

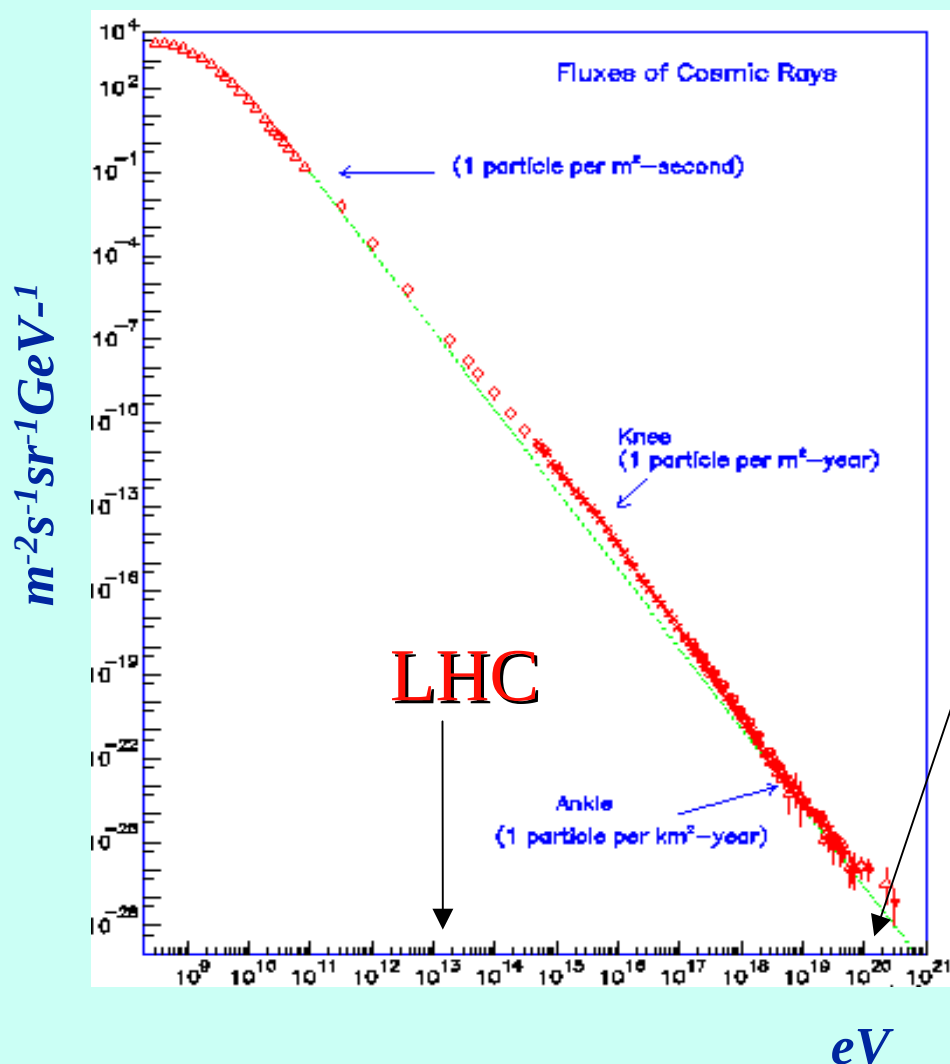
# Le tecniche di rivelazione di raggi cosmici di energia superiore a $10^{18}$ eV nell'esperimento Pierre Auger

Daniel V. Camin

Dipartimento di Fisica dell'Universita' and INFN, Milano , Italy

- Introduzione
- Il Progetto Auger
- Il sito Sud.
- La fase prototipale
- Lo stato attuale
- Conclusioni

# Introduzione



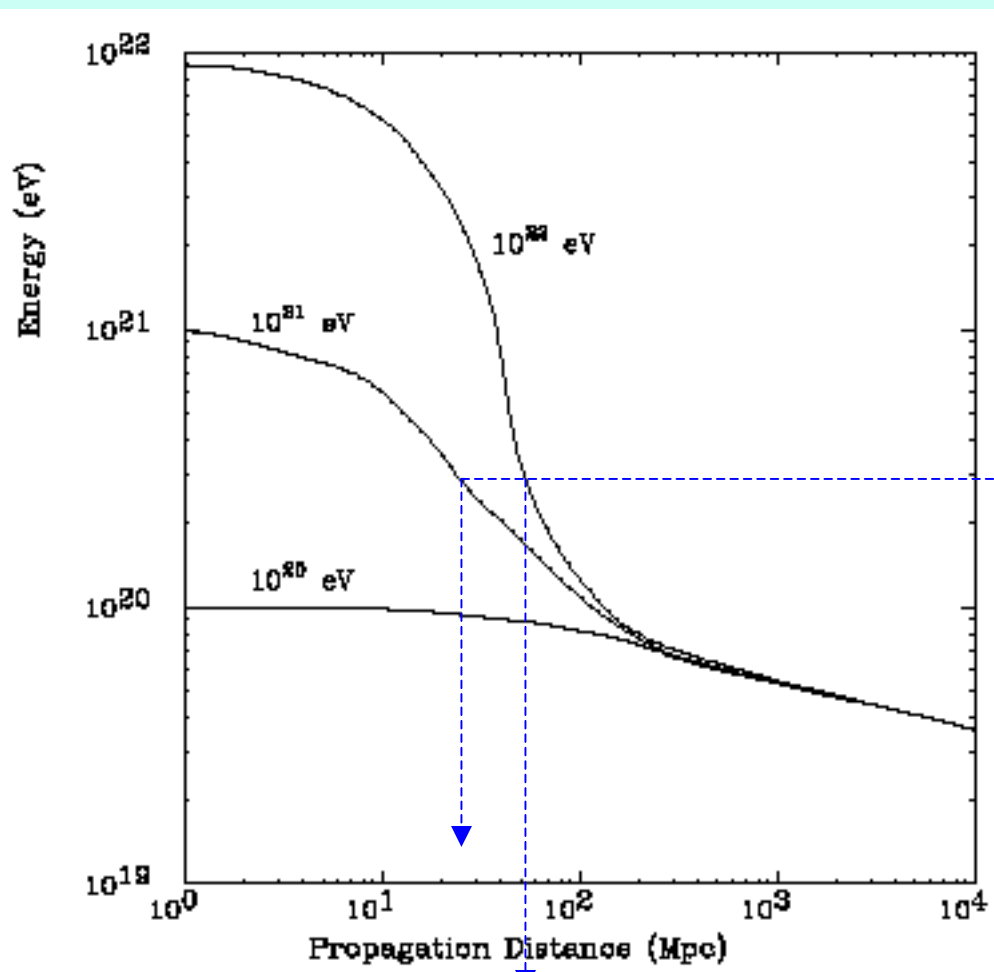
## I flussi di UHECR:

- $10^{19}$  eV:  $\sim 1/km^2 \cdot anno$
- $10^{20}$  eV:  $\sim 1/km^2 \cdot secolo$

Per un sito di  $3000 km^2$ :

- $10^{19}$  eV: 3000 eventi/anno
- $10^{20}$  eV: 30 eventi/anno

# Il cut-off di Greisen, Zatsepin e Kuzmin (GZK)



50 Mpc

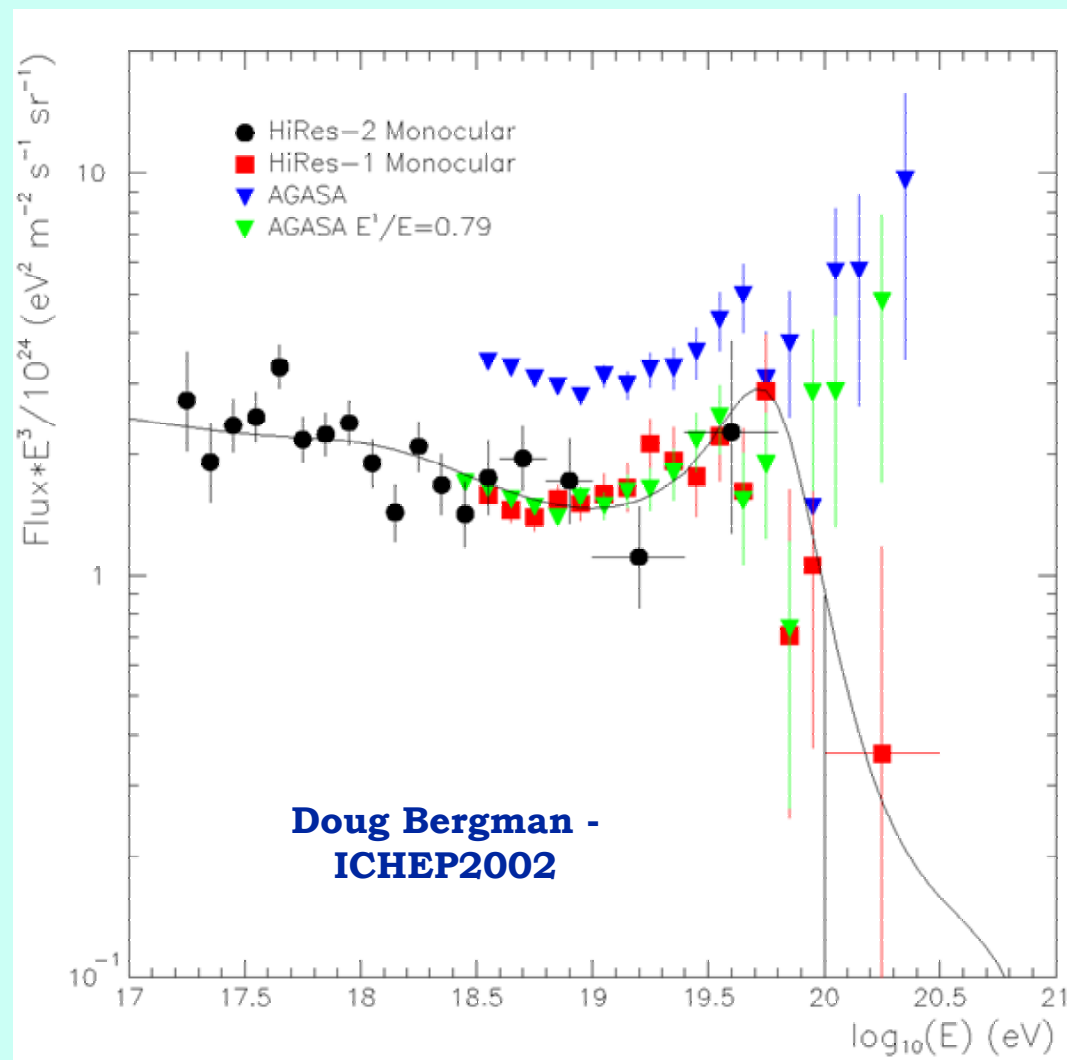
Perdita di energia per interazione con la radiazione fossile di fondo

$$p + \gamma_{2.7K} \rightarrow p + \pi^0$$

$$A + \gamma_{2.7K} \rightarrow (A-1) + n$$

$3 \cdot 10^{20}$  eV (evento di Fly's Eye)

