

# Incontri di Fisica 2003: Beam Test Facility: Calibrazione e test di rivelatori

- Introduzione all'interazione delle particelle cariche, elettroni e fotoni con la materia, misura dell'energia
- La BTF come sorgente di elettroni di energia nota
- I raggi cosmici come sorgenti di m.i.p.
- Trattazione del segnale elettrico, concetto di trigger
- Descrizione delle esperienze
- Elettronica
- LINAC

**Giovanni Mazzitelli**

**Donato Pellegrini**

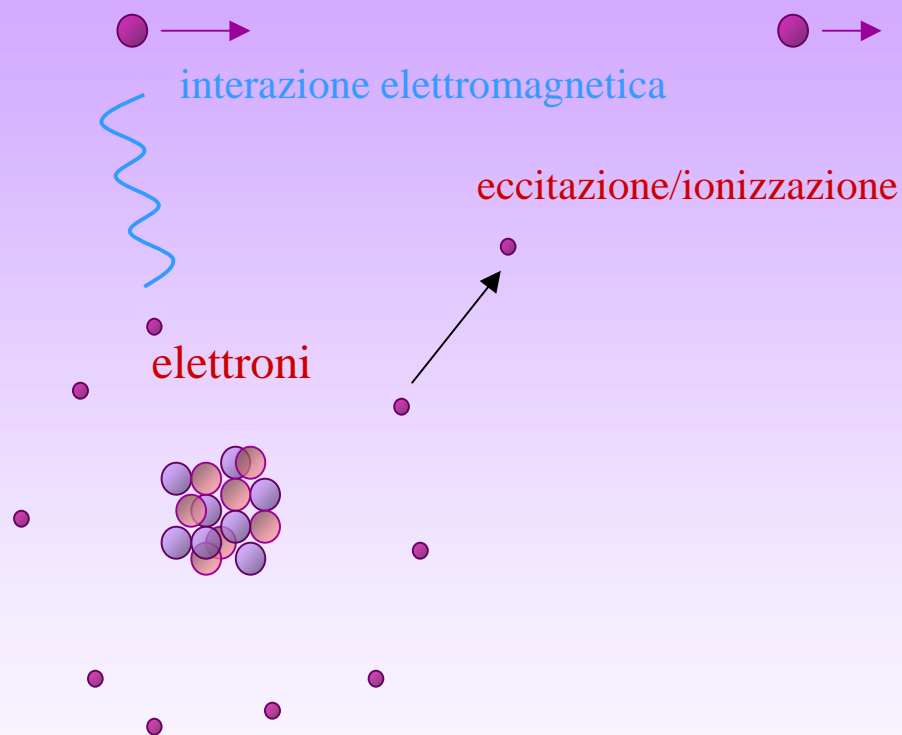
**Raffaele Zarlenga**

**Laboratori Nazionali di Frascati**



# Interazioni radiazione/materia

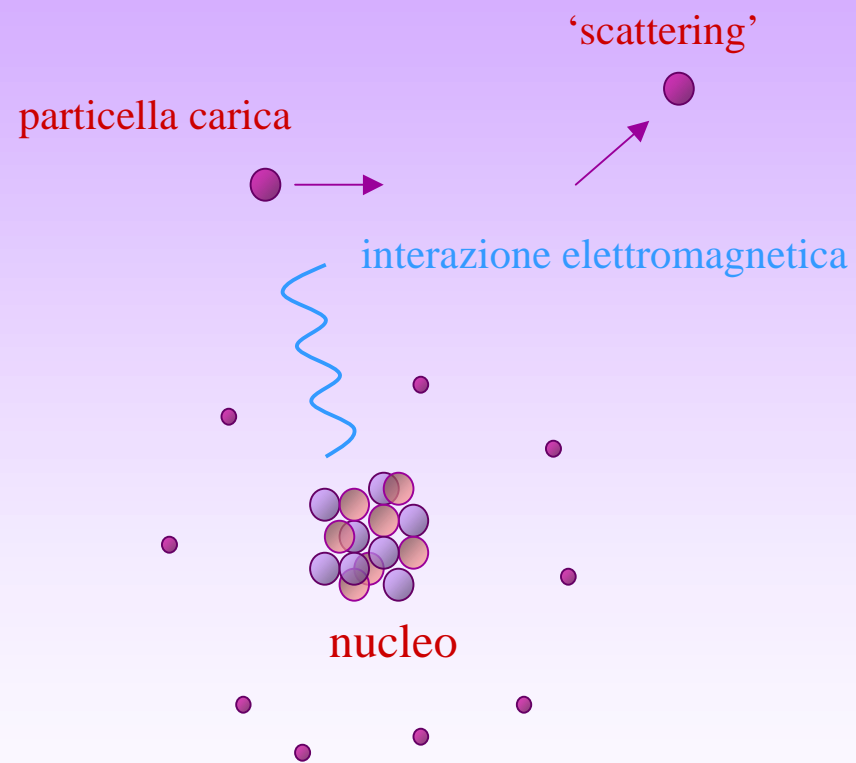
particella carica



# Interazioni radiazione/materia

Incontri di  
fisica

2003

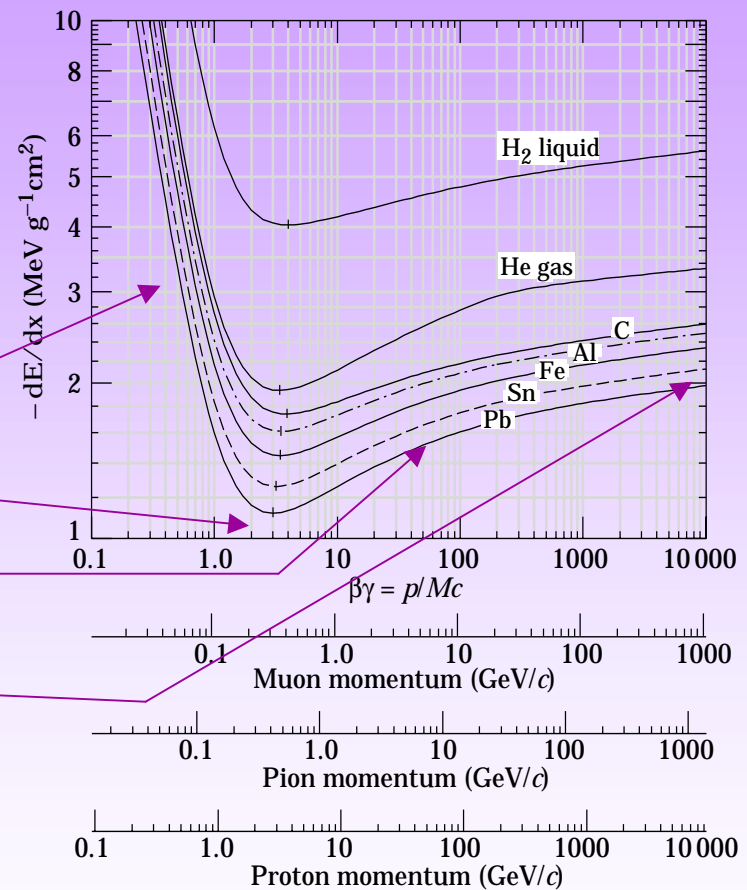


# Perdita di energia per ionizzazione: $dE/dx$

Se espressa in termini di  $p/m$  la perdita di energia per unità di lunghezza (e di densità)  $dE/dx$  non dipende dalla massa della particella ma solo dalla velocità ( $\beta$ ).

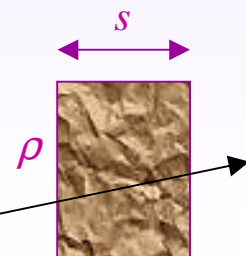
La forma caratteristica della perdita di energia per ionizzazione presenta:

- una **discesa** proporzionale a  $1/\beta^2$  per bassi  $\beta$ ,
- raggiunge poi un **minimo**
- quindi risale quando le particelle diventano relativistiche (**risalita relativistica**);
- il  $dE/dx$  in realtà satura per effetti di schermo della carica atomica (**plateau di Fermi**)



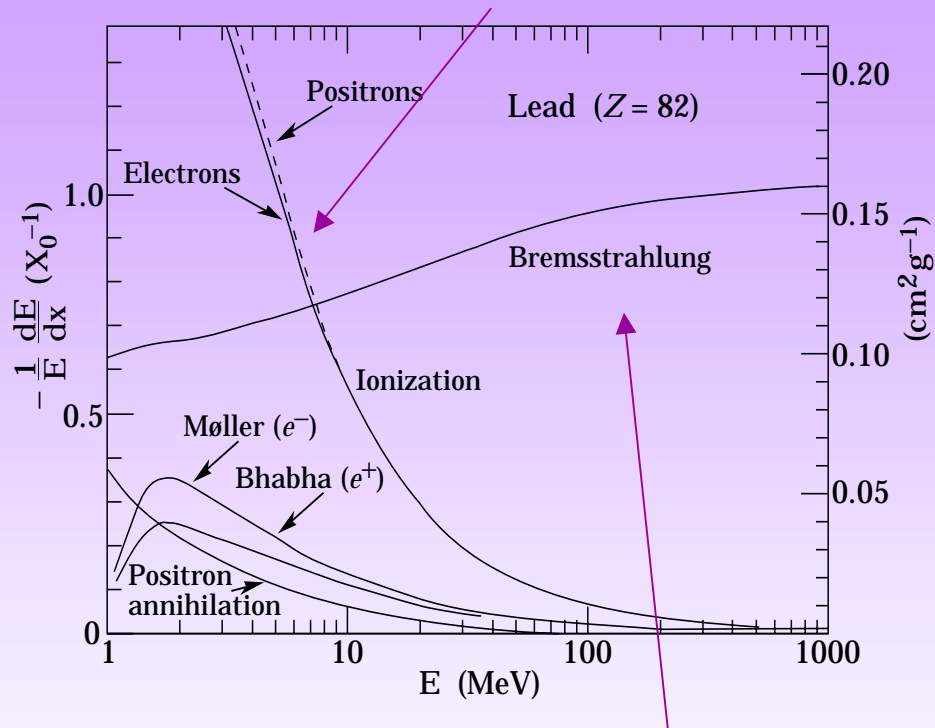
$$\beta\gamma = \frac{p}{mc}$$

$$x = \frac{s}{\rho}$$



# Perdita di energia di elettroni (e positroni)

A bassa energia domina la ionizzazione...



