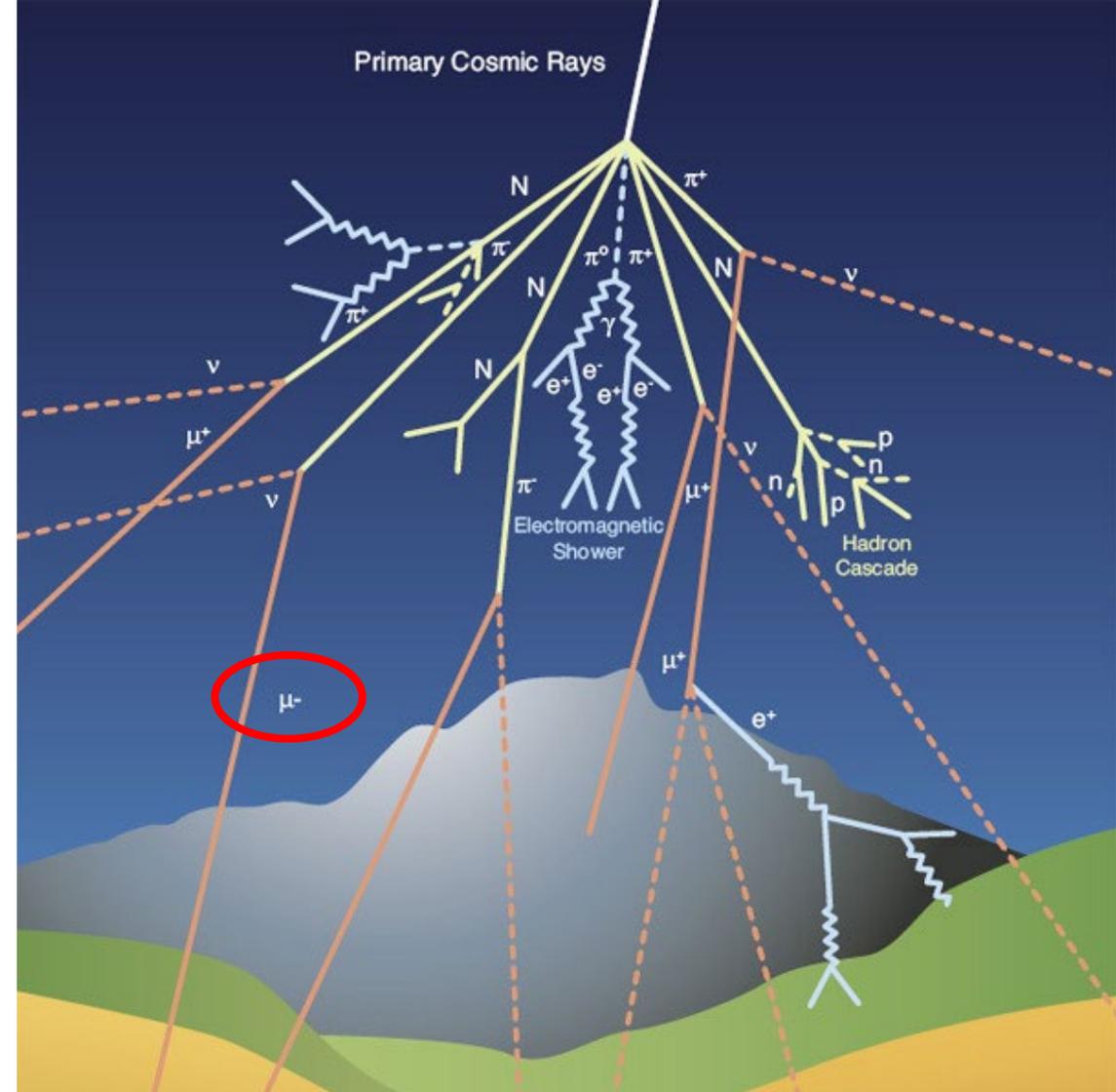


Introduzione all'apparato sperimentale *Cosmic Ray Cube*



G. Zampa INFN Trieste

La rivelazione dei raggi cosmici

INTERAZIONE CON LA MATERIA – I raggi cosmici sono principalmente particelle elementari o nuclei che hanno una carica elettrica e, quando attraversano qualunque tipo di materia, perdono energia attraverso diversi meccanismi:

- eccitazione degli elettroni del mezzo, ionizzazione del mezzo, effetto fotoelettrico
- radiazione elettromagnetica (bremsstrahlung, Cherenkov, radiazione di transizione)
- interazione nucleare
- produzione di coppie elettroni-positrone

La rivelazione dei raggi cosmici

INTERAZIONE CON LA MATERIA – I raggi cosmici sono principalmente particelle elementari o nuclei che hanno una carica elettrica e, quando attraversano qualunque tipo di materia, perdono energia attraverso diversi meccanismi:

- eccitazione degli elettroni del mezzo, ionizzazione del mezzo, effetto fotoelettrico
- radiazione elettromagnetica (bremsstrahlung, Cherenkov, radiazione di transizione)
- interazione nucleare
- produzione di coppie elettroni-positrone

INTERAZIONE CON I CAMPI MAGNETICI – Avendo carica elettrica, i raggi cosmici vengono deviati dai campi magnetici subendo la forza di Lorentz

La rivelazione dei raggi cosmici

INTERAZIONE CON LA MATERIA – I raggi cosmici sono principalmente particelle elementari o nuclei che hanno una carica elettrica e, quando attraversano qualunque tipo di materia, perdono energia attraverso diversi meccanismi:

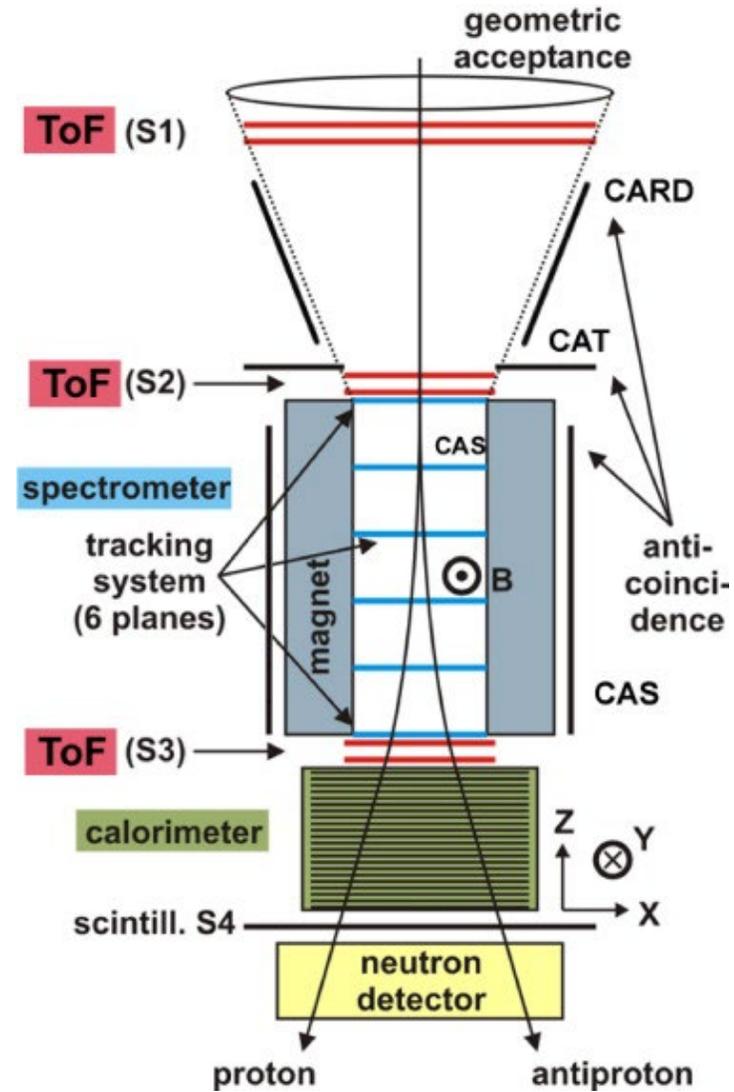
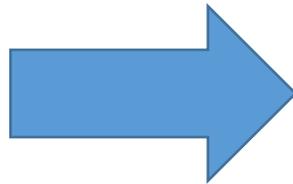
- eccitazione degli elettroni del mezzo, ionizzazione del mezzo, effetto fotoelettrico
- radiazione elettromagnetica (bremsstrahlung, Cherenkov, radiazione di transizione)
- interazione nucleare
- produzione di coppie elettroni-positrone

INTERAZIONE CON I CAMPI MAGNETICI – Avendo carica elettrica, i raggi cosmici vengono deviati dai campi magnetici subendo la forza di Lorentz

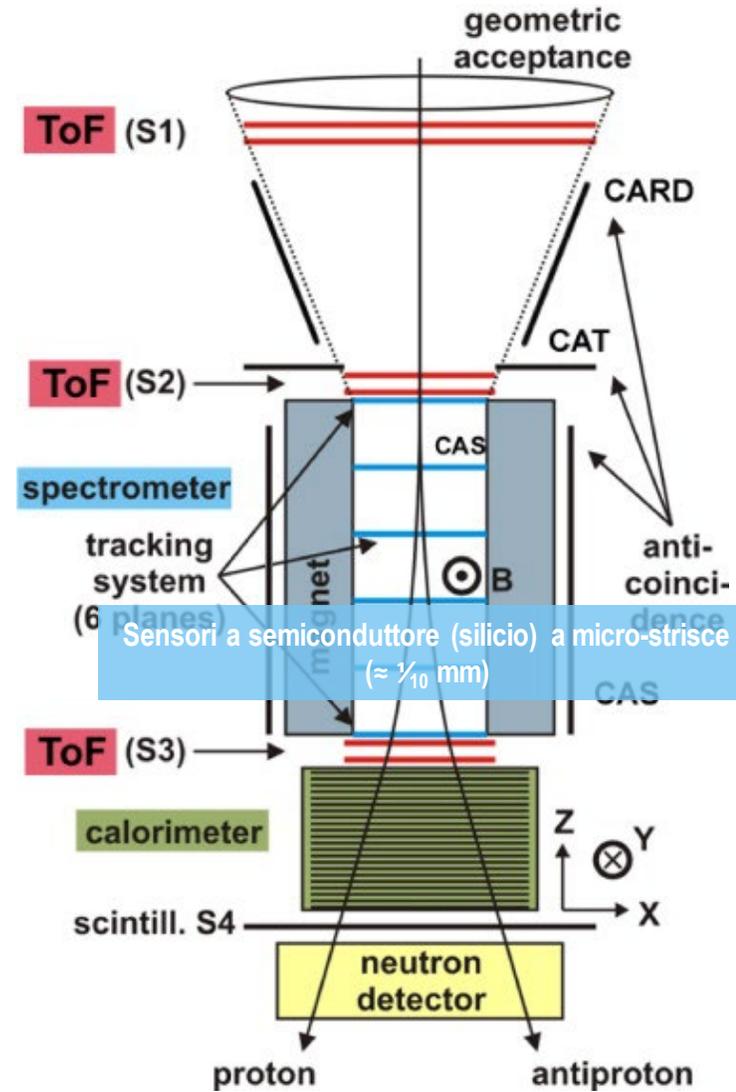
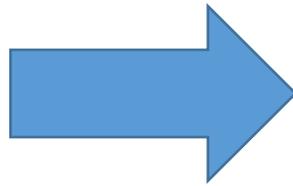
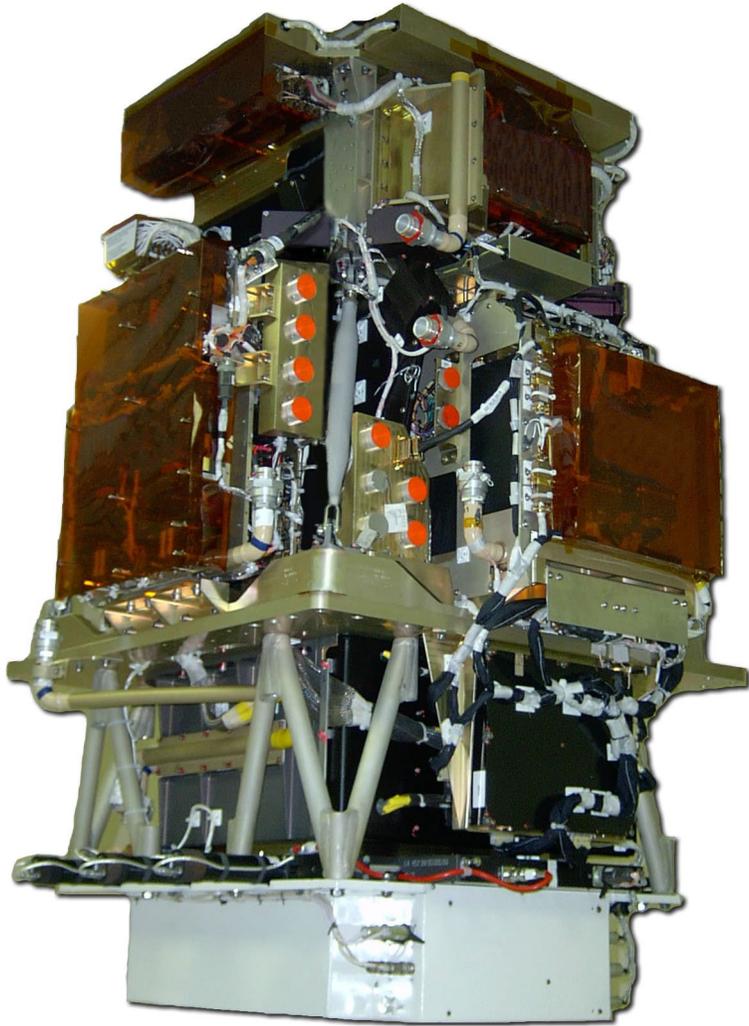
MISURAZIONE DIRETTA, INDIRETTA O MISTA – Noi misuriamo una grandezza elettrica (tensione o corrente) che deve essere generata dal rivelatore di raggi cosmici:

- **misura diretta:** l'elemento sensibile del rivelatore è anche quello che genera la grandezza elettrica misurata
- **misura indiretta:** l'elemento sensibile produce un segnale che deve essere convertito da un altro dispositivo nella grandezza elettrica misurata
- **misura mista:** presenza di entrambi i tipi di elementi sensibili