# Spettro espanso dei raggi cosmici



**L'evento di piu'  
alta energia  
registrato:  
 $3.2 \times 10^{20}$  eV  
Fly's Eye nello  
Utah nel 1991**

- *Scarsa statistica*
- *Si richiede un sostanza  
miglioramento.*

# Il Progetto Pierre Auger

**Proposto da Jim Cronin e Alan Watson nel 1991**

## Obiettivo:

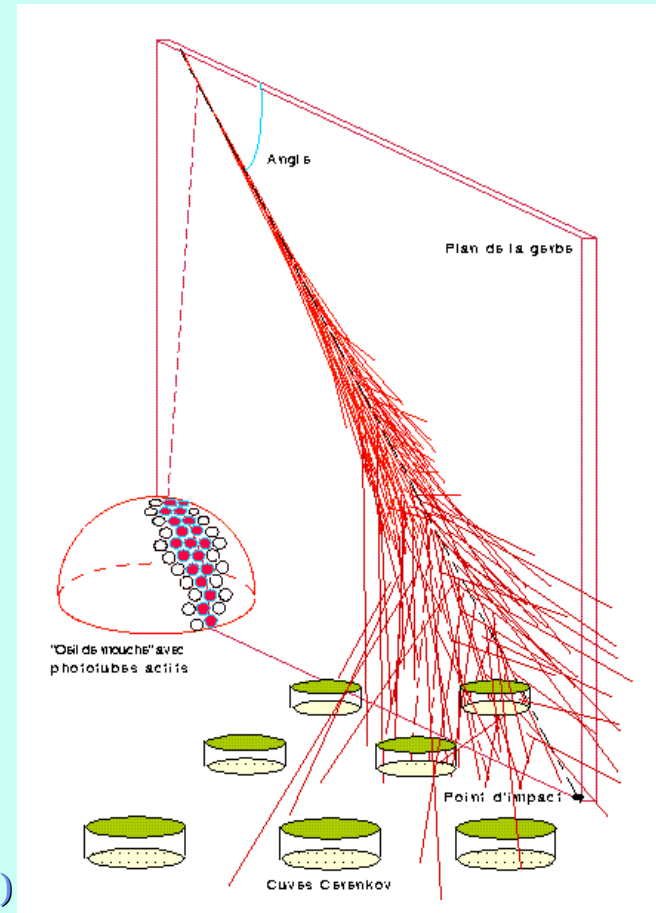
lo studio di:

- energia
- flusso
- direzione (punta verso la sorgente)
- composizione

di UHECR di  $E > 10^{18}$  eV con  
piena efficienza oltre  $10^{19}$  eV

## Proposta:

- Copertura di tutto il cielo (sito Sud e sito Nord)
- grande apertura (3000 km<sup>2</sup> ogni sito )
- Rivelatore ibrido:
  - Rivelatore di Fluorescenza Atmosferica (FD)
  - Array di superficie: Taniche Cerenkov ad acqua (SD)



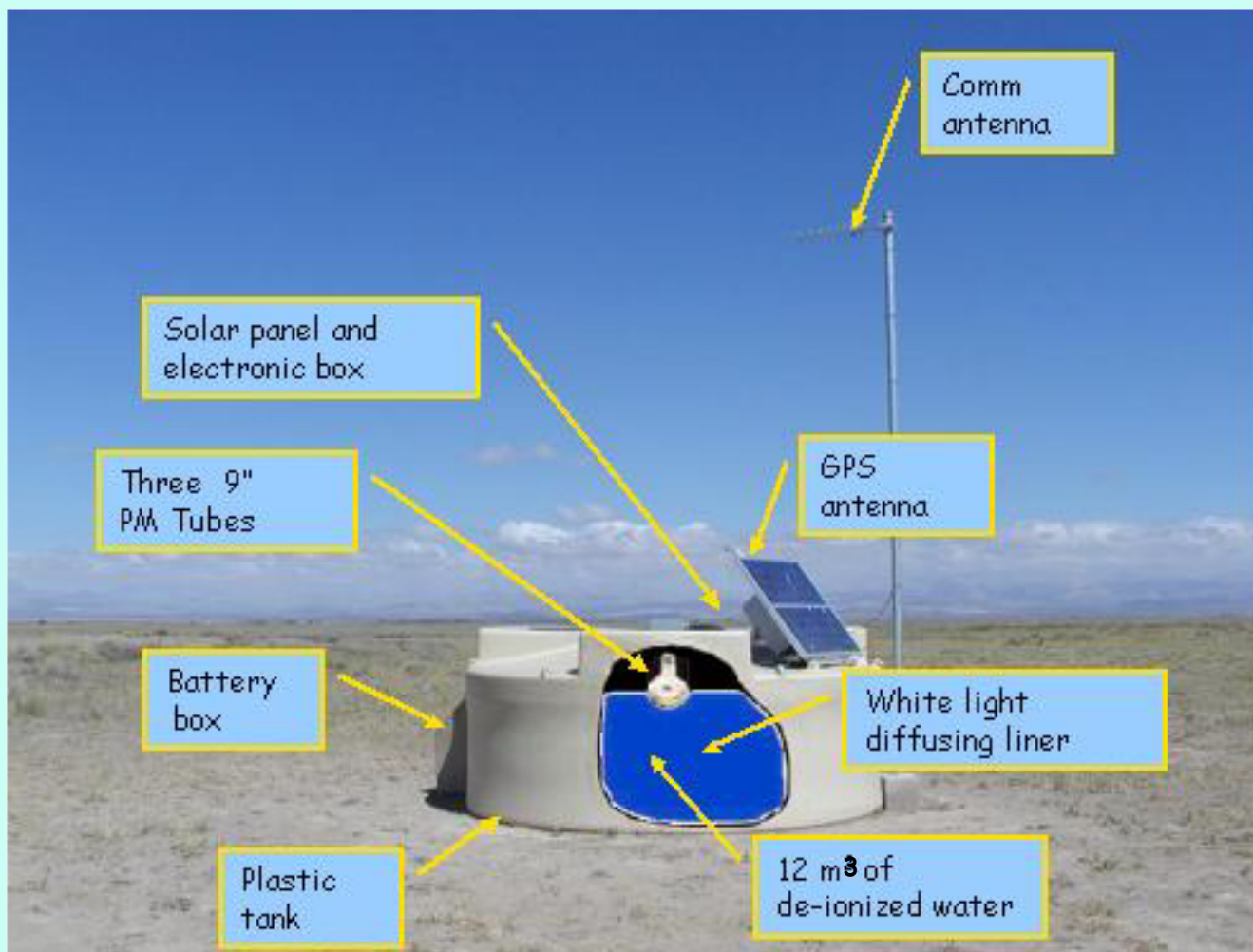
**Ad oggi : piu di 300 ricercatori di 15  
Paesi**

# Un modulo del Rivelatore di Superficie (SD)



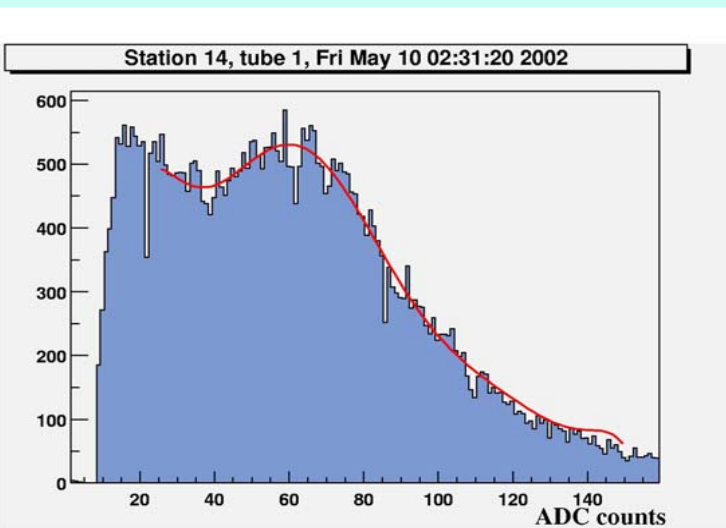
- SD: Array con 1600 taniche tipo Cherenkov ad acqua spaziate di 1.5 km<sup>2</sup>, 1.2 m profondità, tre PMT Photonis XP1805 di 9" .
- FADC di 40 MHz , 15 bit range dinamico (segnale all'anodo e stadio x 32 dal dinodo)
- Alimentazione per pannelli solari
- Sistema di comunicazioni tipo telefonia cellulare
- Un GPS garantisce il timing con 8 ns di risoluzione.
- Disegnato per alta affidabilità durante i 20 anni di vita previsti per l'esperimento.