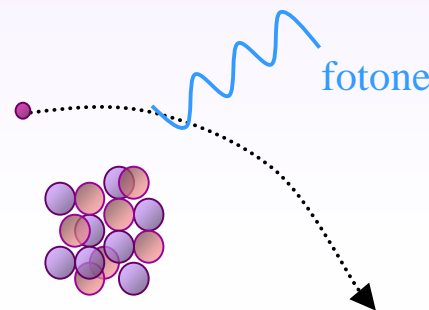
La perdita di energia *per radiazione* diventa praticamente proporzionale all'energia degli elettroni...

$$X_0 = \frac{180 A (g cm^{-2})}{Z^2}$$

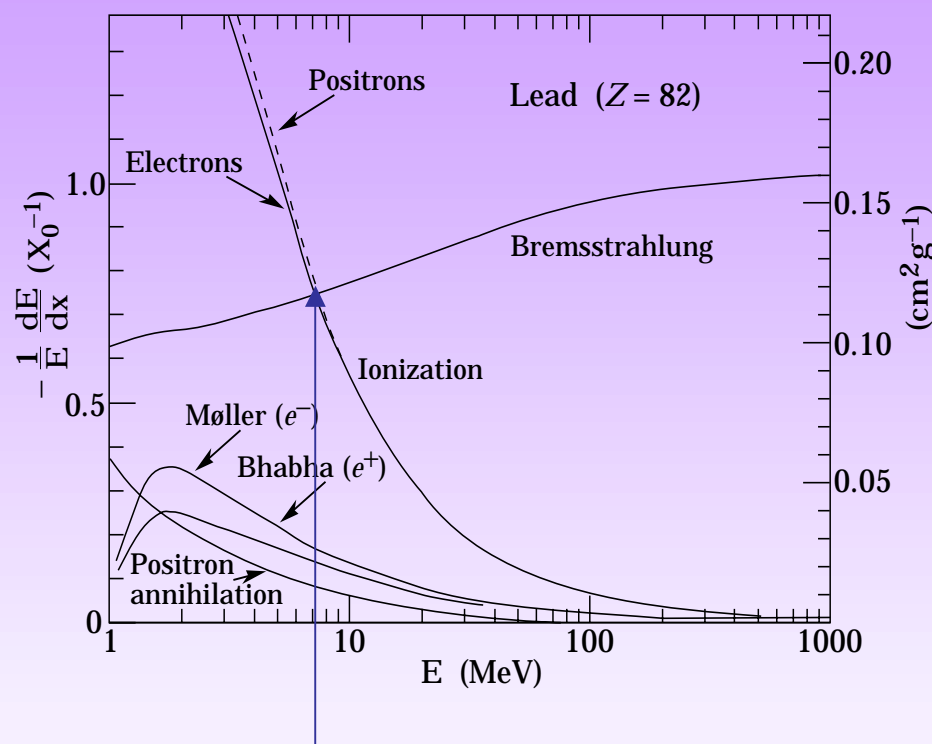
$$\left\langle \frac{dE}{dx} \right\rangle = \frac{E}{X_0}$$

... e tutti i materiali si comportano allo stesso modo se lo spessore è espresso in termini della lunghezza di radiazione  $X_0$

... ma per energie di elettroni/positroni  $> 10$  MeV entra in gioco il fenomeno della **bremstrahlung**, ovvero l'emissione di fotoni dovuta all'effetto accelerante del campo Coulombiano dei nuclei



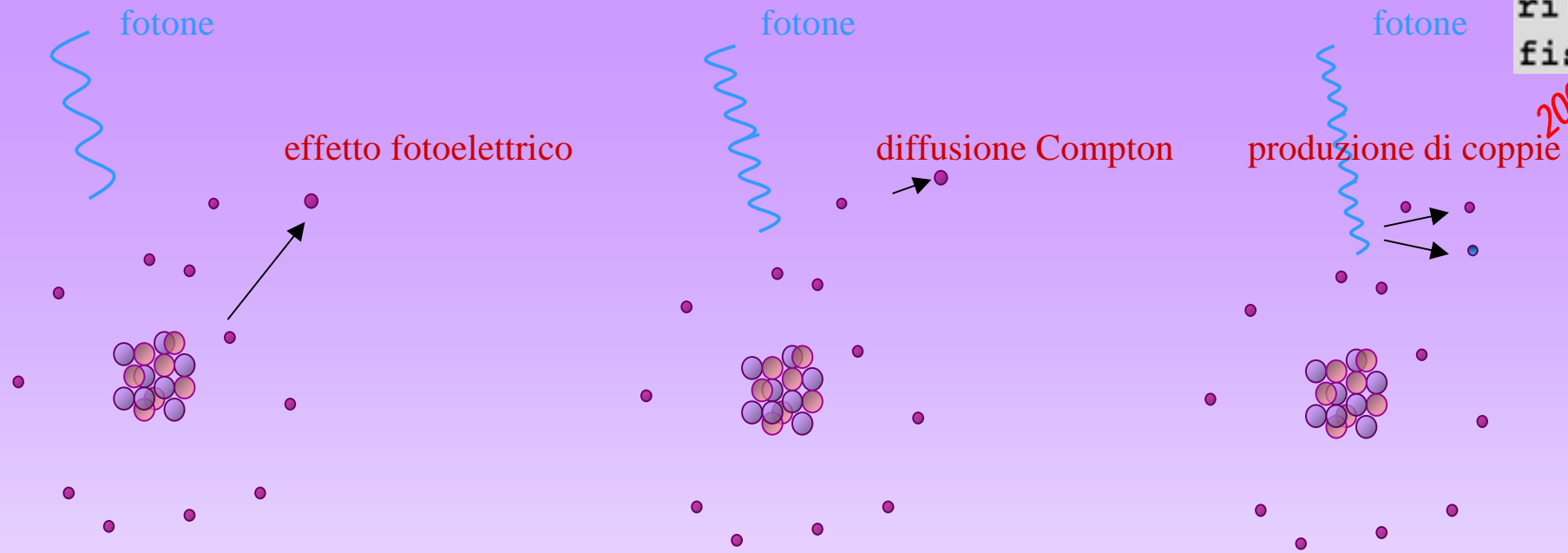
# Perdita di energia di elettroni (e positroni)



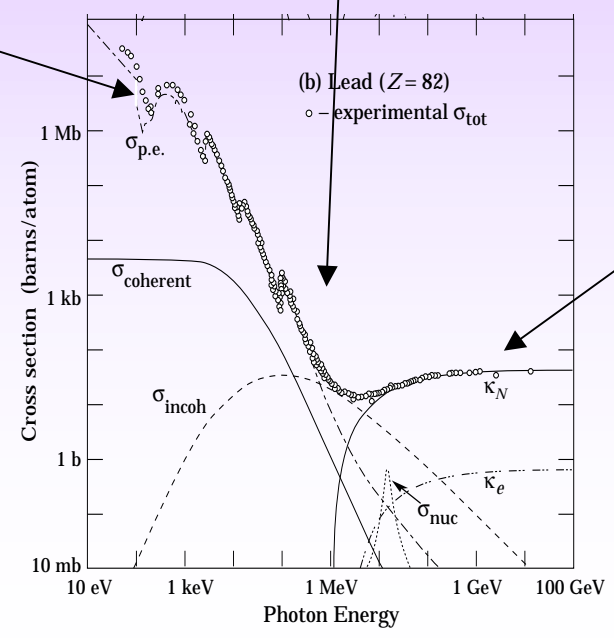
$$\varepsilon = \frac{550 \text{ (MeV)}}{Z}$$

L'energia al di sotto della quale domina la perdita di energia per ionizzazione è detta energia critica  $\varepsilon$

2003



# Interazioni dei fotoni

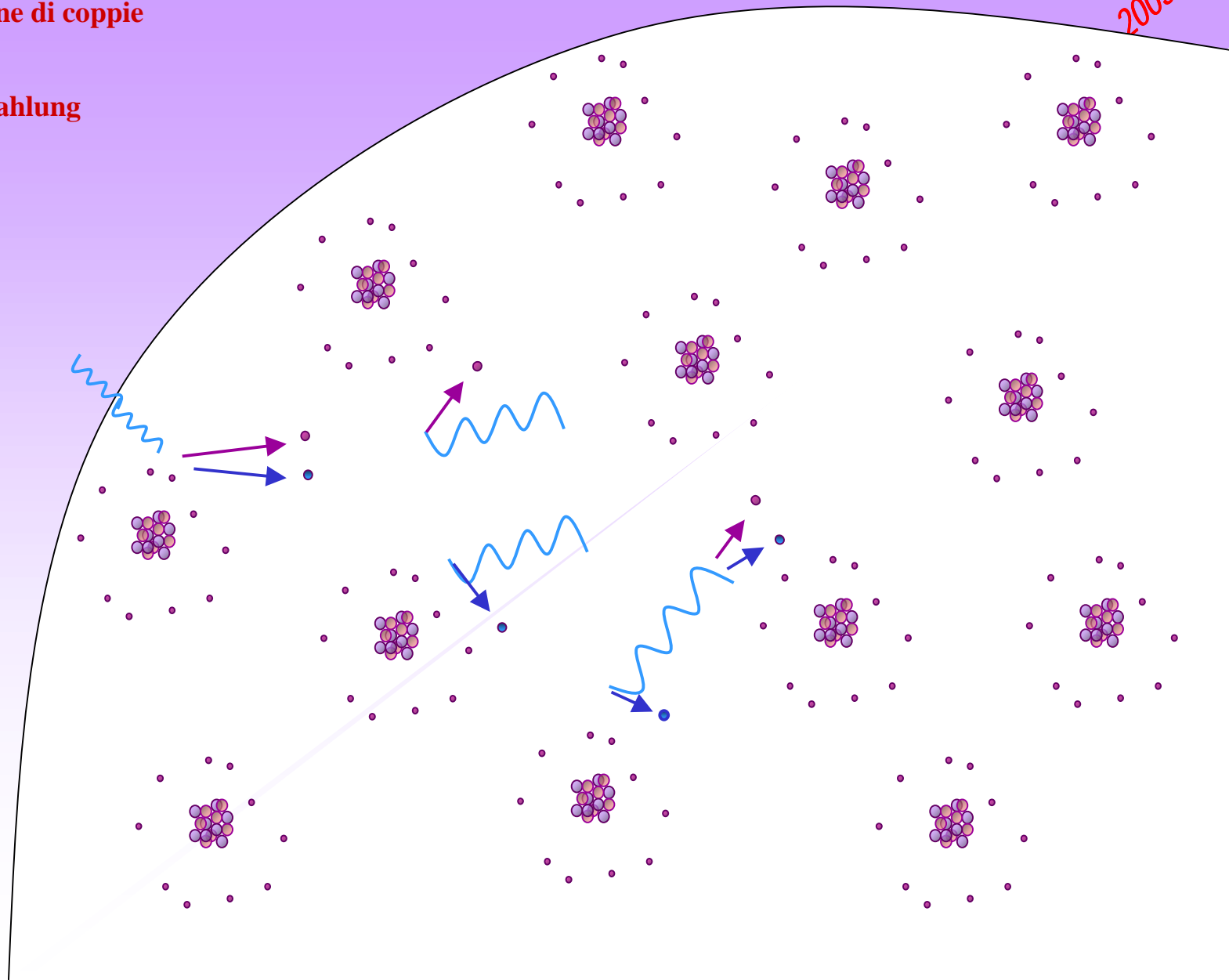


# Lo sciame elettromagnetico

Ad alte energie:

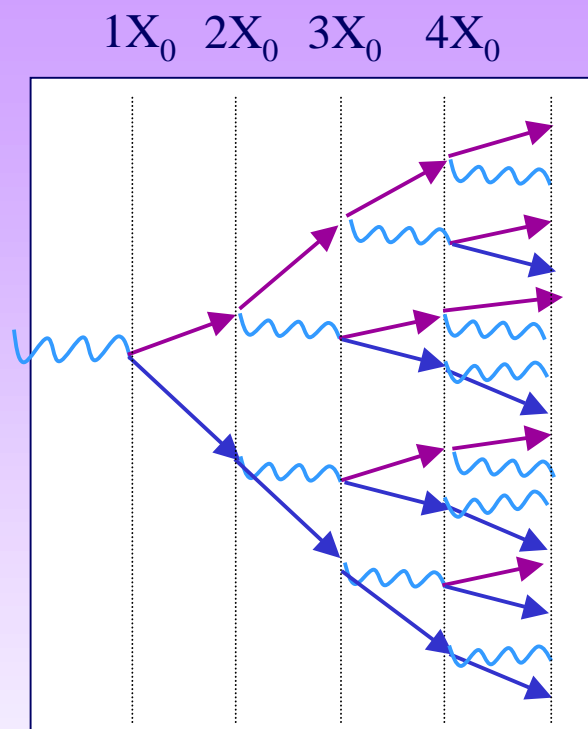
 produzione di coppie

 bremsstrahlung





# Lo sciame elettromagnetico



## Approssimazione di Rossi 'B':

- la probabilità di ionizzazione non dipende dall'energia:  $dE/dx = -\epsilon/X_0$
- si trascura lo 'scattering' di Coulomb sui nuclei e lo sciame è trattato in una sola dimensione
- non si considerano altri effetti come lo 'scattering' Compton sugli elettroni atomici

In questa approssimazione la lunghezza di traccia di tutte le particelle secondarie cariche è proporzionale all'energia della particella incidente:

$$T = \frac{E}{\epsilon} \text{ in unità di } X_0$$

Se il blocco di materiale è 'attivo' cioè è possibile rivelare l'energia depositata dalle particelle secondarie cariche quando la loro energia diventa inferiore all'energia critica, abbiamo un rivelatore in grado di misurare l'energia della particella incidente, cioè un **calorimetro**.