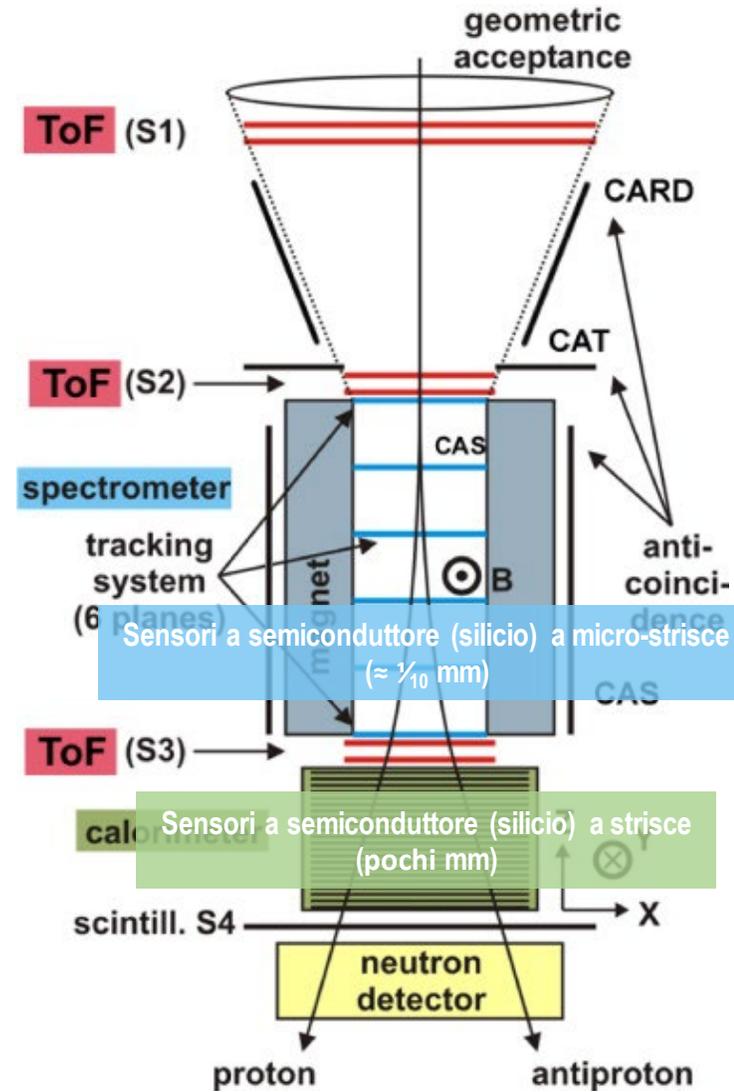
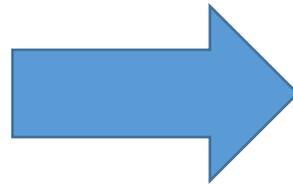
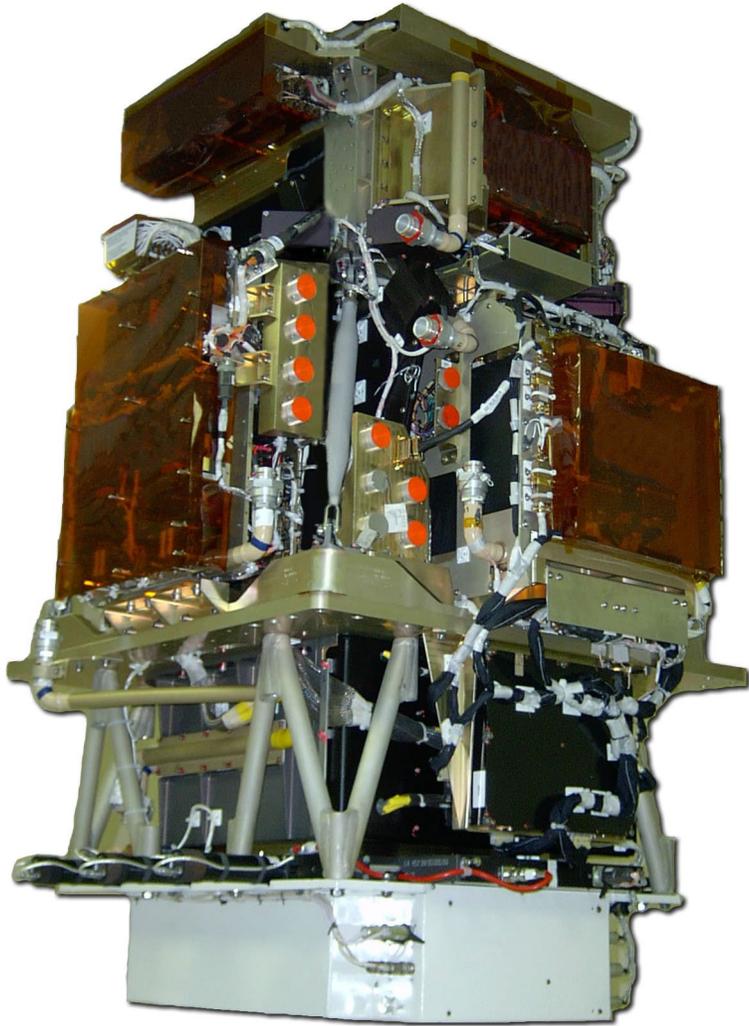
Un «tipico» rivelatore di raggi cosmici



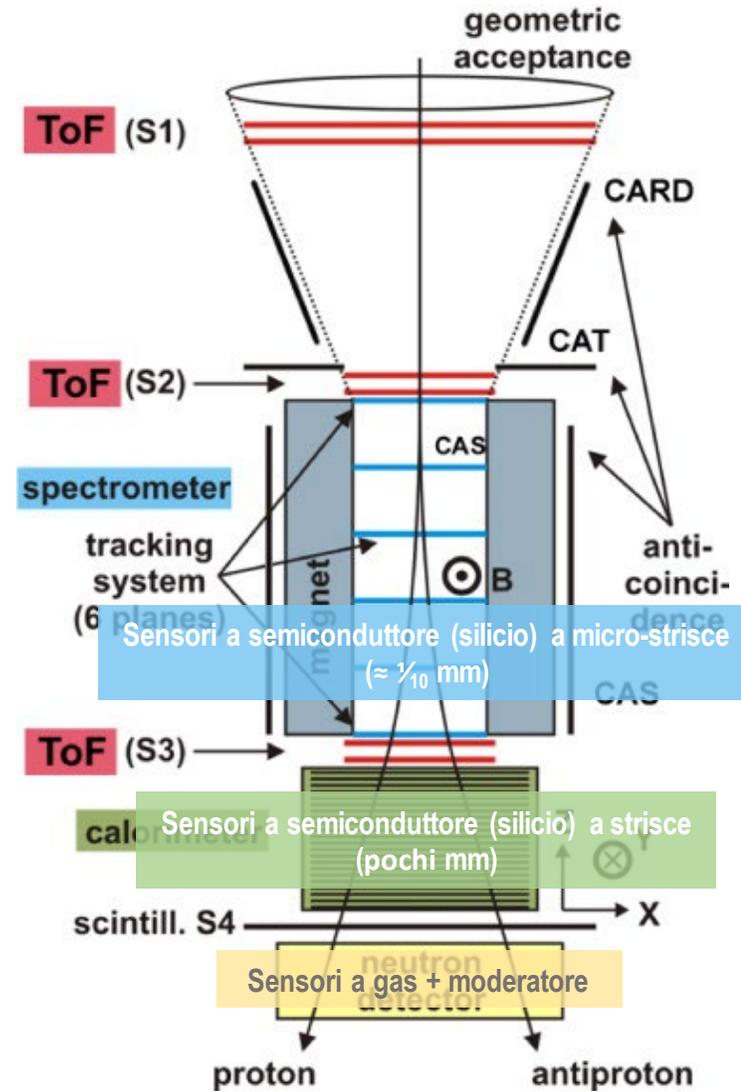
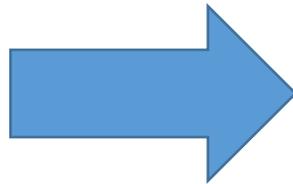
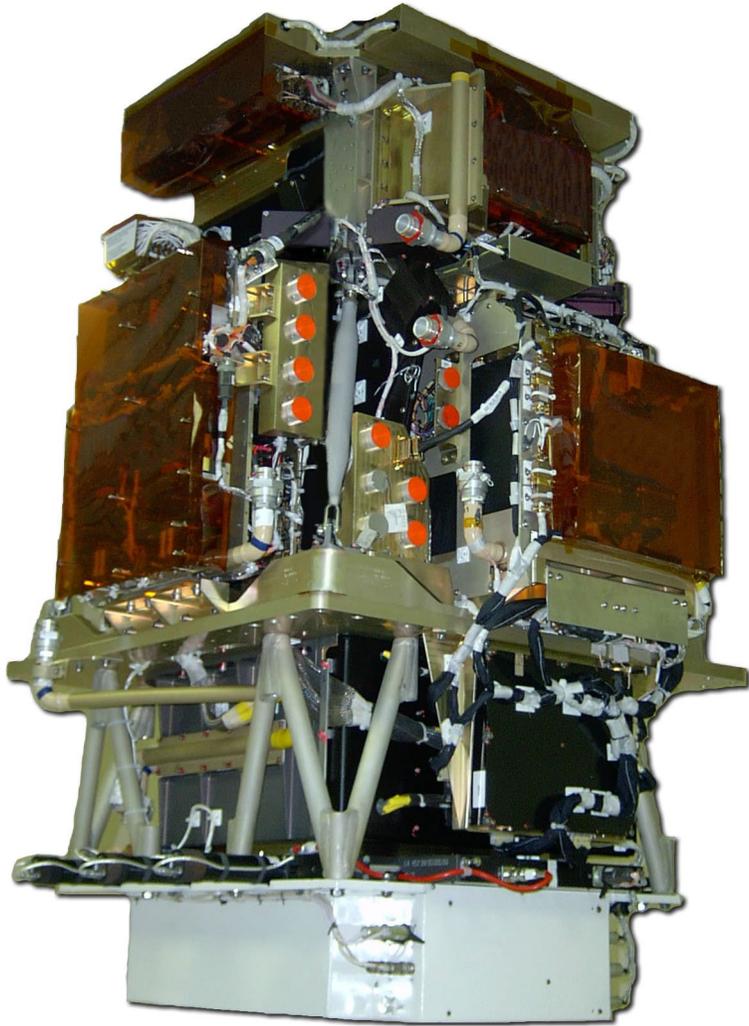
Un «tipico» rivelatore di raggi cosmici



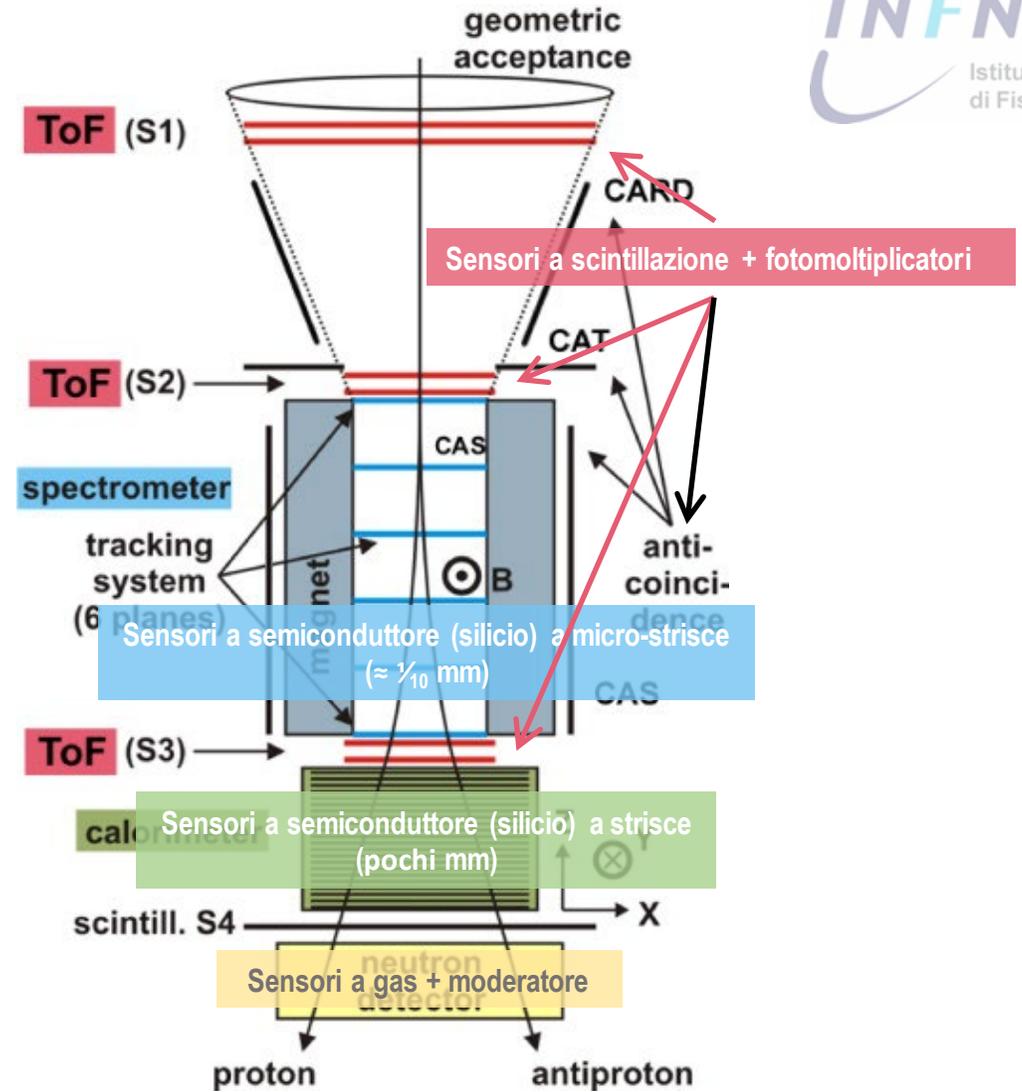
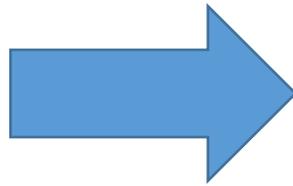
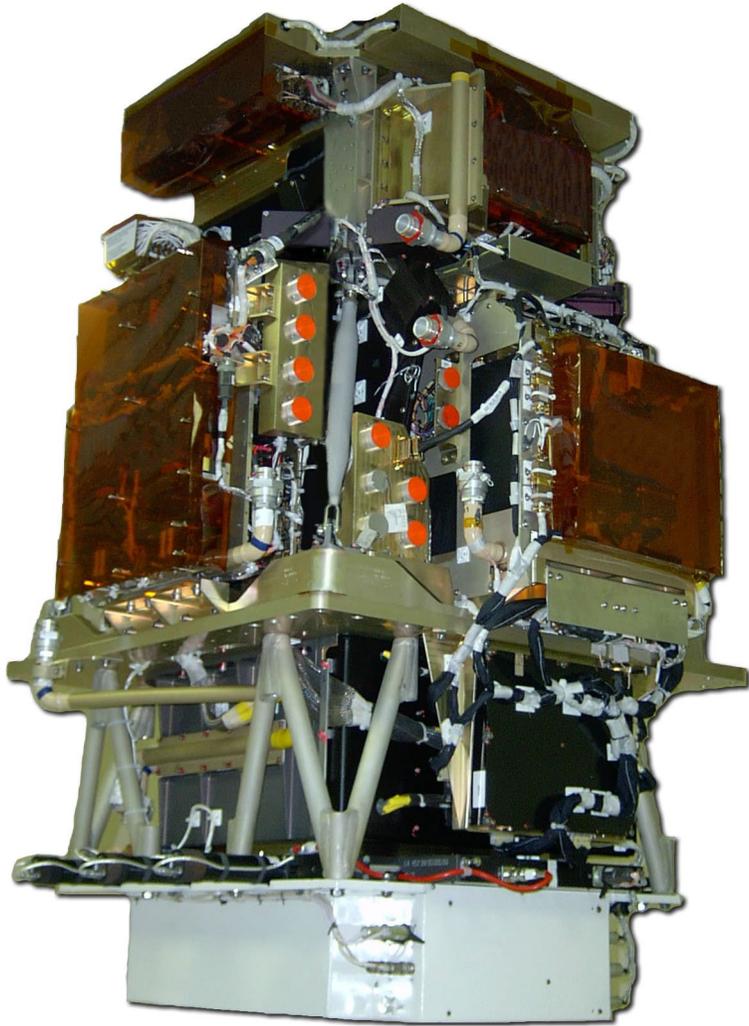
Un «tipico» rivelatore di raggi cosmici