## Alcuni particolari di un modulo SD



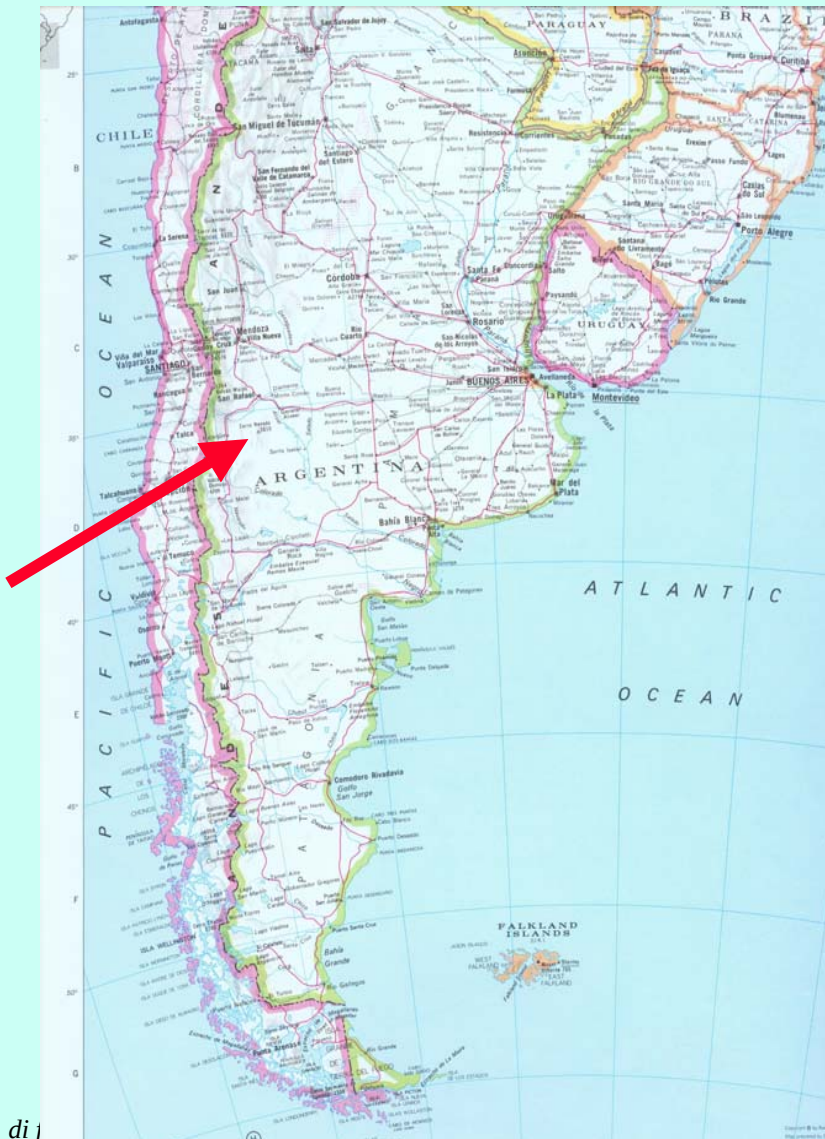
# Calibrazione SD

- La calibrazione si fa con i segnali dei muoni verticali (VEM)
- Eventi: 6 FADC traces, 12.8  $\mu$ s (512 bins of 25 ns)
- Calibrazione con Carmen-Miranda: 8 ns di risoluzione
- Condizioni di Trigger:
  - Trigger di Primo Livello (local station, 100 Hz):
    - single threshold (1.75 VEM in 3 PMTs in 1 bin coincidence)
    - Time over threshold (1 $\mu$ s over 0.2 VEM in a 3 $\mu$ s window)
  - Trigger di Secondo livello (local station, 20 Hz):
    - Signal above 3.2 VEM
    - All TOT triggers
  - Trigger di terzo livello (CDAS, 0.2/s on full array):
    - T2 coincidence of 3, 4 or more neighbouring stations



- Potenza dissipata: inferiore a 10 W (panelli solari)
- Condizioni ambientali: 3 PMTs XP 1805 con base saldata a prova di umidità usando silicona trasparente GE.
- Controllo individuale della HV per i singoli PMTs, mediante modulo HV ETL 9353.
- Unità principale: “Unified Board” con intelligenza locale (PPC), nella quale FEB, GPS, time tagging ASIC, e LED flasher control sono collegate.
- 10 bit 40 MHZ ADC's e amplificazione x 32 nei dinodi per raggiungere 15 bit DR.
- Trigger T1 flessibile con firmware caricato nel ACEX PLD's della Altera.
- Risoluzione GPS: 8 ns
- Eventi di interesse possono essere selezionati come T3 triggers.
- La garanzia di qualità (QA) e' essenziale tenuto conto i 20 anni di durata dell'esperimento.
- L'unità completa e' protetta in un contenitore metallico robusto.

# Il sito Sud



**Sito Sud:**  
**Malargue, Mendoza**  
**Argentina**  
**Lat. 35°S**  
**Long. 69°W**

**Il Progetto Auger comprende anche un secondo sito negli USA.**

**Northern Site:**  
**Utah, USA ( o Colorado)**  
**Lat. 39°N**  
**Long. 113°W**

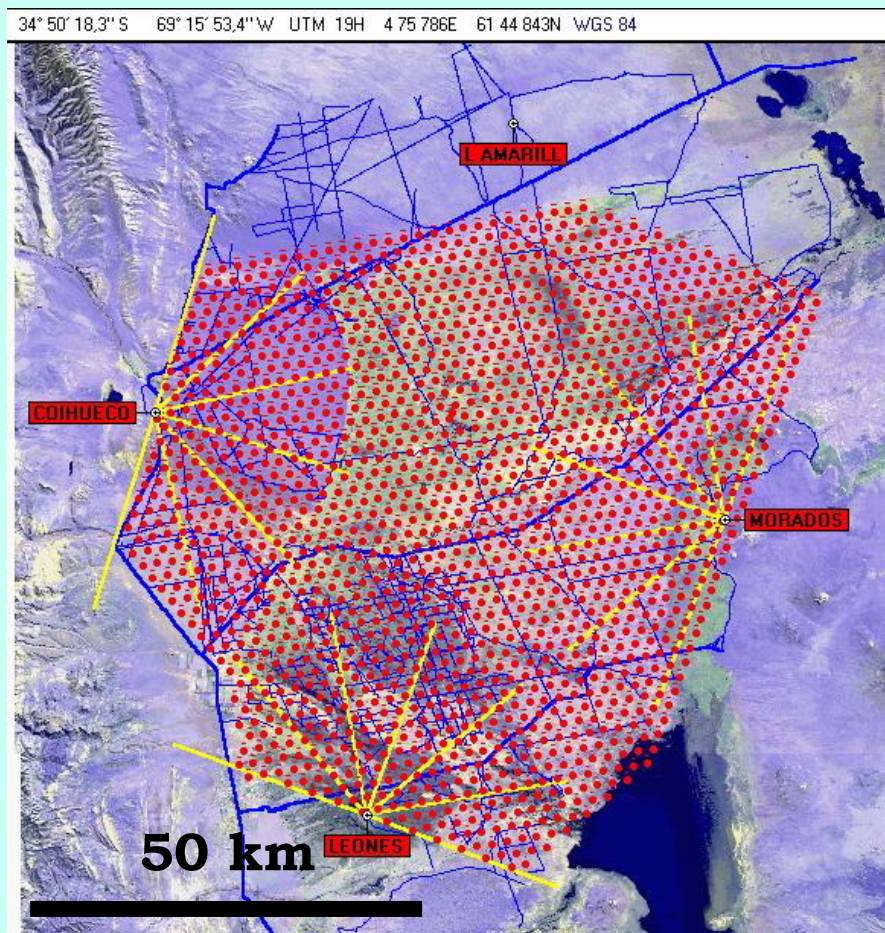
# Caratteristiche del Sito Sud

- Pianure con alcune elevazioni nella periferia
- Latitudine: 35° South
- 1350 m.a.s.l. (880 g/cm<sup>2</sup>)
- Buona infrastruttura a Malargüe e a San Rafael
- Scarsa inquinazione luminosa
- Atmosfera chiara

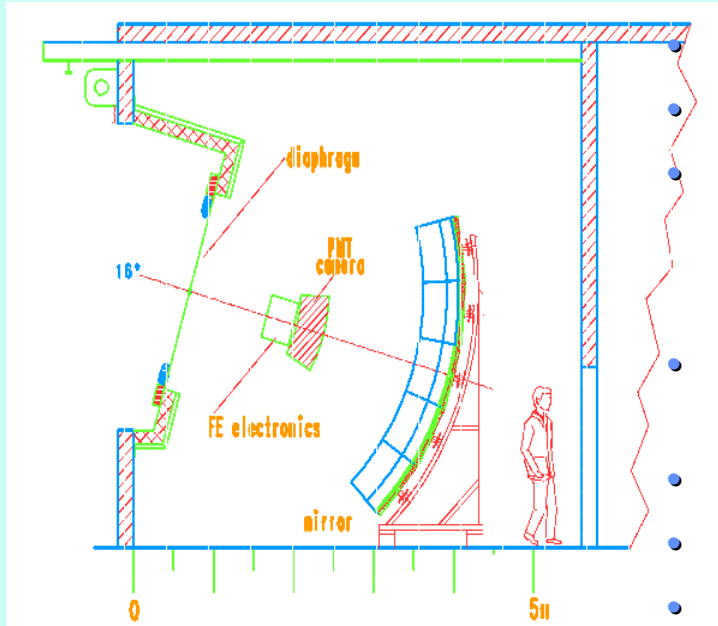


# L' Osservatorio Sud

- 3000 km<sup>2</sup>
- 1600 moduli SD spazati 1.5 km in una griglia triangolare
- 4 edifici per il FD nella periferia, con 6 telescopi c/u

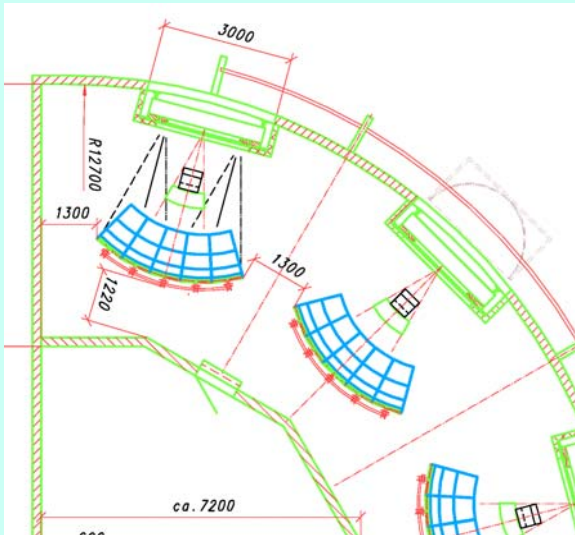


# Il Rivelatore di Fluorescenza (FD)



- 4 FD edifici con 6 telescopi c/u con copertura di  $30^\circ \times 30^\circ$
- Ottica di Schmidt, diaframma di diam.  $D=2.2$  m.  
Corrector ring annullare di 25 cm
- Filtro UV (Mug-6) nella apertura.
- Specchi di  $3,5\text{m} \times 3,5\text{m}$  sferici e segmentati ( $R_c=3.4\text{m}$ ):
  - Specchi di Al con copertura di AlMgSi 0.5
  - Vetri, coperti con Al anodizzato
- Camera di  $20 \times 22$  PMTs (Photonis, XP3062), 40 mm  $\varnothing$ ,  $1.5^\circ$  di apertura per pixel.
- Diametro dello spot:  $0.5^\circ$
- 10 MHz ADC sampling
- Trigger (secondo livello): identificazioni di patterns.
- Terzo livello di trigger: track lunghezza traccia e compatibilità spazio-temporale ( $\sim 5/\text{ora}$ ) - inviati a CDAS.