# Calorimetri: misura dell'energia

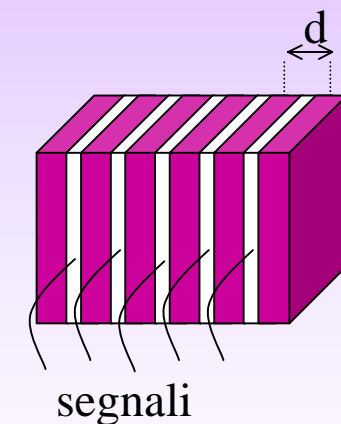
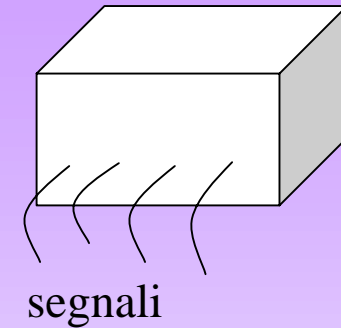
Esistono 2 principali tipi di calorimetro:

- omogeneo (tutto il materiale è **attivo**, cioè in grado di rivelare l'energia persa per ionizzazione)

L'energia della particella incidente è proporzionale al numero di secondari  $N$ , le fluttuazioni sono proporzionali a  $\sqrt{N}$ , la risoluzione della misura di energia è dunque  $\sigma_i(E)/E \propto 1/\sqrt{E}$

- a 'sampling' (campionamento), strati di materiale assorbitore o **passivo** sono alternati a strati di materiale attivo.

Alle fluttuazioni intrinseche si aggiungono quelle del numero di secondari che attraversano il materiale attivo, proporzionali al numero di 'attraversamenti'  $N_x = T/d$  e quindi anche il termine di 'sampling' della risoluzione è  $\sigma_s(E)/E \propto 1/\sqrt{E}$



# Calorimetri: misura dell'energia

Includendo tutte le possibili fluttuazioni, la risoluzione in energia è:

$$\sigma(E)/E = a/E + b/\sqrt{E} + c$$

Effetti strumentali, ampiezza finita del piedistallo  
(termine di rumore)

Fluttuazioni intrinseche dello sciame  
Fluttuazioni di sampling (termine statistico)

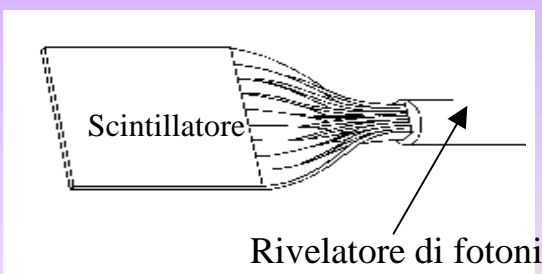
Errori di calibrazione e non uniformità  
(termine costante)

Sciame non contenuto interamente (leakage)  
 $E^{-\alpha}$ ,  $\alpha < 1/2$

# Rivelatori a scintillazione

Particella → **ionizzazione** → particelle cariche → **scintillazione** → luce  
luce → **effetto fotoelettrico** → fotoelettroni → **moltiplicazione** → segnale elettrico

Hanno essenzialmente due funzioni: convertire l'energia rilasciata da un particella ionizzante in luce visibile e trasportarla verso un dispositivo (fotomoltiplicatore, ecc...) in grado di convertirla in un segnale elettrico.

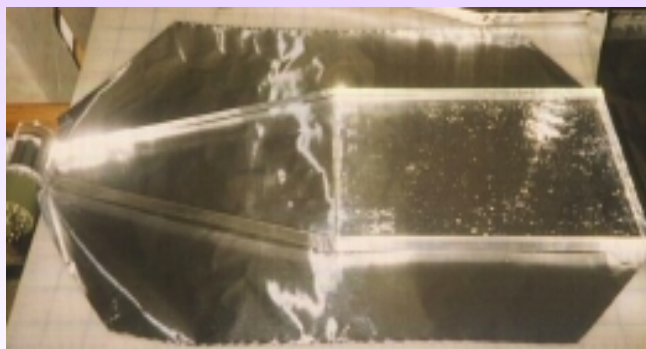


Si tratta di materiali (organici o inorganici) che se eccitati dal rilascio di energia di una particella ionizzante, si diseccitano attraverso emissione di luce nel visibile

Gli scintillatori inorganici ad alto Z (BGO) sono adatti anche per rivelare  $\gamma$

Gli scintillatori sono rivelatori multiuso:

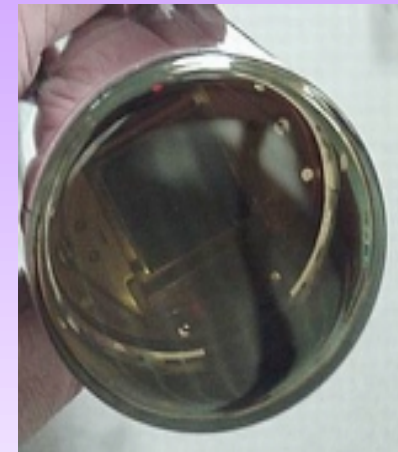
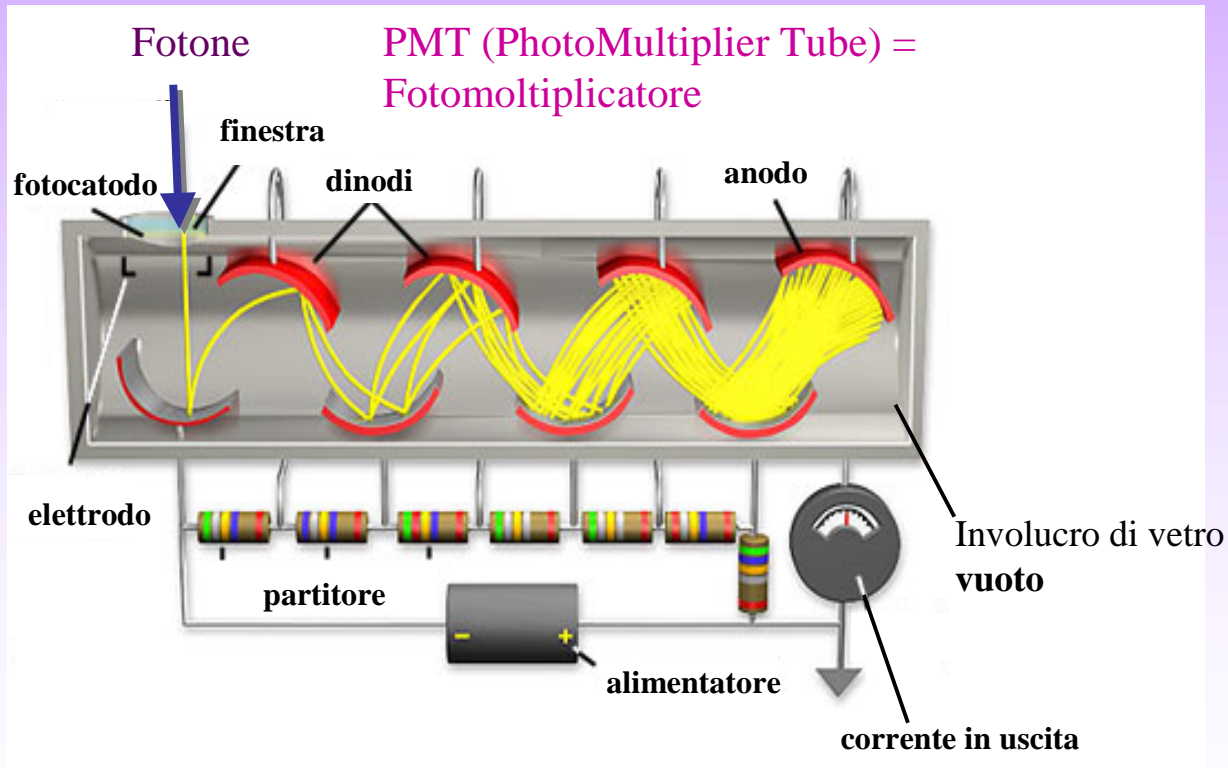
- calorimetri
- misure di tempo di volo
- rivelatori traccianti (fibre)
- contatori di trigger/veto



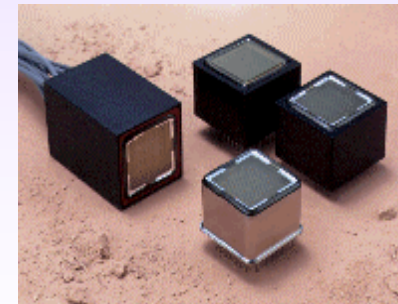
# Rivelatori di fotoni

2003

Particella → **ionizzazione** → particelle cariche → **scintillazione** → luce  
luce → **effetto fotoelettrico** → fotoelettroni → **moltiplicazione** → segnale elettrico

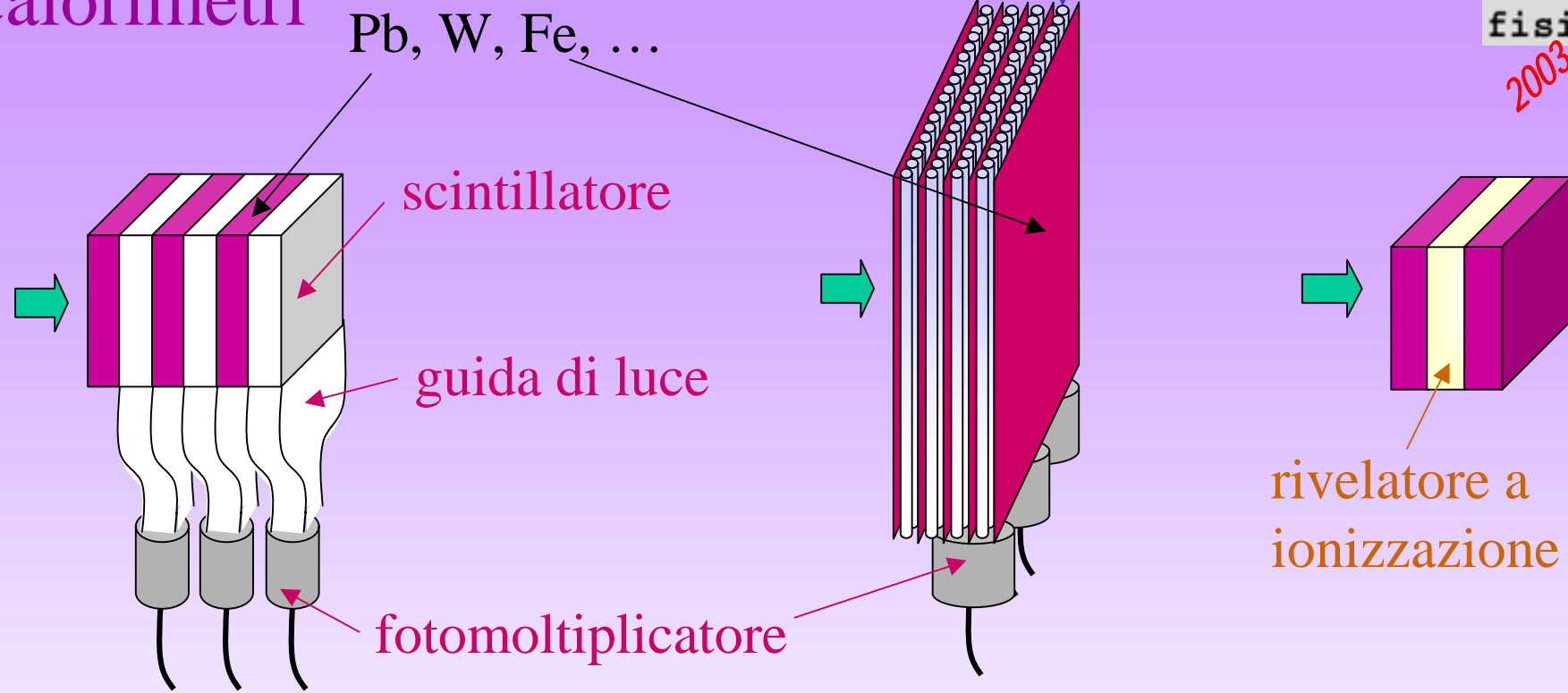


PMT



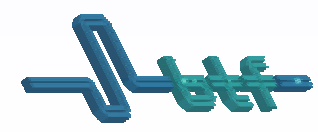
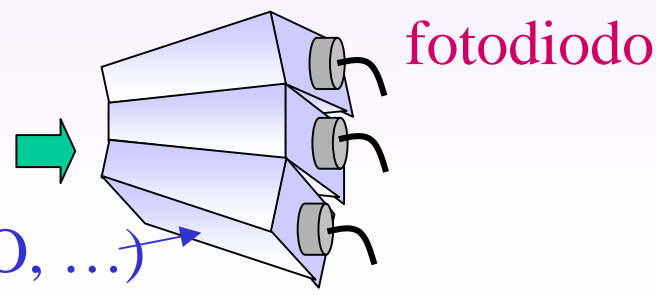
Multianodo