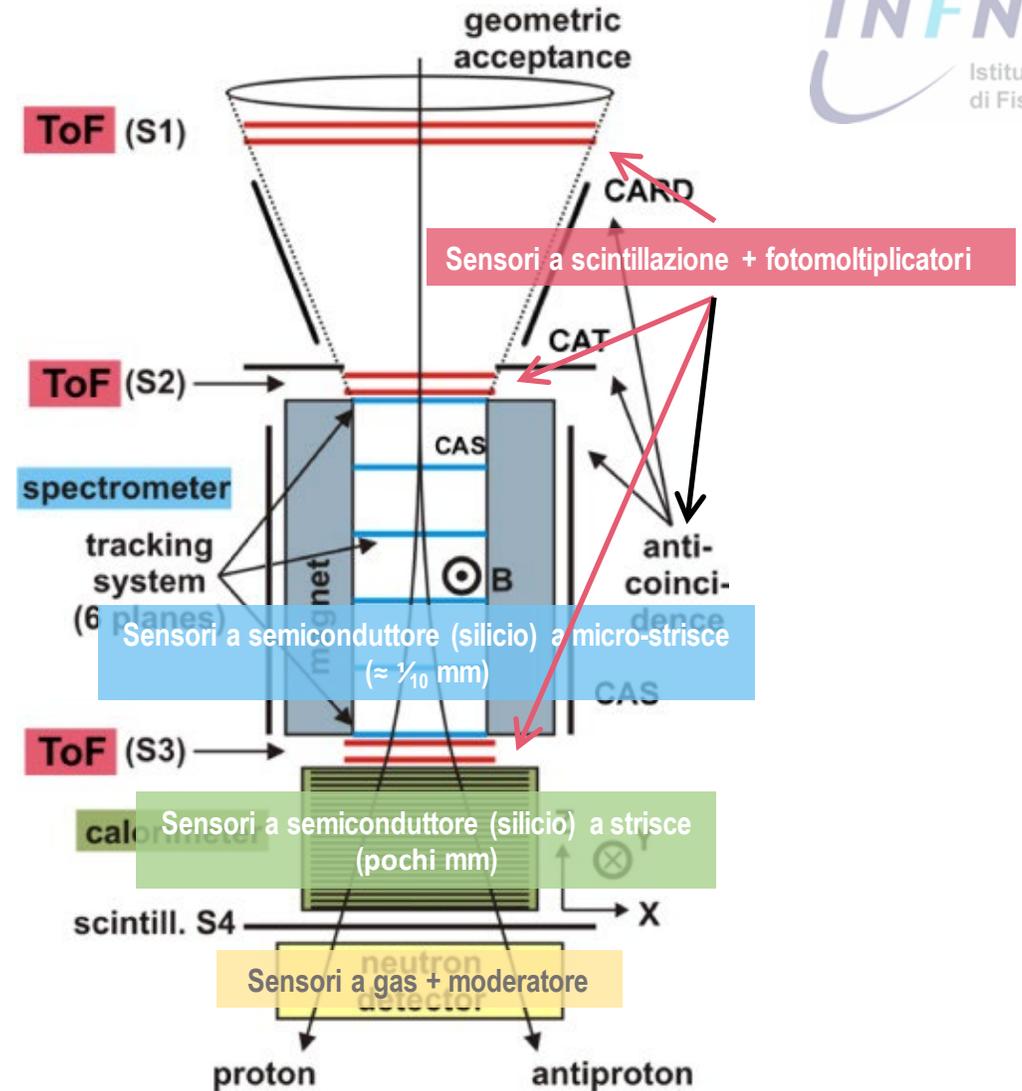
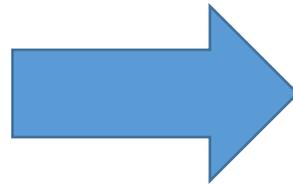
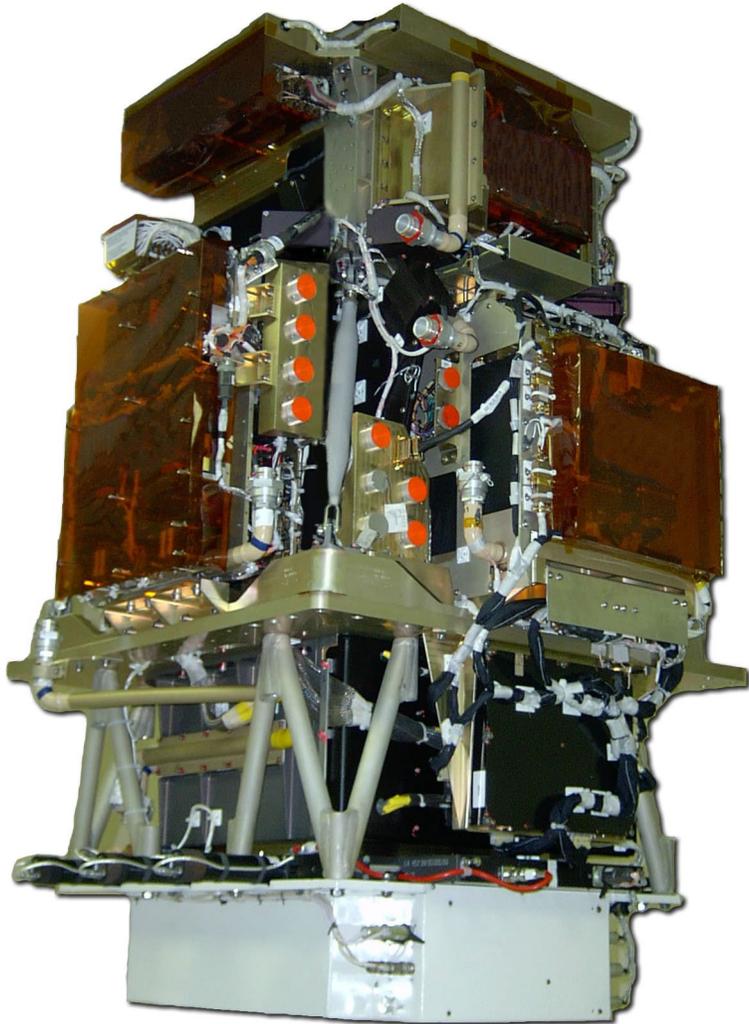
Un «tipico» rivelatore di raggi cosmici



Un «tipico» rivelatore di raggi cosmici



Un «tipico» rivelatore di raggi cosmici

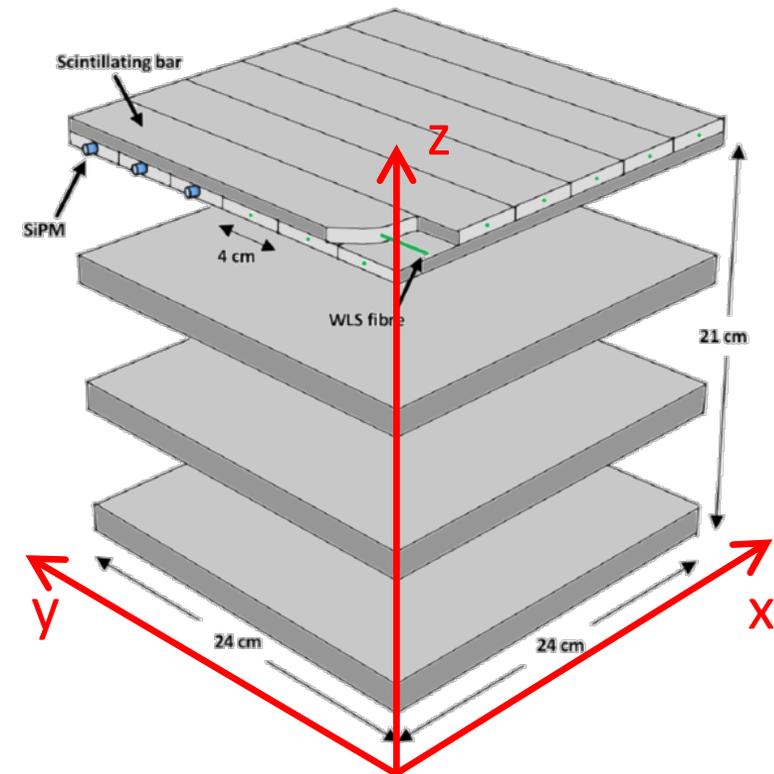


Alcune proprietà dei raggi cosmici vengono misurate da più rivelatori per ridurre gli errori di misura e/o per la calibrazione incrociata dei rivelatori

Il rivelatore Cosmic Ray Cube

Il rivelatore che useremo oggi per la misura del flusso in funzione dell'angolo di inclinazione è costituito da

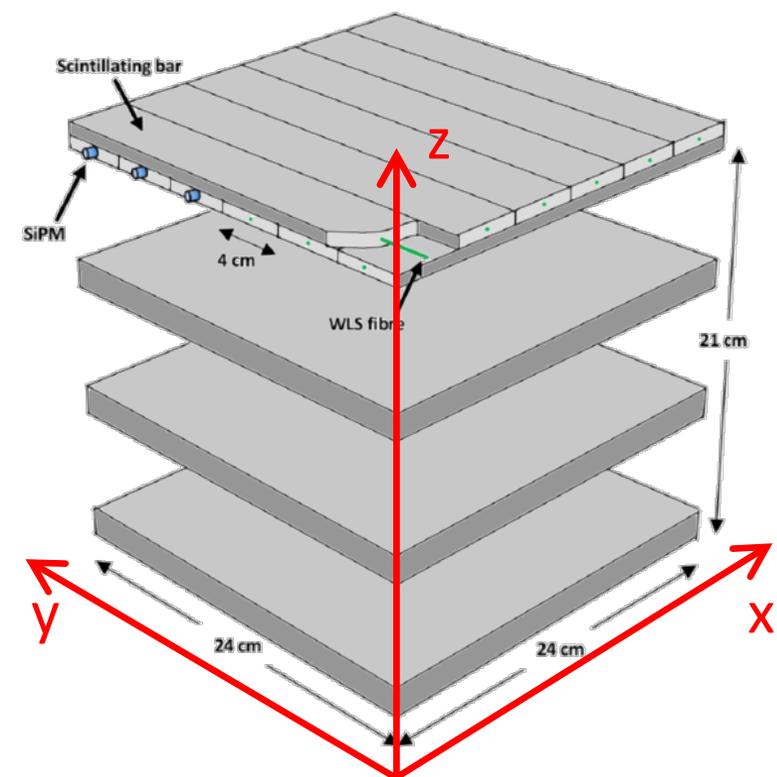
- ❑ 4 piani di rivelazione



Il rivelatore Cosmic Ray Cube

Il rivelatore che useremo oggi per la misura del flusso in funzione dell'angolo di inclinazione è costituito da

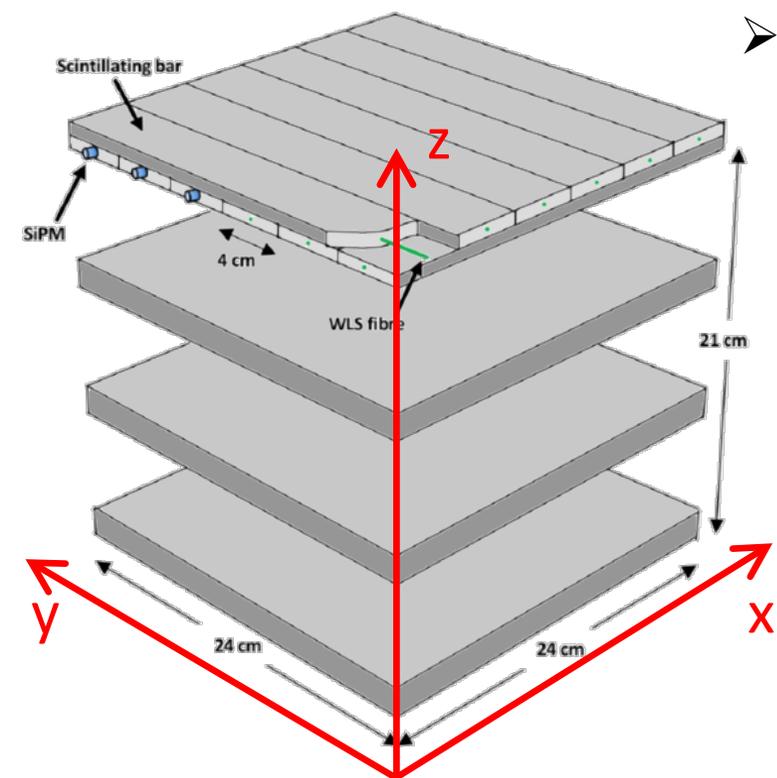
- ❑ 4 piani di rivelazione
- ❖ ognuno di essi comprende 6 scintillatori orientati lungo la direzione x e 6 scintillatori orientati lungo la direzione y



Il rivelatore Cosmic Ray Cube

Il rivelatore che useremo oggi per la misura del flusso in funzione dell'angolo di inclinazione è costituito da

- ❑ 4 piani di rivelazione
 - ❖ ognuno di essi comprende 6 scintillatori orientati lungo la direzione x e 6 scintillatori orientati lungo la direzione y
 - ogni scintillatore ingloba una fibra ottica a conversione di lunghezza d'onda



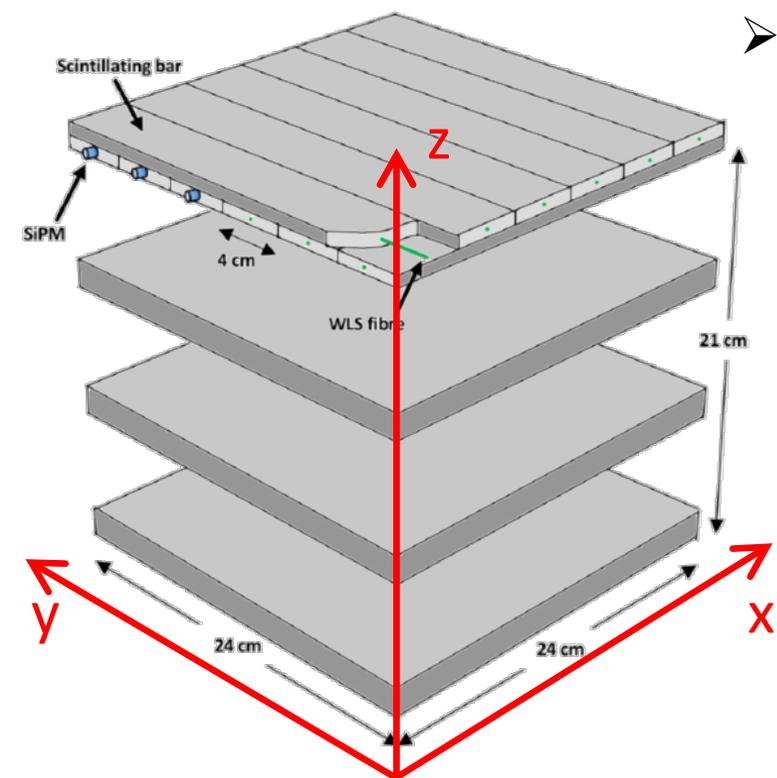
Il rivelatore Cosmic Ray Cube

Il rivelatore che useremo oggi per la misura del flusso in funzione dell'angolo di inclinazione è costituito da

- ❑ 4 piani di rivelazione
 - ❖ ognuno di essi comprende 6 scintillatori orientati lungo la direzione x e 6 scintillatori orientati lungo la direzione y
 - ogni scintillatore ingloba una fibra ottica a conversione di lunghezza d'onda

Al passaggio dei raggi cosmici gli scintillatori producono luce che deve essere convertita in segnale elettrico

→ lo strumento effettua quindi una misura indiretta



Il rivelatore Cosmic Ray Cube

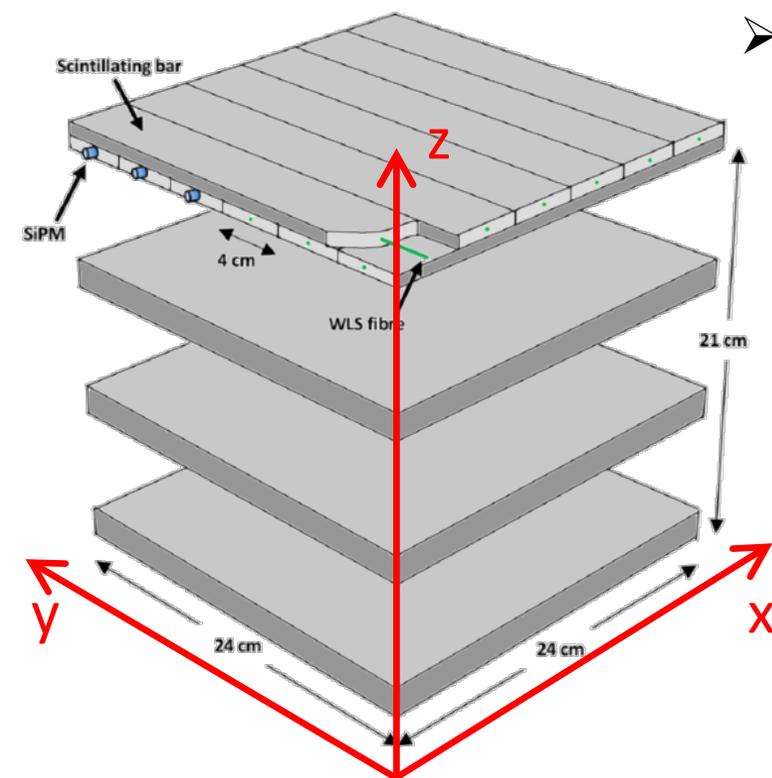
Il rivelatore che useremo oggi per la misura del flusso in funzione dell'angolo di inclinazione è costituito da