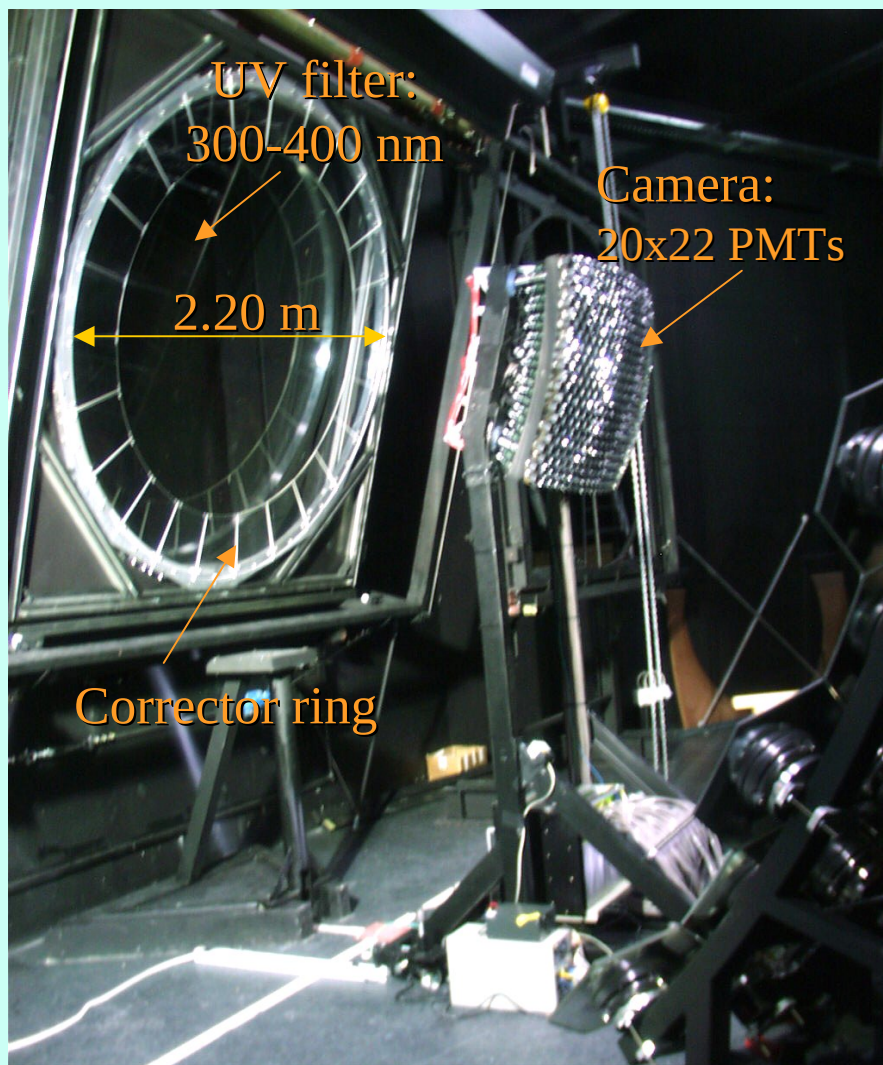
# Edificio del FD a Los Leones



## Vista dalla torre di comunicazione



# Uno dei telescopi del Rivelatore di Fluorescenza



# Spin-off di Auger : sistema innovativo per la trasmissione lineare di segnali analogici mediante lo Specchio di Corrente ad Accoppiamento Ottico (OCCM)

- *Introduzione.*
- *Amplificatori DC isolati Galvanicamente.*
- *L'OCCM e le sue applicazioni con dei PMTs e rivelatori a ionizzazione.*
- *Comportamento a temperature criogeniche.*
- *Status di un link a fibra ottica con architettura OCCM.*

# Dotando i telescopi puntati al cielo, della possibilità di identificare segnali di stelle mediante PMTs polarizzati con catodo a massa

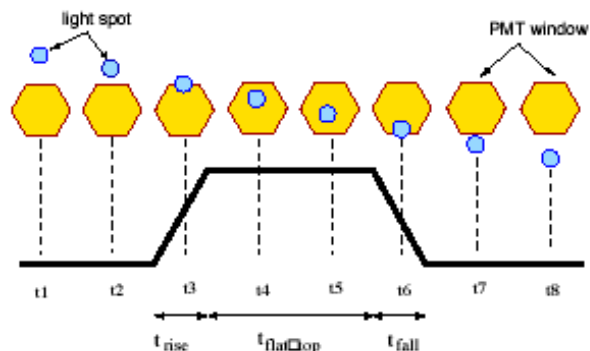
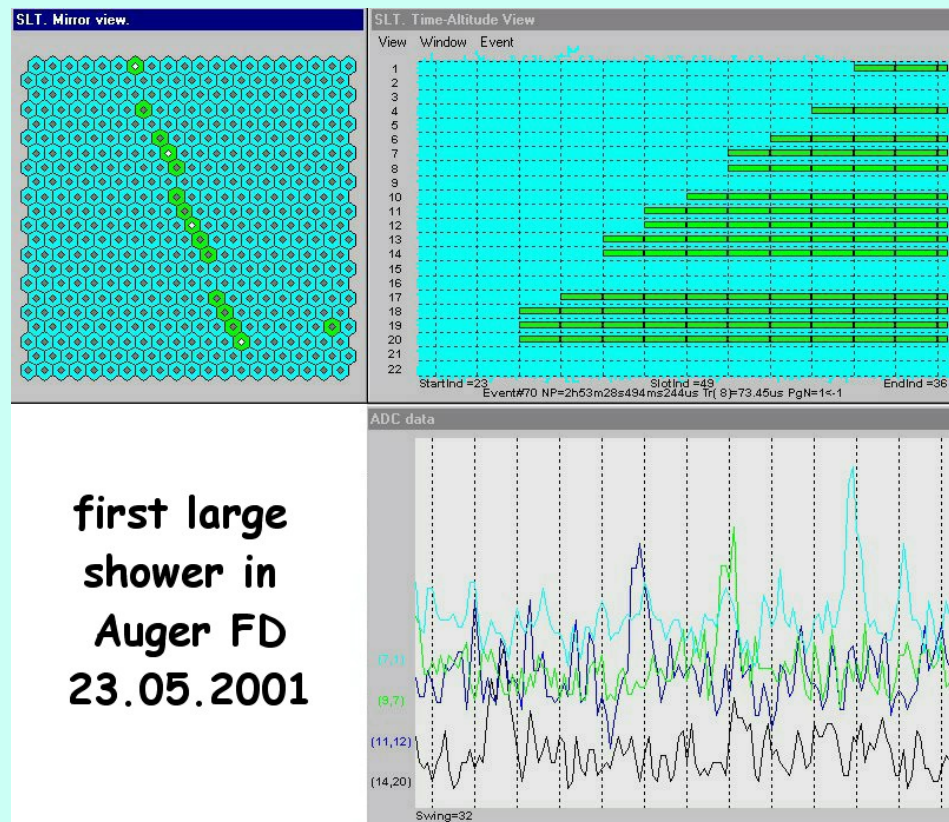


Figure 3-7. Shape of the signal generated at a PMT of a FD Mirror

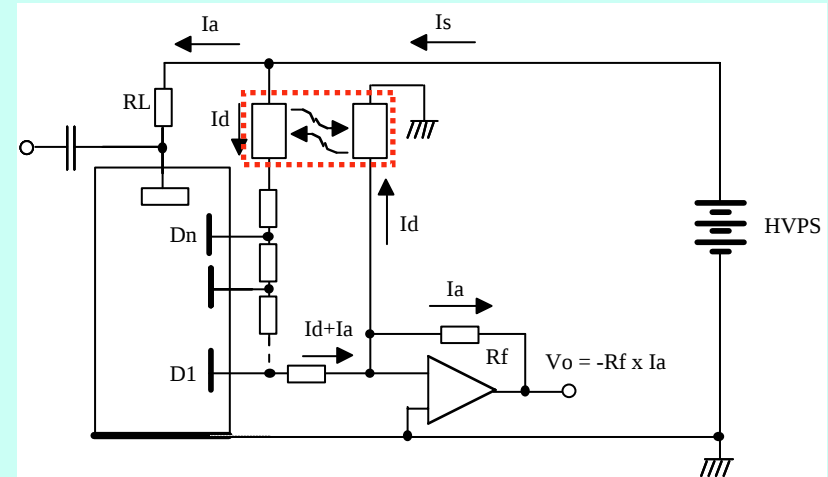
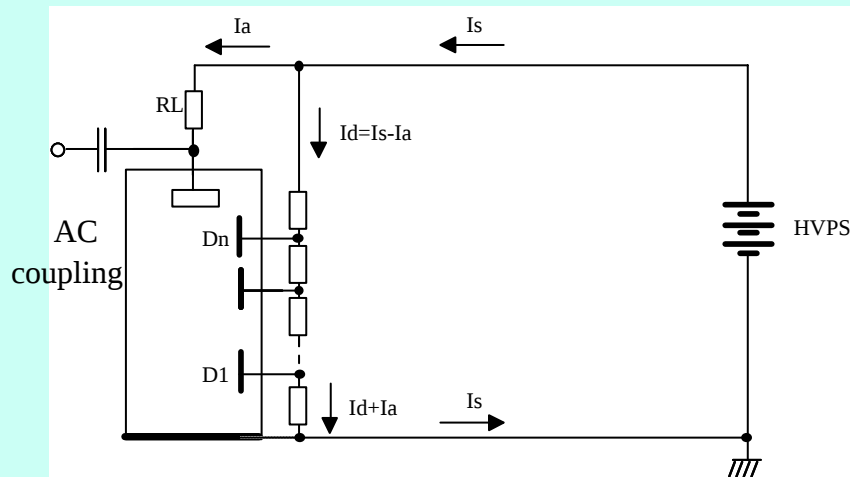