# Calorimetri



Incontri di fisica

2003





Incontri di fisica

2003

# DAΦNE B.T.F.



BTF



# Produzione del singolo elettrone

2003

energia elettroni 50-750 MeV  
massima frequenza 50 Hz  
durata dell'impulso 1-10 ns  
molteplicita  $1-10^{10}$

Fascio dal LINAC  
1-500 mA @ 50-750 MeV

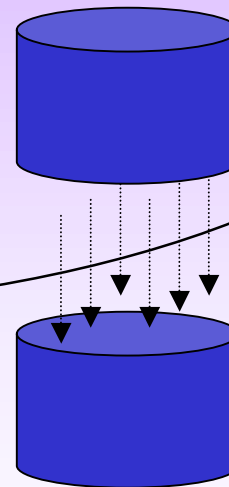
collimatore

strumento da calibrare



1.7, 2.0, 2.3  $X_0$   
bersaglio di spessore variabile (Tu)

$\Delta E < 1\%$

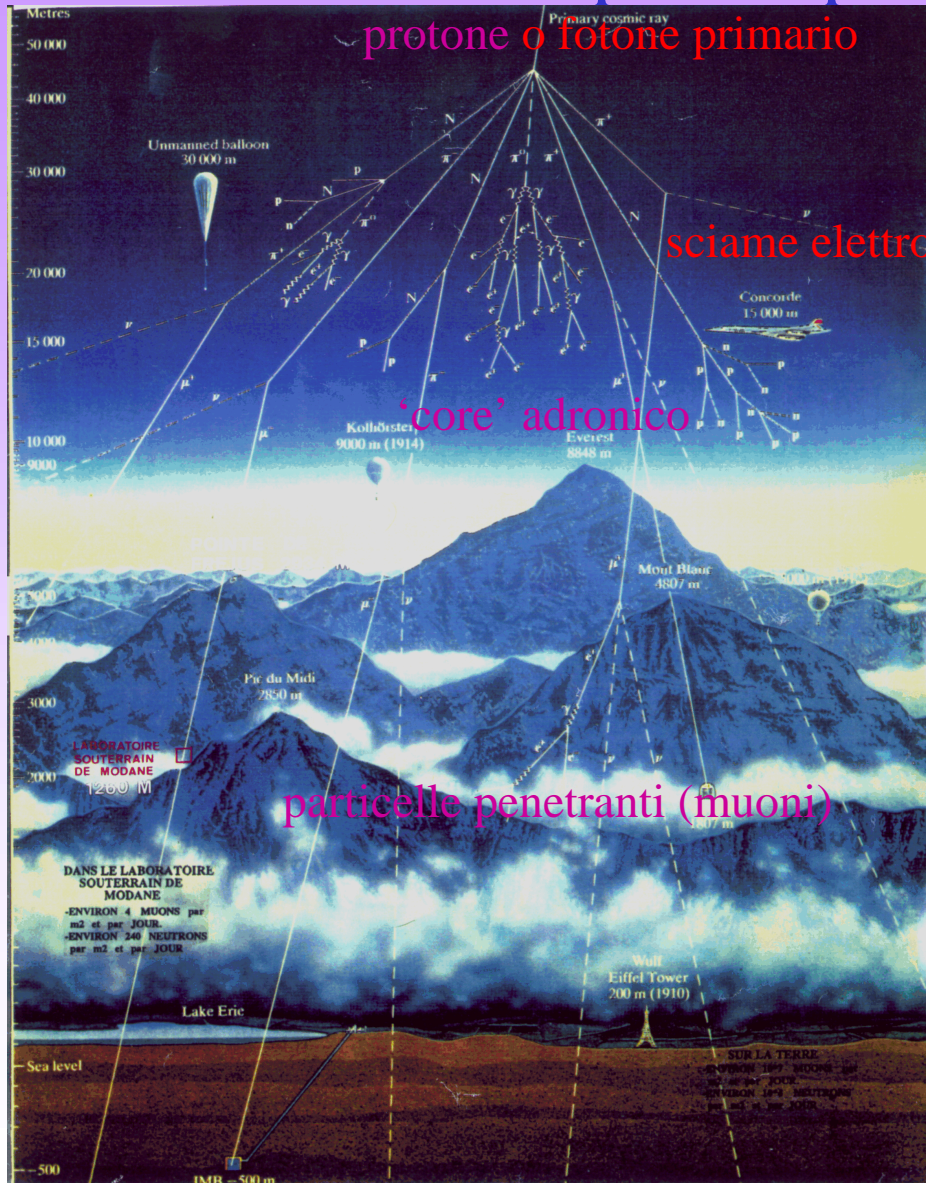


magnete a  $45^\circ$   
selettore di energia (impulso)

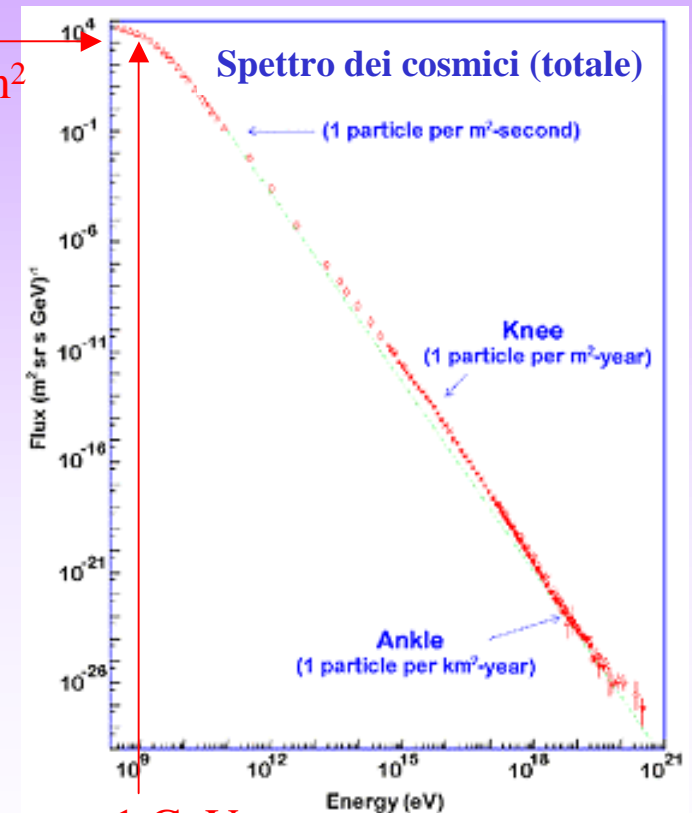


2003

# Un fascio sempre disponibile: i raggi cosmici



1000 Hz/m<sup>2</sup>

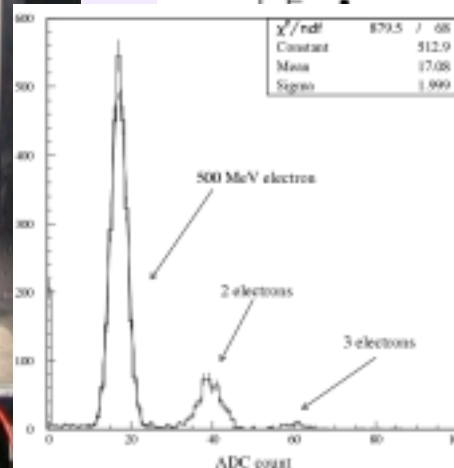
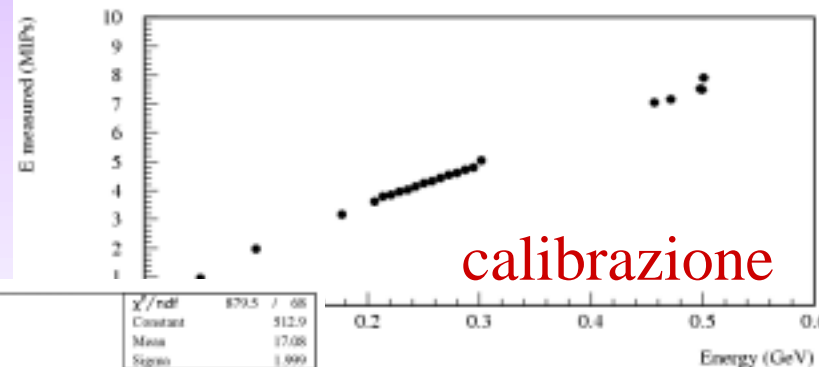
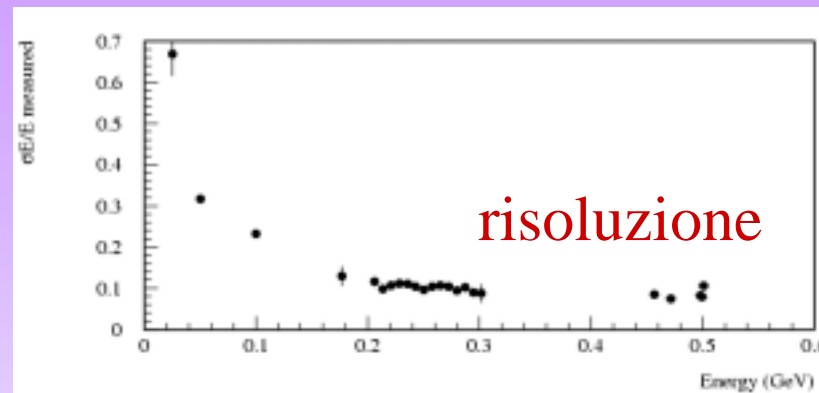
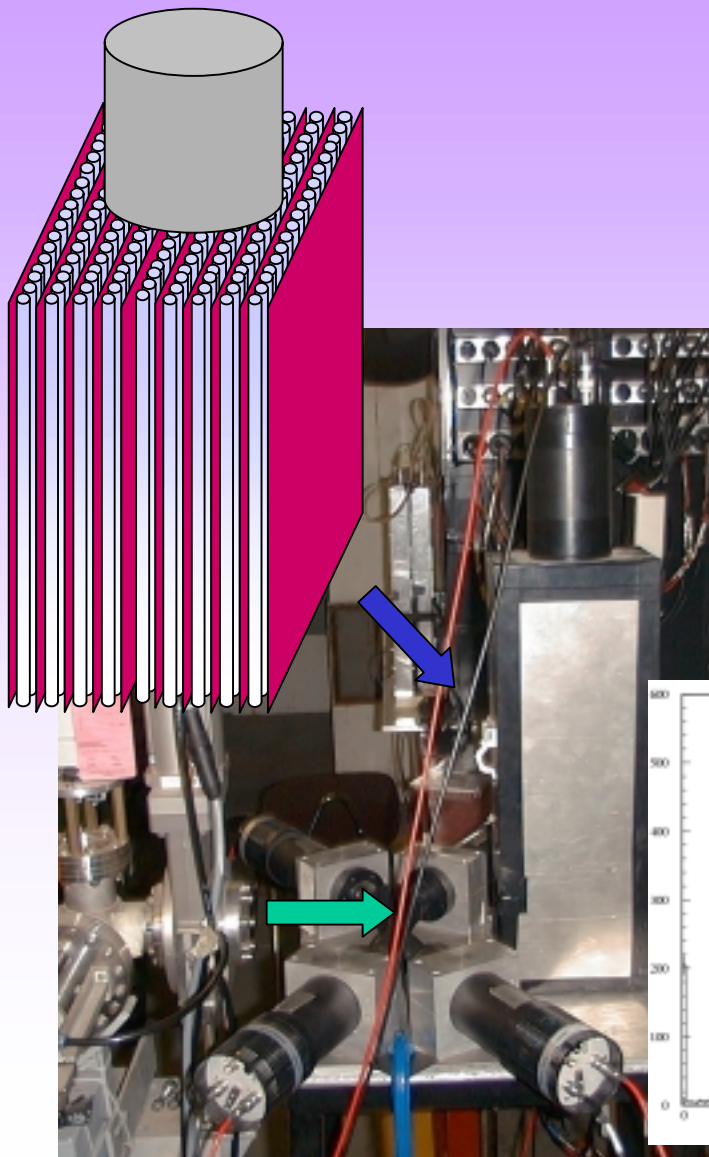
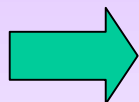