- ❑ 4 piani di rivelazione
 - ❖ ognuno di essi comprende 6 scintillatori orientati lungo la direzione x e 6 scintillatori orientati lungo la direzione y
 - ogni scintillatore ingloba una fibra ottica a conversione di lunghezza d'onda

Al passaggio dei raggi cosmici gli scintillatori producono luce che deve essere convertita in segnale elettrico

→ lo strumento effettua quindi una misura indiretta

La conversione da luce a corrente viene fatta da fotomoltiplicatori al silicio, SiPM, e questa viene trasformata in tensione tramite un resistore



Il rivelatore Cosmic Ray Cube

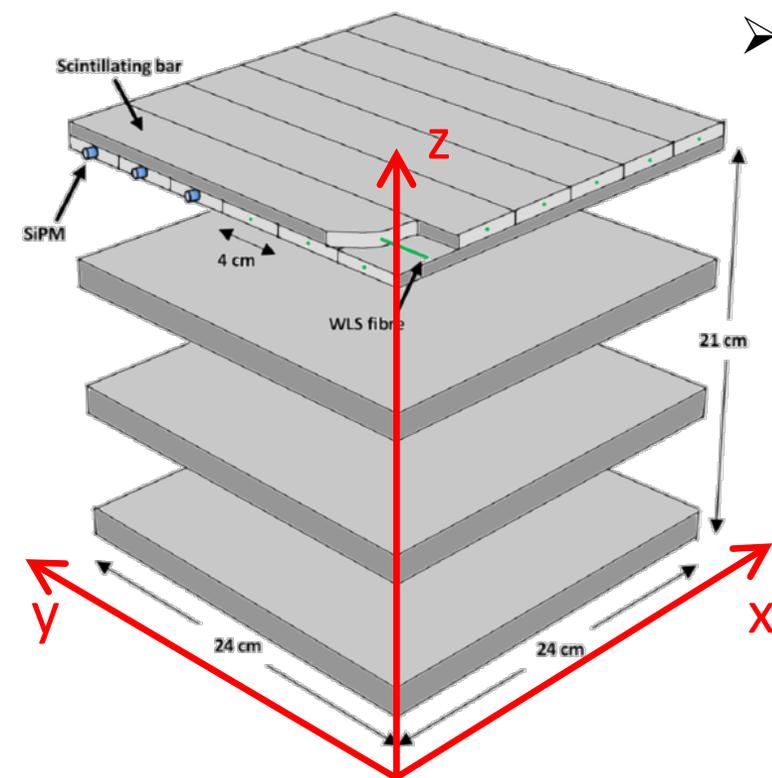
Il rivelatore che useremo oggi per la misura del flusso in funzione dell'angolo di inclinazione è costituito da

- ❑ 4 piani di rivelazione
 - ❖ ognuno di essi comprende 6 scintillatori orientati lungo la direzione x e 6 scintillatori orientati lungo la direzione y
 - ogni scintillatore ingloba una fibra ottica a conversione di lunghezza d'onda

Al passaggio dei raggi cosmici gli scintillatori producono luce che deve essere convertita in segnale elettrico

→ lo strumento effettua quindi una misura indiretta

La conversione da luce a corrente viene fatta da fotomoltiplicatori al silicio, SiPM, e questa viene trasformata in tensione tramite un resistore



Il rivelatore Cosmic Ray Cube

Il rivelatore che useremo oggi per la misura del flusso in funzione dell'angolo di inclinazione è costituito da

- ❑ 4 piani di rivelazione
 - ❖ ognuno di essi comprende 6 scintillatori orientati lungo la direzione x e 6 scintillatori orientati lungo la direzione y
 - ogni scintillatore ingloba una fibra ottica a conversione di lunghezza d'onda

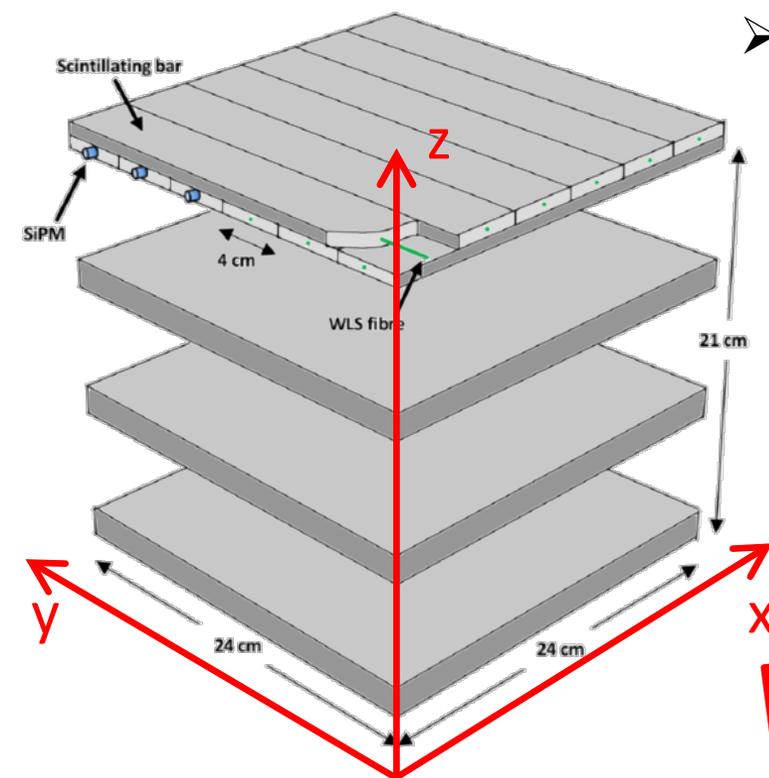
Al passaggio dei raggi cosmici gli scintillatori producono luce che deve essere convertita in segnale elettrico

→ lo strumento effettua quindi una misura indiretta

La conversione da luce a corrente viene fatta da fotomoltiplicatori a silicio, SiPM, e questa viene trasformata in tensione tramite un resistore

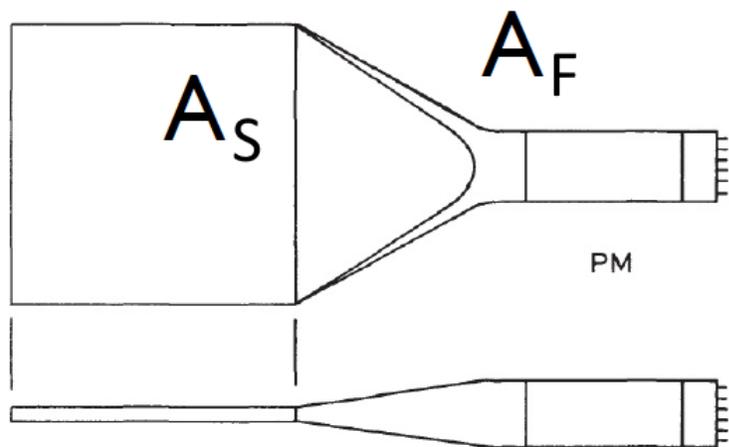
Effetto fotoelettrico

Scintillazione

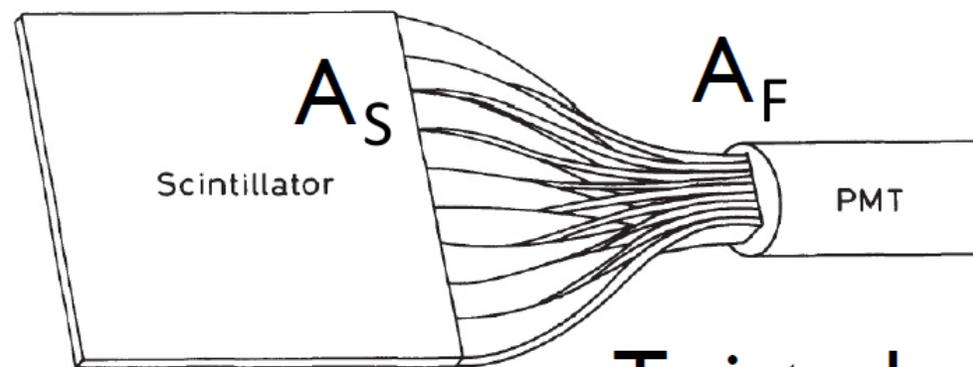


Componenti di un rivelatore di raggi cosmici basato sul fenomeno della scintillazione

Questo tipo di rivelatore consiste generalmente in un **materiale scintillante** accoppiato otticamente ad un **fotomoltiplicatore** (PM) in modo diretto o tramite una **guida di luce**



Fish tail



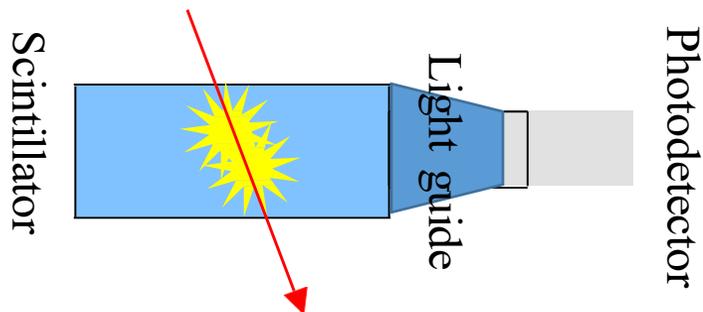
**Twisted
(Adiabatic)**

Il contatore a **scintillazione** è uno dei più vecchi apparati sperimentali usati per la radiazione nucleare ma è ancora molto importante per gli esperimenti sui raggi cosmici

Prima del contatore a scintillazione si usava **l'occhio nudo**, osservando i flash di luce emessi quando le particelle colpivano uno schermo di solfato di zinco

La scintillazione

Proprietà generali di uno scintillatore per la rivelazione dei raggi cosmici

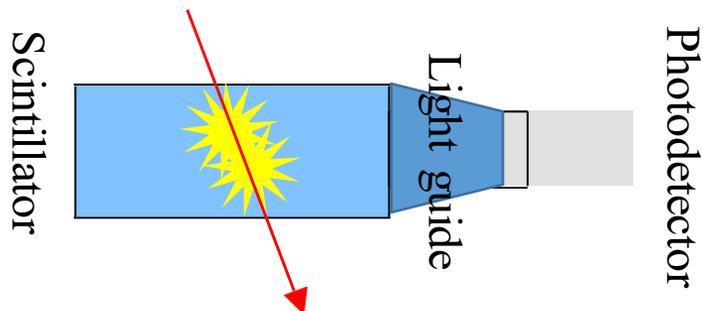


Definiamo **scintillatore** qualunque materiale che emette un impulso di luce poco dopo il passaggio di una particella carica

Particelle cariche



Proprietà generali di uno scintillatore per la rivelazione dei raggi cosmici



Definiamo **scintillatore** qualunque materiale che emette un impulso di luce poco dopo il passaggio di una particella carica

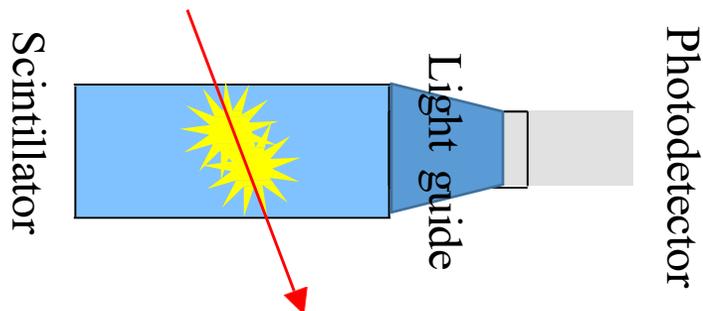
Particelle cariche



La funzione di uno scintillatore è duplice:

- Emettere luce (luminescenza)
- Trasmetterla al rivelatore di fotoni attraverso la guida di luce ad esempio ad un fotomoltiplicatore

Proprietà generali di uno scintillatore per la rivelazione dei raggi cosmici



Definiamo **scintillatore** qualunque materiale che emette un impulso di luce poco dopo il passaggio di una particella carica

Particelle cariche



La funzione di uno scintillatore è duplice:

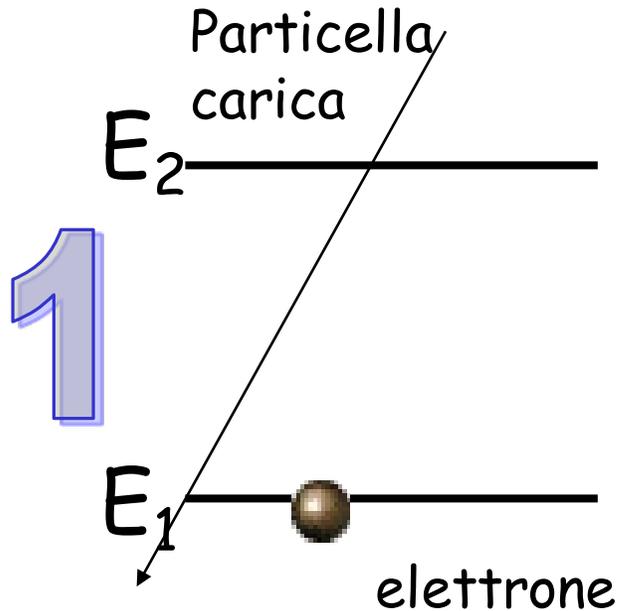
- Emettere luce (luminescenza)
- Trasmetterla al rivelatore di fotoni attraverso la guida di luce ad esempio ad un fotomoltiplicatore



Sia lo scintillatore che la guida di luce devono essere trasparenti alla luce di scintillazione

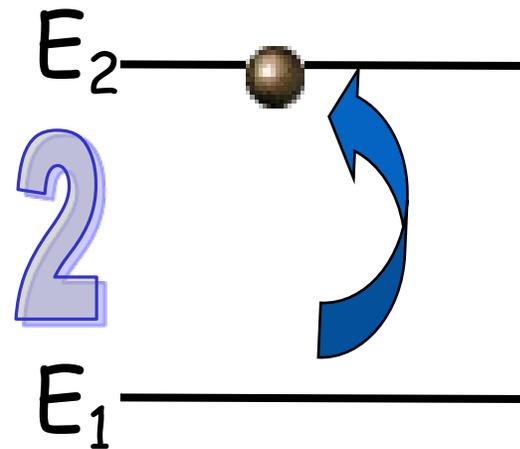
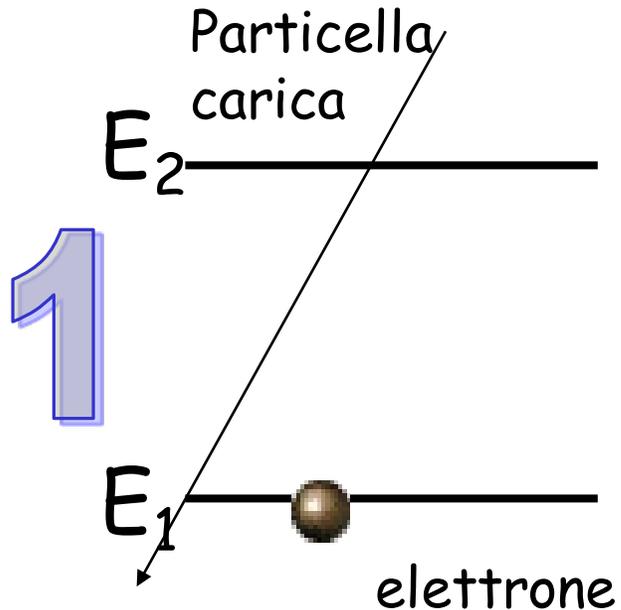
Il fenomeno della scintillazione

1. la particella carica **cede energia** agli elettroni delle molecole dello scintillatore



