sostanze radioattive naturali, del tipo radon-berillio.

Dopo aver raccolto informazioni sul fronte internazionale, Fermi richiede al Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) i finanziamenti per realizzare l'Istituto Nazionale di Radioattività dotato di una macchina acceleratrice. Contemporaneamente Amaldi, Fermi e Rasetti realizzano il prototipo del piccolo [acceleratore elettrostatico](#) da 200 keV per deutoni.

Ben presto si manifesta l'incapacità del CNR di sostenere grosse iniziative nell'ambito della ricerca fondamentale, per il cronico difetto di disperdere a pioggia i già magri finanziamenti. Poiché è nel giugno del 1938 che il CNR fa sapere a Fermi che in Italia non sono reperibili i fondi necessari per proseguire in modo competitivo le sue ricerche, subito dopo le leggi razziali non sono che l'ultima goccia che fa precipitare una decisione molto probabilmente maturata sulla base di considerazioni di stretta opportunità scientifica.

Dopo la partenza di Fermi per gli Stati Uniti (via Stoccolma), Amaldi promuove la realizzazione di un ciclotrone da 30 MeV "per ioni idrogeno, deuterio e elio", in coincidenza con l'approvazione del progetto di allestire una Mostra della Scienza nell'ambito dell'Esposizione Universale di Roma del 1942 (anno XX).

"Bernardini ed io [Amaldi] presentammo, nel maggio 1939, la proposta di costruire un ciclotrone da esporre all'EUR, di caratteristiche tali da poter essere usato nel seguito come strumento di ricerca. [...] Visto che il governo intendeva investire somme considerevoli in questa grande fiera delle vanità, ci sembrava ragionevole ed opportuno cercare di orientare una piccola parte del denaro pubblico verso attrezzature scientifiche".

Il presidente dell'E42, sen. V. Cini, chiede allora alla soc. Galileo di "farsi onore [...] offrendo questo capolavoro della tecnica alla grande manifestazione di Roma, iniziando senz'altro la preparazione [...] senza parlare di pagamento".

Amaldi si reca a Berkeley per raccogliere dati costruttivi e la Galileo gli fa sapere che ha difficoltà a fargli avere i 50 dollari necessari per riprodurre i disegni dell'ultimo ciclotrone (da 60") realizzato da Lawrence.

G. Bernardini nell'autunno del 1939 scrive ad Amaldi: "Del ciclotrone nessuna nuova [...] ora le difficoltà saranno notevolmente aumentate [...] probabilmente (si) dovrà aspettare la fine di questa guerra".

Amaldi, [Bocciarelli](#), Rasetti e [Trabacchi](#) nel 1940 presso l'Ist. di Sanità realizzano un acceleratore elettrostatico del tipo Cockroft-Walton da 1 MeV (con finanziamenti ottenuti, anche grazie ai buoni uffici di Domenico Marotta, dal Ministero dell'Interno, dal quale dipende la Sanità Pubblica).

Cockcroft-Walton ISS



Principio del sincrotrone

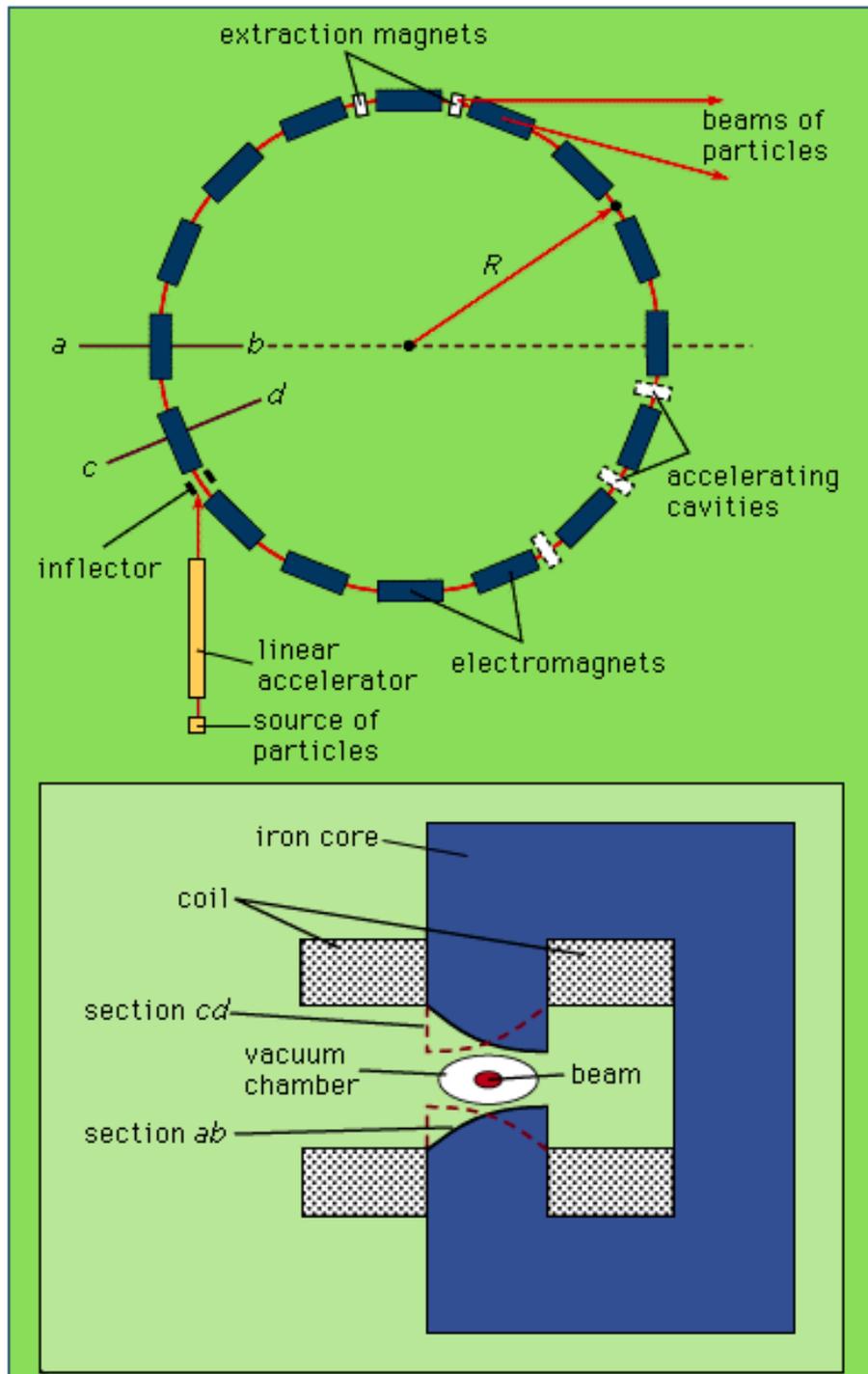
Il sincrotrone e' stato inventato per accelerare ulteriormente particelle **relativistiche** (con velocita' v gia' prossima alla velocita' della luce c), secondo le equazioni:

$$p = qrB$$

con q carica elettrica, r raggio di curvatura, B campo magnetico e:

$$p = m \beta \gamma c = \frac{mv}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

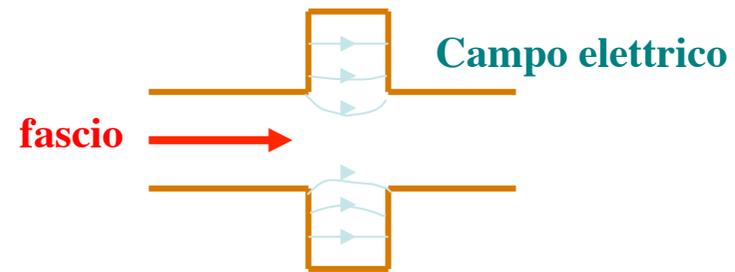
- nel sincrotrone ci sono tre funzioni separate:
 - accelerazione** → cavità risonanti a radiofrequenza (campo elettrico)
 - curvatura** → elementi magnetici: **dipoli**
 - focalizzazione** → elementi magnetici: **quadrupoli**
- il raggio r e' costante, l'orbita e' chiusa (solitamente circolare)
- il campo magnetico B aumenta durante il ciclo di accelerazione per star dietro all'aumento della quantita' di moto p
- Il sincrotrone ha bisogno di un iniettore (per esempio un LINAC) che porti le particelle ad una velocita' relativistica



Il Sincrotrone

Cavità a radiofrequenza

Le cavità a radiofrequenza danno energia al fascio di particelle ogni volta che esso passa al loro interno



*Nei linac c'è un solo passaggio
Negli anelli milioni di passaggi*

$$v = c = 300.000.000 \text{ m/s}$$

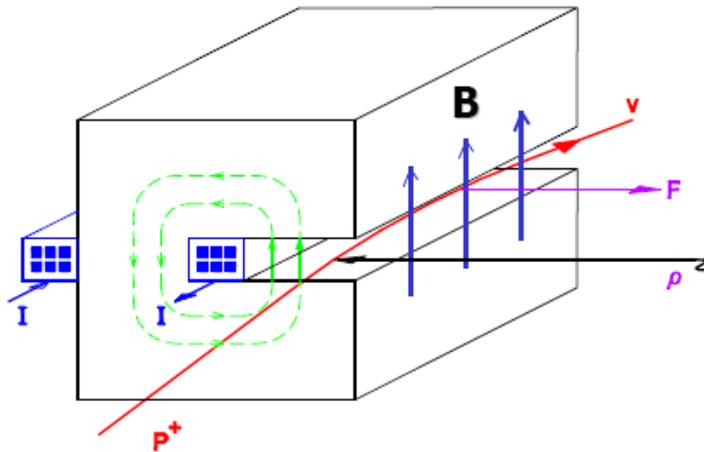
Dafne, 100 m : $T_o = 3.3 \times 10^{-7} \text{ s}$.

In 1 s > 3 milioni di giri

LHC, 30 Km : $T_o = 1 \times 10^{-5} \text{ s}$.

In 1 s > 100.000 giri

I dipoli di curvatura

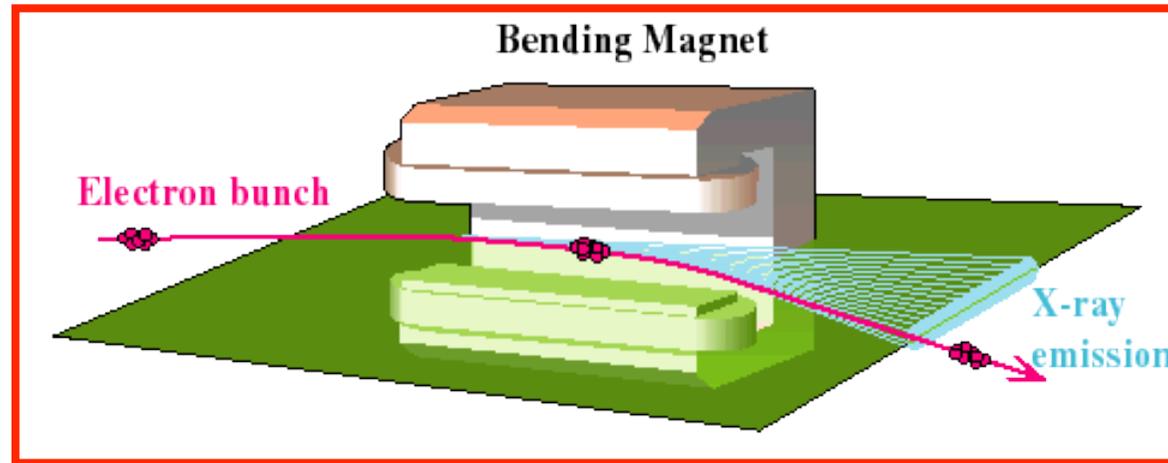


- I**: corrente negli avvolgimenti del magnete
- B**: campo magnetico
- v**: velocità della particella
- F**: forza di Lorentz
- ρ** : raggio dell'orbita

I magneti dipolari di curvatura servono a mantenere una traiettoria circolare, per applicare molte volte il campo elettrico delle cavità a radiofrequenza (RF)

DIPOLI

Curvano la traiettoria



Campo magnetico verticale:

componenti nel nostro
sistema di riferimento

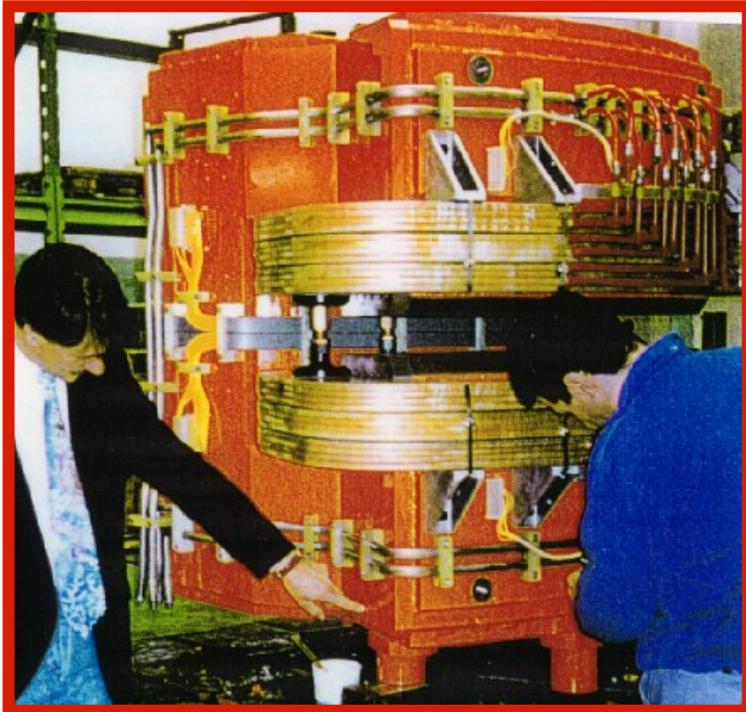
$$B_x = 0$$

$$B_y = B_o$$

$$B_s = 0$$

$$R(m) = 3.3E(\text{GeV})/B(\text{T})$$

Esempi di magneti in un anello



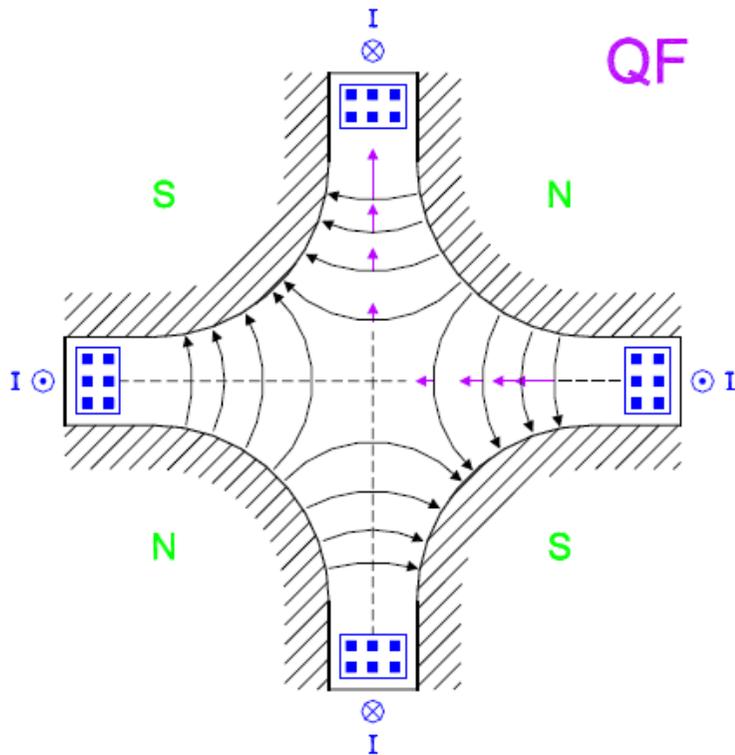
dipolo



quadrupolo

Si può variare l'intensità del campo magnetico modificando dal sistema di controllo la corrente nelle spire

I quadrupoli di focalizzazione

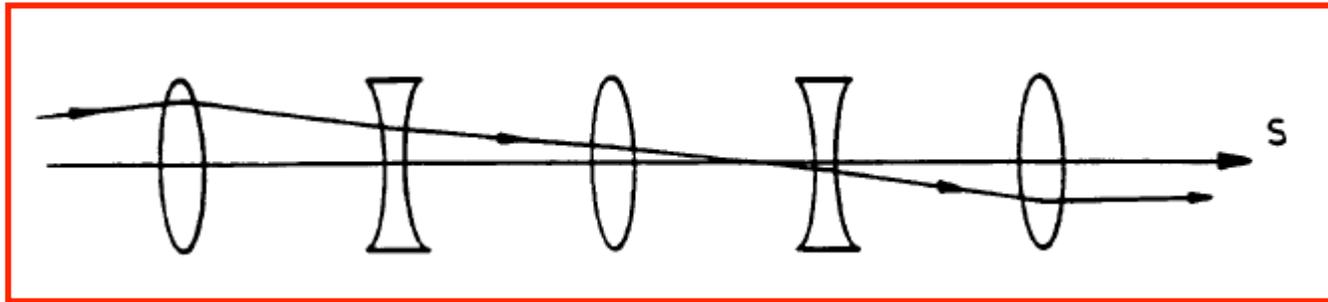


Le componenti x e y della **forza di Lorentz** che agisce su una particella di carica positiva entrante nel piano del disegno sono:

$$F_x = -g x$$
$$F_y = g y$$

La forza aumenta linearmente con lo spostamento dalla traiettoria ideale. L'effetto e' **focalizzante** nel piano orizzontale (H) ma **defocalizzante** in quello verticale (V) ... come fare ?