# Esperinza(1): calibrazione e risoluzione di un calorimetro elettromagnetico a sampling

Incont  
ri ■ di  
fisica

2003

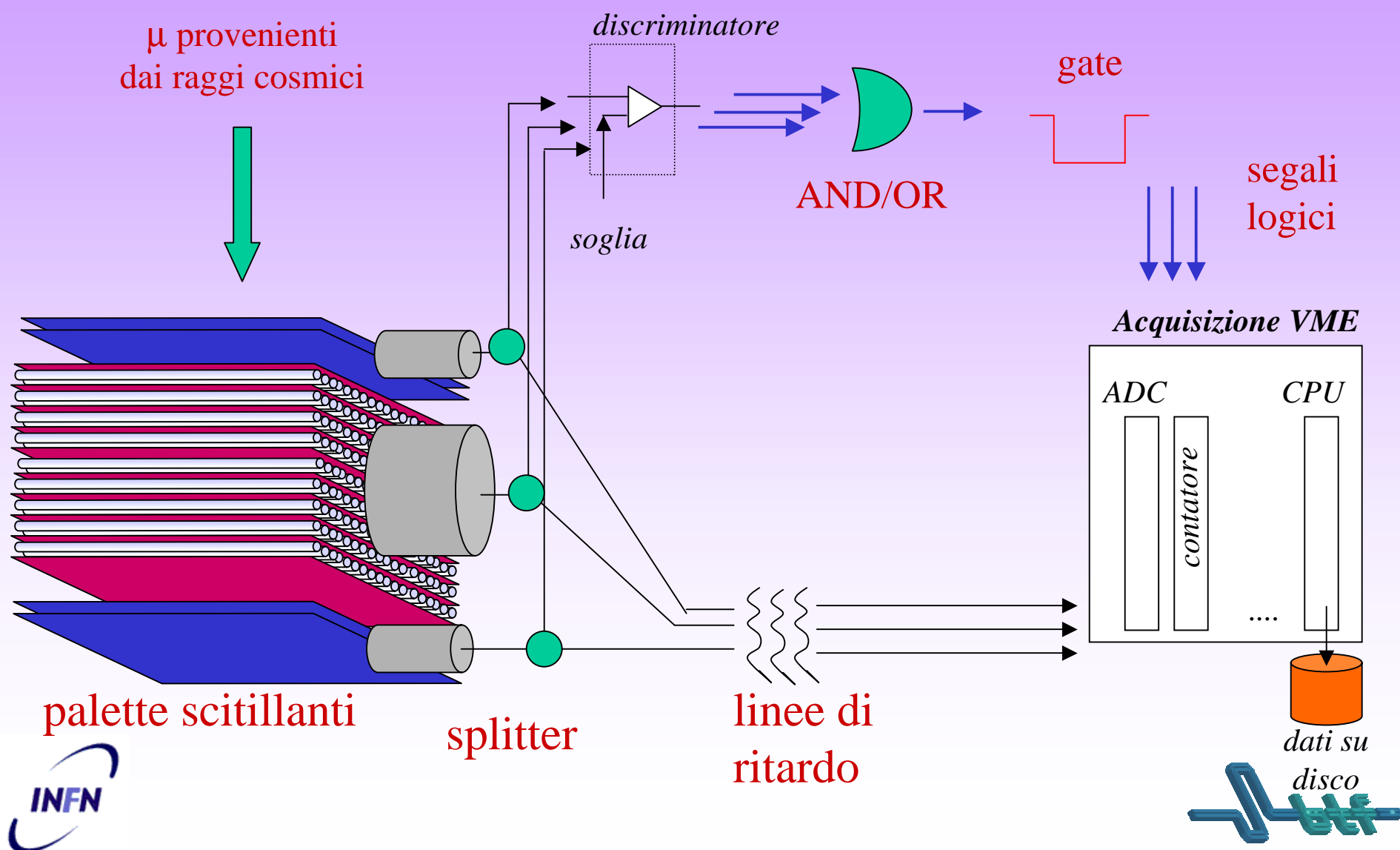
fascio di  $e^-$  tra  
100-700 MeV



# Esperienza(2): realizzazione di un telescopio per muoni, trigger e misura della m.i.p

Incontri di fisica

2003



# Bibliografia

## Rivelatori di particelle:

- R. Fernow, *Introduction to Experimental Particle Physics*
- W.R. Leo, *Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments*

## Articoli di rassegna (calorimetria, rivelatori di tracce, identificazione):

- T. Ferbel, *Experimental Techniques in high-energy nuclear and particle physics*

## Acceleratori di particelle:

- M. Sands, SLAC report **SLAC-0121**, 1970
- A. W. Chao, *Handbook of Accelerator Physics and Engineering*

# Energia, impulso e unità di misura

$$E^2 = \vec{p}^2 c^2 + m_0^2 c^4$$

Energia  $E$  misurata in eV    impulso  $p$  misurato in eV/c    massa  $m_0$  misurata in eV/c<sup>2</sup>

$$\beta = \frac{v}{c} \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

$$E = m_0 \gamma c^2 \quad m_{\text{elettrone}} = 5.11 \cdot 10^5 \text{ eV}/c^2 = 0.511 \text{ MeV}/c^2$$

$$p = m_0 \gamma \beta c \quad m_{\text{protone}} = 9.383 \cdot 10^8 \text{ eV}/c^2 = 0.9383 \text{ GeV}/c^2$$

Quanta energia è 1 eV?  $1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$      $1 \text{ eV}/c^2 = 1.8 \cdot 10^{-36} \text{ Kg}$

$$\beta = \frac{pc}{E}$$

$$\gamma = \frac{E}{mc^2}$$

$$m_{\text{ape}} = 1 \text{ g} = 5.8 \cdot 10^{32} \text{ eV}/c^2$$

$$v_{\text{ape}} = 1 \text{ m/s} \rightarrow E_{\text{ape}} = 10^{-3} \text{ J} = 6.25 \cdot 10^{15} \text{ eV}$$

ma...



In un “fascio” nelle macchine acceleratrici vengono  
‘accumulate’ molte particelle

$10^{10}$  in DAΦNE

Le particelle vengono accelerate ad energie molto maggiori  
della massa di riposo (ultra-relativistiche)

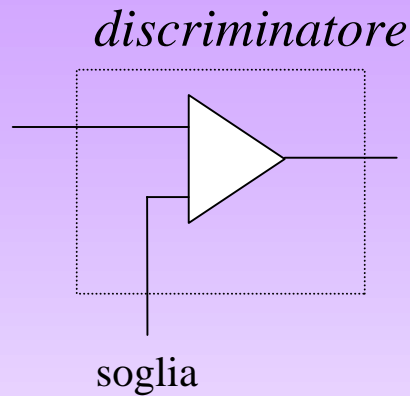
$0.5 \cdot 10^9 \text{ eV}$  in DAΦNE



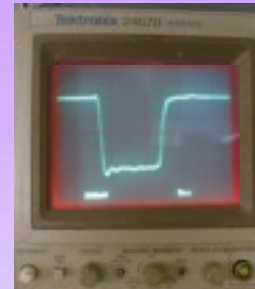


# Segnali analogici e digitali

segnale analogico



segnale digitale (NIM o ECL)



→ logica

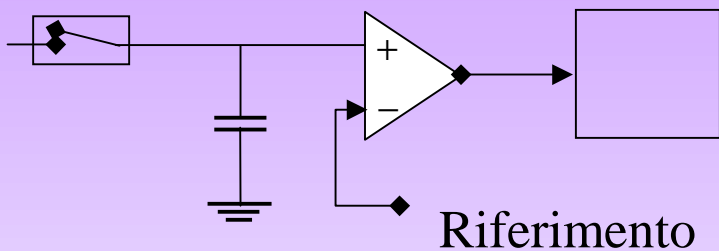
## Standard segnali digitali

	TTL		ECL	NIM
1	2-5 V	0	-0.90 V	0 V
0	0 V	1	-1.75 V	-0.8 V

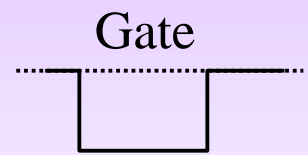
# ADC = convertitore analogico-digitale

Segnale analogico

Comparatore Encoder



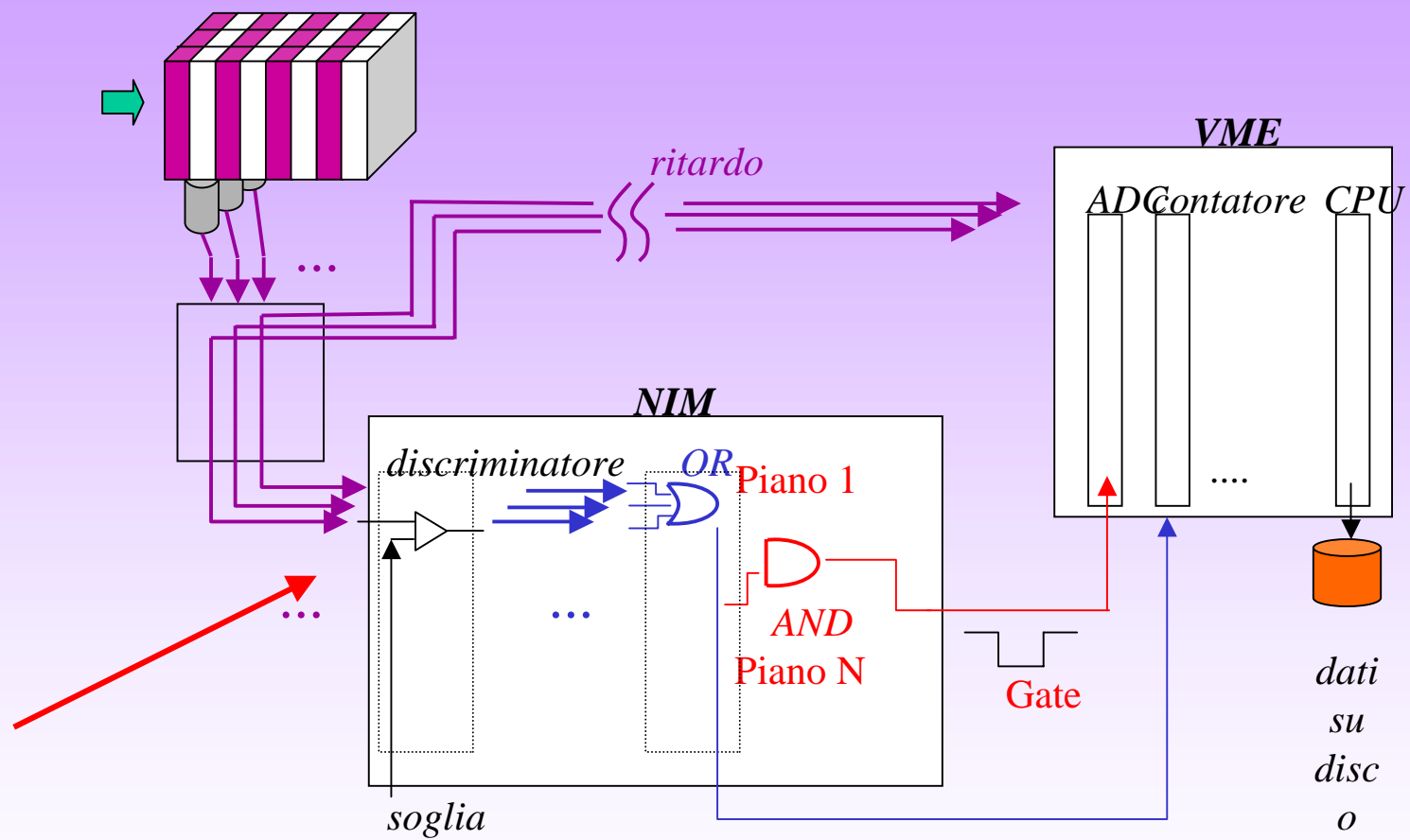
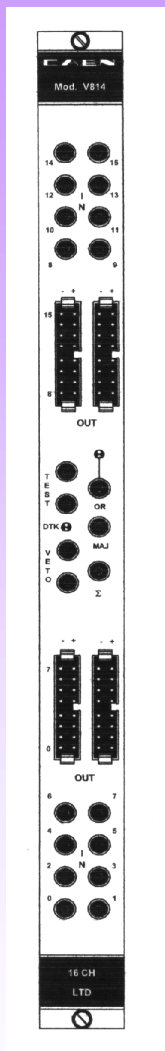
Output digitale