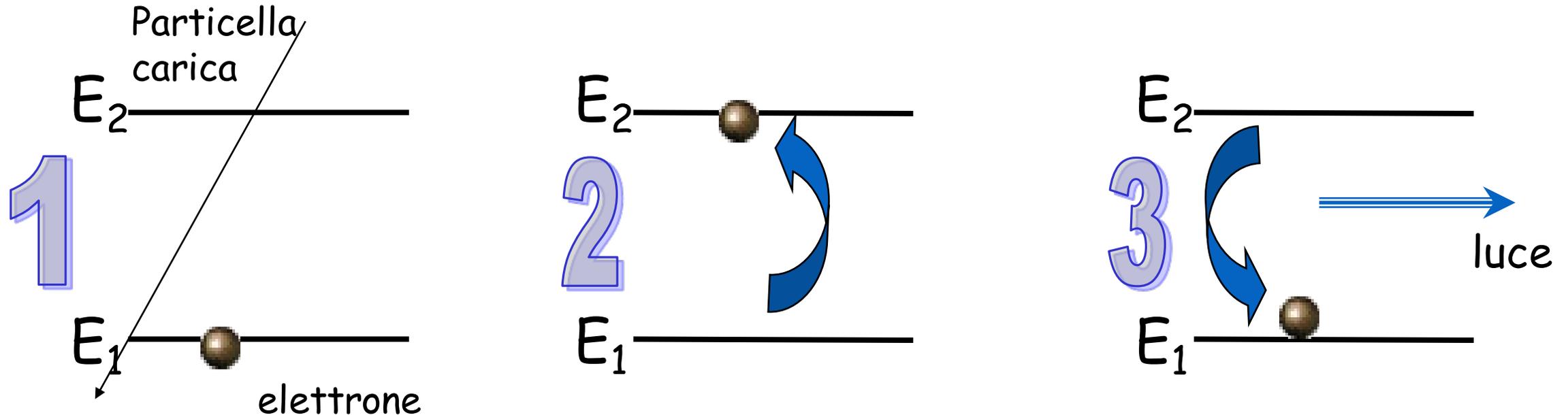
Il fenomeno della scintillazione

1. la particella carica **cede energia** agli elettroni delle molecole dello scintillatore
2. gli elettroni degli atomi di uno scintillatore che acquistano energia dalla particella (sono "eccitati") si spostano su un livello energetico più alto

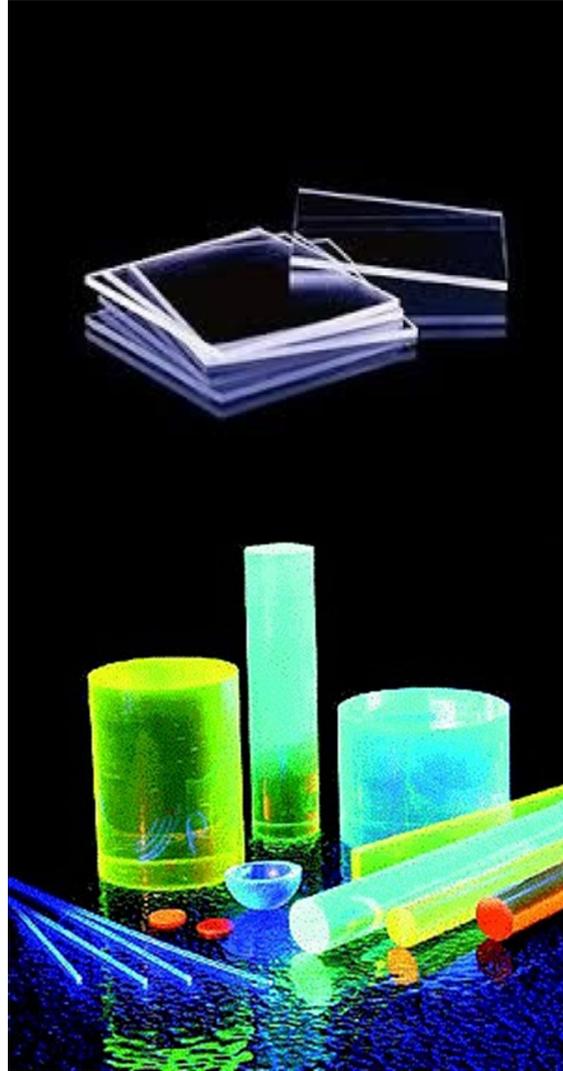


Il fenomeno della scintillazione

1. la particella carica **cede energia** agli elettroni delle molecole dello scintillatore
2. gli elettroni degli atomi di uno scintillatore che acquistano energia dalla particella (sono **"eccitati"**) si spostano su un livello energetico più alto
3. dopo un certo tempo (da qualche nanosecondo a centinaia di nanosecondi), gli elettroni si **"diseccitano"** (perdono energia) emettendo luce



Materiali scintillanti e loro proprietà



Scintillatore	Densità [g/cm ³]	Indice di rifrazione	Lunghezza d'onda [nm]	Costante di tempo [μs]	Scintillazione relativa a NaI(Tl)	Note	Fotoni/MeV
NaI Ioduro di sodio	3.67	1.78	303	0.06	190		
NaI(Tl) Ioduro di sodio drogato con tallio	3.67	1.85	410	0.25	100	a 80 K	4x10 ⁴
CsI Ioduro di cesio	4.51	1.80	310	0.01	6	a 80 K	
CsI(Tl) Ioduro di cesio drogato con tallio	4.51	1.80	565	1.0	45	a 80 K	1.1x10 ⁴
⁶LiI(Eu) Ioduro di litio drogato con europio	4.06	1.96	470-485	1.4	35	a 80 K	1.4x10 ⁴
BaF₂ Fluoruro di bario	4.88	1.49	190/220 310	0.0006 0.63	5 15		6.5x10 ³ 2x10 ³
Bi₄Ge₃O₁₂ Germanato di bismuto	7.13	2.15	480	0.30	10		2.8x10 ³
PbWO₄ Tungstenato di piombo	8.28	1.82	440,530		0.1		100
Lar Argon liquido	1.4	1.29	120-170	0.005/0.860		a 170 nm	
LKr Kripton liquido	2.41	1.40	120-170	0.002/0.085		a 170 nm	
Lxe Xeno liquido	3.06	1.60	120-170	0.003/0.022		a 170 nm	4x10 ⁴

Esistono anche scintillatori organici sia in forma cristallina (antracene, naftalene) che liquida o solida (plastica). Questi ultimi due hanno tempi di risposta veloci (2÷4 ns) ma hanno una resa di luce molto bassa

Una guida di luce serve a:

- collegare otticamente lo scintillatore al fotomoltiplicatore
- adattare la sezione dello scintillatore a quella del fotomoltiplicatore, generalmente diverse tra loro
- poter allontanare il fotomoltiplicatore dallo scintillatore

Nel nostro caso, la fibra ottica a conversione di lunghezza d'onda (Wavelength shifter fiber) serve anche per

- concentrare la luce di scintillazione in un canale di trasmissione ottica molto stretto (i SiPM sono piccoli)
- convertire la lunghezza d'onda della luce di scintillazione a valori ai quali il SiPM è più sensibile

La fibra ottica opera in regime di riflessione totale

La guida di luce: le fibre ottiche a conversione di lunghezza d'onda

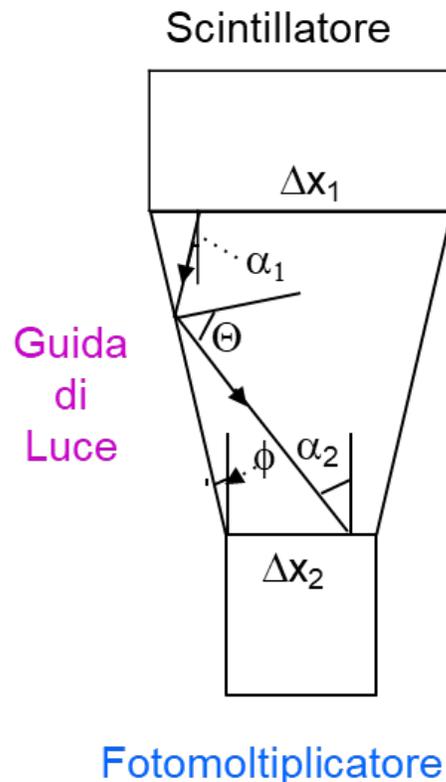
Una guida di luce serve a:

- collegare otticamente lo scintillatore al fotomoltiplicatore
- adattare la sezione dello scintillatore a quella del fotomoltiplicatore, generalmente diverse tra loro
- poter allontanare il fotomoltiplicatore dallo scintillatore

Nel nostro caso, la fibra ottica a conversione di lunghezza d'onda (Wavelength shifter fiber) serve anche per

- concentrare la luce di scintillazione in un canale di trasmissione ottica molto stretto (i SiPM sono piccoli)
- convertire la lunghezza d'onda della luce di scintillazione a valori ai quali il SiPM è più sensibile

La fibra ottica opera in regime di riflessione totale



Riflessione totale

Per avere riflessione totale:

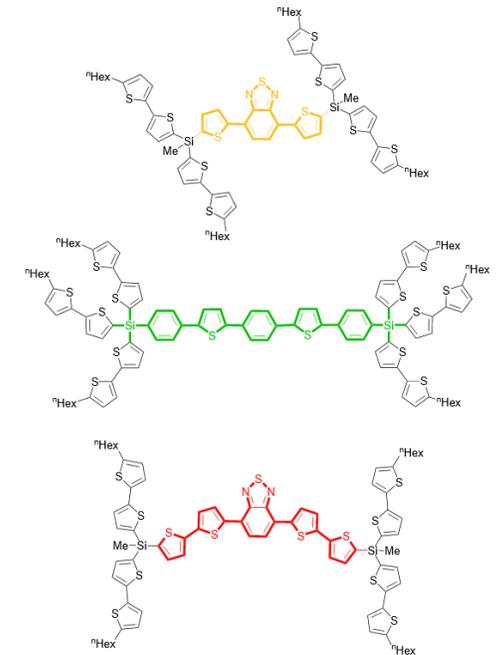
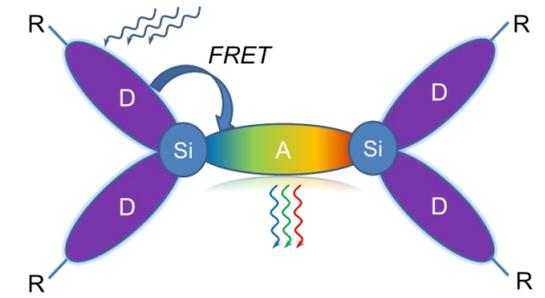
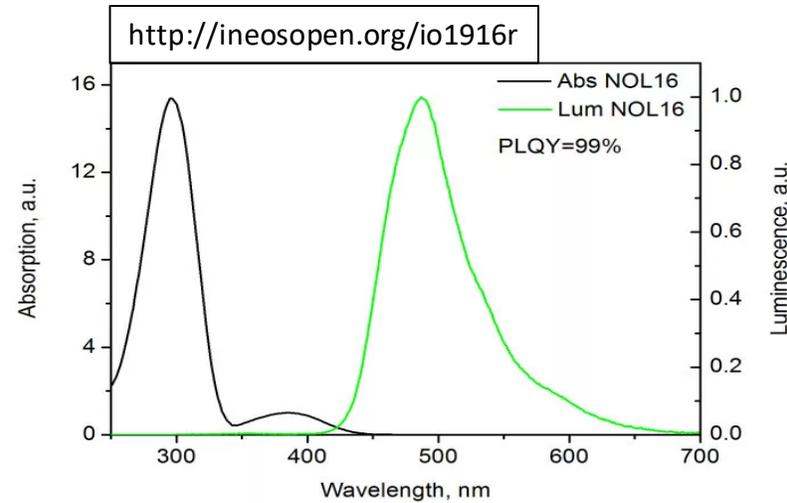
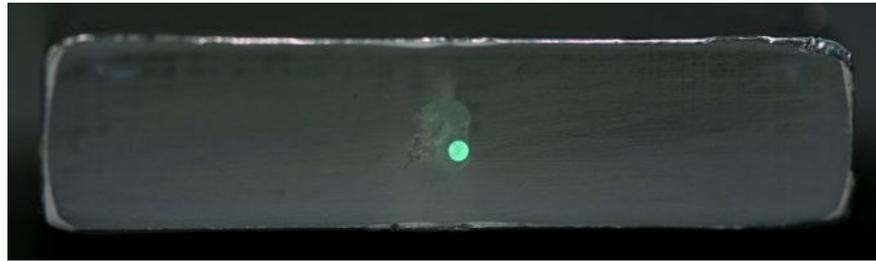
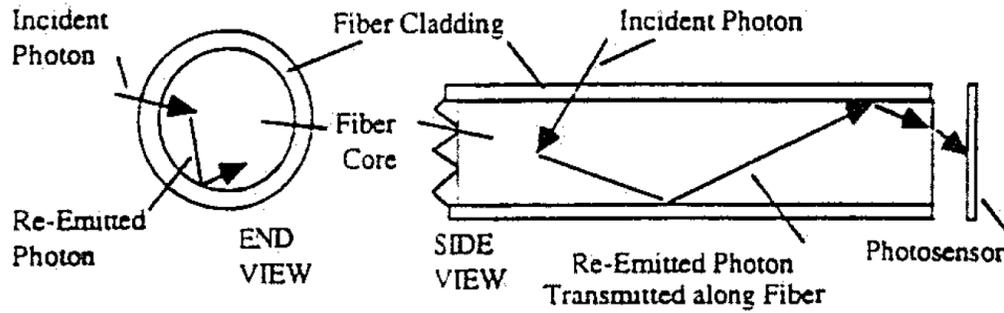
$$\sin \theta \geq \frac{n_e}{n}$$

$n_e=1$ (aria)
 n = indice rifr. della guida

Si ha riflessione totale per fotoni che incidono sulla superficie del materiale con angoli maggiori dell'angolo di Brewster

Parte della luce si dirige verso le superfici esterne del materiale scintillante dove può essere riflessa e/o trasmessa.

La fibra a conversione di lunghezza d'onda



Per convertire la lunghezza d'onda si usano particolari molecole luminescenti che

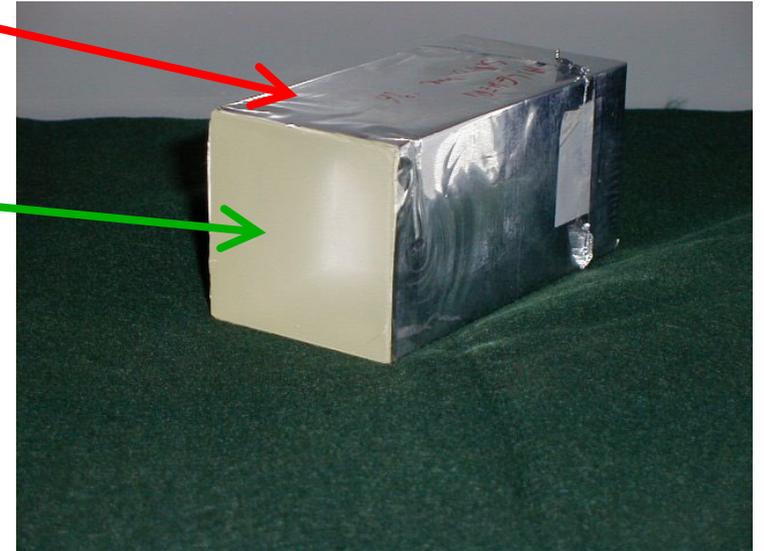
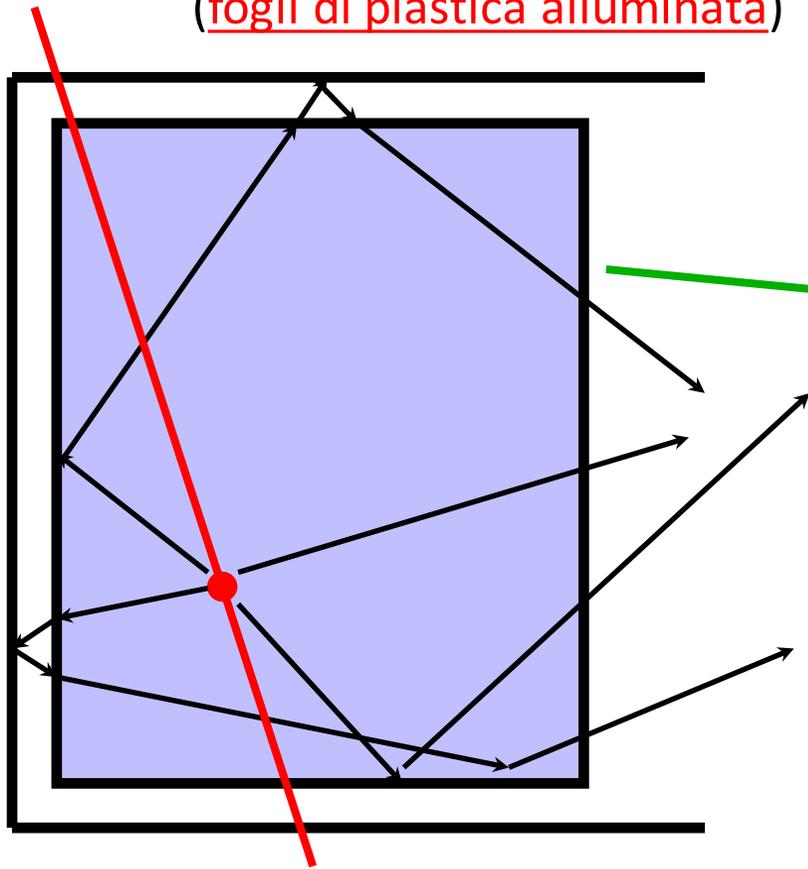
- assorbono efficacemente lo spettro di luce incidente (assorbono energia) in regioni periferiche della molecola
- reindirizzano l'energia assorbita in modo non radiativo al centro della molecola eccitando elettroni
- riemettono l'energia sotto forma di luce a lunghezza d'onda diversa