**first large  
shower in  
Auger FD  
23.05.2001**

Un tipico segnale di uno sciame ha  
una durata di  $\sim 0.3 - 10 \mu\text{s}$

**Durata di un segnale di una  
stella: dai 5 ai 10 min.**

# Il bilancio delle correnti in un PMT polarizzato con HV positiva

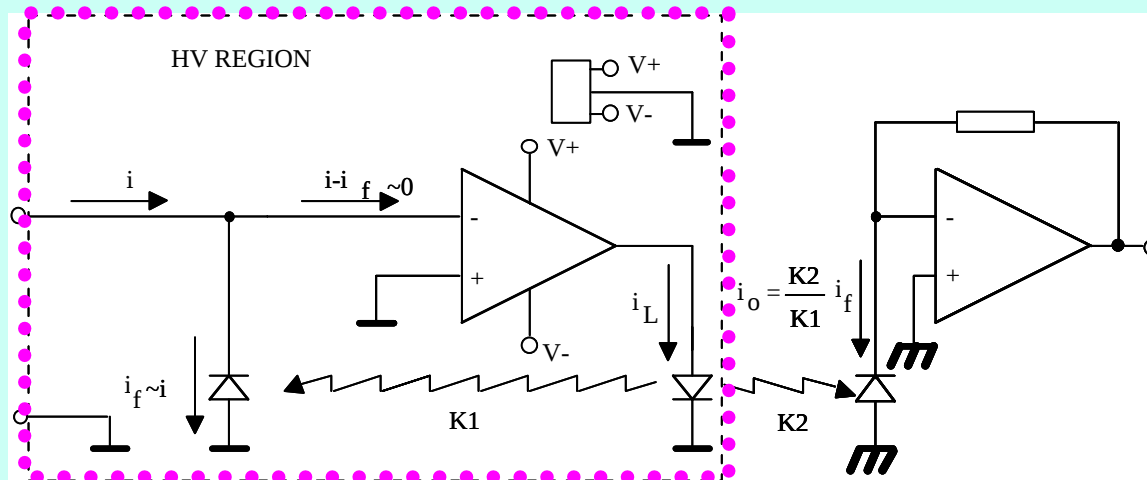


*Specchiare Inaccettabile a potenziale di massa permetterebbe di produrre una tensione proporzionale alla componente lentamente variabile della corrente di anodo (tipicamente segnali di stelle o pianeti)*

# Come specchiare la corrente del partitore?

Stato dell'arte degli amplificatori isolati Galvanicamente:

- 1973, Schema di J. Sunderland



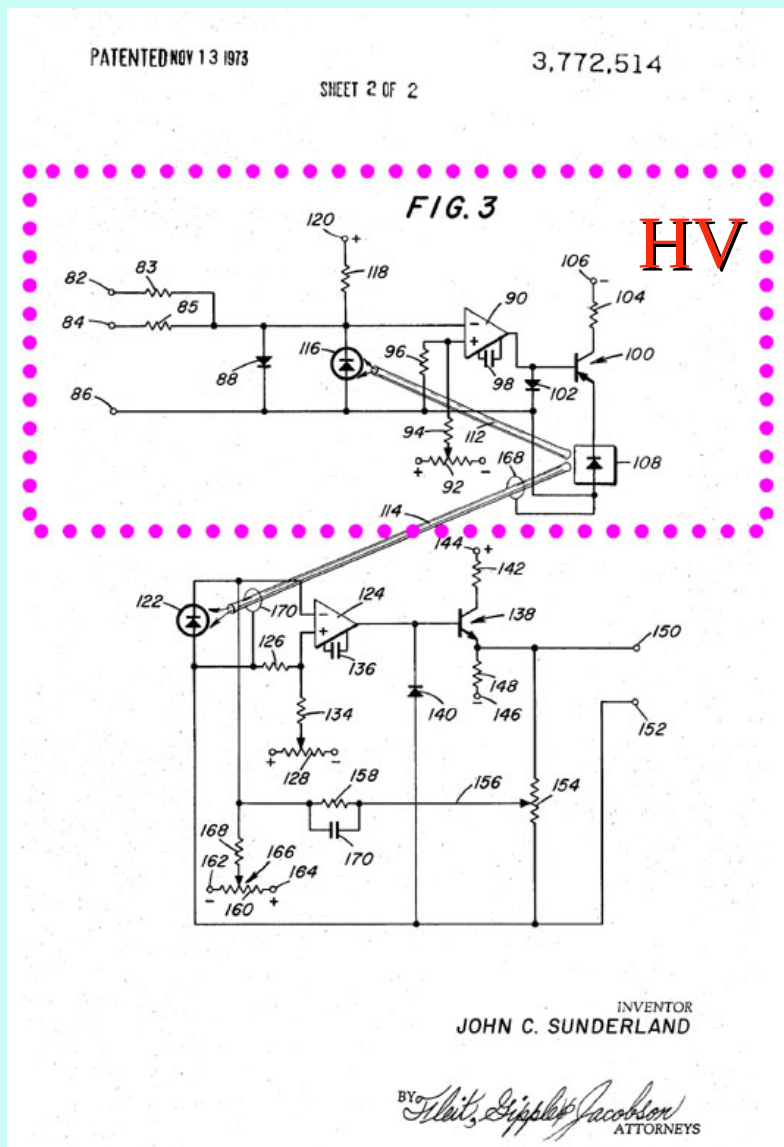
- LV richiesto al potenziale HV.
- Negli ultimi 30 anni sono state fornite numerose idee per portare LV alla regione HV.

- 1995, Hodson (*Texas Instrument*):

- Introduzione del “Linear Optocoupler”
- Comunque, LV nella regione isolata fu sempre richiesta.
- **Inaccettabile per Auger ! (24 x 440 PMTs)**

QuickTime™ and a  
TIFF (Group 4 Fax) decompressor  
are needed to see this picture.