# discriminatore

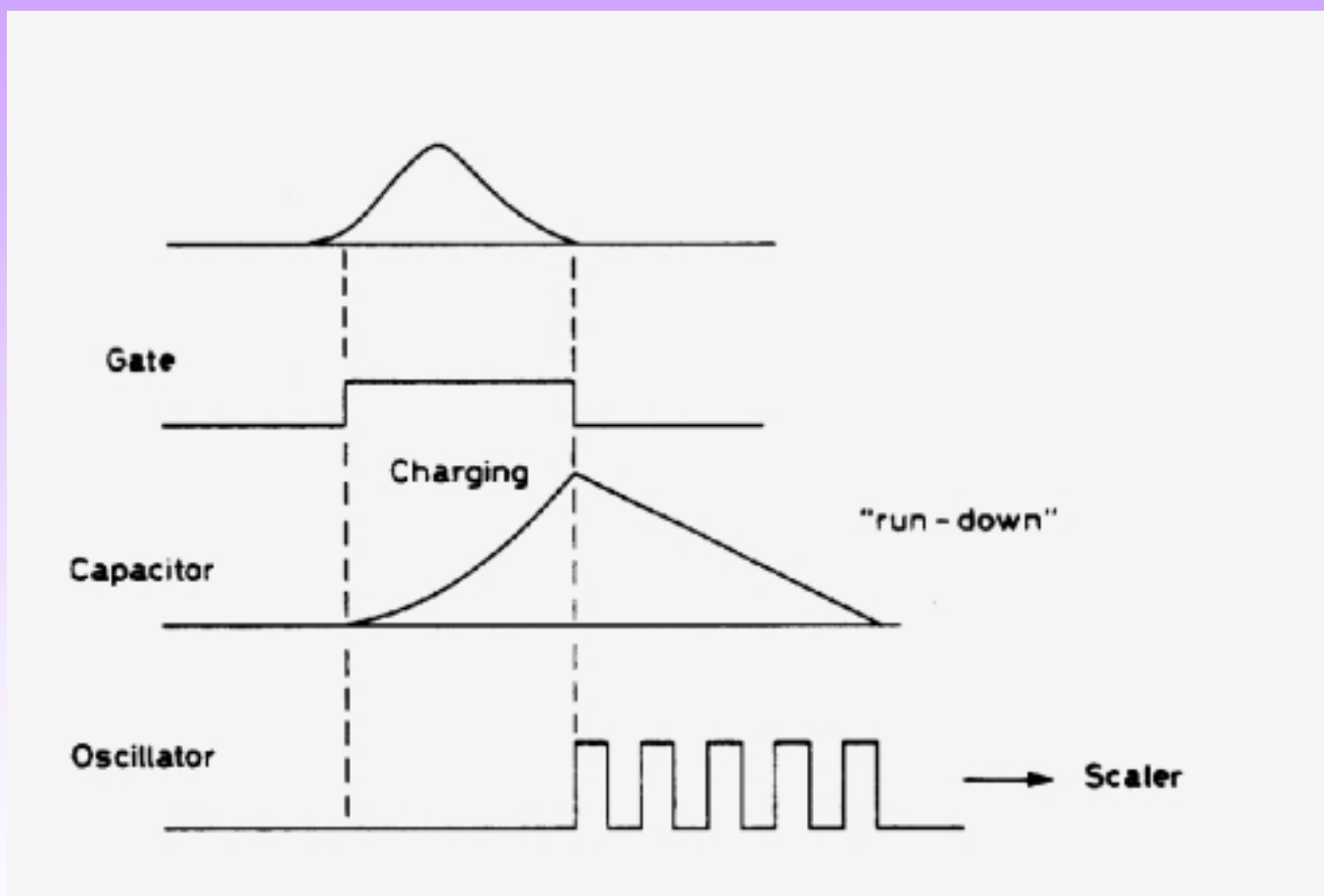
Incontri di fisica

2003



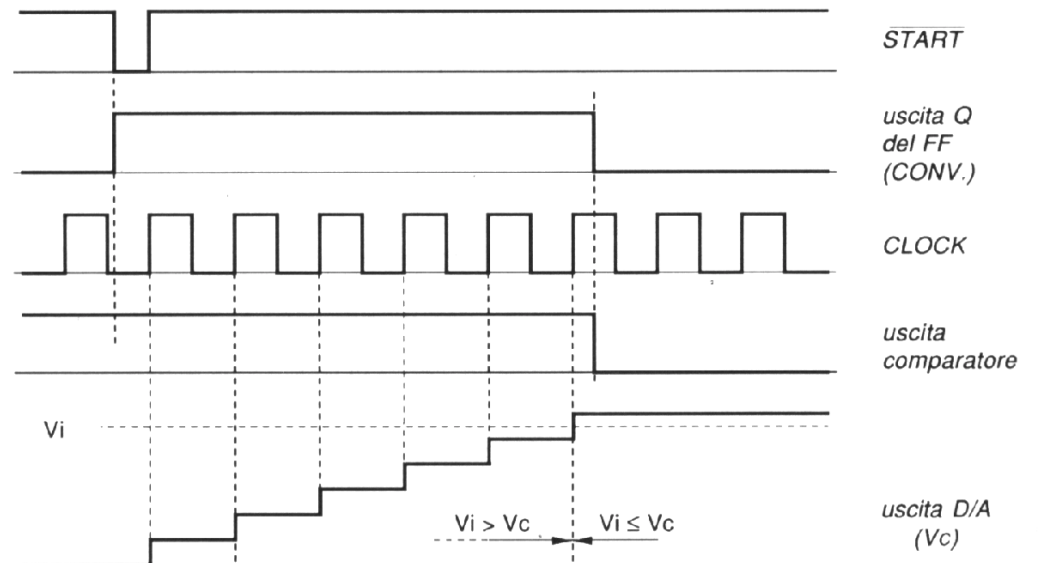
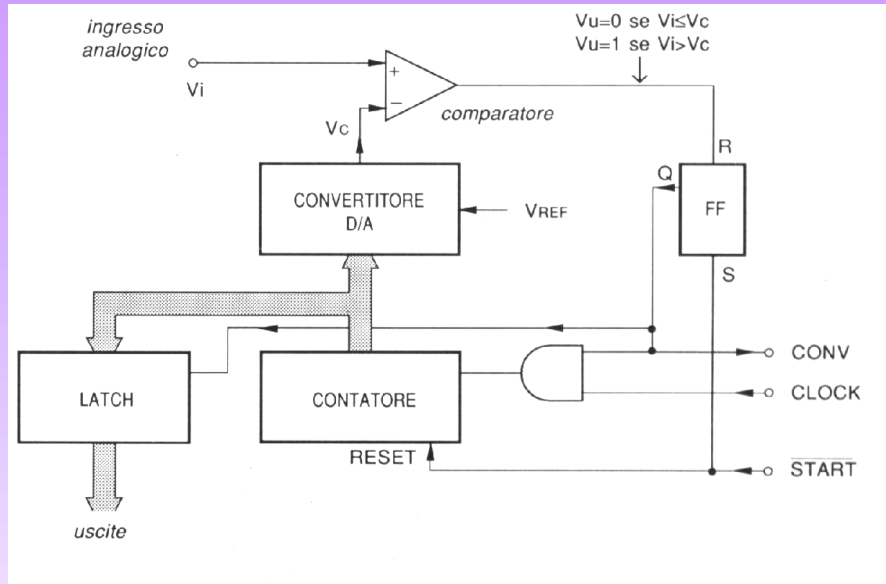


# Metodo di Wilkinson

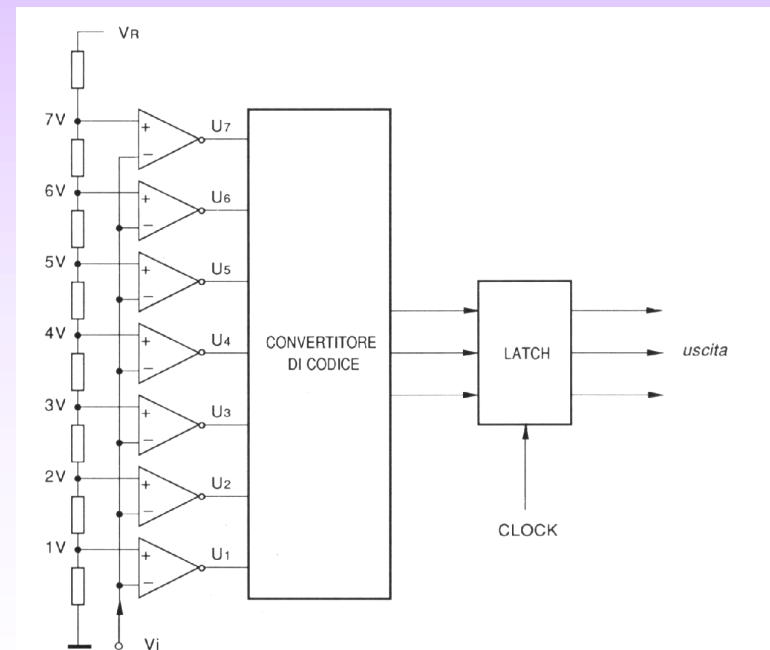
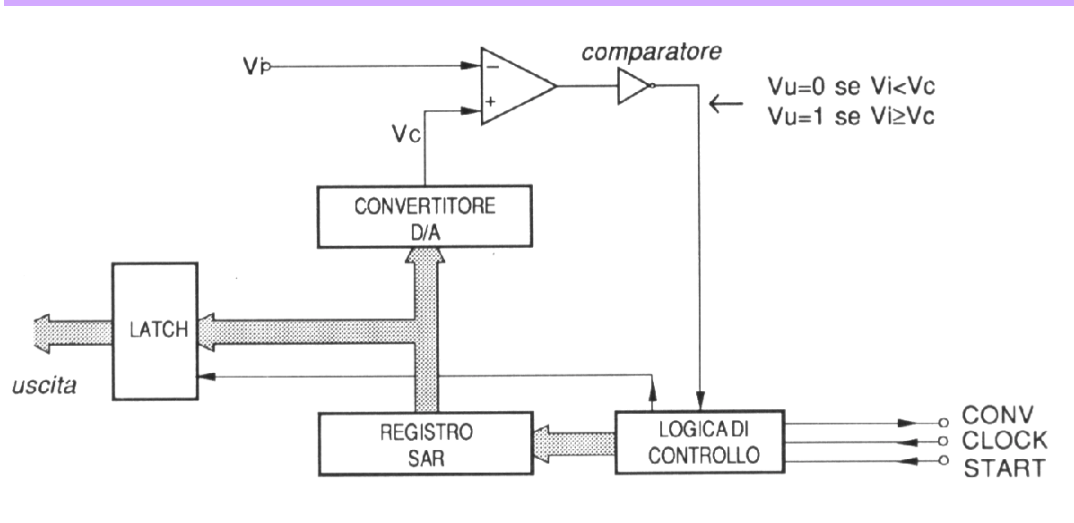