Più sono separati gli spettri di assorbimento e di emissione e più efficiente è la conversione

<http://ineosopen.org/io1916r>

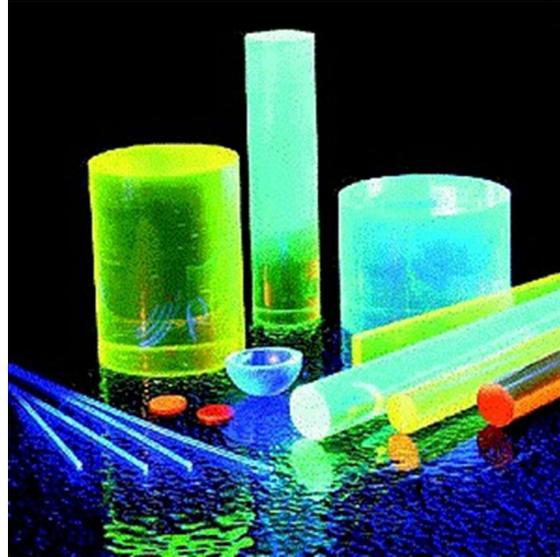
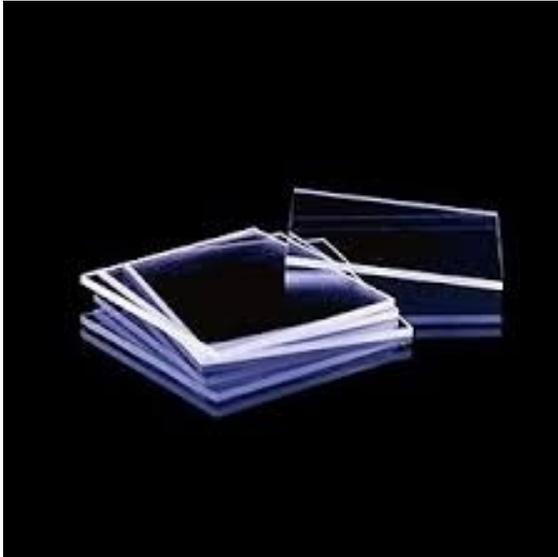
Recuperare luce non riflessa internamente

Parte della luce che si dirige verso le superfici esterne del materiale scintillante dove può essere trasmessa, per recuperarla. Aggiunta di materiali a riflessione totale sulle superfici esterne dello scintillatore (fogli di plastica alluminata)



La rivelazione dei fotoni

L'occhio umano è un rivelatore di fotoni



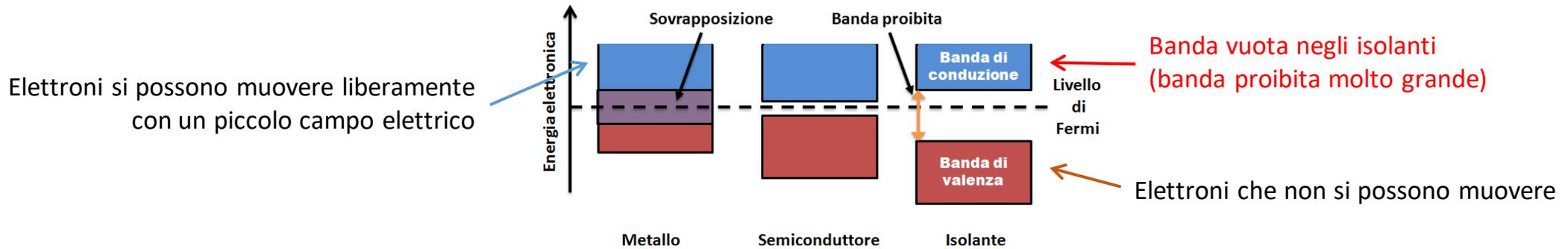
Dopo un lungo periodo di adattamento, l'occhio umano può vedere circa 15 fotoni se emessi in un intervallo di tempo non superiore ad 1/10 di secondo e con lunghezza d'onda pari a quella cui l'occhio umano è più sensibile (verde). 1/10 s è il tempo di persistenza dell'immagine sulla retina.

Henry&Baucels (J.Phys.Path.Gen. XIII (1911),841) affermano che è visibile ad occhio nudo un deposito di energia di 3 eV corrispondente ad un singolo fotone nel verde. $\lambda(nm) \sim \frac{1240}{E(eV)}$

Pare che la sensibilità dell'occhio umano aumenta con una tazza di buon caffè (molto forte), possibilmente con l'aggiunta di una piccola dose di stricnina...!!!!

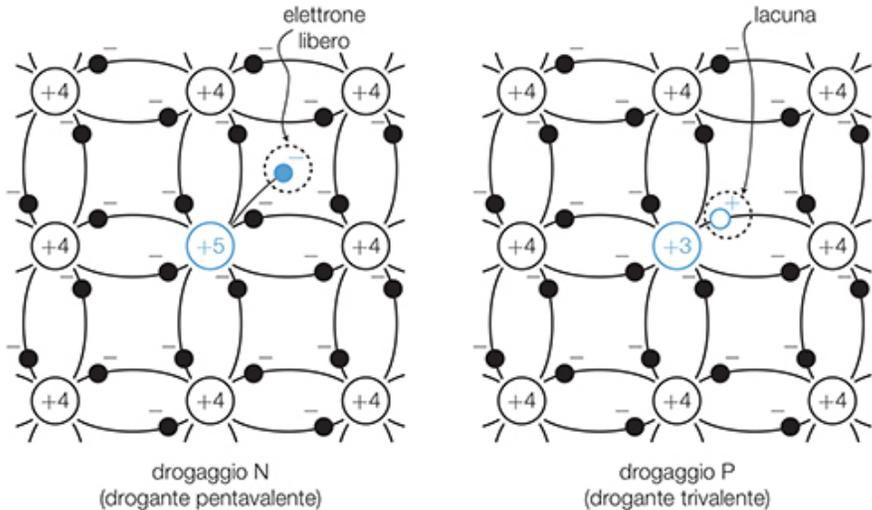
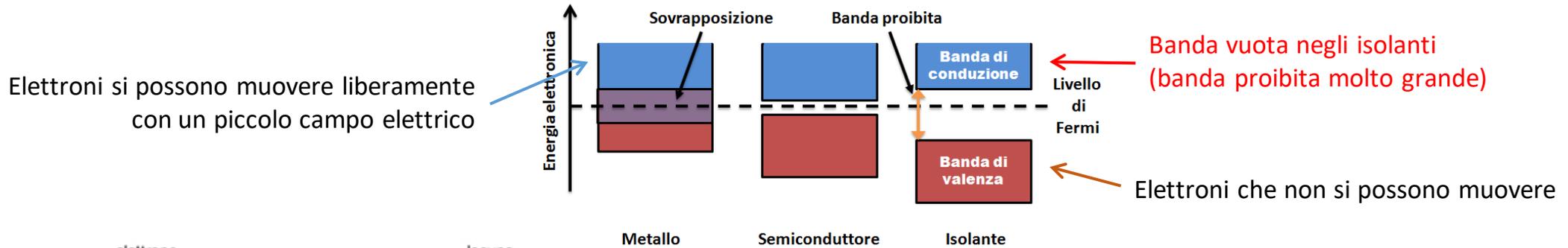
I dispositivi a semiconduttore

- I semiconduttori sono materiali che hanno una resistività intermedia tra quella dei conduttori e quella degli isolanti
- Isolanti, semiconduttori e metalli si possono distinguere a seconda di come si distribuiscono le energie degli elettroni di legame in bande di valenza e di conduzione con o senza regioni ad energia proibita in mezzo



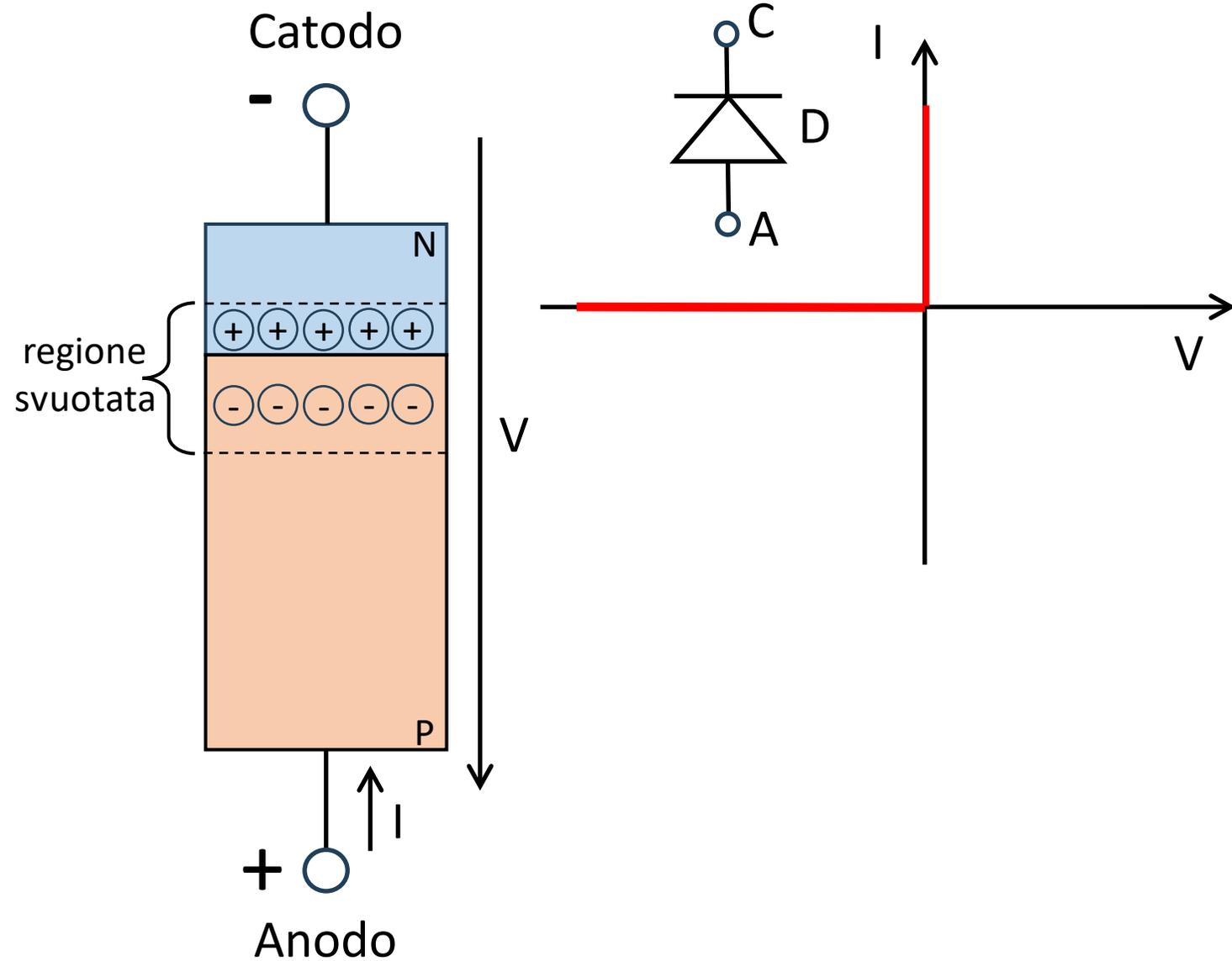
I dispositivi a semiconduttore

- I semiconduttori sono materiali che hanno una resistività intermedia tra quella dei conduttori e quella degli isolanti
- Isolanti, semiconduttori e metalli si possono distinguere a seconda di come si distribuiscono le energie degli elettroni di legame in bande di valenza e di conduzione con o senza regioni ad energia proibita in mezzo



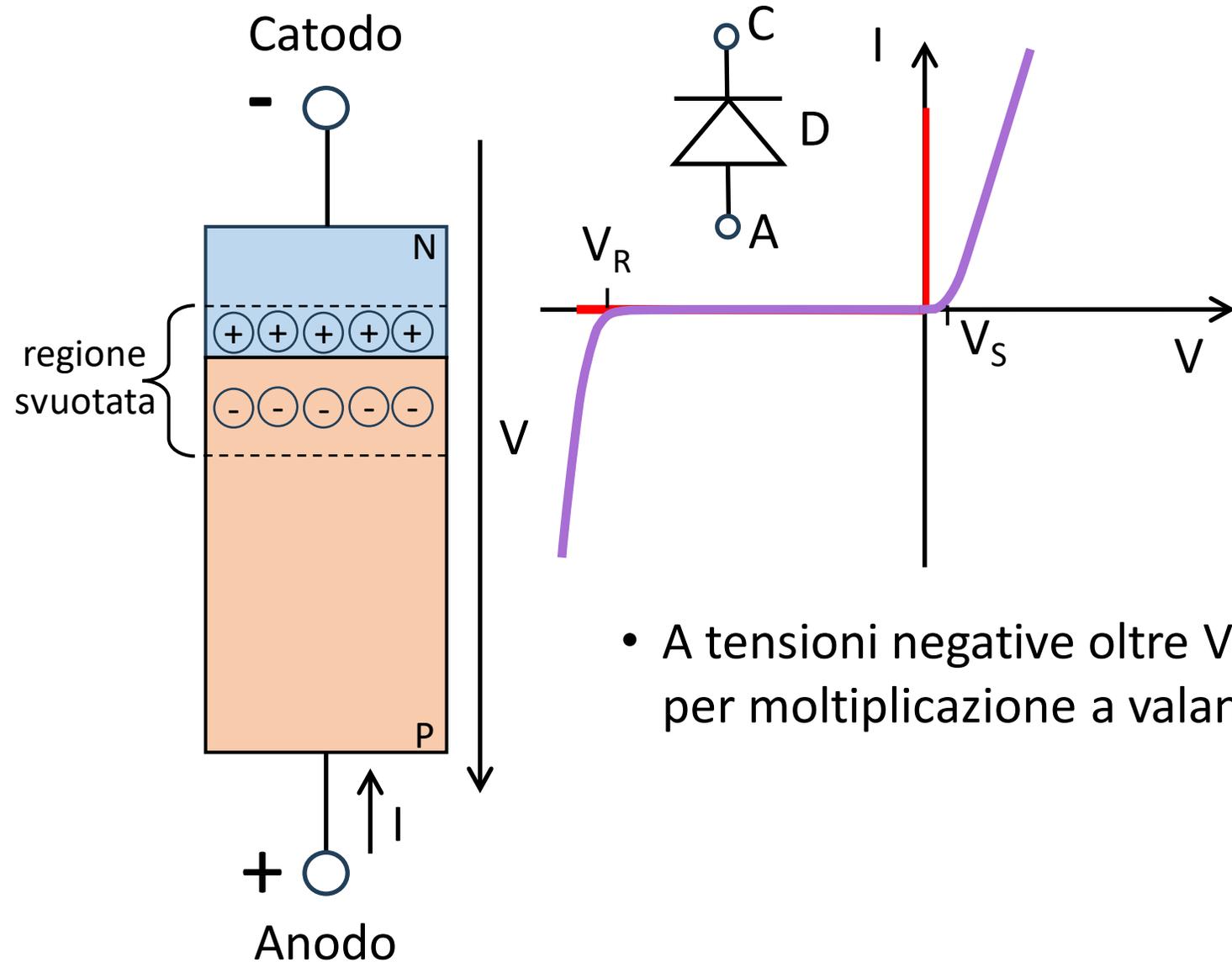
- I semiconduttori sono molto utili perché possiamo modificarne il comportamento aggiungendo una «piccola» quantità di atomi di natura diversa (drogante) che apportano elettroni nella banda di conduzione o che tolgono elettroni dalla banda di valenza
- Il silicio è il semiconduttore più studiato e impiegato per realizzare l'elettronica che usiamo ogni giorno (computer, smartphone, TV, ...)