Sequenza FODO

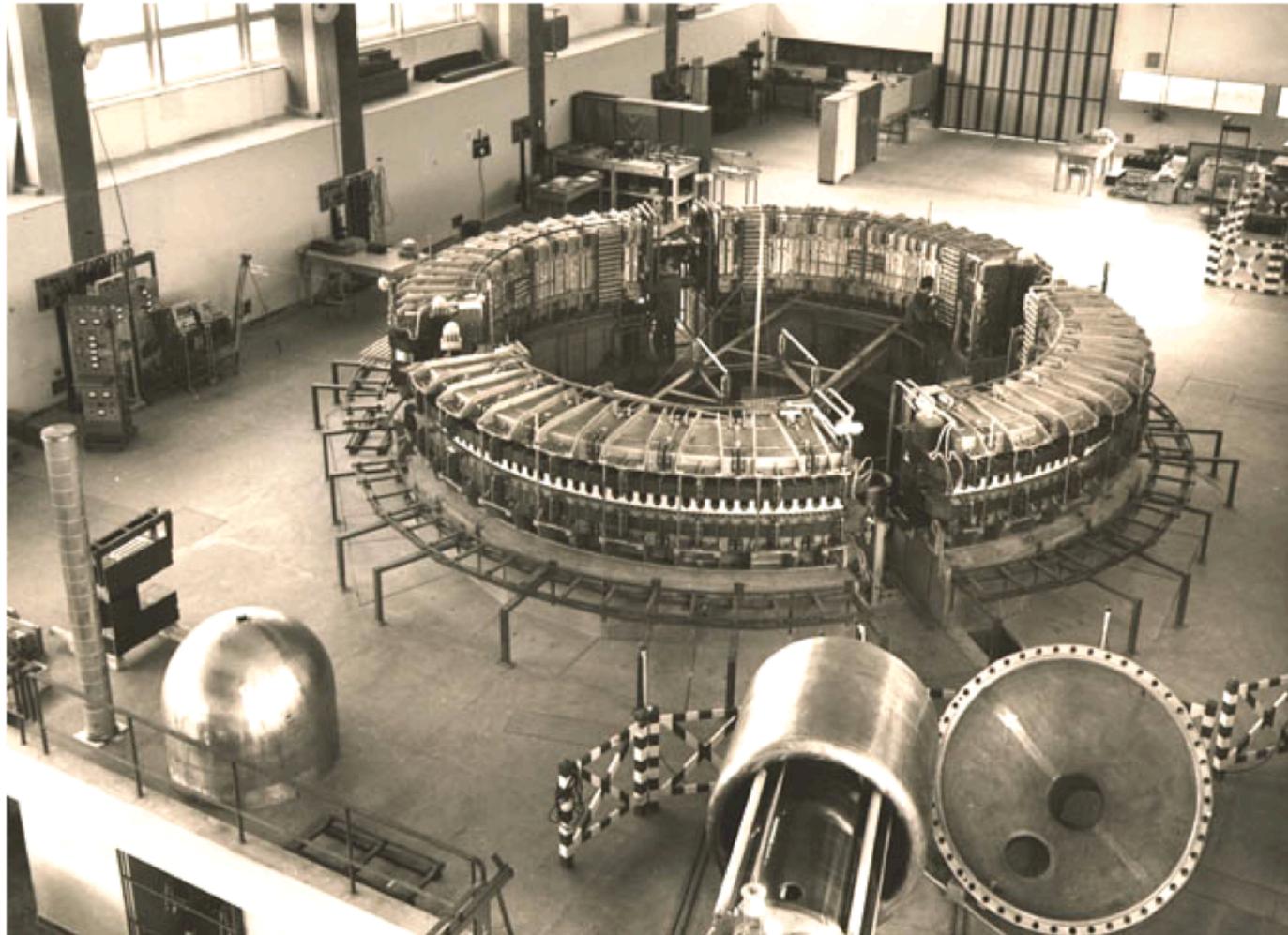


Una sequenza alternata di lenti focheggianti e defocheggianti ha un effetto totale focheggiante se le distanze tra le lenti non sono troppo lunghe

Il quadrupolo che focheggia nel piano orizzontale, defocheggia in quello verticale e viceversa

La sequenza FODO focheggia nei due piani

L'elettro-sincrotrone di Frascati 1959-1975



Anelli di accumulazione

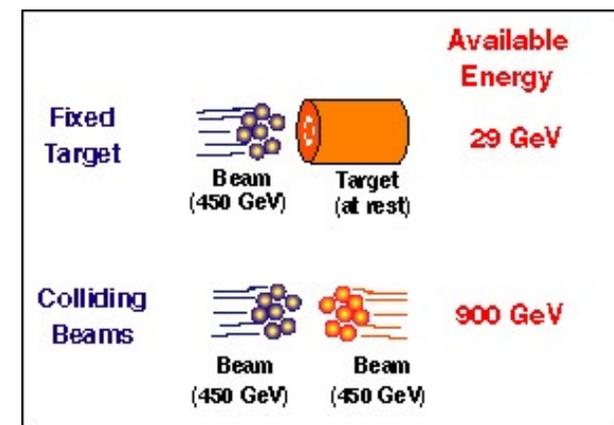
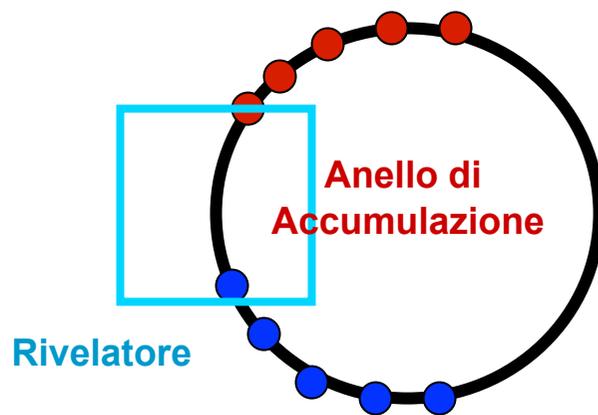
- Wideroe nel 1943 propone di utilizzare **collisioni frontali** di due fasci per sfruttare al meglio l'energia cinetica disponibile
- Kerst, O'Neill e altri nel 1956, visti i progressi nell'intensità dei fasci prodotti dai sincrotroni, propongono collisioni **p-p** ed **e-e**
- Nel 1957 O'Neill e altri iniziano il progetto del Princeton-Stanford **e⁻e⁻** Collider, che ottiene i primi fasci accumulati nel 1962 con **500 MeV** per fascio
- B. Touschek a Frascati propone nel 1960 il primo Anello di Accumulazione **e⁺e⁻** "AdA", utilizzando come iniettore l'elettrosincrotrone da 1.1 GeV (e in seguito il sincrotrone da 2 GeV di Orsay)

L'idea di Touschek: collisioni materia e antimateria

Frascati



La geniale idea di Bruno Touschek fu quella di utilizzare come particelle collidenti particelle ed antiparticelle che nella loro annichilazione avrebbero rilasciato tutta la loro energia per creare nuove particelle



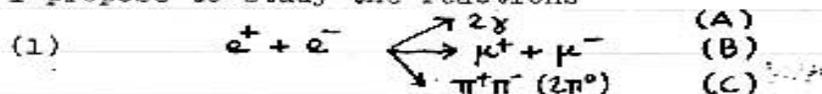
On The Storage Ring.

The following is a very sketchy proposal for the construction of a storage ring in Frascati. No literature has been consulted in its preparation, since this invariably slows down progress in the first stage, necessary though it may be in the consecutive stages of the development. I shall present you here all I have thought about it and much, which others have suggested to me and to anticipate the question: No, I have not properly read O'Neil, but I hope that somebody will.

→ throws away

Let me first explain why a storage ring is an important instrument, particularly when fed with electrons and positrons. The first suggestions to use crossed beams I have heard during the war from Widerøe, the obvious reason for thinking about them being, that one wastes a considerable amount of energy by using 'sitting' targets - most of the energy being wasted to pay for the motion of the centre of mass. If one wants to study electrodynamics one should try to use particles, which interact weakly except electromagnetically. This automatically cuts one down to electrons (and positrons) since μ -mesons are hard to come by in large numbers. To use a crossed beam consisting of electrons and positrons has the further advantage that in all interesting processes the particles of the initial state (i.e. the electrons and the positrons) disappear: Experiments made in this way can only depend on two parameters (the energy and the angle, the first being given by the machine). This means that much more information can be gained by much fewer events.

At this stage it appears necessary to define the project a little better: I prefer to think of it as an experiment rather than as a machine - a fact which may change considerably our attitude to the project. As I think I will be able to demonstrate the project is closer to an experiment than to a machine in two important respects: in cost and in the limited range of applicability of the ironware. Talking of it as an experiment I propose to study the reactions



and I admit that I think that there is nothing else of importance, which can be studied with the same set up.

The first of the processes listed is two quantum annihilation. The process is predominantly backward-forward in the C.M. system and in these preferred directions no 'radiative corrections' are to be expected. The cross section for this process is

(2) $\sigma(A) = 6.3 \cdot 10^{-30} \text{ cm}^2$

at 250 Mev and it diminishes a little less than quadratically with rising energy.

I propose to use (1A) as a monitoring process. This is a

Collisori particella-antiparticella

*Particella-antiparticella circolano in versi opposti
nello stesso anello (es. ADONE)*

*Vantaggio rispetto ad un fascio contro una targhetta fissa: stessa
E nel centro di massa ma con molta meno E del fascio:*

Collisore

$$W \cong 2\sqrt{E_1 E_2}$$

Targhetta fissa di e⁻

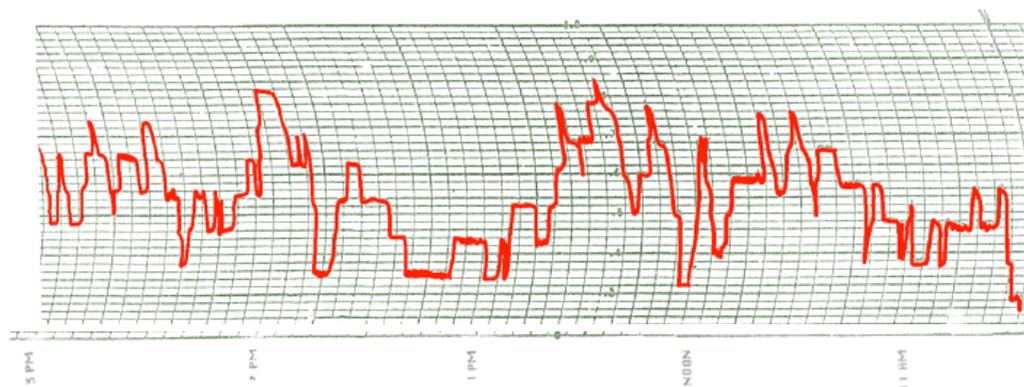
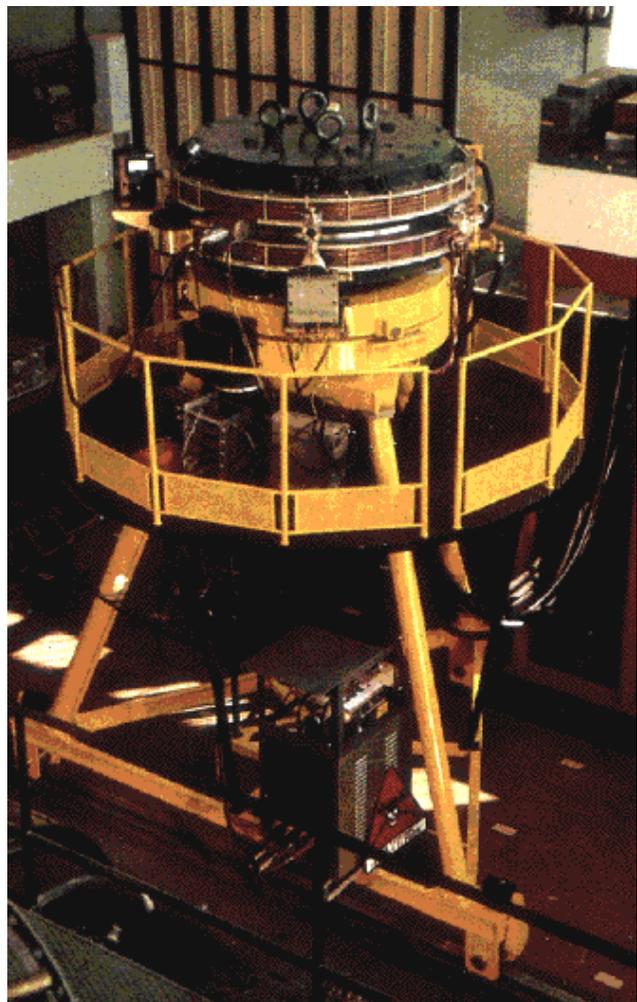
$$W \cong \sqrt{2E m_t + 2m_t^2}$$

Per avere 1 GeV nel centro di massa: $W = 1 \text{ GeV}$

$$E_1 = E_2 = .5 \text{ GeV}$$

$$E = 1000 \text{ GeV}$$

AdA (Anello di Accumulazione) FRASCATI - 1961-1965



Il Nuovo Cimento
Vol. XVIII, n. 6
16 Dicembre 1960

Registrazione dei primi elettroni accumulati in AdA. La vita media era di 21 sec, il numero medio di 2.3.
Record of the first electrons stored in AdA. The ir half life was 21 sec, the average number was 2.3.