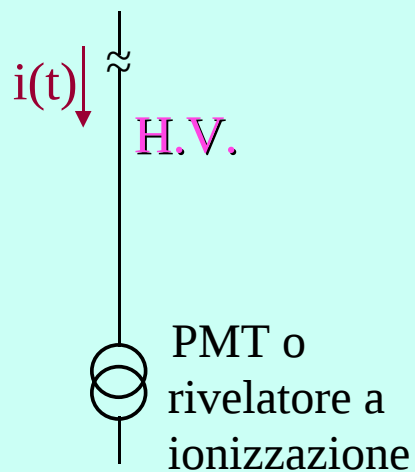
# Lo schema di John C. Sunderland



# Lo Specchio di Corrente ad Accoppiamento Ottico (OCCM)

1st step

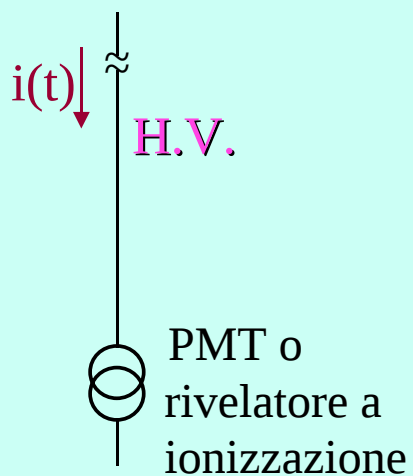
(1) Rivelatore polarizzato



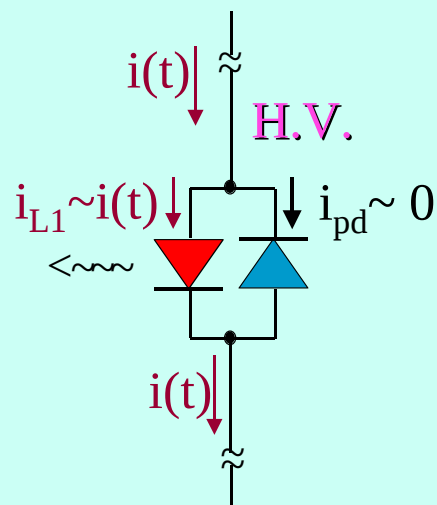
# OCCM

## 2nd step

### (1) Rivelatore Polarizzato

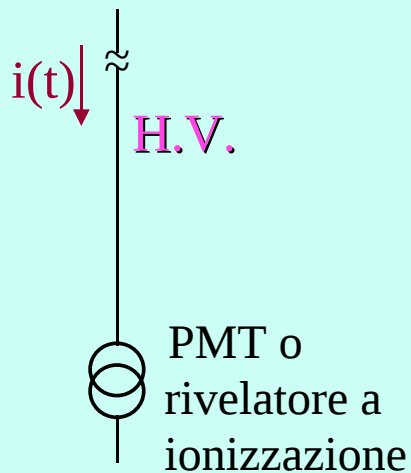


### (2) Interposizione di un LED e un fotodiiodo

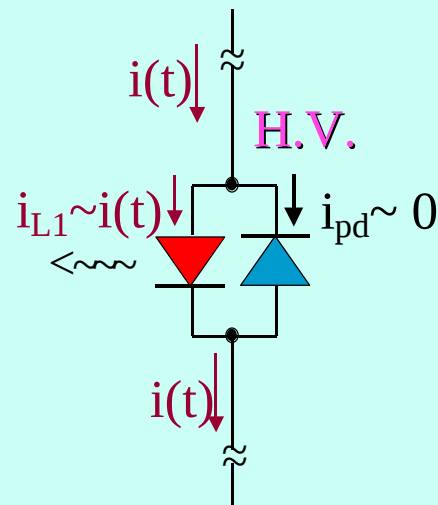


## 3rd step

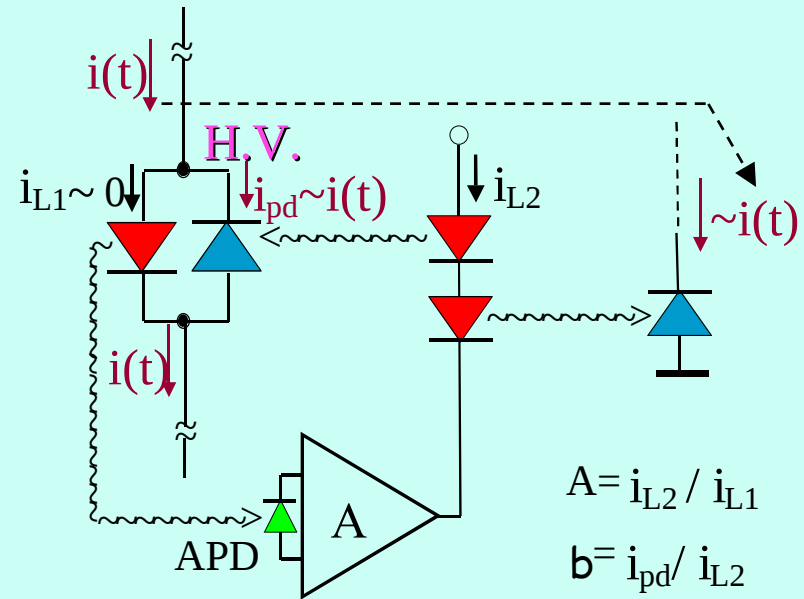
### (1) Rivelatore Polarizzato



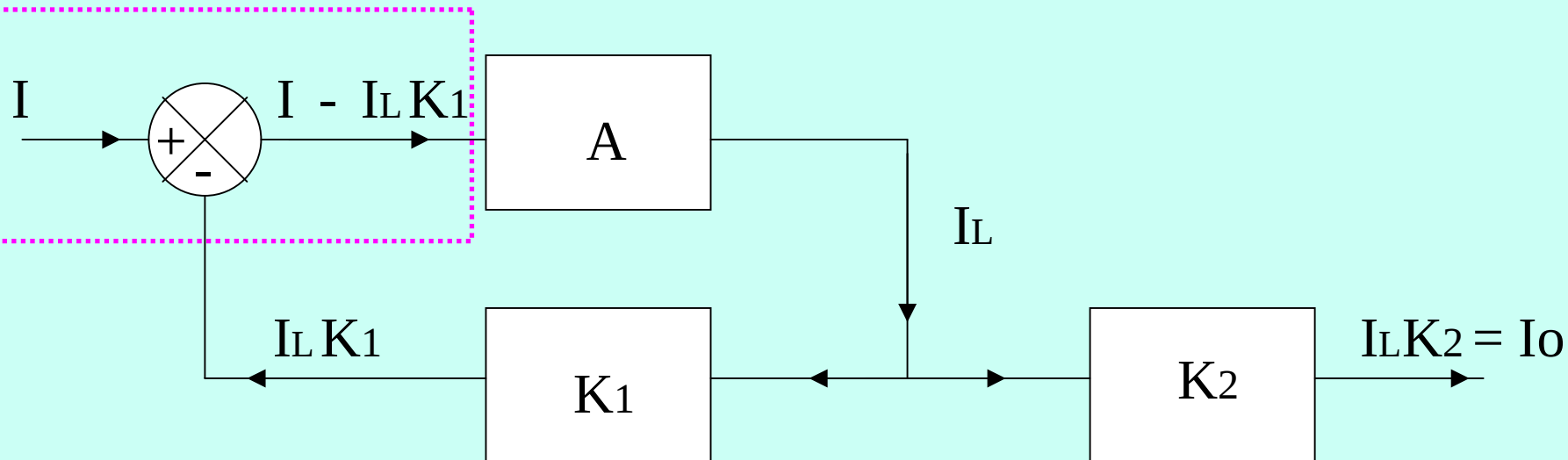
### (2) Interposizione di un LED e un fotodiode



### (3) La retroazione scambia le correnti nel LED e nel fotodiode; $i(t)$ viene specchiata.



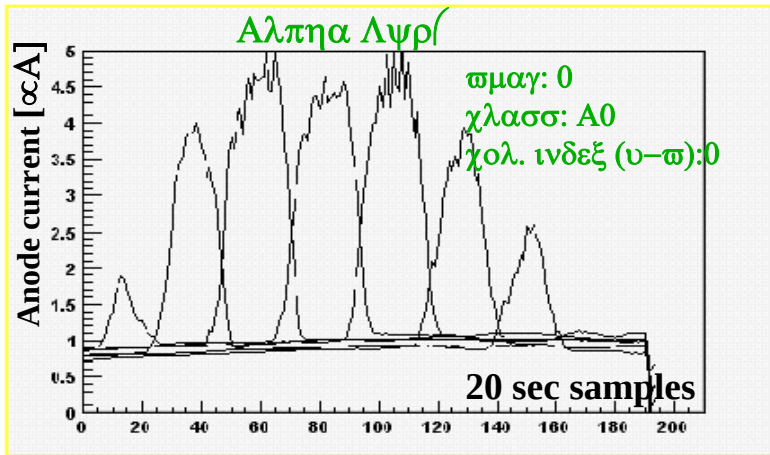
# L'OCCM: un sistema retroazionato.



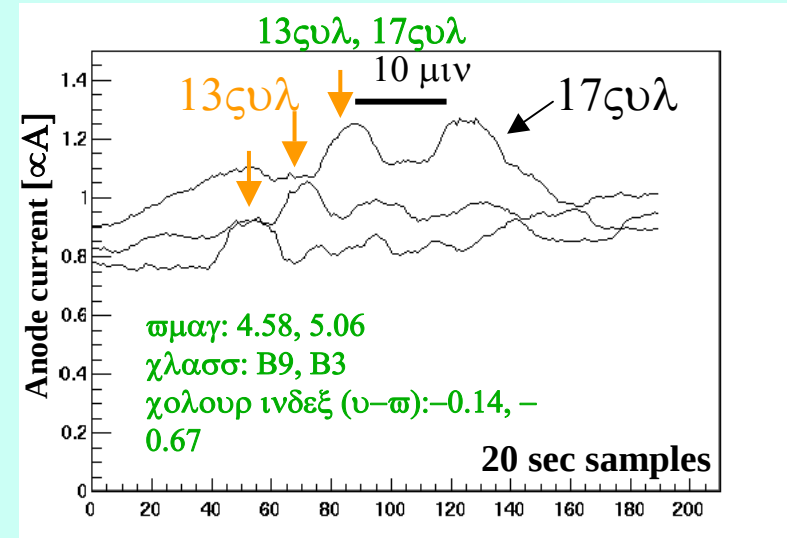
$$I_o = I \cdot \frac{K_2}{K_1} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{AK_1}} = I \cdot K'_3$$

# Risultati rilevanti ottenuti con l'OCCM:

## a) Le prime tracce di stelle



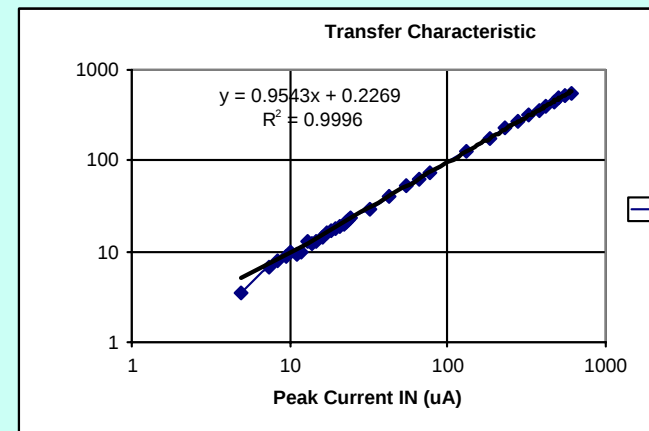
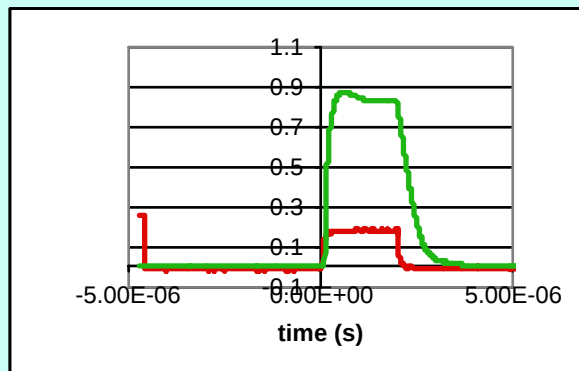
Stefano Argiro, Viviana Scherini, Daniel Camin. Malargue 25-06-2001



Guadagno del PMT  $\sim 4.1 \times 10^4$

Risoluzione riferita al fotocatodo: inferiore a 1 pA.