Il diodo di silicio, elemento base dei SiPM



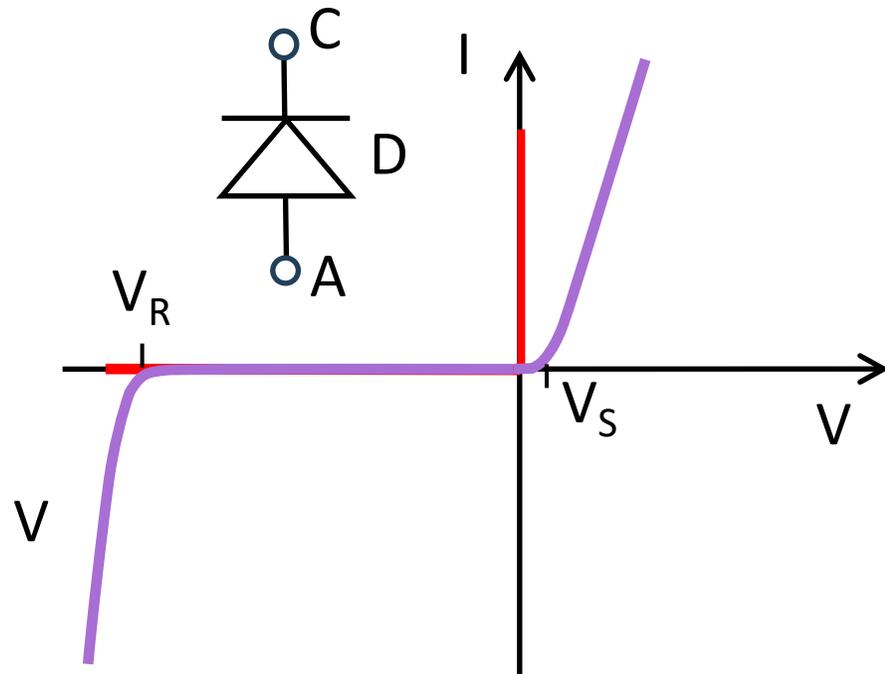
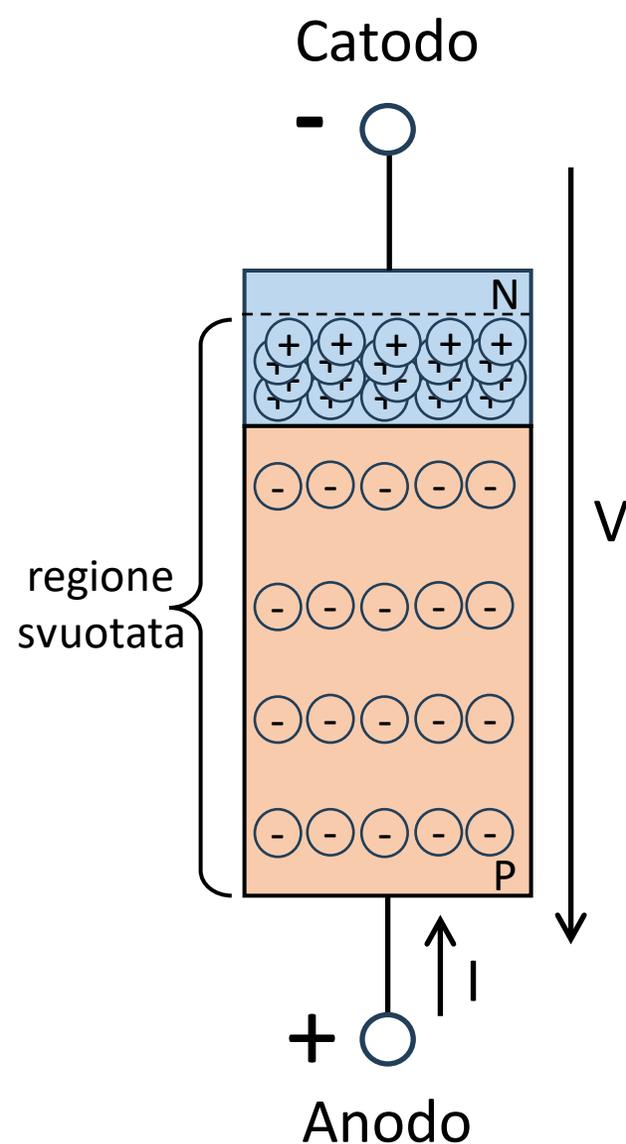
- Unendo silicio drogato **N** a silicio drogato **P** otteniamo il **diodo**, un dispositivo che idealmente **fa passare la corrente in una sola direzione**

Il diodo di silicio, elemento base dei SiPM



- Unendo silicio drogato **N** a silicio drogato **P** otteniamo il **diodo**, un dispositivo che idealmente **fa passare la corrente in una sola direzione**
- Il diodo reale ha una tensione di soglia V_S (≈ 0.7 V) ed una tensione di «rottura» V_R (da decine a centinaia di V)
- A tensioni negative oltre V_R la corrente aumenta vertiginosamente per moltiplicazione a valanga

Il diodo di silicio, elemento base dei SiPM



- Unendo silicio drogato **N** a silicio drogato **P** otteniamo il **diodo**, un dispositivo che idealmente **fa passare la corrente in una sola direzione**
- Il diodo reale ha una tensione di soglia V_S (≈ 0.7 V) ed una tensione di «rottura» V_R (da decine a centinaia di V)
- A tensioni negative oltre V_R la corrente aumenta vertiginosamente per moltiplicazione a valanga
- Se alimentiamo inversamente il diodo (anodo a $-V$, catodo a 0 V) possiamo eliminare tutti gli elettroni liberi dal silicio drogato p che diventa completamente sensibile alla luce

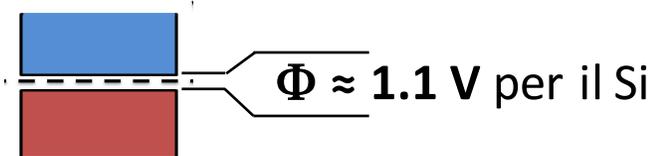
L'effetto fotoelettrico

Il rivelatore di fotoni converte la luce incidente in fotoelettroni per effetto fotoelettrico:

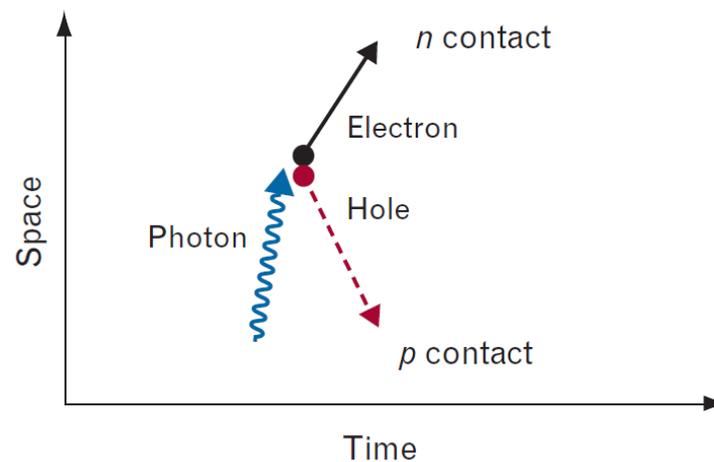
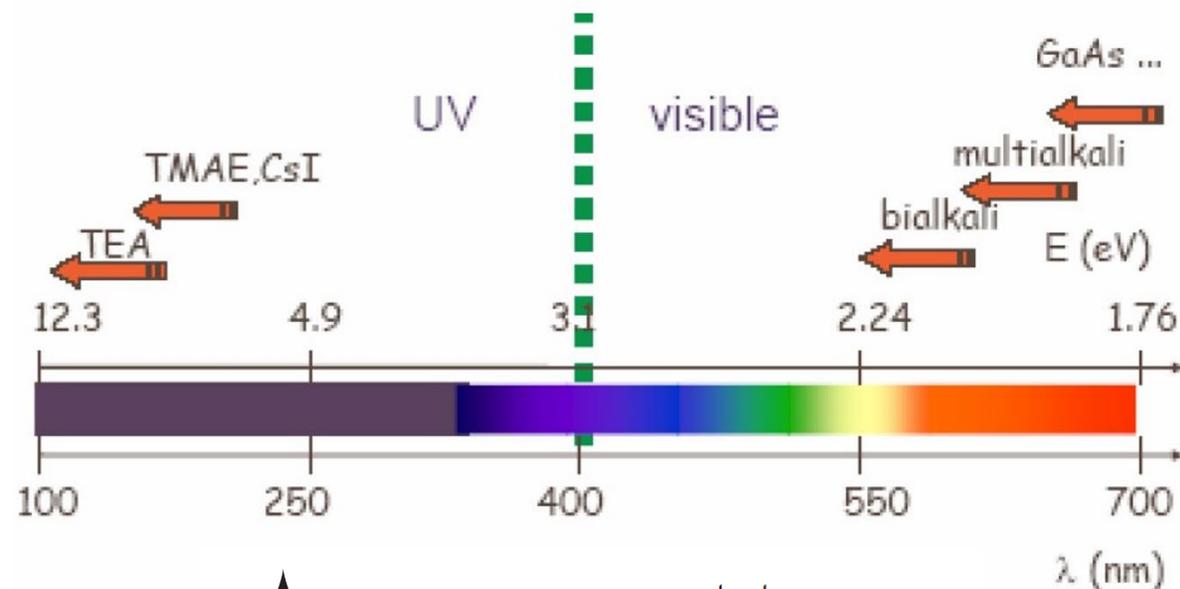
$$E = \eta\nu - \Phi$$

$\eta\nu$ energia del fotone incidente
 Φ funzione lavoro

- ❖ C'è un'energia di soglia, Φ , che nei semiconduttori è uguale all'ampiezza della banda proibita



- ❖ Oltre a questa energia, la probabilità di conversione dipende dalla frequenza della luce incidente e dal materiale che costituisce il rivelatore di fotoni
- ❖ Nel semiconduttori, quando il fotone viene assorbito vengono generati un elettrone in banda di conduzione ed una lacuna in banda di valenza



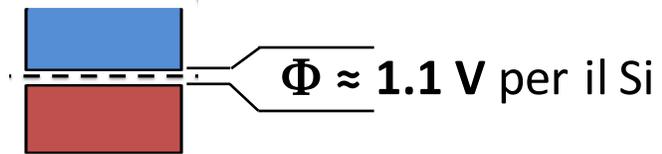
L'effetto fotoelettrico

Il rivelatore di fotoni converte la luce incidente in fotoelettroni per effetto fotoelettrico:

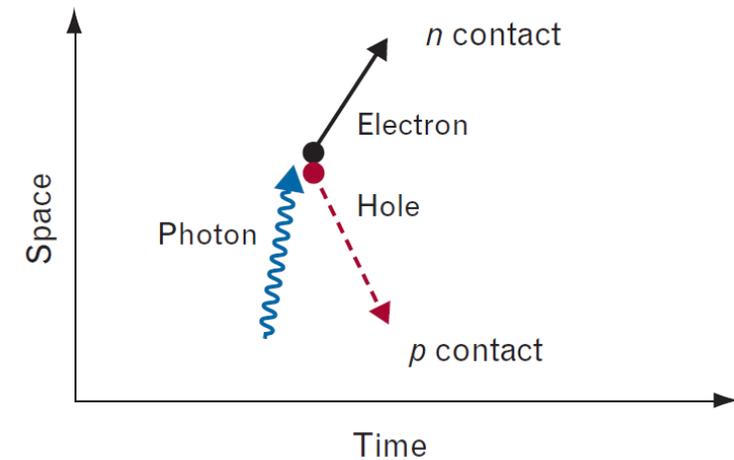
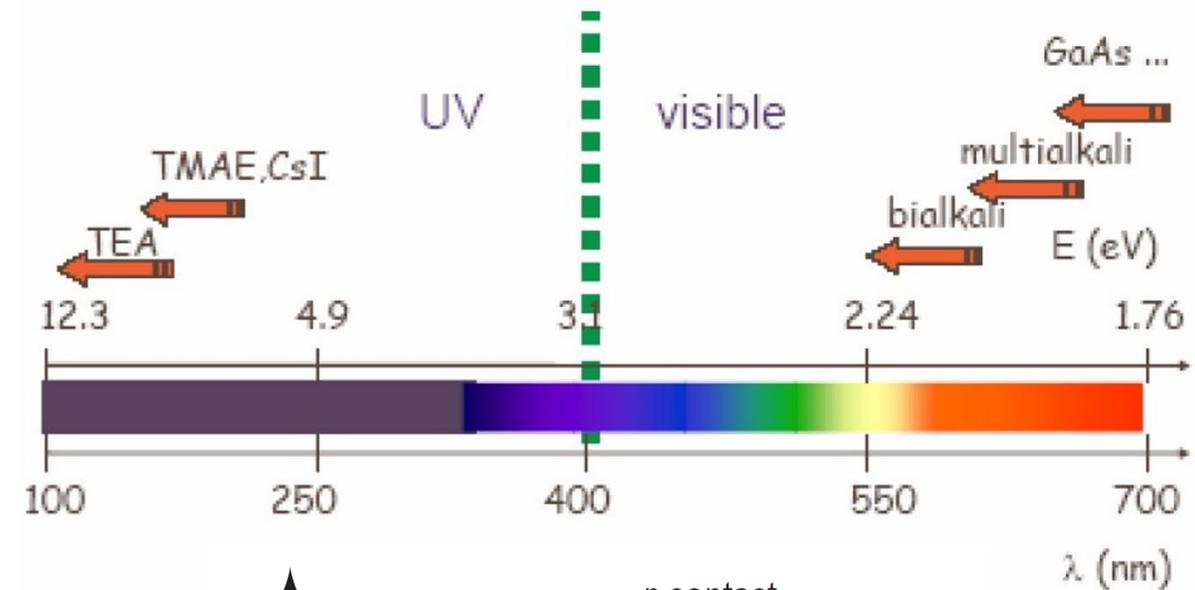
$$E = \eta\nu - \Phi$$

$\eta\nu$ energia del fotone incidente
 Φ funzione lavoro

- ❖ C'è un'energia di soglia, Φ , che nei semiconduttori è uguale all'ampiezza della banda proibita



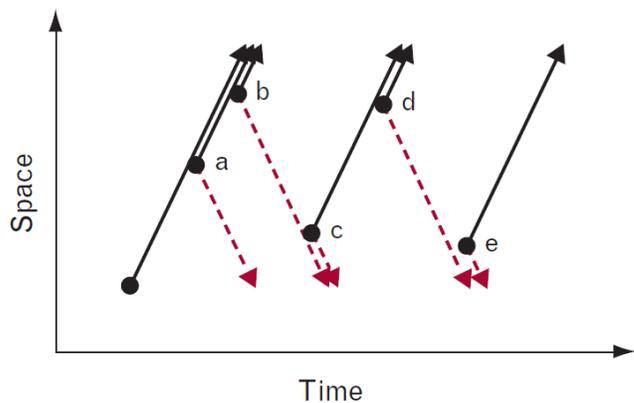
- ❖ Oltre a questa energia, la probabilità di conversione dipende dalla frequenza della luce incidente e dal materiale che costituisce il rivelatore di fotoni
- ❖ Nel semiconduttori, quando il fotone viene assorbito vengono generati un elettrone in banda di conduzione ed una lacuna in banda di valenza