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

ADONE a Frascati

Energia: 1.5 + 1.5 GeV

Progetto iniziato nel 1961
Inizio costruzione nel 1963

Primi risultati di fisica nel 1968

Molti problemi di fisica degli acceleratori (instabilita')
affrontati e risolti

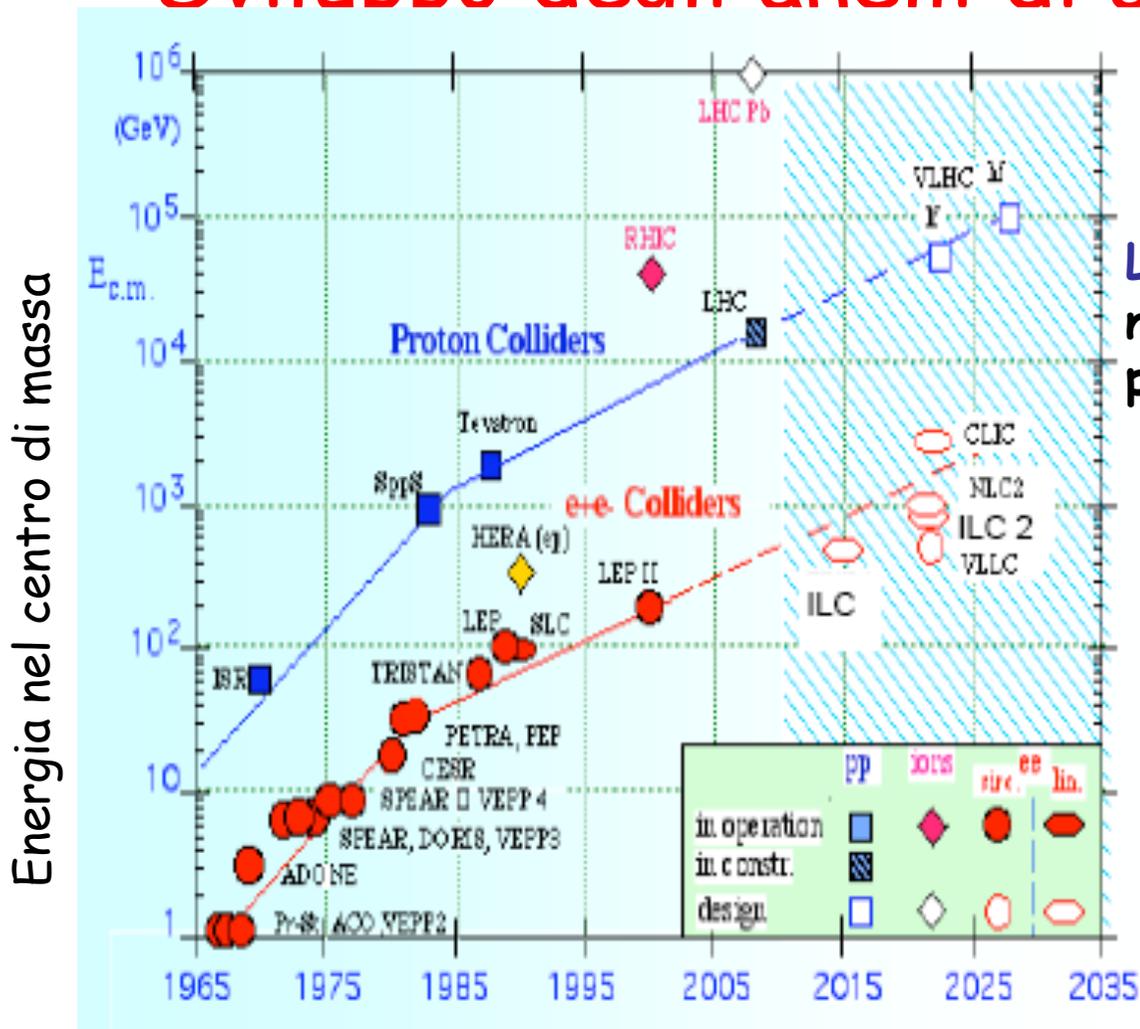


I COLLIDERS materia-antimateria

LEP al CERN di Ginevra 1988-2001



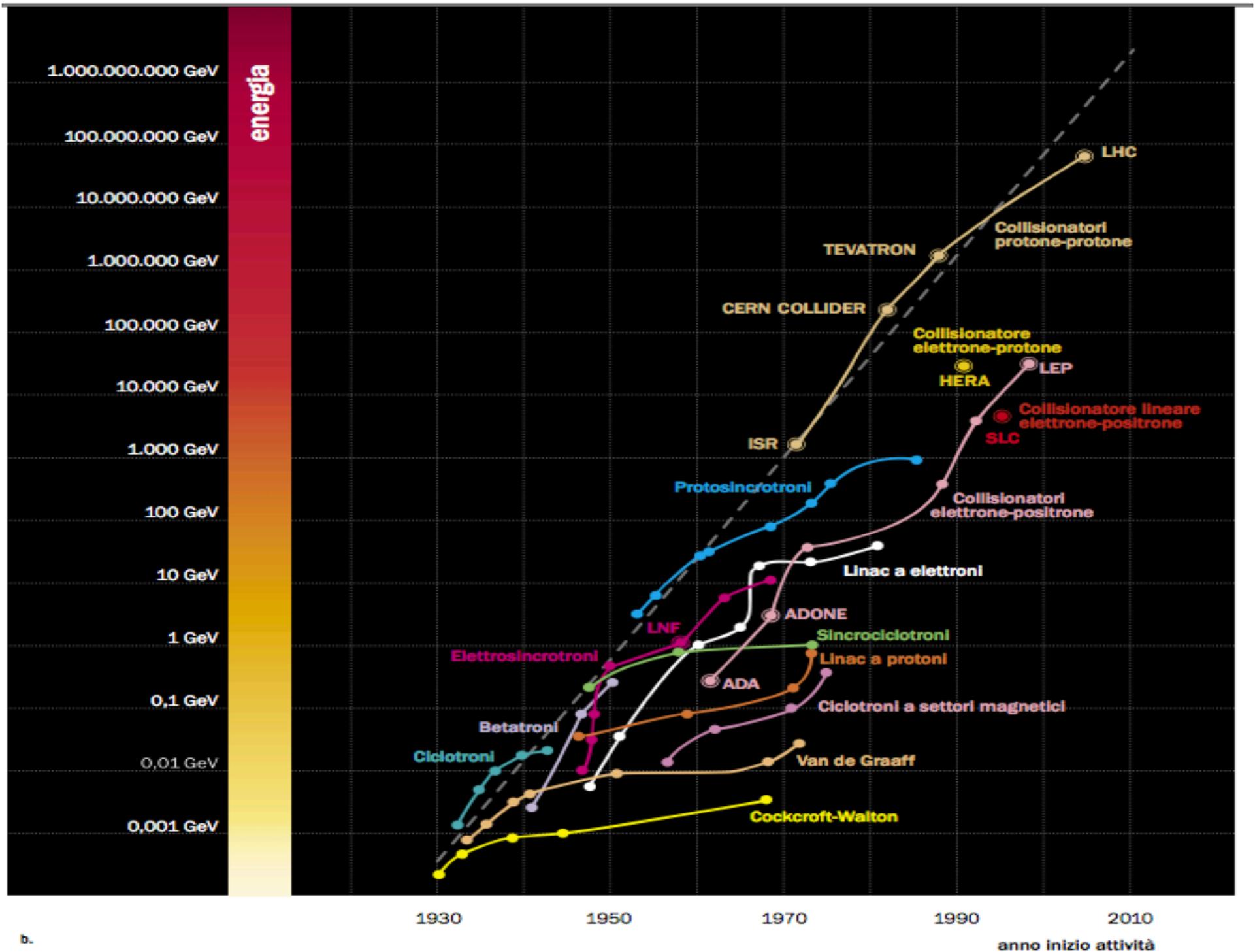
Sviluppo degli anelli di accumulazione



LHC al CERN: primi fasci p-p nell'autunno 2008, primi fasci Pb-Pb nel 2011

Il prossimo acceleratore di alta energia sarà e^+e^- (2025?)

2 progetti:
ILC (International Linear Collider)
CLIC (Cern Linear Intersecting Collider)



b.

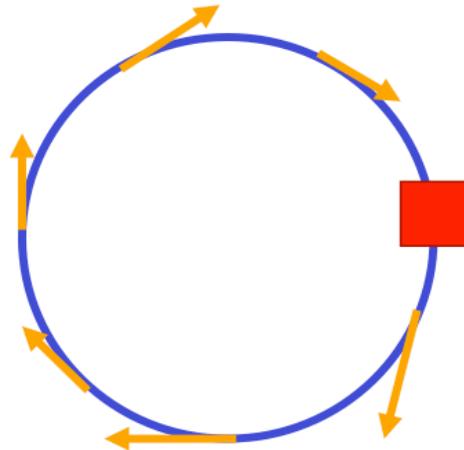
Ad ogni energia, le sue macchine e le sue scoperte (ma i raggi cosmici servono ancora!)



Radiazione di sincrotrone

Una particella carica che viaggia in una traiettoria curva emette fotoni, la cui energia dipende dalla massa e dall'energia della particella e dal raggio di curvatura della traiettoria

*Una particella carica che viaggia in una traiettoria curva **perde energia**.
In un anello di accumulazione l'energia persa viene compensata dalle Cavit  a radiofrequenza*



$$U = \frac{4\pi}{3} \frac{r_o}{(mc^2)^3} \frac{E^4}{\rho}$$

Energia persa per giro

Emissione di luce di sincrotrone

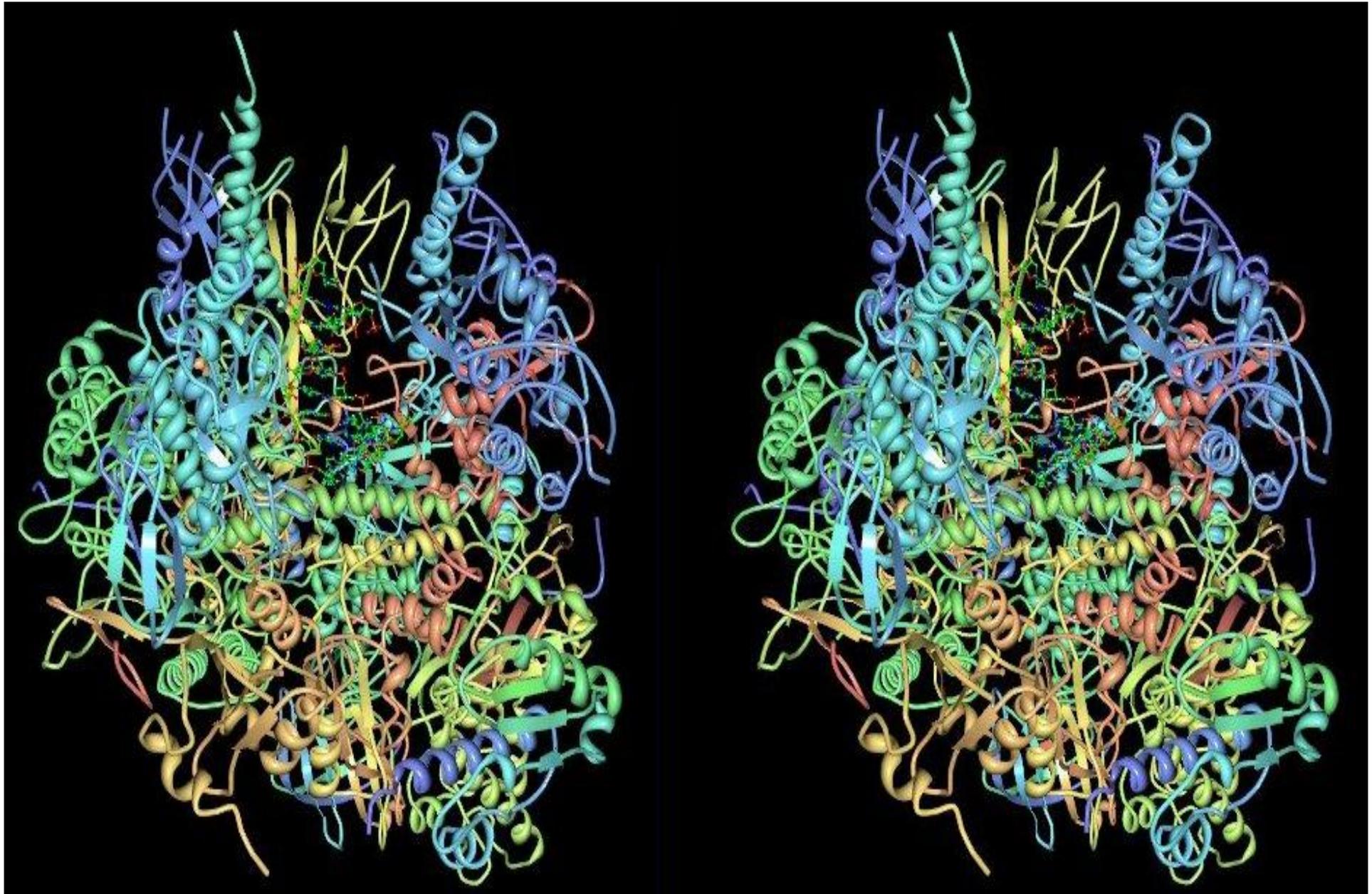
$$U = \frac{4\pi}{3} \frac{r_o}{(mc^2)^3} \frac{E^4}{\rho} \propto \frac{E^3 B}{(mc^2)^3}$$

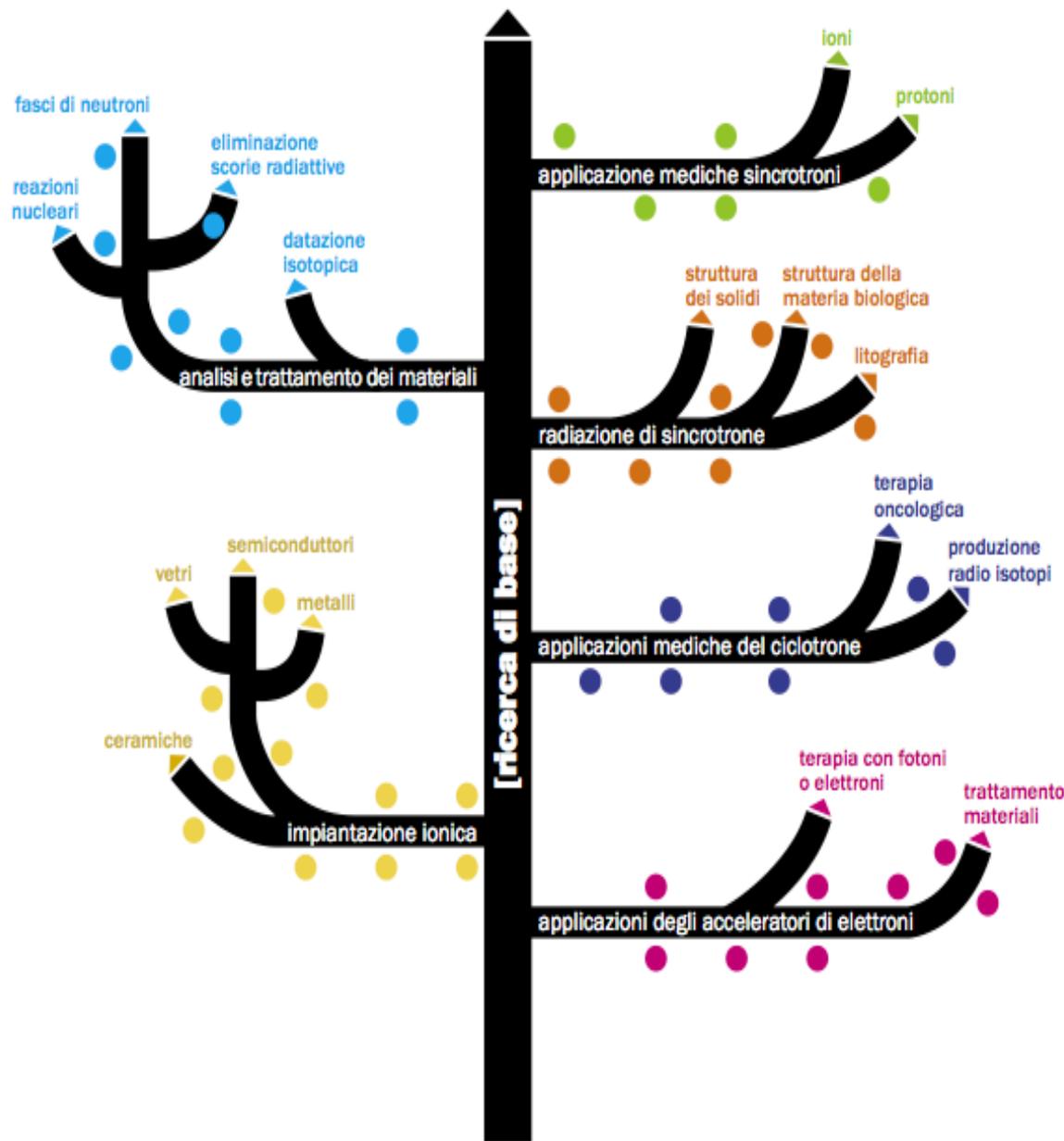
Campo magnetico ↓
Energia della particella ↓
Massa ↑
Raggio di curvatura della traiettoria ↑

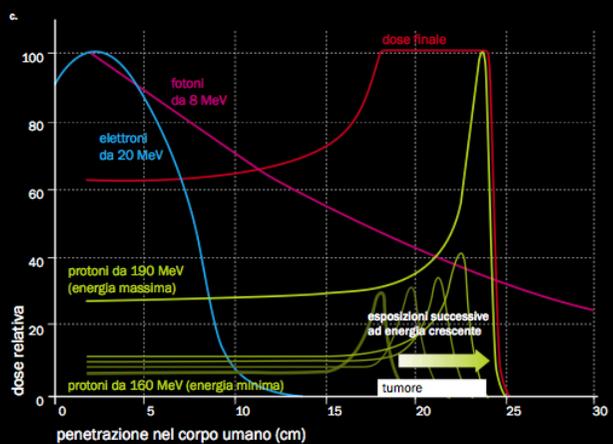
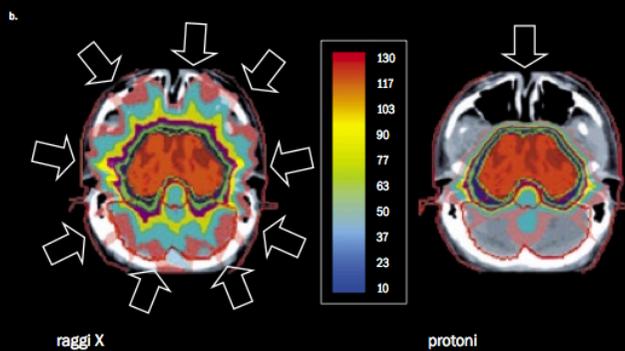
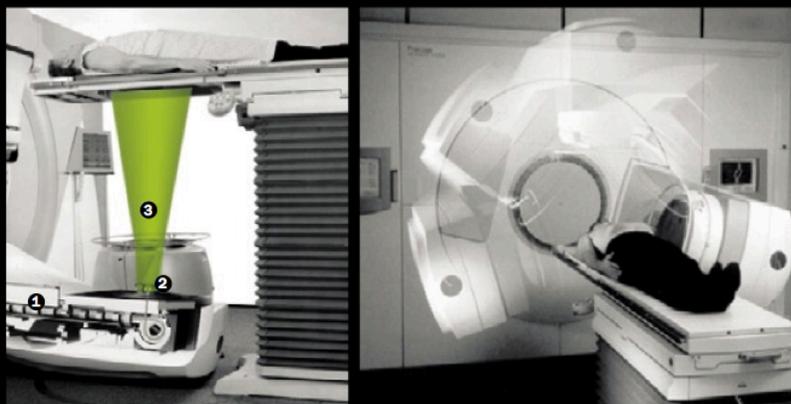
		ρ (m)	E (GeV)	$\Delta E/\text{giro}$ (GeV)
DAFNE	e+	1	0.51	.000009
	e-	1	0.51	.000009
PEP	e+	14	3.1	.000770
	e-	165	9.0	.003570
LEP	e+	6086	100	1.5
	e-	6086	100	1.5
HERA	p	584	820	.000012
	e-	579	30	0.13
LHC	p	2800	7000	.014
	p	2800	7000	.014