## b) i primi impulsi inviati via fibra ottica:

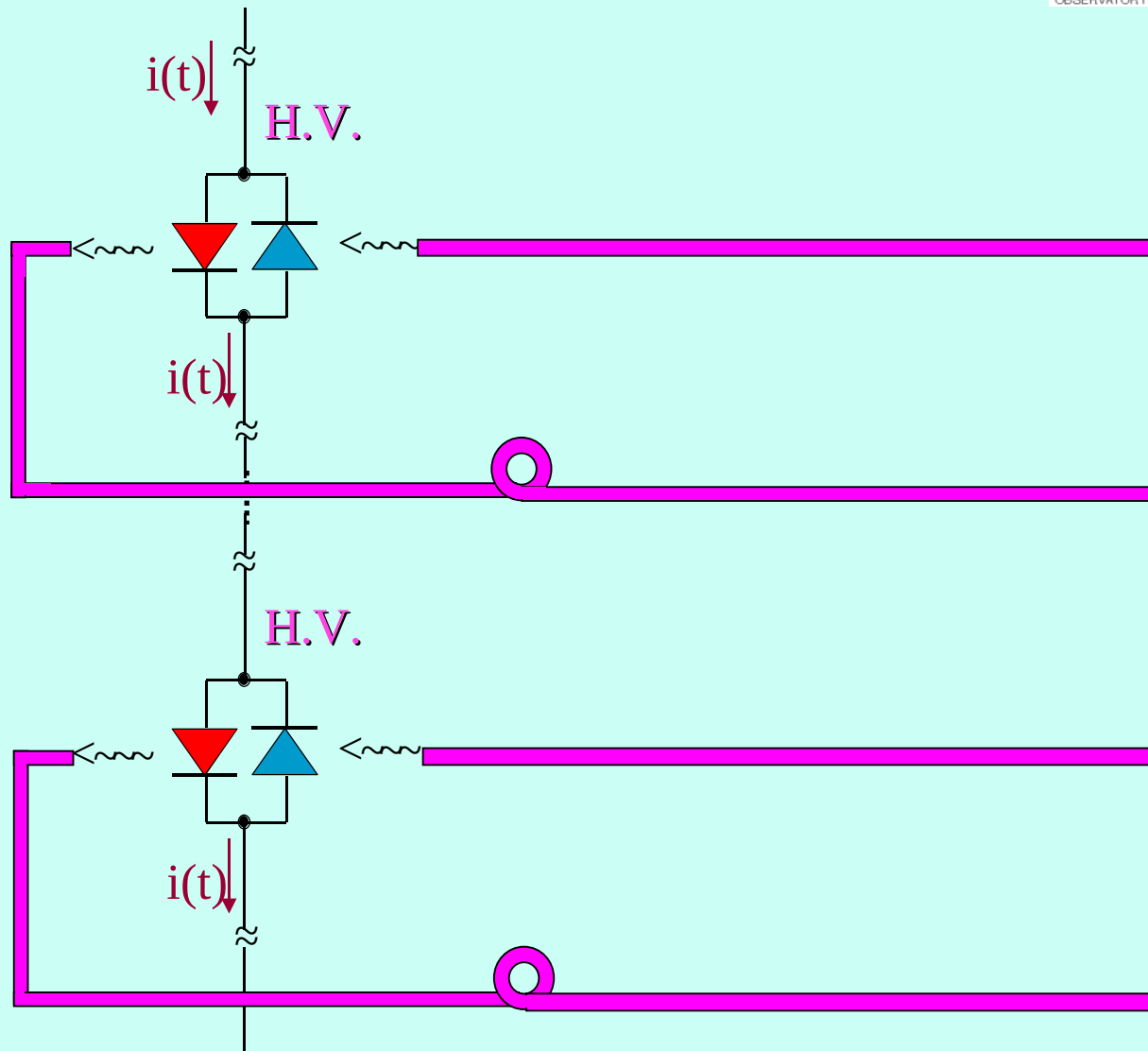


# Incrementando il range dinamico

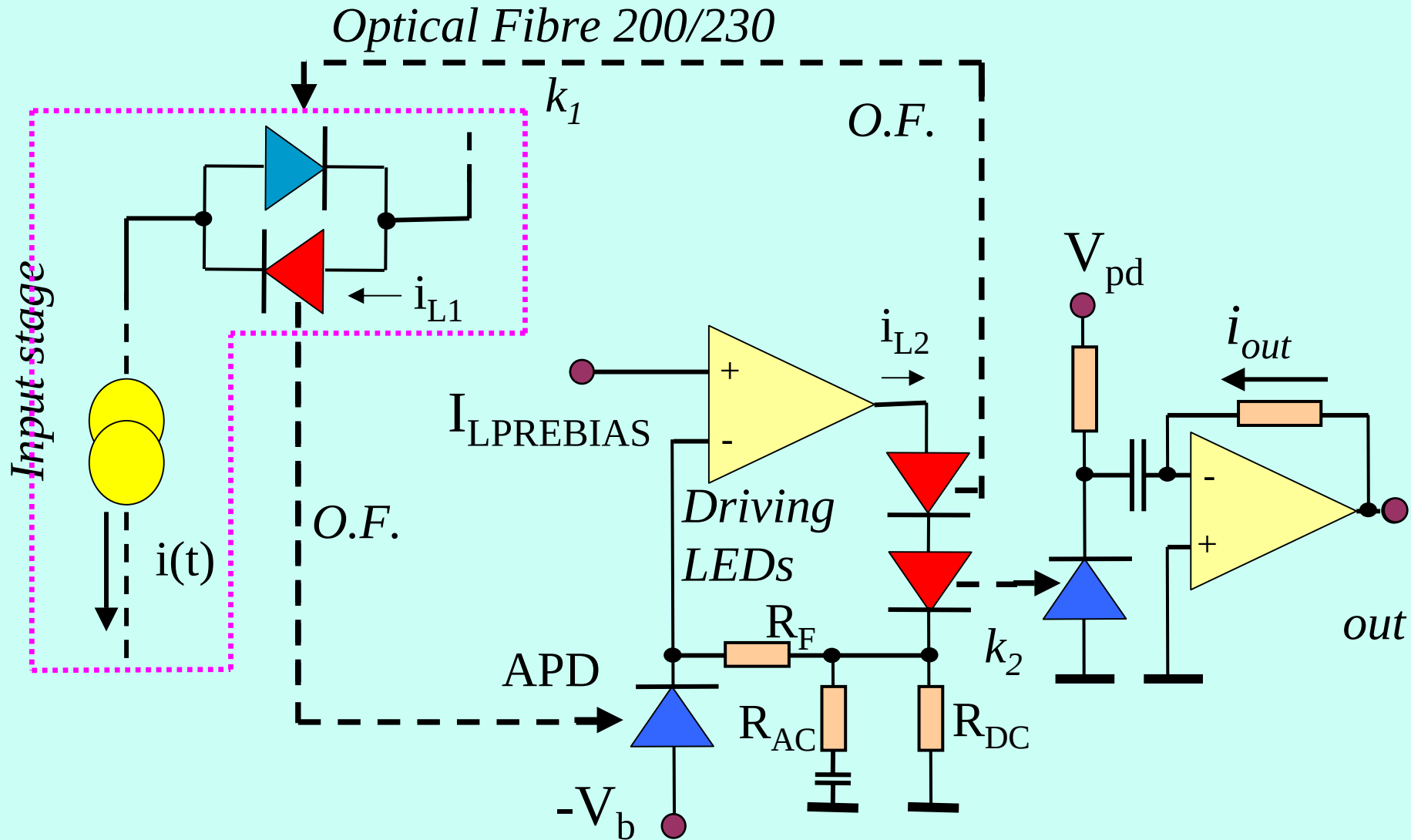
Stage with gain 1



Stage with gain N



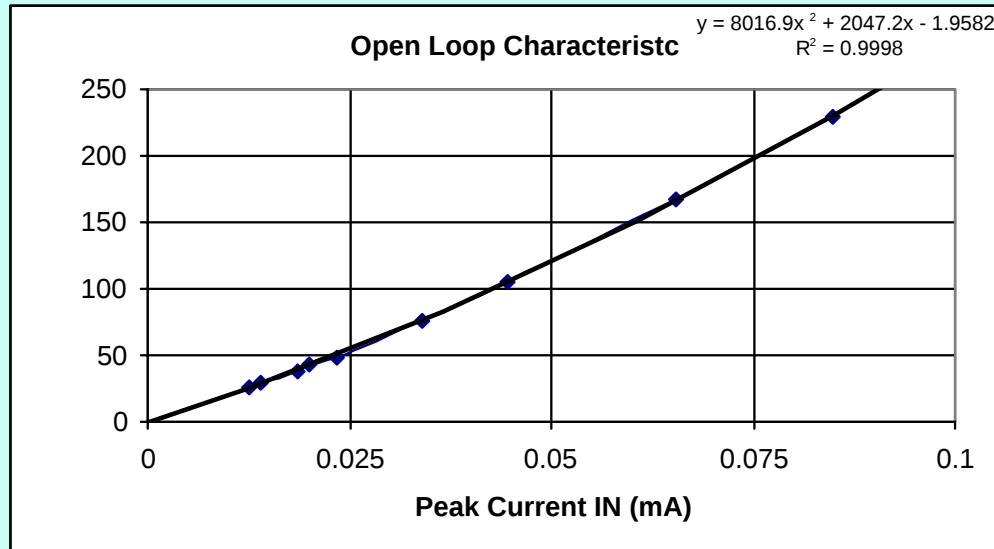
# Il OCCM usato nella trasmissione di segnali analogici via fibra ottica



# Regime impulsivo: risultati sperimentali

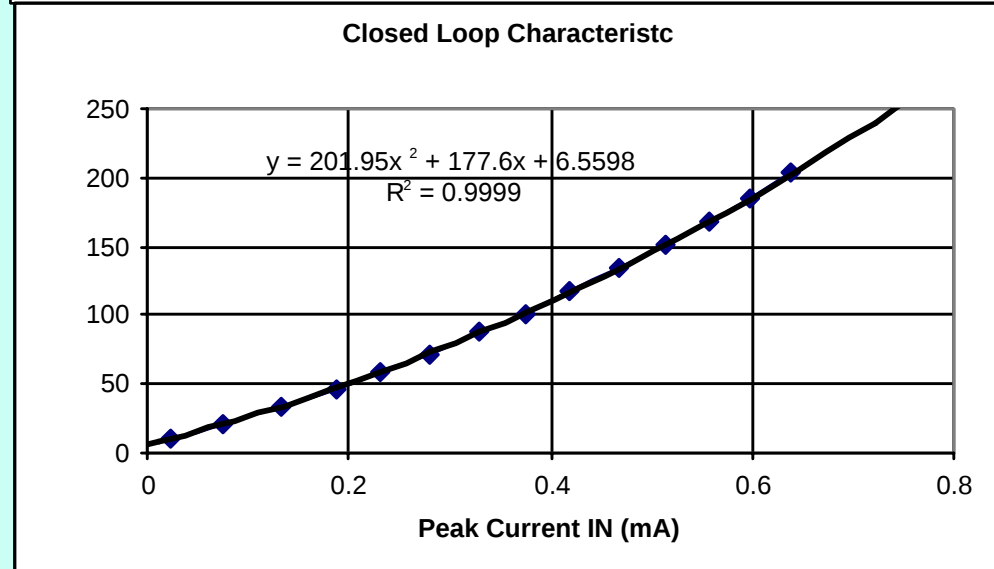
## Corrente nei *driving-LEDs* vs. corrente d'ingresso.

Anello aperto:  
saturazione a  
 $i_{in} \sim 85 \mu A$



Guadagno per  
piccolo segnale:  
 $A = 2047$

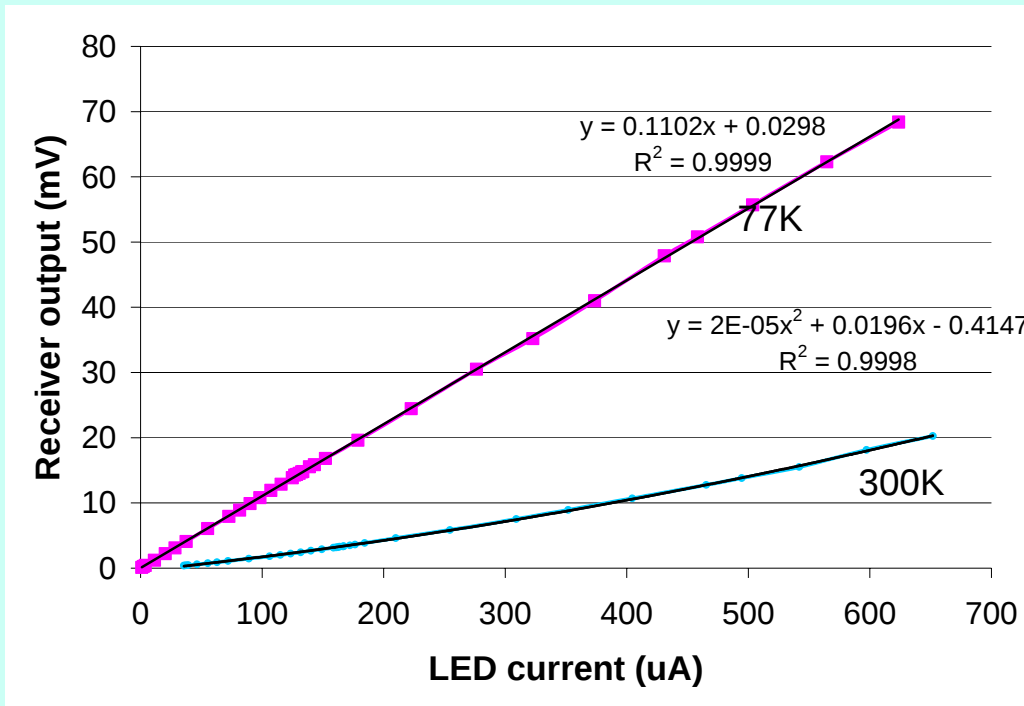
Anello chiuso:  
saturazione a  
 $i_{in} \sim 750 \mu A$



Fattore di retroazione:  
 $\beta = (178)^{-1} = 5.6 \cdot 10^{-3}$   
Guadagno d'anello:  
 $A\beta = 11.5$