# Conversione a conteggio

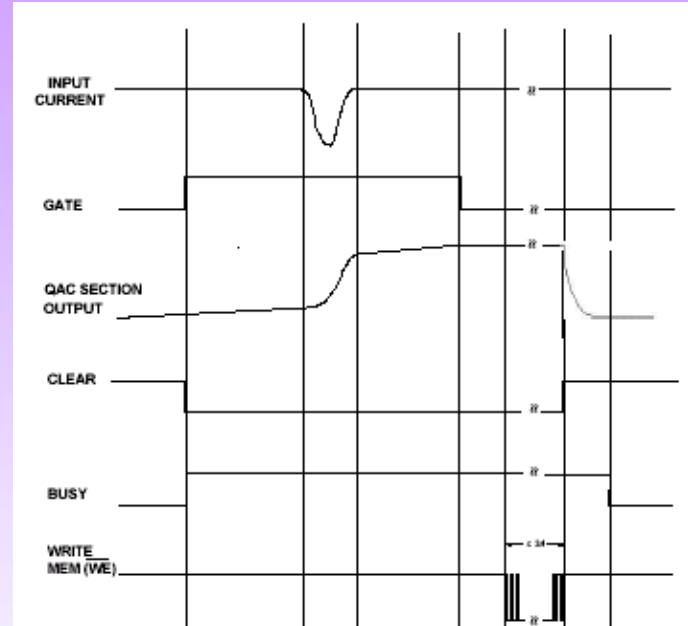
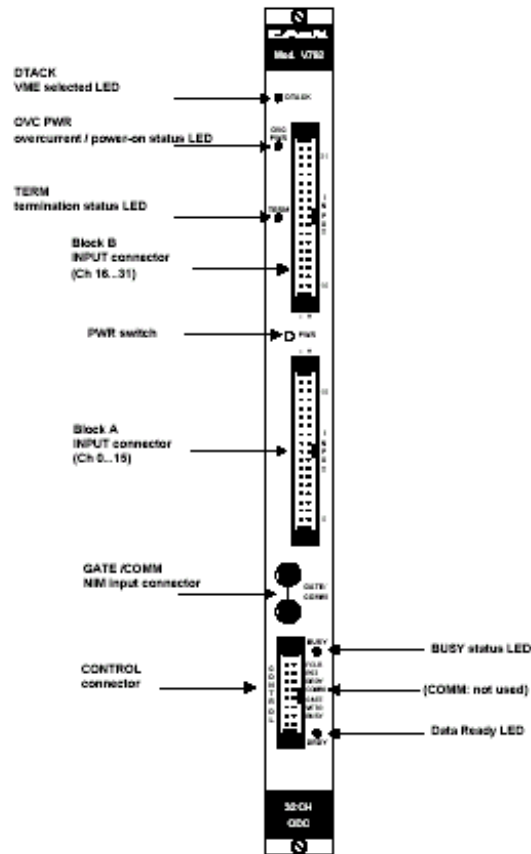
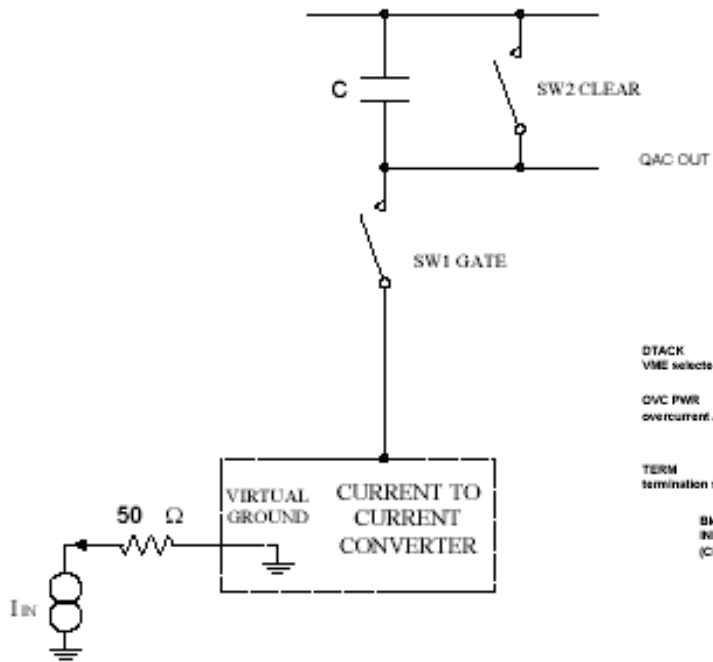
2003



# Approssimazioni successive e flash



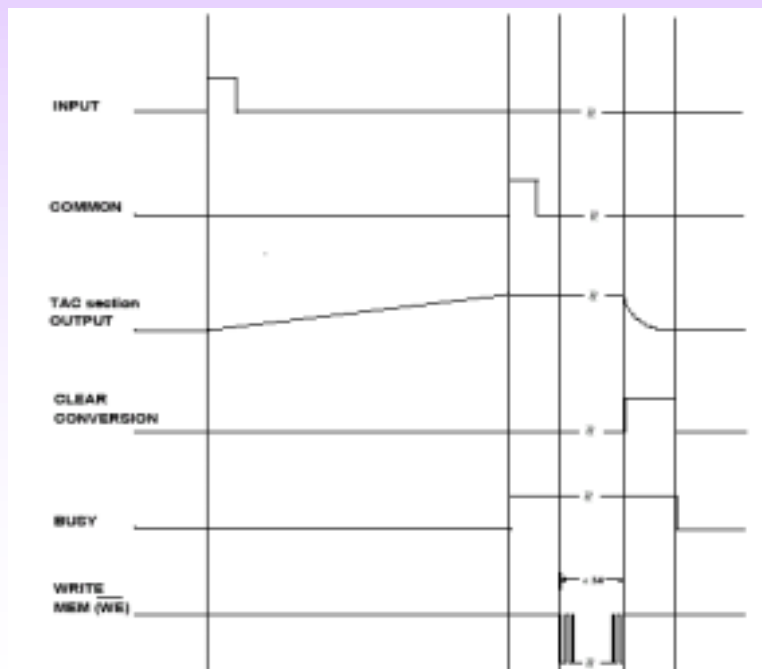
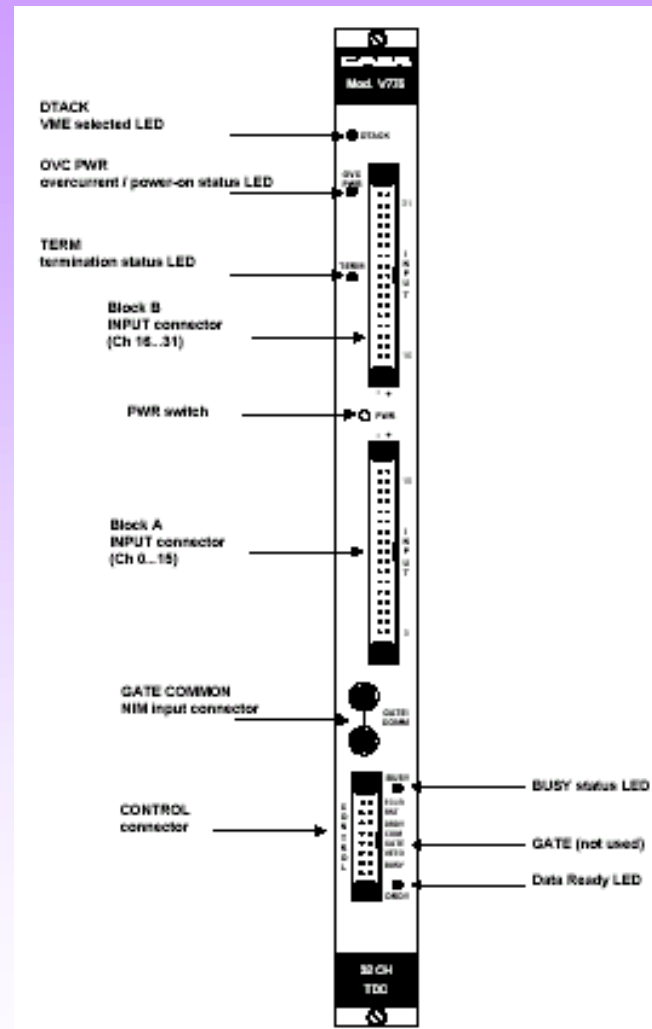
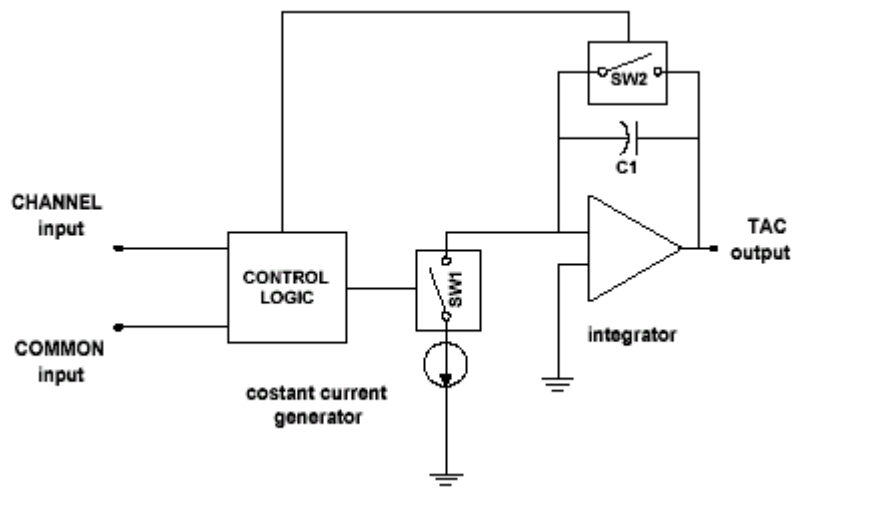
# QDC (charge to digital converter)



# TDC (time to digital converter)

Incont  
ri ■ di  
fisica

2003



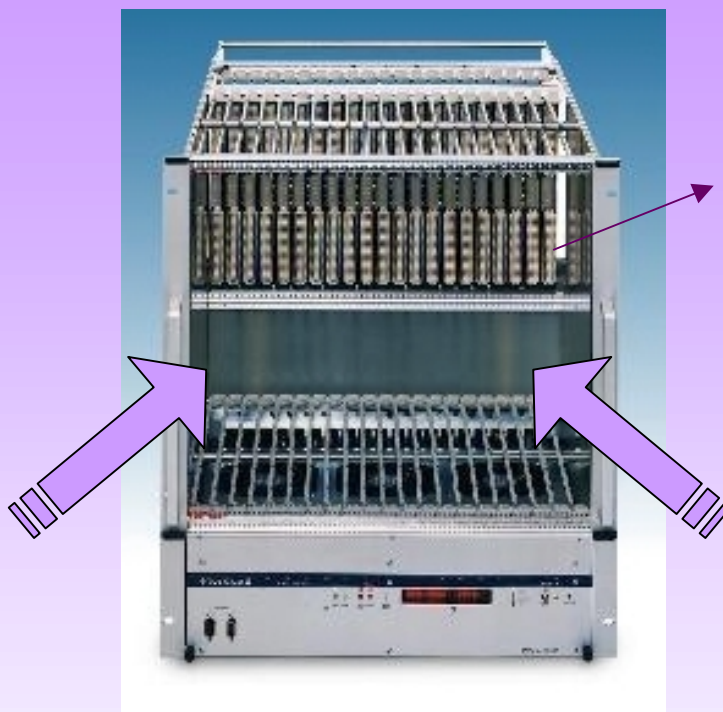
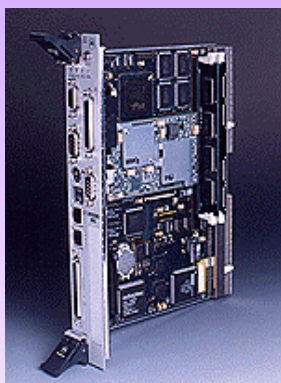
# Schema acquisizione VME/CAMAC/VXI/NIM

Incont  
ri ■ di  
fisica

2003

**CPU**

(+ RAM, bridge, I/O, ...)