Una proteina, ricostruita con luce di sincrotrone

(visione stereo)



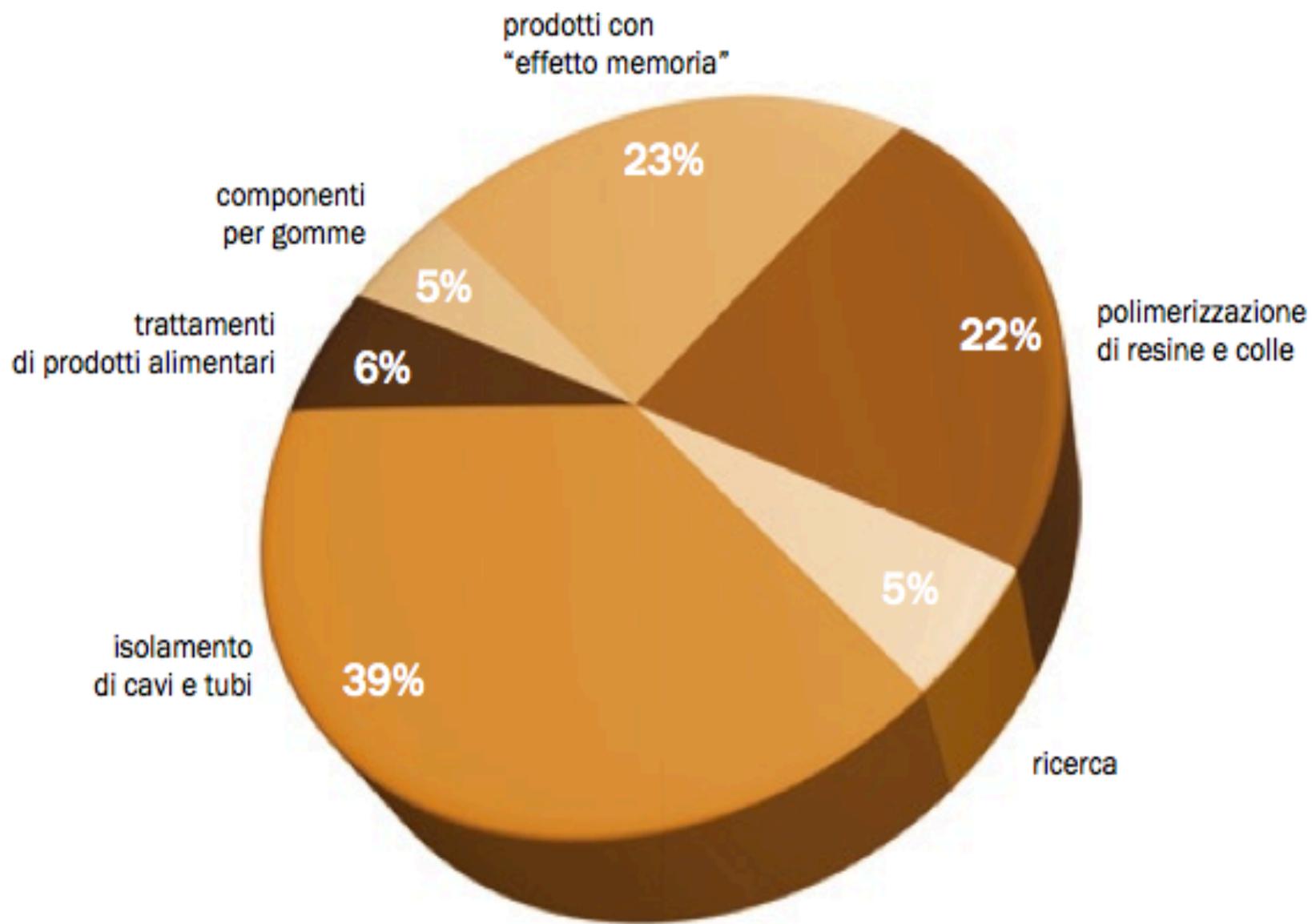




a.
1. Fascio di elettroni; 2. convertitore; 3. fotoni. Un acceleratore lineare di elettroni - detto anche linac - è lungo 1-2 metri. Il linac è contenuto nella scatola bianca e ruota intorno al lettino del paziente, di modo che il radioterapista può scegliere le direzioni migliori in maniera da evitare al massimo l'irradiazione degli organi sani.

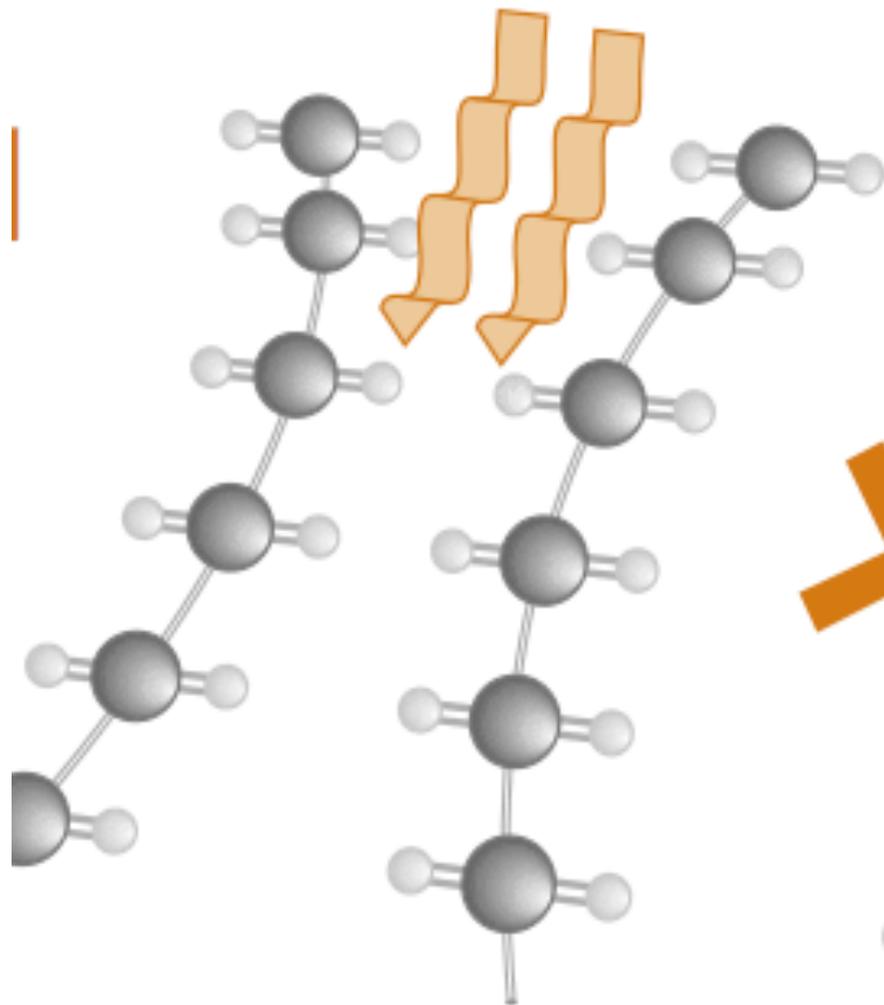
b.
Distribuzione della dose, cioè dell'energia data per unità di massa, in un trattamento di un tumore con nove fasci di raggi X incrociati (a sinistra) o con un fascio di protoni proveniente da una sola direzione (a destra).

c.
Distribuzione in profondità della dose assorbita, nei casi di elettroni da 20 MeV, fotoni da 8 MeV e protoni da 190 MeV. Elettroni e fotoni interessano soprattutto i primi strati del tessuto, mentre con i protoni si può rilasciare gran parte dell'energia a una profondità precisa, variabile con l'energia del fascio. La linea rossa mostra la distribuzione della dose ricevuta dal paziente nel caso di trattamento di un tumore posto tra 18 e 24 cm di profondità, irradato con fasci di protoni a energie controllate: la dose è concentrata lungo la lesione, con danno limitato ai tessuti circostanti.

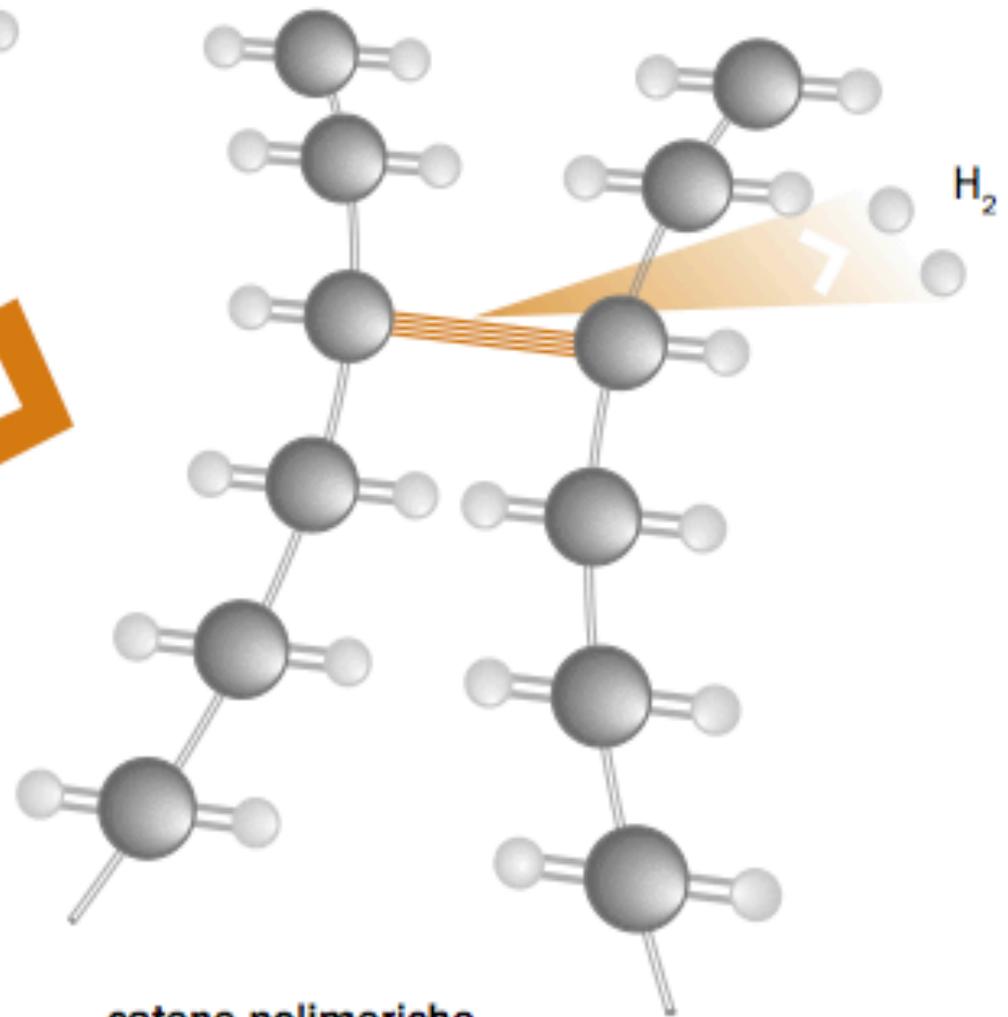


**Campi di utilizzo industriale
degli acceleratori a elettroni**

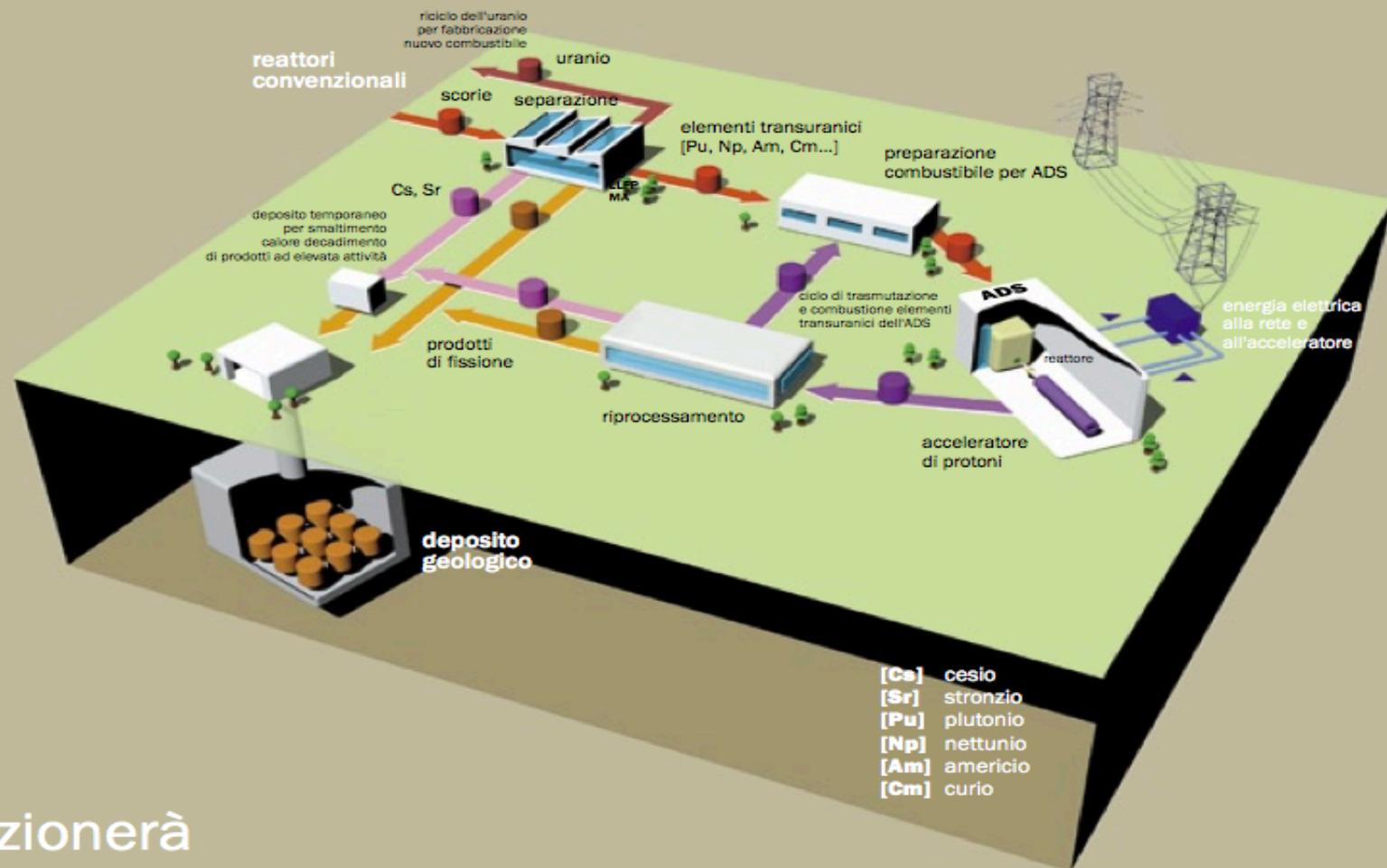
fascio di elettroni



catene polimeriche



catene polimeriche
con legame



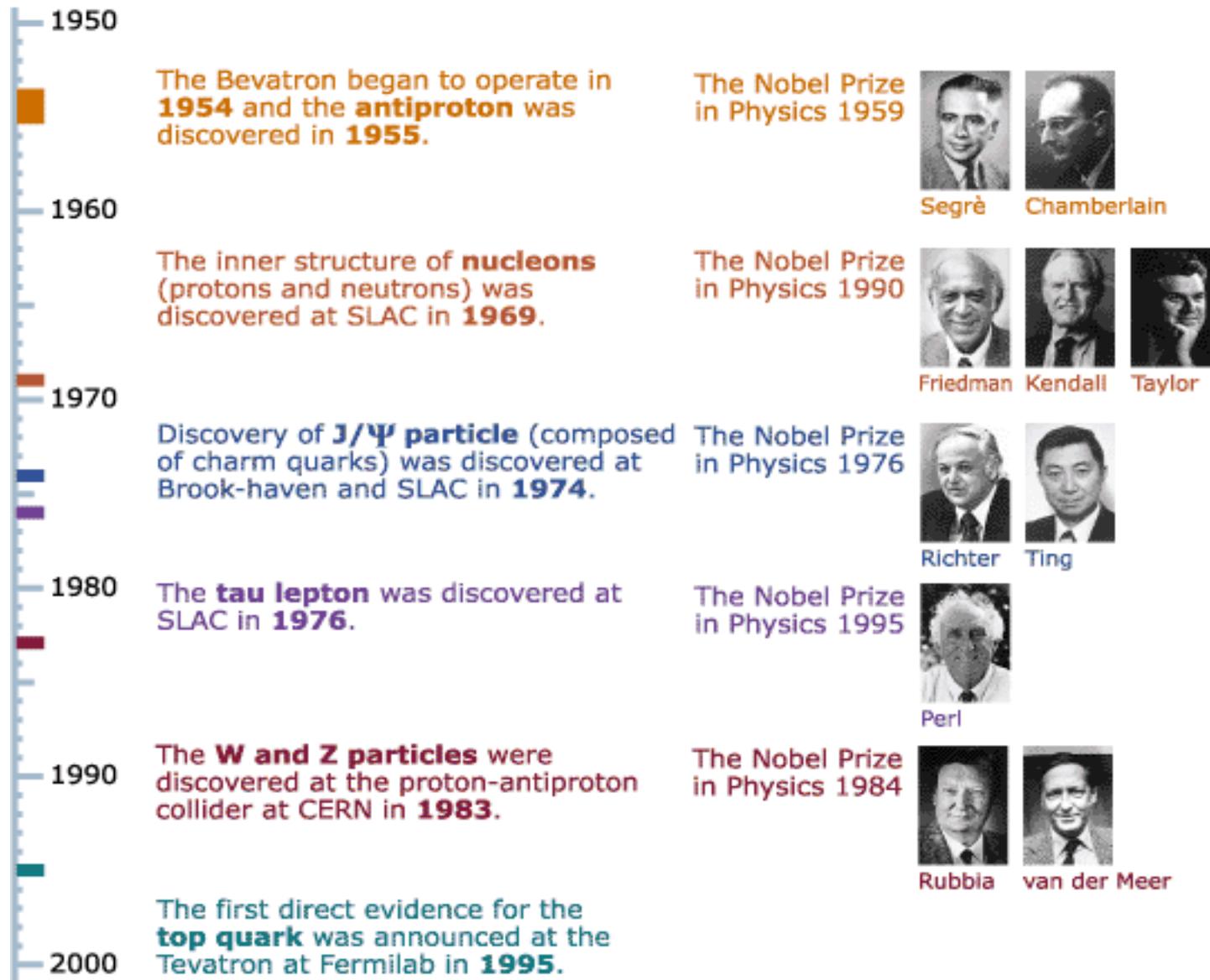
- [Cs] cesio
- [Sr] stronzio
- [Pu] plutonio
- [Np] nettunio
- [Am] americio
- [Cm] curio

[as]
 Come funzionerà
 la trasmutazione
 delle scorie
 radioattive e la
 produzione di
 energia elettrica
 in un Ads?