Nel 1921 Einstein ricevette il [premio Nobel per la fisica](#) «per i contributi alla [fisica teorica](#), in particolare per la [scoperta della legge dell'effetto fotoelettrico](#)»

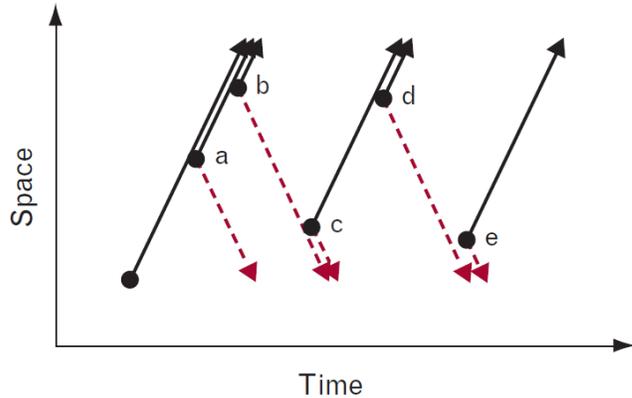
La moltiplicazione a valanga ed i SiPM

Il diodo alla base dei SiPM è progettato per avere una regione a basso campo elettrico (regione sensibile) dove i fotoni creano le coppie elettrone(e)-lacuna(h), ed una regione ad alto campo elettrico dove elettroni e lacune acquistano energia sufficiente a creare nuove coppie quando si scontrano con gli atomi di silicio

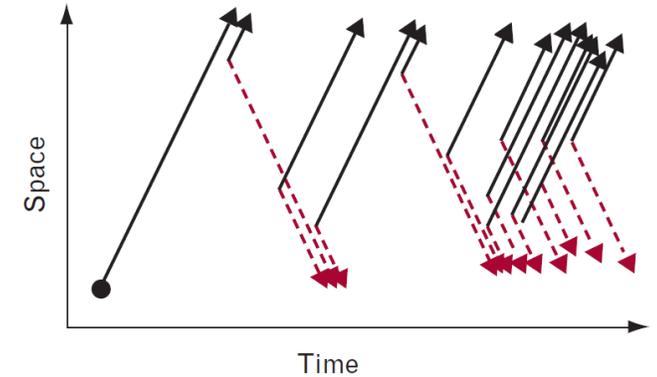


La moltiplicazione a valanga ed i SiPM

Il diodo alla base dei SiPM è progettato per avere una regione a basso campo elettrico (regione sensibile) dove i fotoni creano le coppie elettrone(e)-lacuna(h), ed una regione ad alto campo elettrico dove elettroni e lacune acquistano energia sufficiente a creare nuove coppie quando si scontrano con gli atomi di silicio

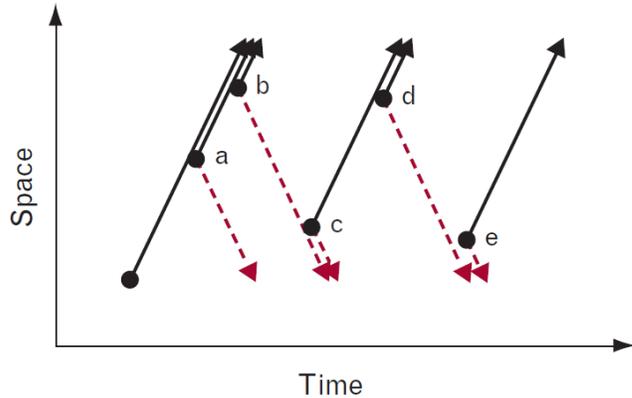


Se il diodo viene alimentato oltre alla tensione di rottura ogni e ed ogni h creerà a sua volta altre coppie e-h creando una «valanga» di cariche

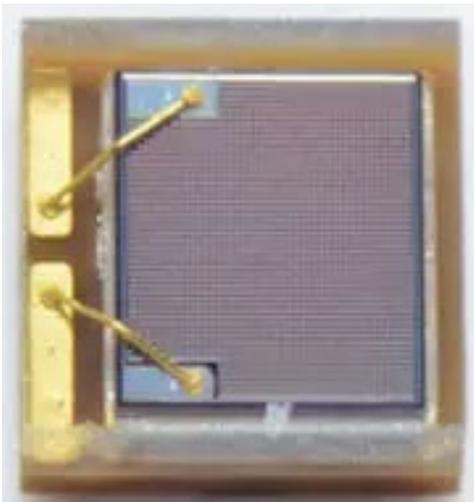
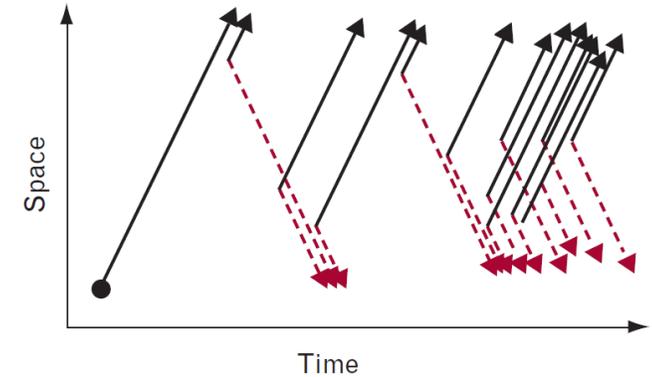


La moltiplicazione a valanga ed i SiPM

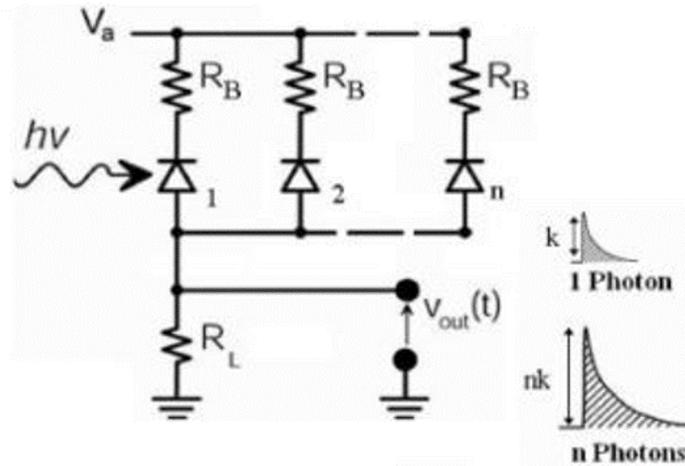
Il diodo alla base dei SiPM è progettato per avere una regione a basso campo elettrico (regione sensibile) dove i fotoni creano le coppie elettrone(e)-lacuna(h), ed una regione ad alto campo elettrico dove elettroni e lacune acquistano energia sufficiente a creare nuove coppie quando si scontrano con gli atomi di silicio



Se il diodo viene alimentato oltre alla tensione di rottura ogni e ed ogni h creerà a sua volta altre coppie e-h creando una «valanga» di cariche

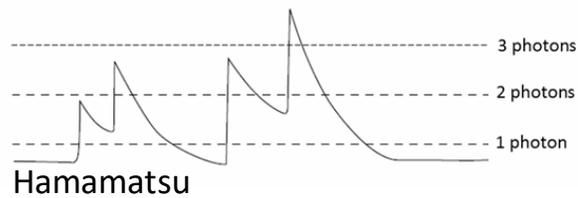


Hamamatsu



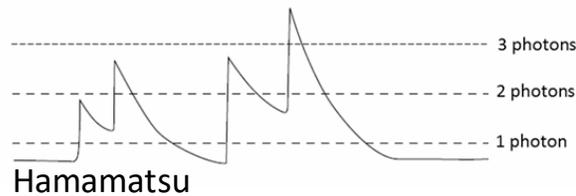
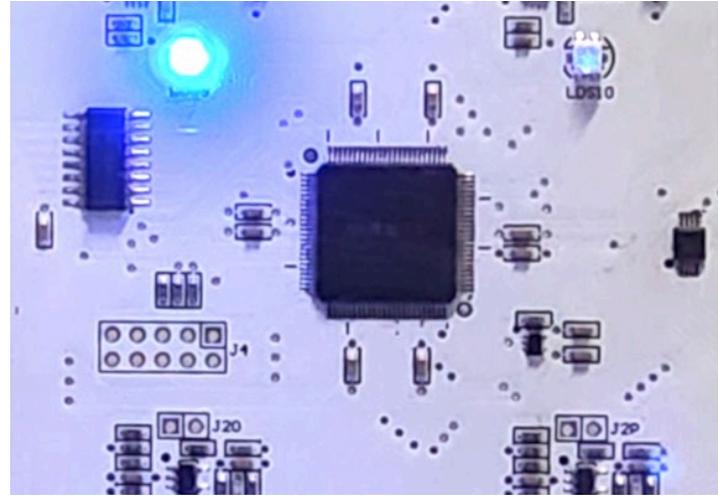
- Il SiPM è una matrice di tanti diodi, collegati in parallelo, ognuno con una sua resistenza in serie (serve a fermare la valanga)
- Ogni diodo è sensibile al singolo fotone ed il segnale in uscita dipende da quanti diodi hanno rilevato un fotone
- Il SiPM è collegato ad una resistenza per trasformare il segnale di corrente in una tensione

Il processamento dei segnali e l'acquisizione degli eventi



Il segnale in uscita al SiPM viene **amplificato e comparato con una soglia** (più di un fotone rivelato) per generare una uscita digitale che ci dice quando un muone ha attraversato lo scintillatore

Il processamento dei segnali e l'acquisizione degli eventi



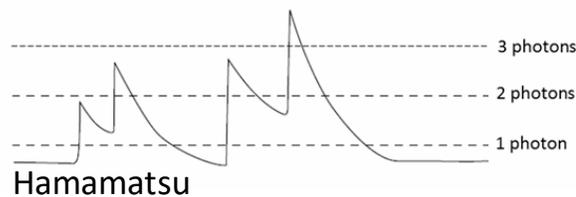
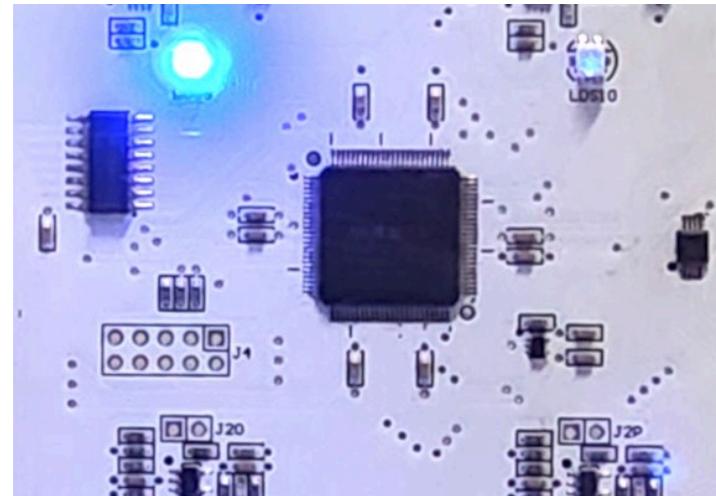
Il segnale in uscita al SiPM viene amplificato e comparato con una soglia (più di un fotone rivelato) per generare una uscita digitale che ci dice quando un muone ha attraversato lo scintillatore

Una logica programmabile verifica che il muone abbia attraversato più scintillatori allo stesso tempo

→ coincidenza temporale dei segnali

Se c'è coincidenza, allora i segnali dei vari scintillatori vengono registrati e la scheda avverte il processore che un muone è passato

Il processamento dei segnali e l'acquisizione degli eventi



Una logica programmabile verifica che il muone abbia attraversato più scintillatori allo stesso tempo

→ coincidenza temporale dei segnali

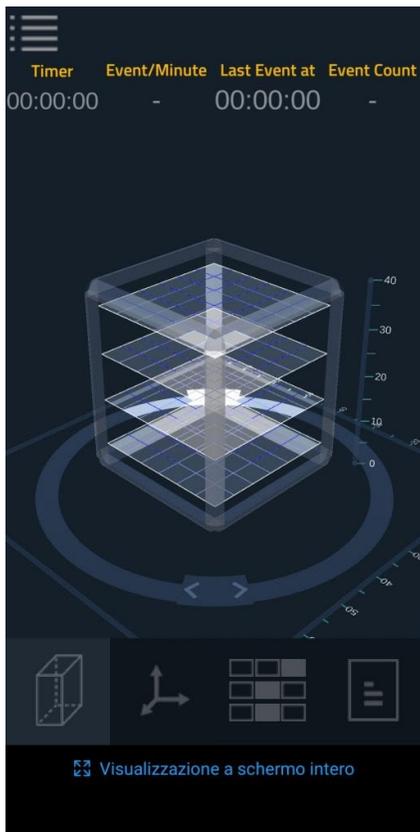
Se c'è coincidenza, allora i segnali dei vari scintillatori vengono registrati e la scheda avverte il processore che un muone è passato

Il processore (Arduino Nano) si occupa di raccogliere i dati, di formattarli secondo un protocollo prestabilito, e di spedirli al computer collegato in rete

La scheda genera anche la tensione di alimentazione dei SiPM e le soglie dei comparatori

Il segnale in uscita al SiPM viene **amplificato e comparato con una soglia** (più di un fotone rivelato) per generare una uscita digitale che ci dice quando un muone ha attraversato lo scintillatore

Il formato dei dati: come ricostruire un evento



```

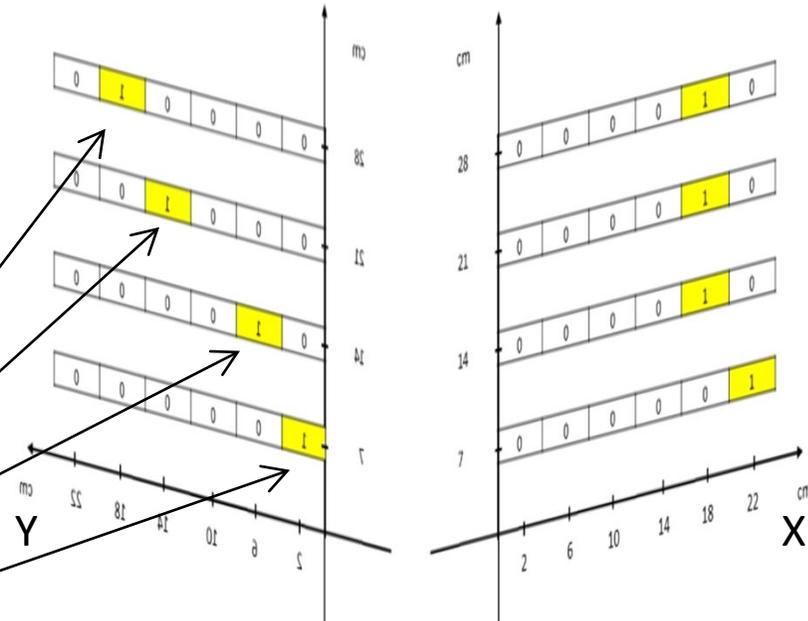
15:59 04-22-2020 15-33-37.txt
1249 03010901 02030101
1250 01010202 20202020
1254 02020201 02041020
1255 01020204 04020101
1256 0102040C 01010204
1257 02020408 01040820
1258 01010204 01010101
1259 08102020 20202020
1260 01010301 20201010
1261 01010101 02020404
1262 02020202 10101020
1263 10102020 10101020
1264 0E253D34 053B3D3B
1265 01010102 20202020
1266 01010101 20202020
1267 10101020 04040201
1268 05030202 20301030
1269 20180403 01030303
1270 10102020 20202020
1271 01040830 10080402
1272 01010204 01020408
1273 02020202 01010204
1274 02041828 20301010
1275 20080401 08080808
1276 10101010 20202020
1277 03141203 22011210
  
```

Coordinate X:

- 02 → 000010
- 02 → 000010
- 02 → 000010
- 01 → 000001

Coordinate Y:

- 02 → 000010
- 04 → 000100
- 10 → 010000
- 20 → 100000



numero di evento

coordinate X dei quattro piani

coordinate Y dei quattro piani