alimentazione + bus

**Crate**



**Schede**

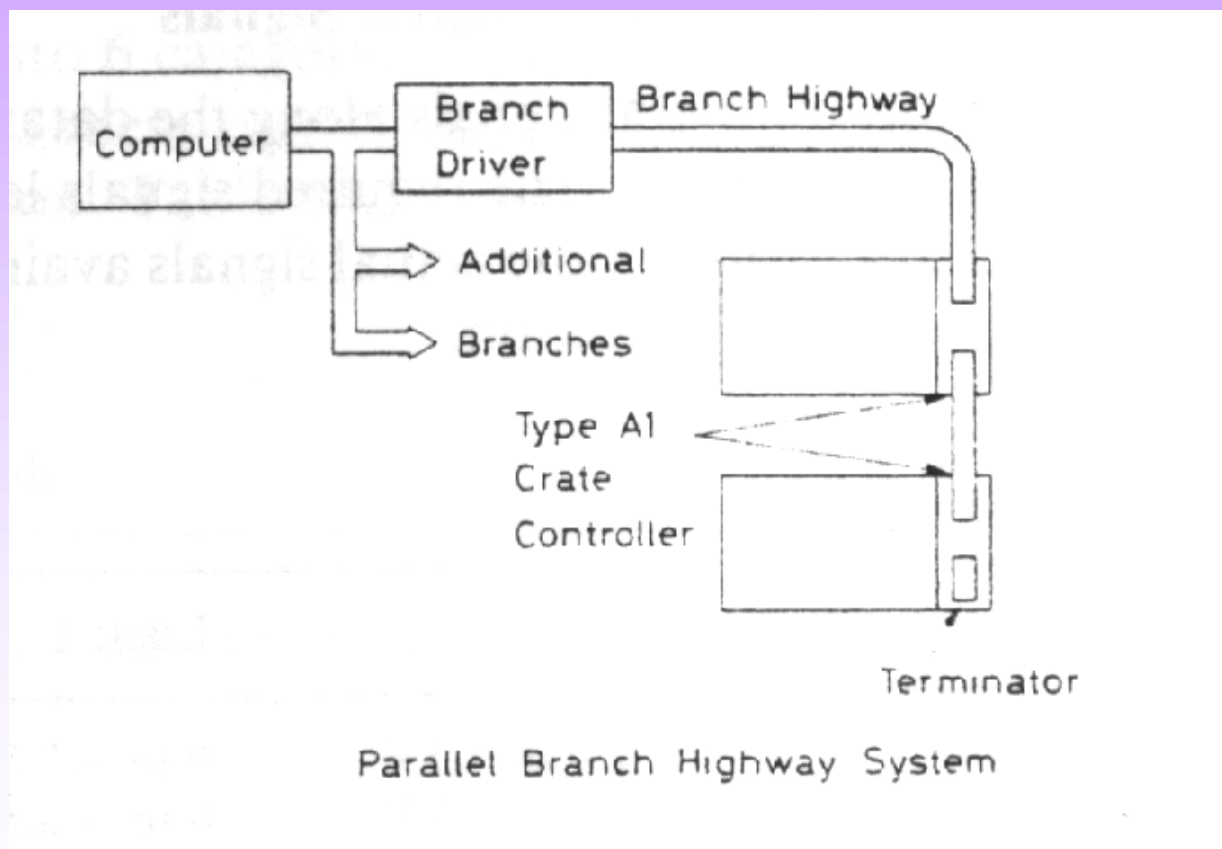
segnali

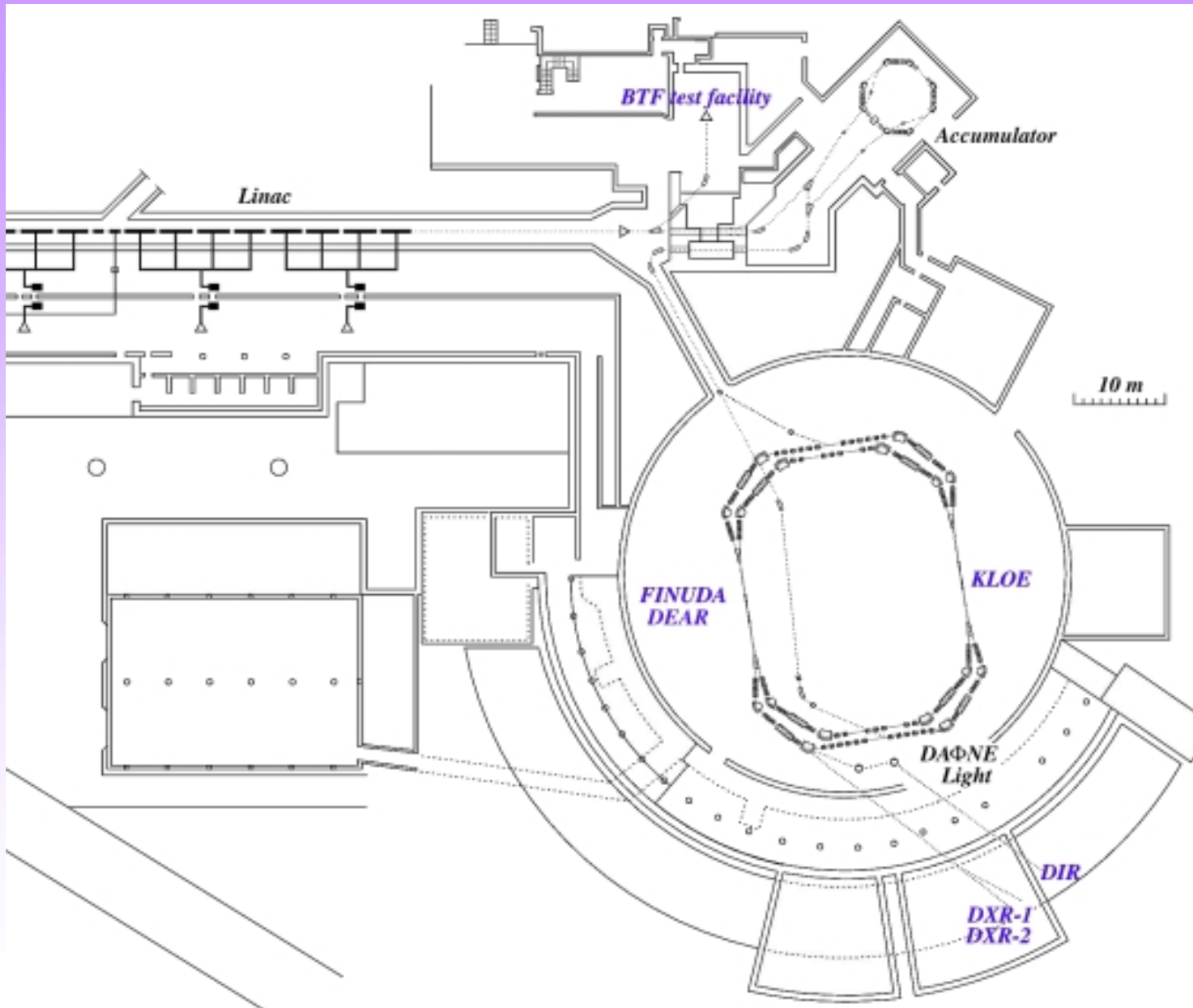
Rivelatore

**Rete** (intranet, internet)



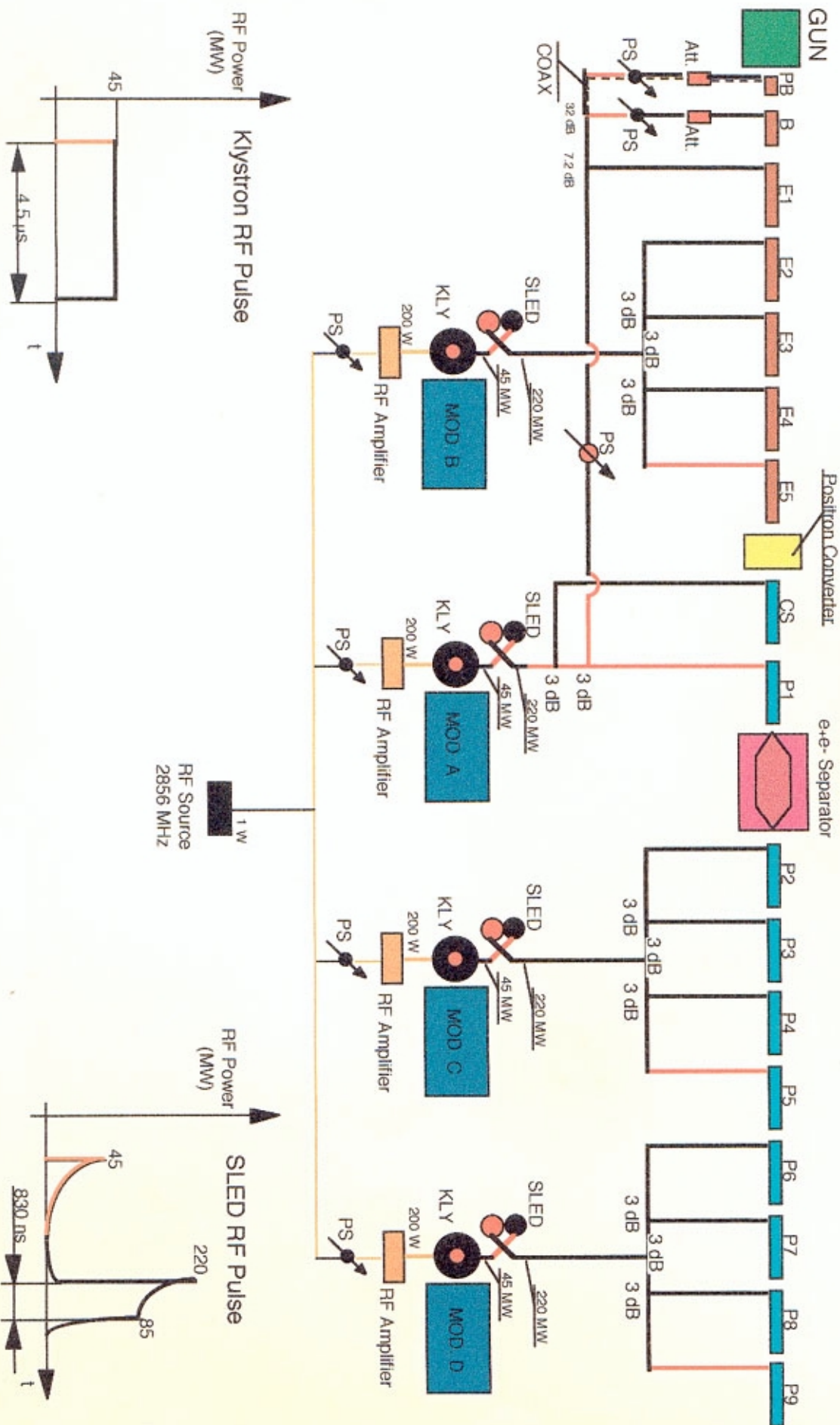
# CAMAC







# DAΦNE Linac RF Layout



2003

## Frascati Linac Parameters

	DESIGN	OPERATIONAL
Electron beam final energy	800 MeV	510 MeV
Positron beam final energy	550 MeV	510 MeV
RF frequency	2856 MHz	
Positron conversion energy	250 MeV	220 MeV
Beam pulse rep. rate	1 to 50 Hz	1 to 50 Hz
Beam macropulse length	10 nsec	1 to 10 nsec
Gun current	8 A	8 A
Beam spot size on posit. conv.	1 mm	1 mm
e- current on Pos. Conv.	5 A	5.2 A
norm. Emittance (mm. mrad)	1 (e) / 10 (p)	Š1.5 (e & p)
rms Energy spread (%)	±0.5 (e) / ±1.0 (p)	±0.5 (e) / ±1.0 (p)
Max output electron current	> 150 mA	<b>350 mA</b>
Max output positron current	36 mA	<b>100 mA max</b> (85 routinely)
Transport efficiency from capture section to linac end	90 %	90 %
Accelerating structure	SLAC-type, CG, 2š/3	
RF sources	4 x 45 MWp sledged klystrons TH2128C	