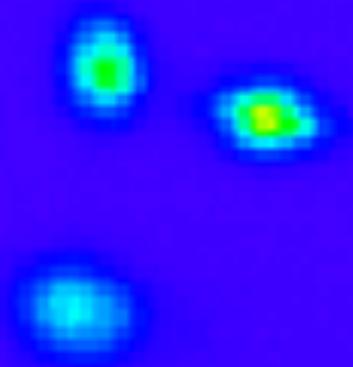
Le scorie nucleari, provenienti da reattori convenzionali, inizialmente subiscono un processo di separazione chimica: dalle barre esauste di combustibile viene recuperato l'uranio (che verrà riutilizzato per produrre nuovo combustibile nei reattori convenzionali) e vengono separati i prodotti di fissione (che, direttamente o dopo una fase di "raffreddamento", vanno nel deposito geologico sotterraneo in contenitori sigillati) dagli elementi transuranici. Questi ultimi vengono ulteriormente trattati e trasferiti nel cuore dell'Ads, dove verranno utilizzati come combustibile

e trasmutati mediante fissione. I prodotti in uscita dall'Ads vengono parzialmente riciclati. Ciò che resta viene sigillato in speciali contenitori che, direttamente o dopo una fase di raffreddamento in superficie, vengono depositati nel sottosuolo. L'acceleratore lineare, che per spallazione produce i neutroni necessari alla fissione degli elementi in questo reattore intrinsecamente più "sicuro", viene alimentato da una porzione dell'energia elettrica prodotta dal sistema stesso, e il resto dell'energia va sulla rete elettrica generale.

Risultati ottenuti con acceleratori: ora tocca ad LHC.....



Il Large Hadron Collider , l' LHC



La lunga marcia di LHC

- 1982 : Primi studi di fattibilità ed inizio progettazione di LHC
- 1989 : Il LEP (Large Electron Positron collider) inizia la sperimentazione (fabbrica di bosoni W e Z⁰)
- 1994 : Il progetto LHC viene approvato dal CERN Council
- 1996 : Decisione finale: si costruisce LHC
- 2000 : Ultimo anno di sperimentazione al LEP
- 2002 : Il LEP viene smontato, il tunnel di 27 Km è ora vuoto
- 2003 : Inizio della costruzione di LHC
- 2005 : Inizia il collaudo su parti dell'anello
- 2008 : Inizio delle collisioni a bassa energia, il mondo non finisce, ma:
19 settembre, venerdì nero..
- 2009 : Riparazioni, in autunno ripartenza con le collisioni
- 2010 : Presa dati a 3.5+3.5 Tev, primi risultati di fisica

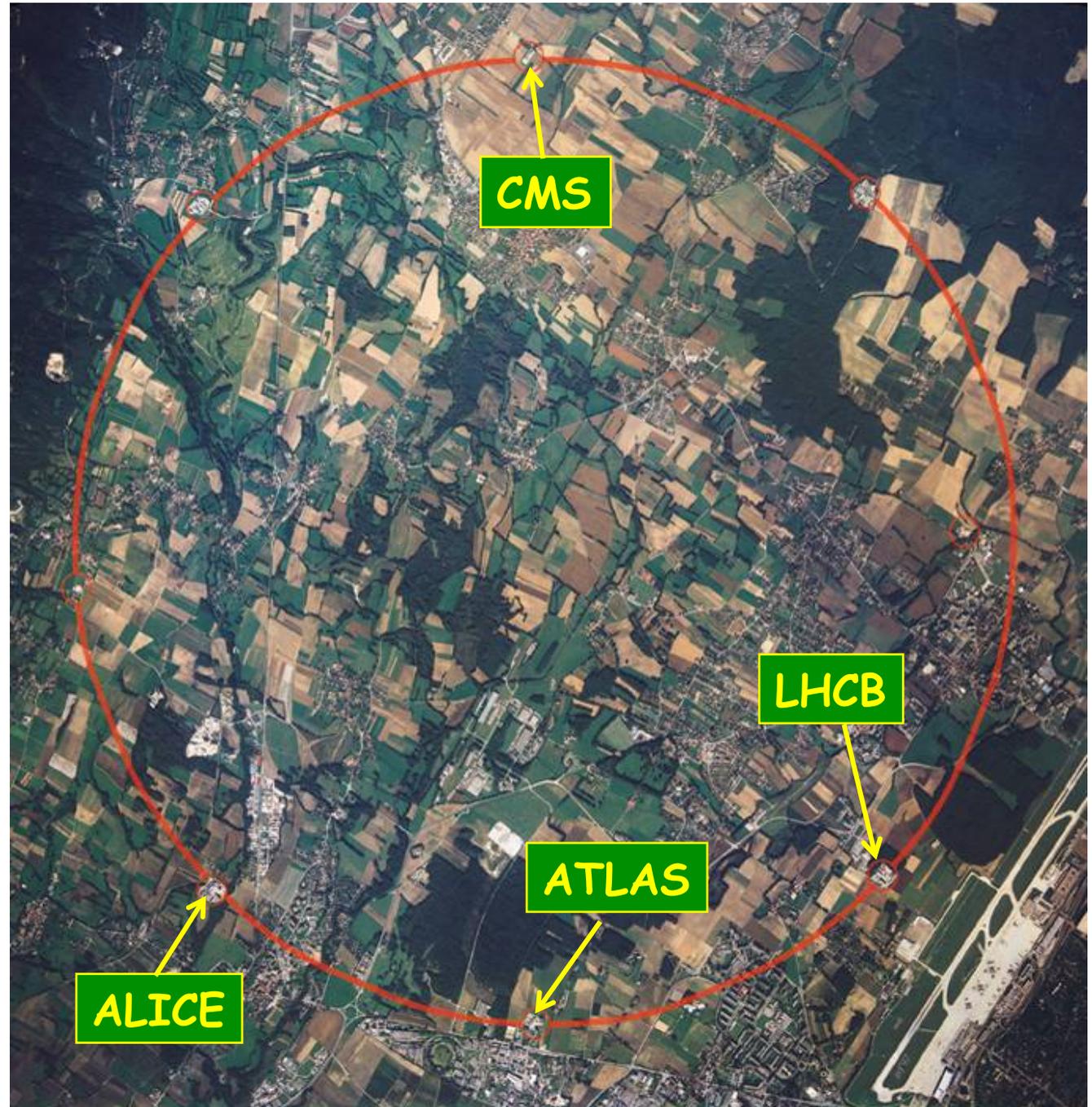
LEP: 1989-2000

- collider e+e-
- 4 esperimenti
- Energia $10^4 + 10^4$ GeV
- circonferenza 26.7 km

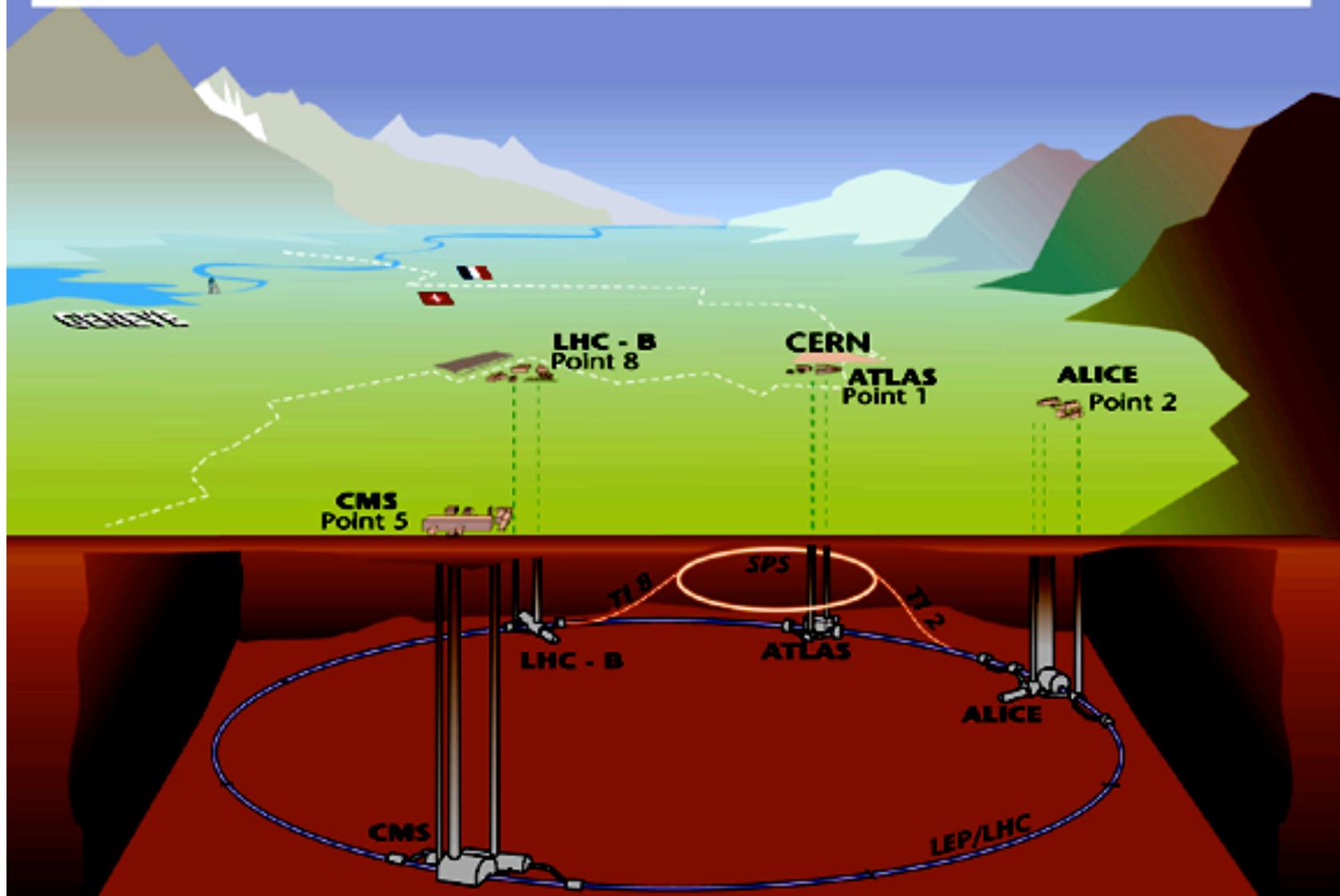
Nello stesso tunnel,
7 anni di costruzione
per sostituire LEP
con LHC

(2008-2020+)

- collider protone-protone
& ione-ione
- 4+ esperimenti
- energia 7+7 TeV

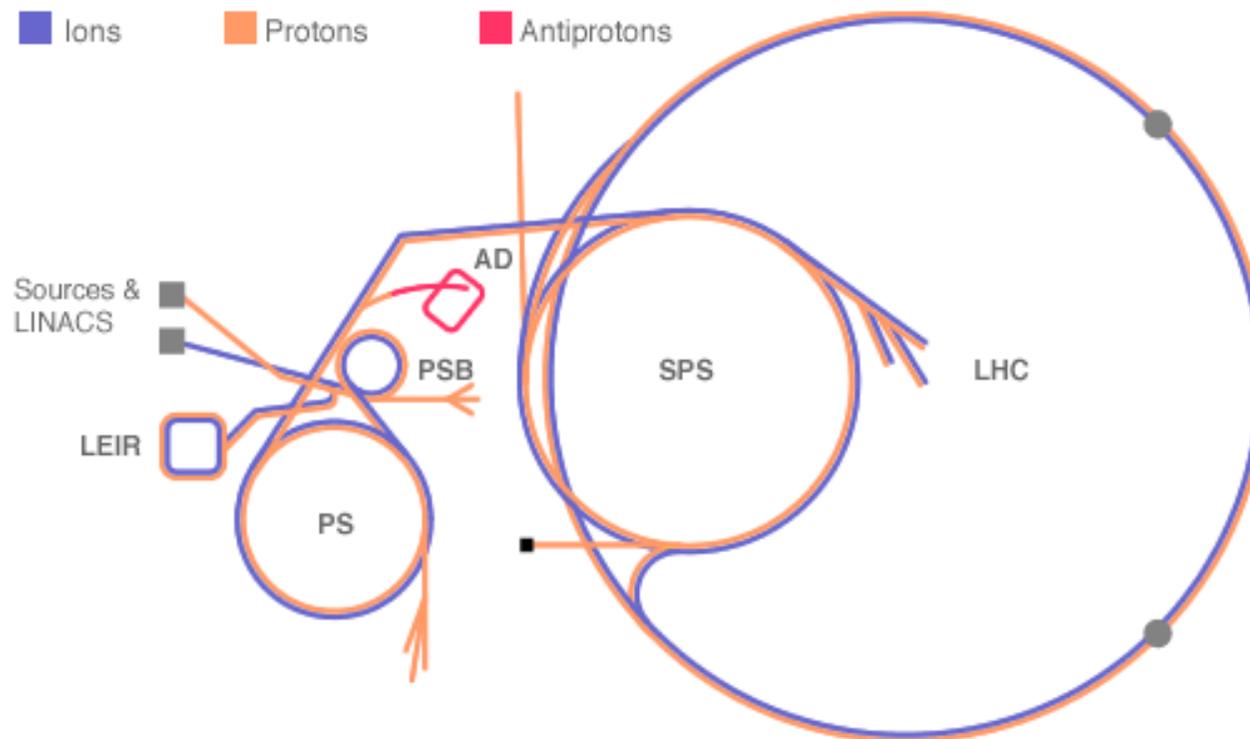


Overall view of the LHC experiments.



Tunnel circumference 26.7 km, tunnel diameter 3.8 m
Depth : ~ 70-140 m - tunnel is inclined by ~ 1.4%

Il complesso di acceleratori al CERN



Il tunnel del LEP (Large Electron Positron collider) viene riutilizzato per far collidere protoni oppure ioni pesanti nel Large Hadron Collider (LHC)

Energia, tanta energia

Quando LHC opererà alla massima energia dei fasci (7+7 TeV), ed alla massima intensità:

□ **Energia magnetica** immagazzinata nei dipoli:

per ciascun dipolo

$$E_{\text{dipolo}} = 7 \text{ MJ}$$

tutti i dipoli

$$E_{\text{stored}} = 10.4 \text{ GJ} !!!$$

□ i 2808 "pacchetti del fascio di LHC contengono grande **energia cinetica**:

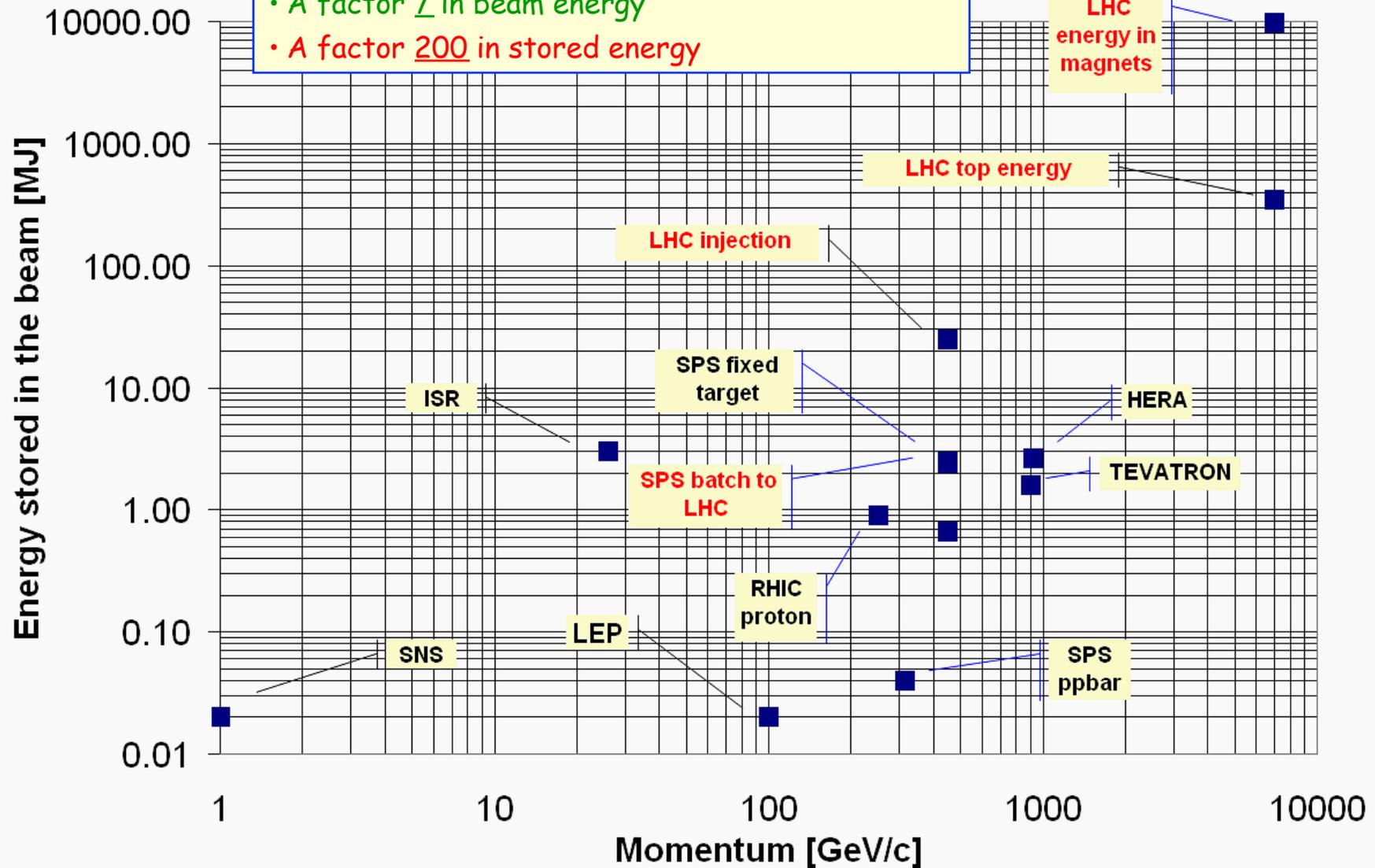
singolo pacchetto: $E_{\text{bunch}} = N \times E = 1.15 \times 10^{11} \times 7 \text{ TeV} = 129 \text{ kJ}$

singolo fascio : $E_{\text{beam}} = k \times E_{\text{bunch}} = 2808 \times E_{\text{bunch}} = 362 \text{ MJ}$

Stored Energy

Increase with respect to existing accelerators :

- A factor 2 in magnetic field
- A factor 7 in beam energy
- A factor 200 in stored energy



Paragoni...

L'energia cinetica di un A380 a 700 km/ora corrisponde all'energia immagazzinata nei magneti di LHC :

Sufficiente a fondere 15 tonnellate di Rame!!



- 90 kg di TNT



L'energia immagazzinata in uno dei due fasci corrisponde approssimativamente a :

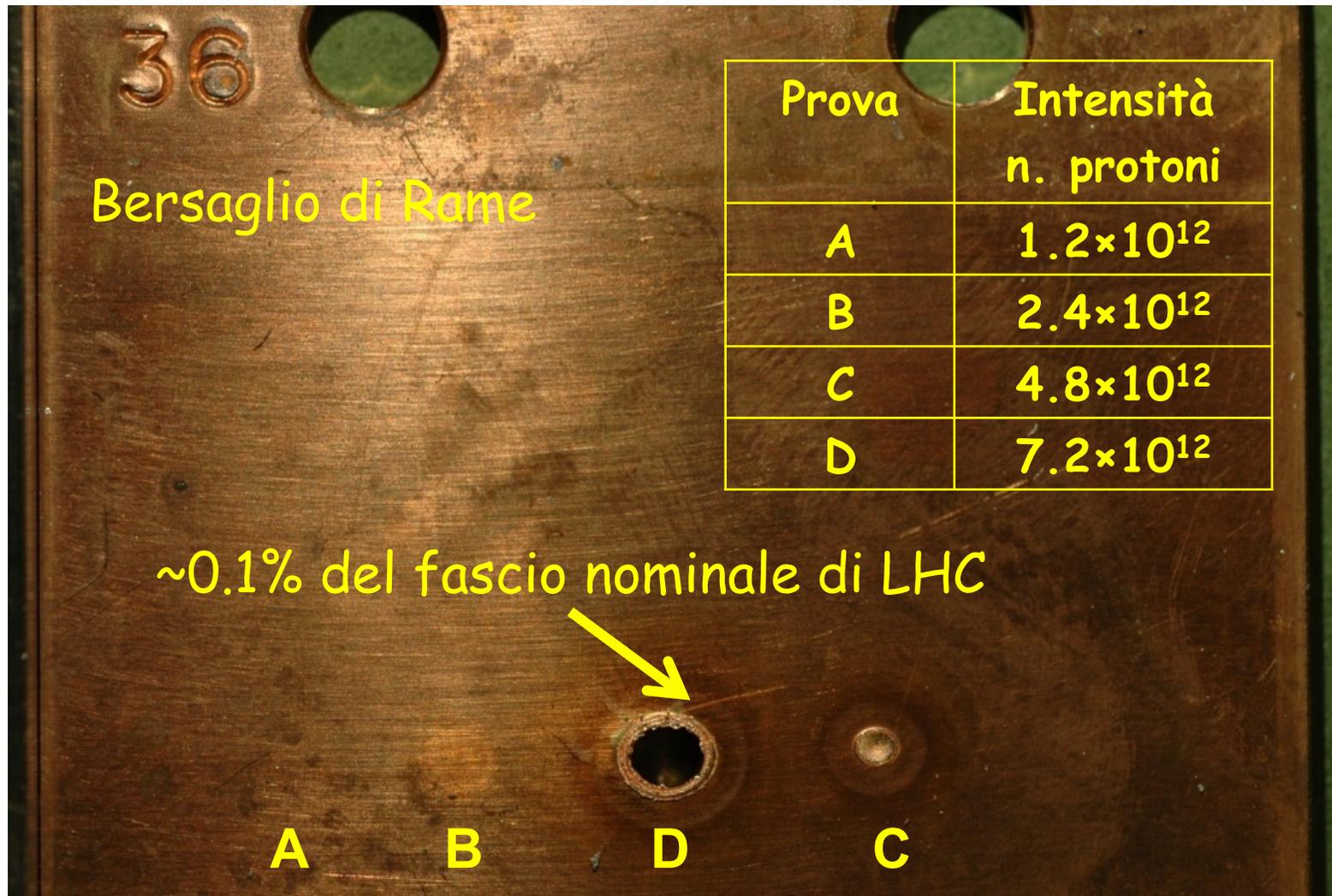
- 10-12 litri di benzina



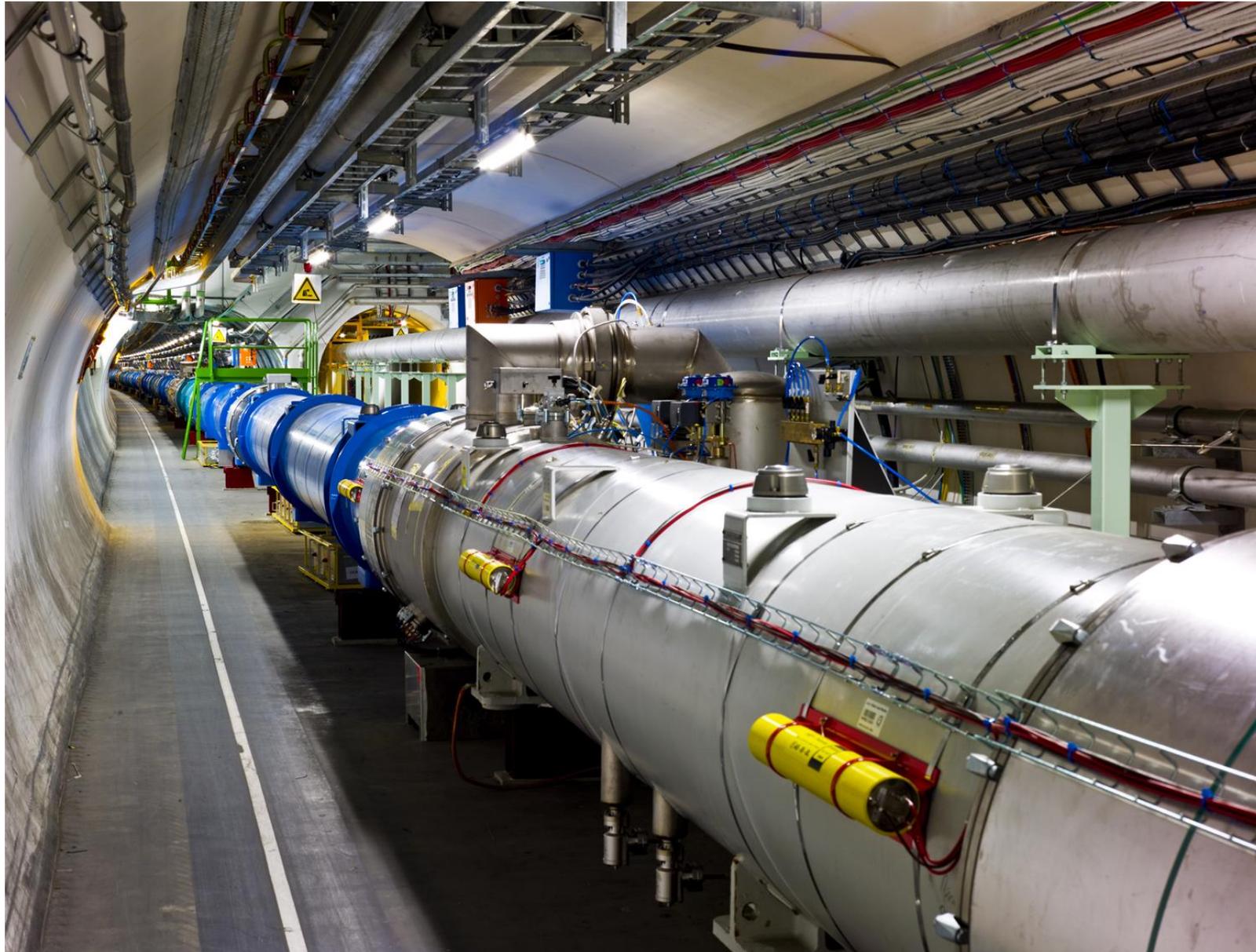
- 15 kg di cioccolata



Con un fascio da 450 GeV



Canale di svuotamento del fascio



Luminosità

Il numero di eventi al secondo dipende dalla probabilità del processo (FISICA) e dalla luminosità L della MACCHINA:

$$N = L\sigma$$
$$L = \frac{kN^2 f}{4\pi\sigma_x^* \sigma_y^*}$$

$k = \text{numero di pacchetti} = 2808$

$N = \text{numero di protoni/pacchetto} = 1.15 \times 10^{11}$

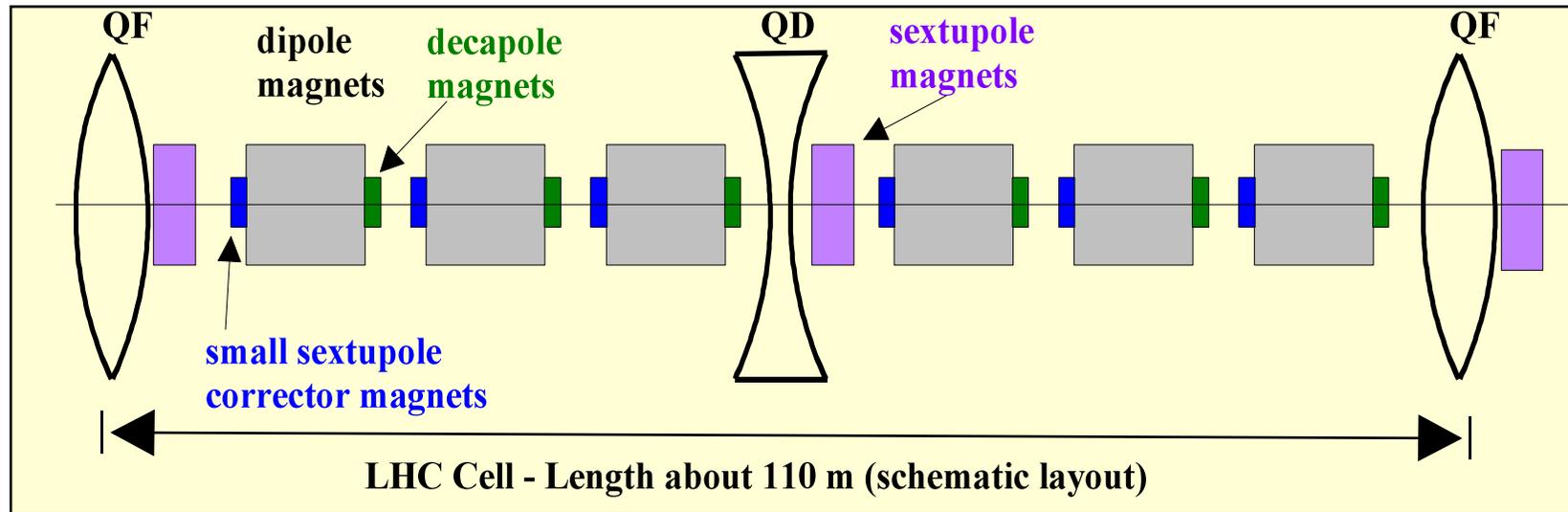
$f = \text{frequenza di rotazione} = 11.25 \text{ kHz}$

$\sigma_x^* \sigma_y^* = \text{dimensioni trasversali dei fasci (or./vert.)} = 16 \mu\text{m}$

Per massimizzare L :

- Molti pacchetti (k)
- Molti protoni/pacchetto (N)
- Fasci sottili $\sigma_{x,y}^*$

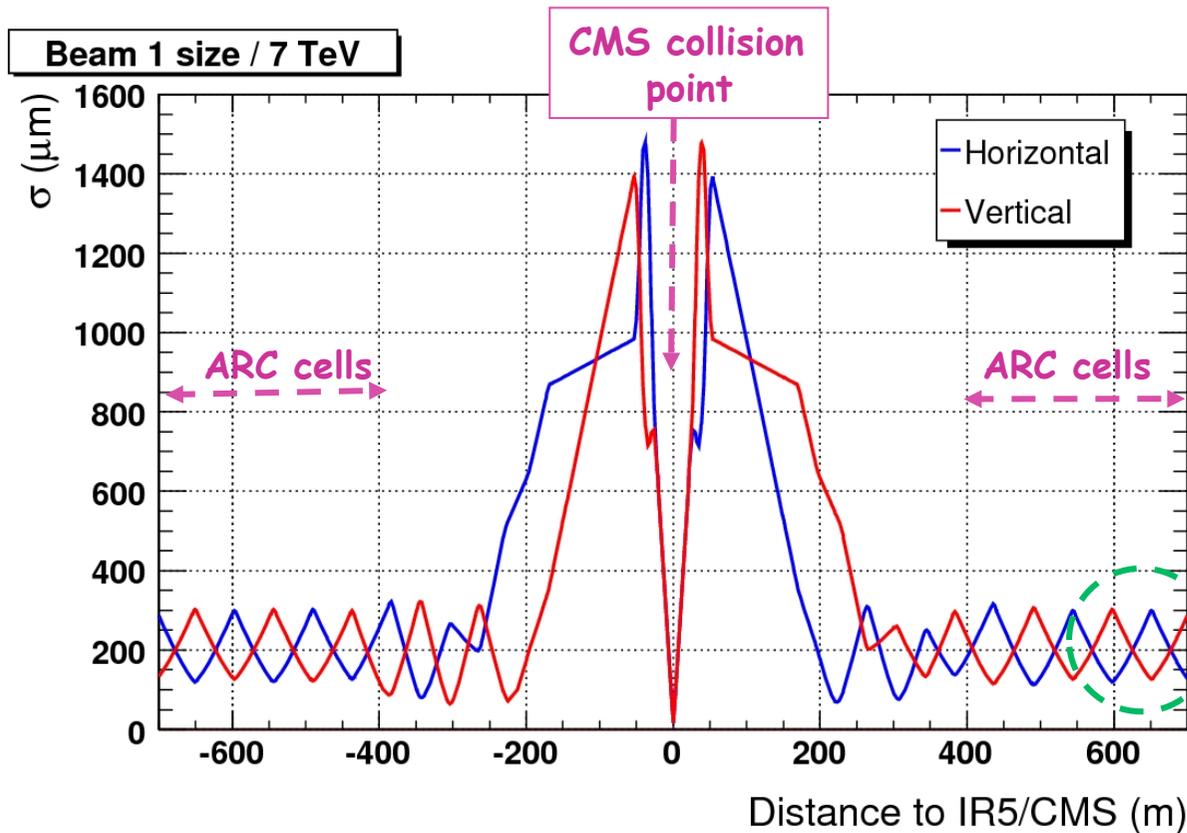
LHC arc lattice



- Dipole- und Quadrupol magnets
 - Provide a stable trajectory for particles with nominal momentum.
- Sextupole magnets
 - Correct the trajectories for off momentum particles (,chromatic' errors).
- Multipole-corrector magnets
 - Sextupole - and decapole corrector magnets at end of dipoles
 - Used to compensate field imperfections of the dipole magnets. To stabilize trajectories for particles at larger amplitudes - beam lifetime !

One rarely talks about the multipole magnets, but they are also essential for the good machine performance !

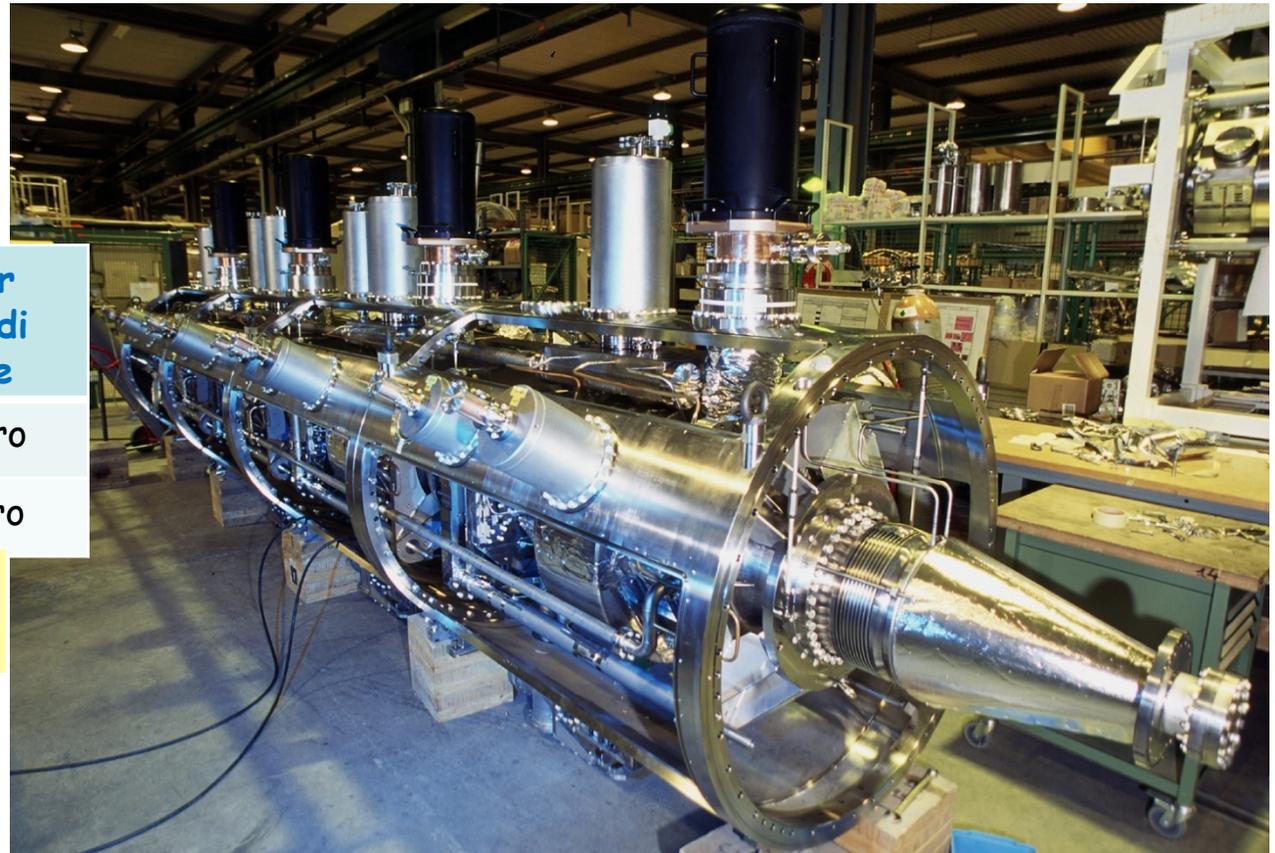
Beam envelope



- The envelope of the size beam is given by the so-called ' β -function' (\Leftrightarrow optics):
 - In the arcs the optics follows a regular pattern.
 - In the long straight sections, the optics is matched to the 'telescope' that provides very strong focusing at the collision point.
- Collision point size (rms, defined by ' β^* '):
 - CMS & ATLAS : 16 μm
 - LHCb : 22 - 160 μm
 - ALICE : 16 μm (ions) / >160 μm (p)

Sistema a radiofrequenza di LHC

- operates a 400 MHz.
- È composto da 16 cavità superconduttive, 8 per fascio



Perdita per
radiazione di
sincrotrone

LHC @ 7 TeV

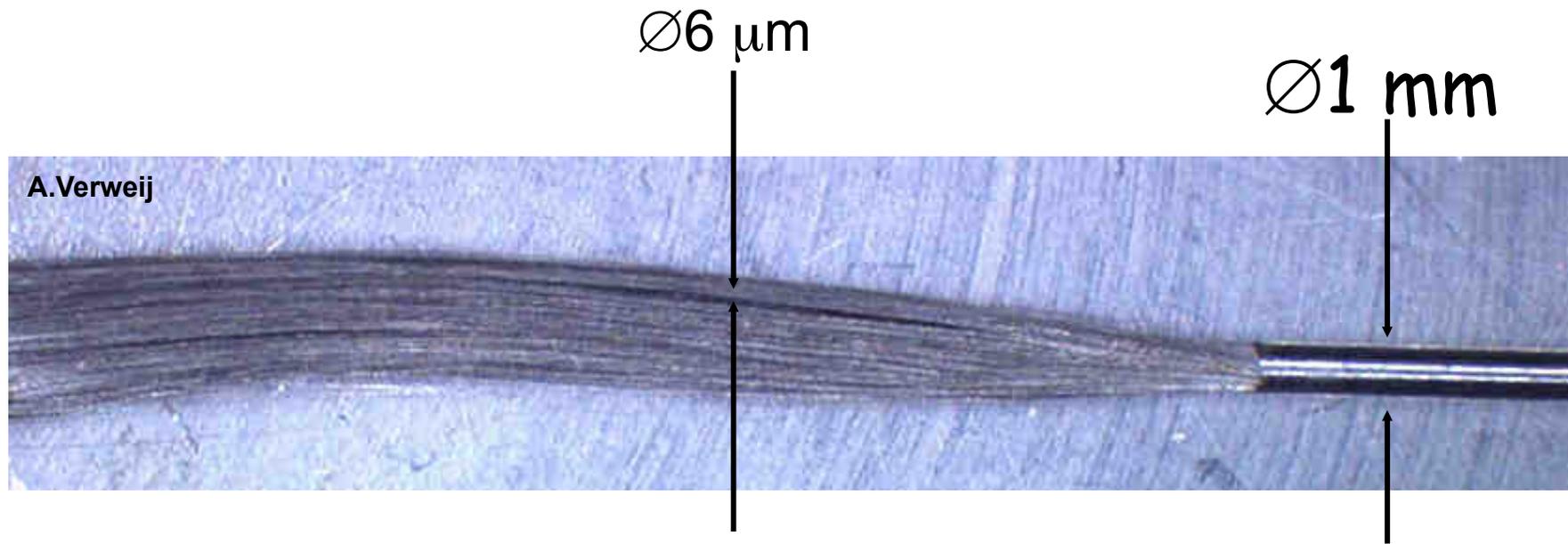
6.7 keV /giro

LEP @ 104 GeV

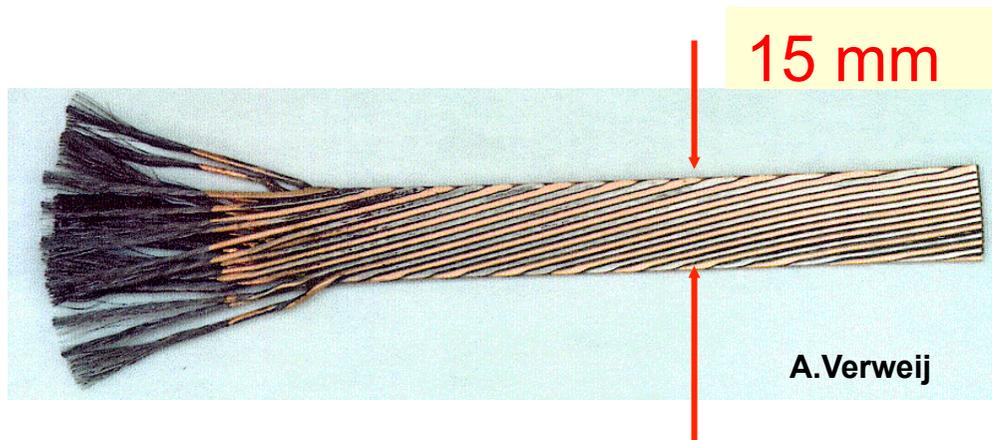
~3 GeV /giro

La "luce" di LHC si può
fotografare

Il cavo superconduttore



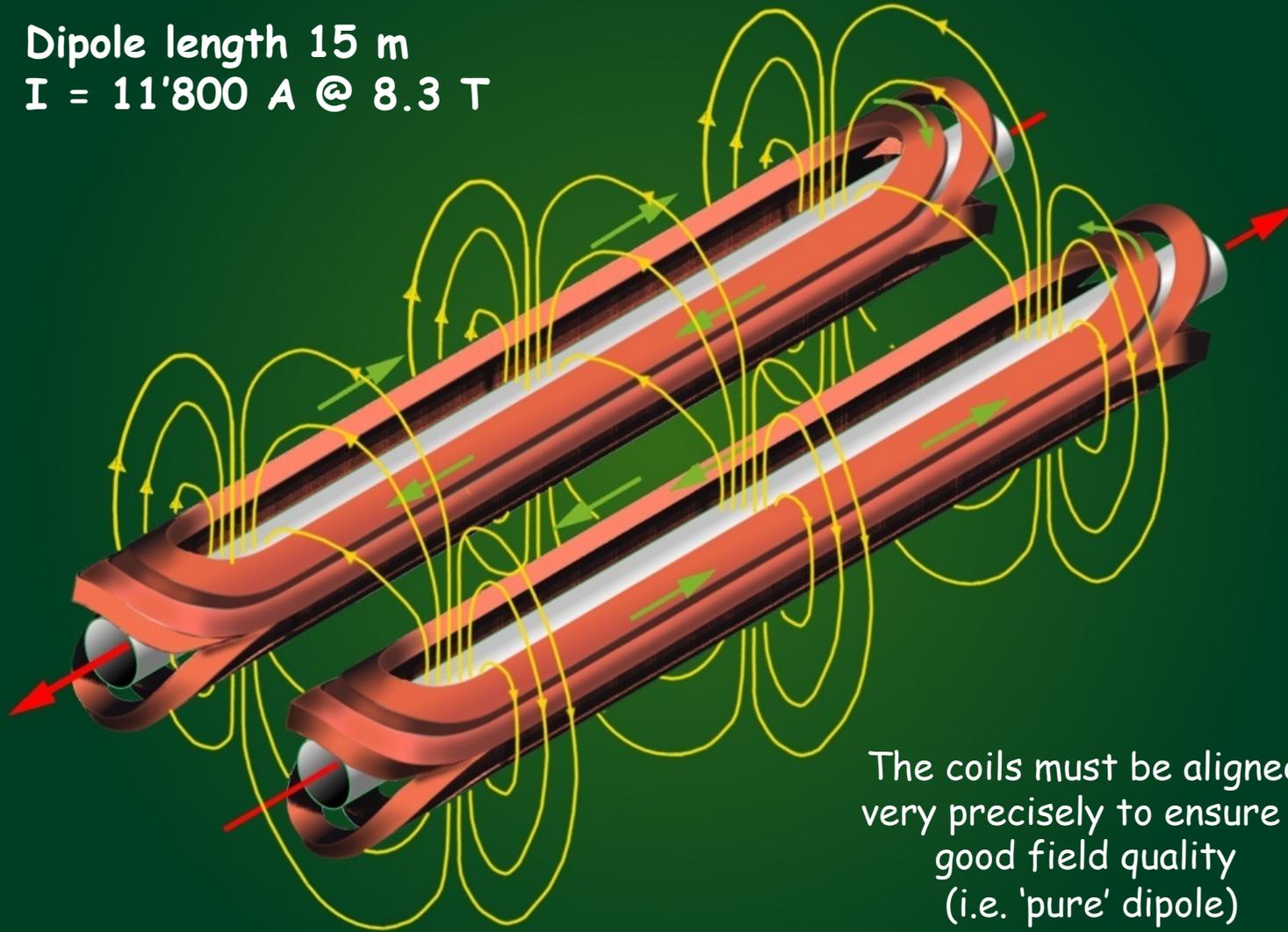
A 8T e 1.9 K: 800 A



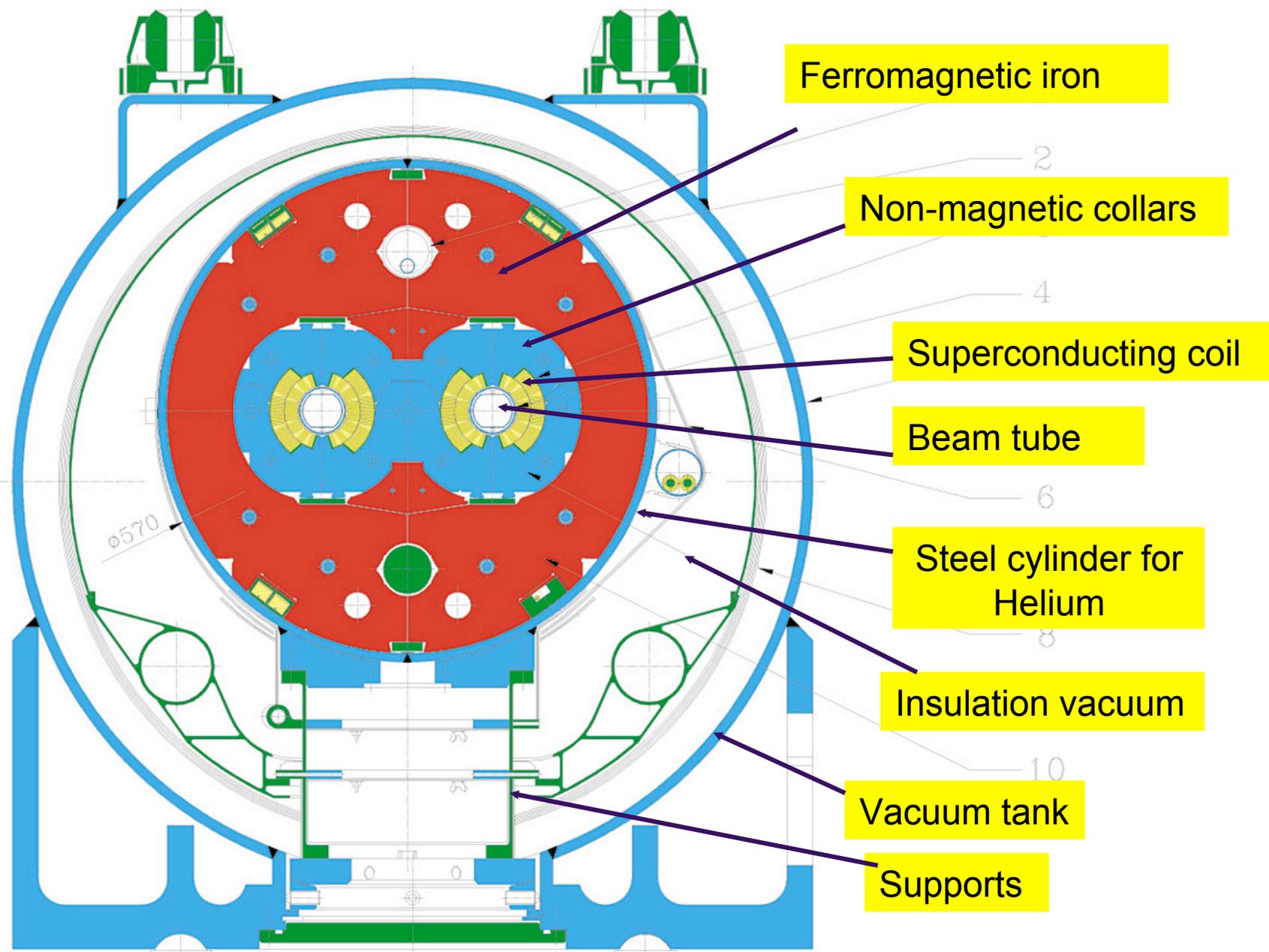
Cavo Rutherford

Coils for dipoles

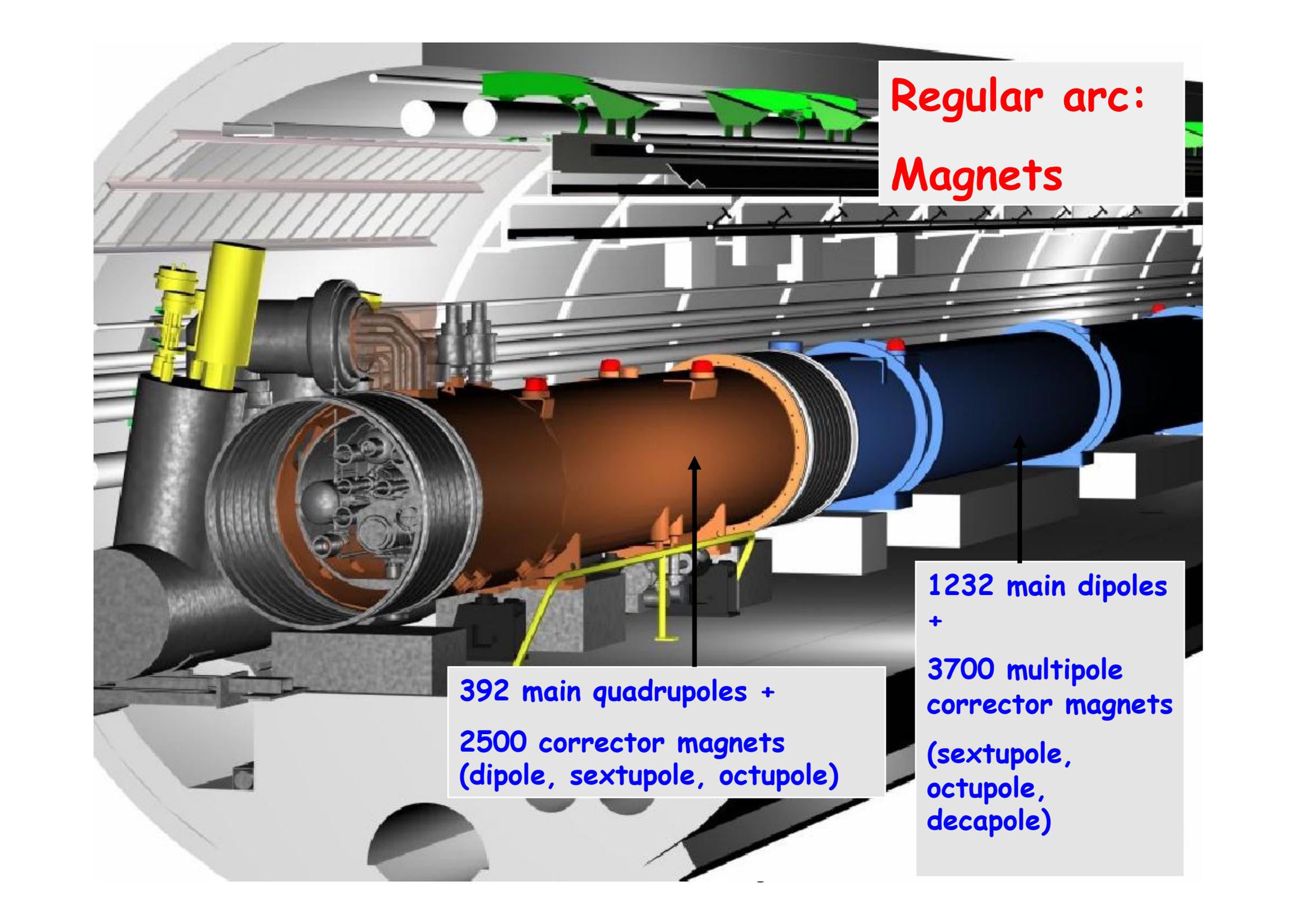
Dipole length 15 m
 $I = 11'800 \text{ A @ } 8.3 \text{ T}$



The coils must be aligned very precisely to ensure a good field quality (i.e. 'pure' dipole)



Weight (magnet + cryostat) ~ 30 tons, Length 15 m



Regular arc:
Magnets

392 main quadrupoles +
2500 corrector magnets
(dipole, sextupole, octupole)

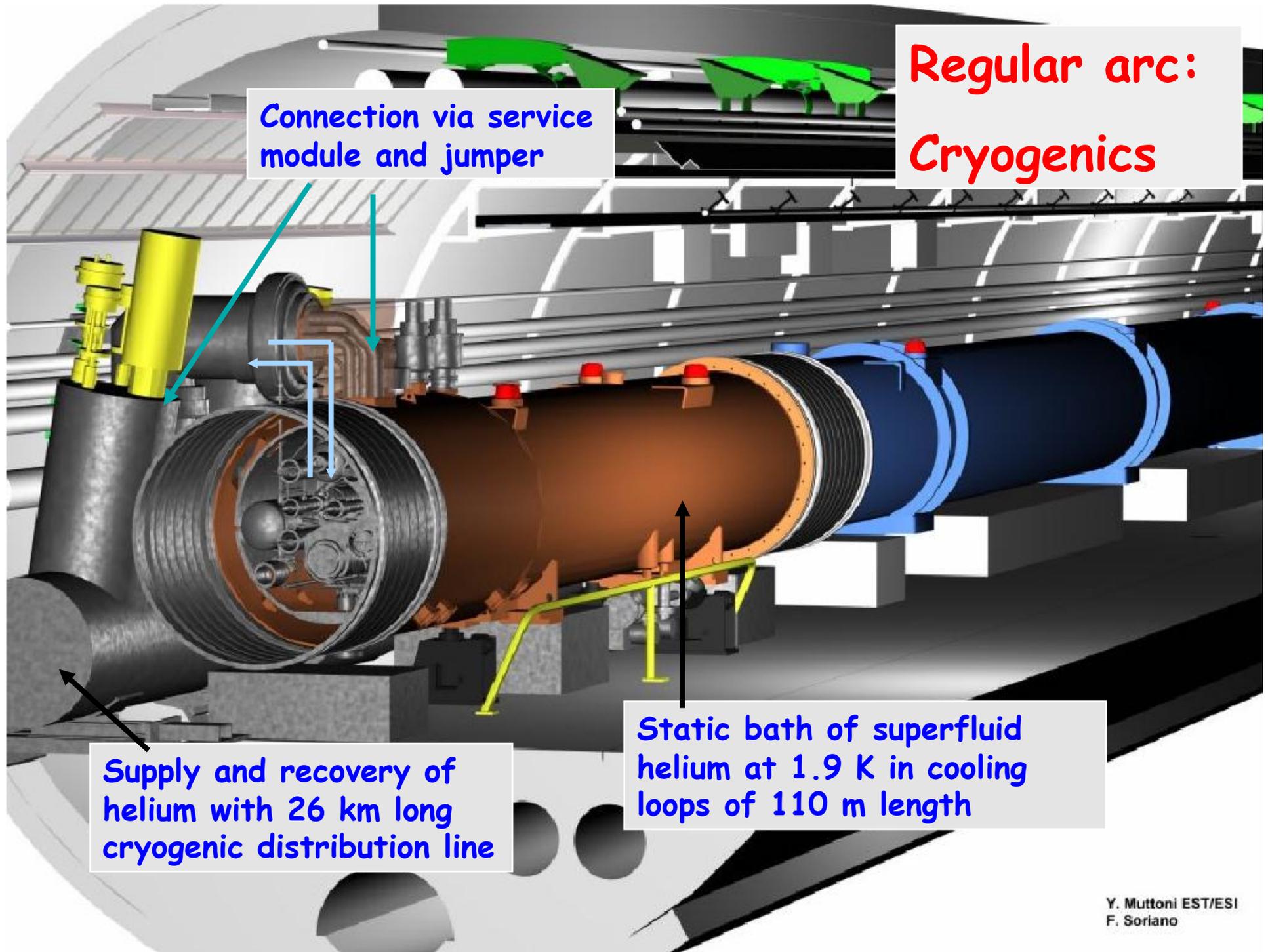
1232 main dipoles
+
3700 multipole
corrector magnets
(sextupole,
octupole,
decapole)

**Regular arc:
Cryogenics**

Connection via service module and jumper

Static bath of superfluid helium at 1.9 K in cooling loops of 110 m length

Supply and recovery of helium with 26 km long cryogenic distribution line

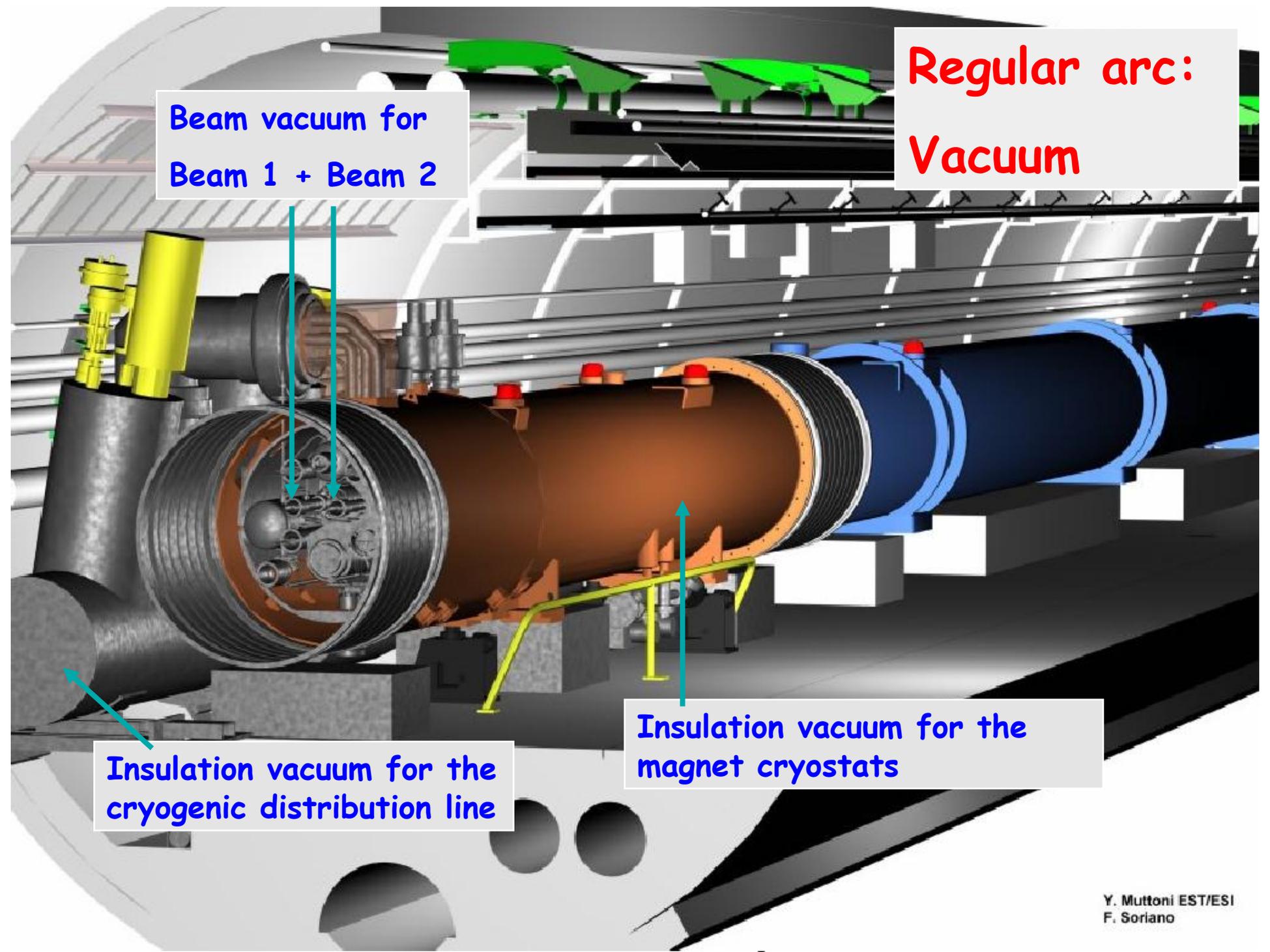


**Regular arc:
Vacuum**

**Beam vacuum for
Beam 1 + Beam 2**

**Insulation vacuum for the
magnet cryostats**

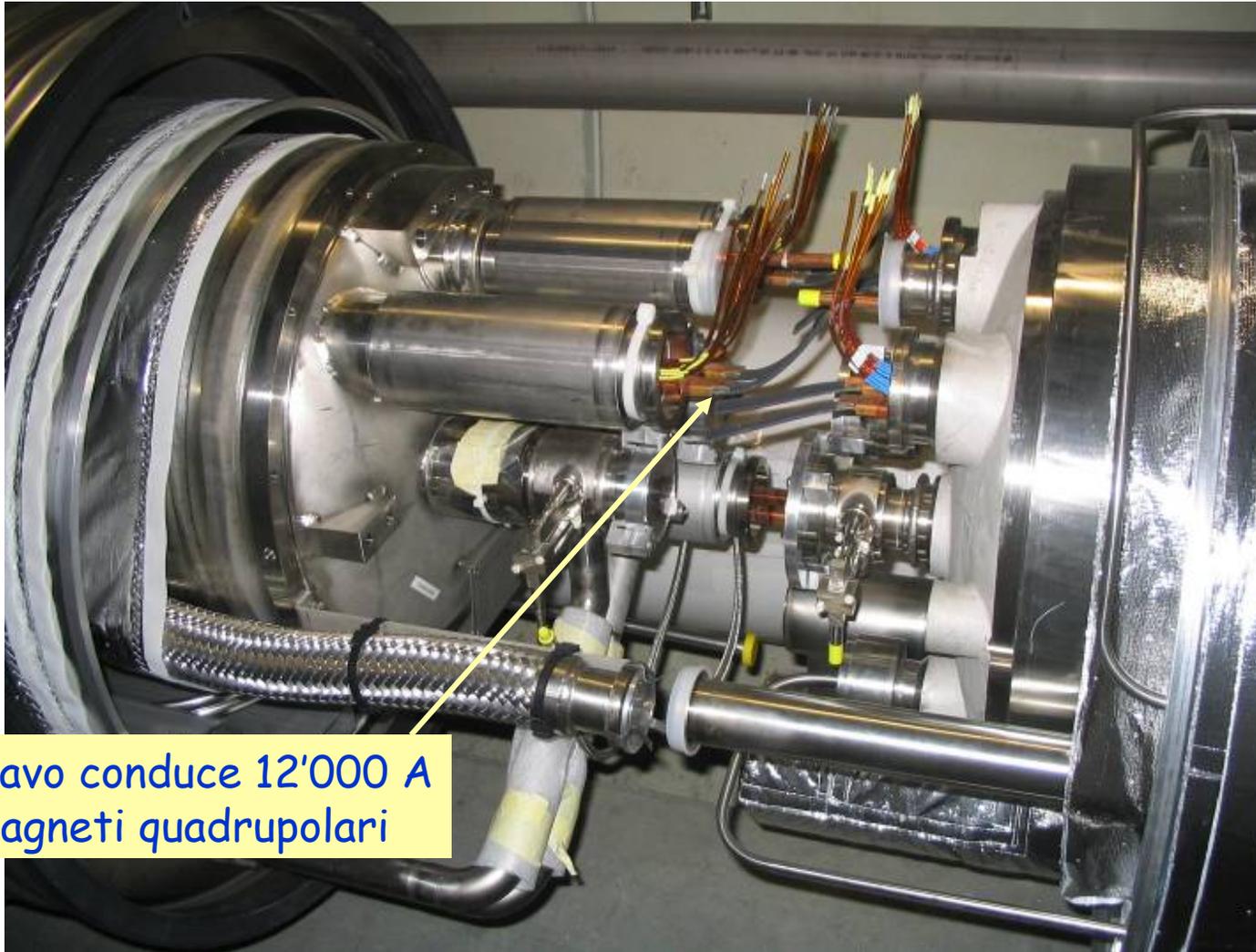
**Insulation vacuum for the
cryogenic distribution line**



Tunnel view (2)



Interconnessioni



Questo cavo conduce 12'000 A
per i magneti quadrupolari



LARGE HADRON COLLIDER

WE BUILT IT FOR THE LULZ!

© Original Artist
Reproduction rights obtainable from
www.CartoonStock.com



Search ID: rmcn298

"Fine, I'll say it - the Hadron Collider was a bad idea! Are you happy now, Bob?"