# Comportamento di un LED AlGaAs a 300K e 77 K

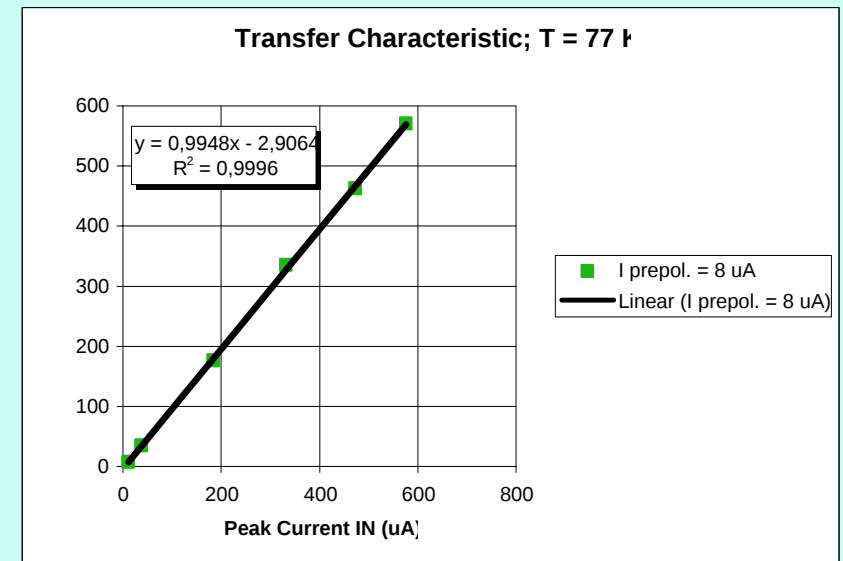
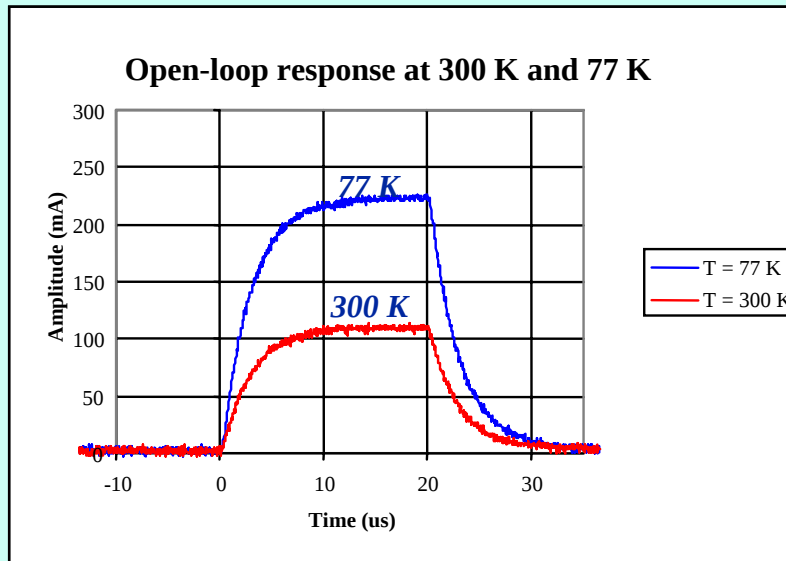
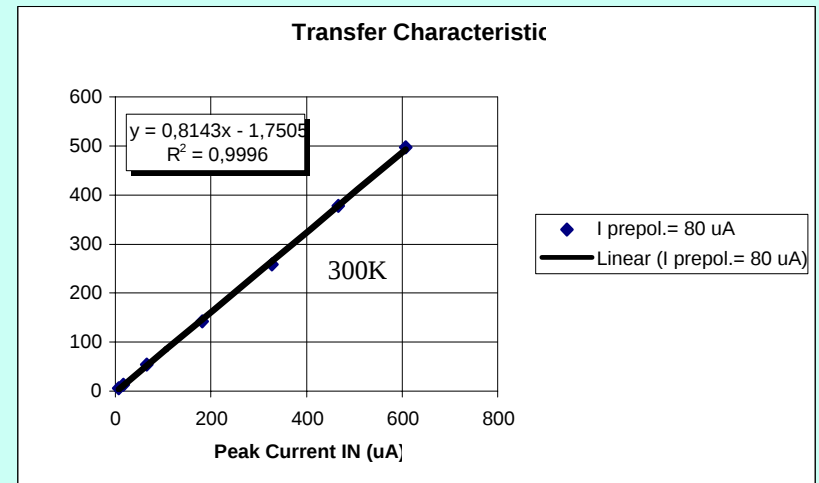
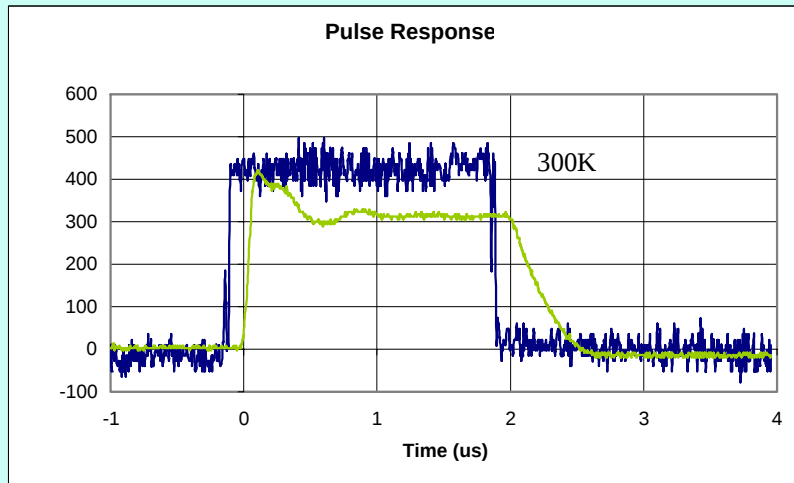
*A 77K il termine lineare migliora di un fattore x 5.6*



**A 77 K la efficienza del LED e' un fattore 5.6 più alta anche a correnti molto piccole nel LED d'ingresso, come richiesto dall'architettura OCCM.**

Light receiver: Agilent 2406 (pin photodiode followed by an amplifier)

# Regime impulsivo: caratteristiche compressive I/O



## (12) United States Patent Camin



US006316930B1

(10) Patent No.: **US 6,316,930 B1**

(45) Date of Patent: **Nov. 13, 2001**

(54) **DIRECT CURRENT METER WITH PASSIVE INPUT AND GALVANIC INSULATION, PARTICULARLY FOR HIGH VOLTAGE**

(75) Inventor: **Daniel V. Camin, Milan (IT)**

(73) Assignee: **Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Frascati (IT)**

(\*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 0 days.

(21) Appl. No.: **09/467,895**

(22) Filed: **Dec. 21, 1999**

(30) **Foreign Application Priority Data**

Dec. 21, 1998 (IT) ..... **MI98A2754**

(51) Int. Cl.<sup>7</sup> ..... **G01R 31/00**

(52) U.S. Cl. .... **324/97; 324/96**

(58) Field of Search ..... **324/97, 96, 126, 324/127**

(56) **References Cited**

**U.S. PATENT DOCUMENTS**

3,772,514 11/1973 Sunderland ..... 250/551  
4,070,572 1/1978 Summerhayes ..... 324/96 X

4,316,141 \* 2/1982 Adolfsen et al. .... 324/96  
5,107,202 \* 4/1992 Renda ..... 324/96  
5,389,578 \* 2/1995 Hodson et al. .... 437/209  
5,654,559 \* 8/1997 Spaeth et al. .... 257/82  
6,166,816 \* 12/2000 Blake ..... 324/96 X

### OTHER PUBLICATIONS

Patent Abstracts of Japan, vol. 007, No. 051 (P-179), Feb. 26, 1983 & JP 57 199961 A (Mitsubishi Denki KK), Dec. 8, 1982.

\* cited by examiner

Primary Examiner—Safet Metjahic

Assistant Examiner—T. R. Sundaram

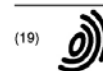
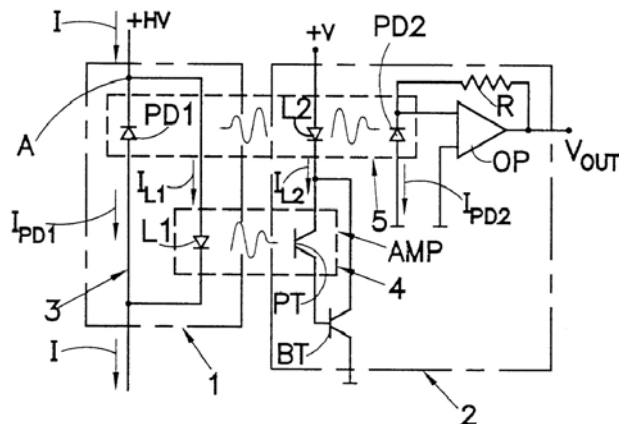
(74) Attorney, Agent, or Firm—Nixon & Vanderhye, P.C.

(57)

### ABSTRACT

There is described a direct current meter with passive input and galvanic insulation, particularly for high voltage. The direct current meter is made up of a passive input part and of an active output part that is optically coupled to the passive part and electrically insulated from it. In this way the high voltage present at the input only affects the passive part of the meter, whereas the active part can be supplied with a low voltage and can be made capable to provide an output signal proportional to the current to be measured and substantially independent from the working temperature.

**6 Claims, 1 Drawing Sheet**



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11) **EP 1 014 098 B1**

(12)

### EUROPEAN PATENT SPECIFICATION

(45) Date of publication and mention of the grant of the patent:  
**23.04.2003 Bulletin 2003/17**

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>: **G01R 15/22**

(21) Application number: **99204319.0**

(22) Date of filing: **15.12.1999**

(54) **Direct current meter with passive input and galvanic insulation, particularly for high voltage**  
Gleichstrommessgerät mit passivem Eingang und mit galvanischer Isolierung, insbesondere für Hochspannung

Appareil de mesure de courant continu avec entrée passive et isolation galvanique, en particulier pour haute tension

(84) Designated Contracting States:  
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE**

(74) Representative: **Mittler, Enrico**  
c/o Mittler & C. s.r.l.,  
Viale Lombardia, 20  
20131 Milano (IT)

(30) Priority: **21.12.1998 IT MI982754**

(43) Date of publication of application:  
**28.06.2000 Bulletin 2000/26**

(56) References cited:  
**US-A- 3 772 514 US-A- 4 070 572**  
**US-A- 4 316 141**

(73) Proprietor: **ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE**  
**I-00044 Frascati (RM) (IT)**

\* **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN** vol. 007, no. 051 (P-179), 26 February 1983 (1983-02-26) & JP 57 199961 A (MITSUBISHI DENKI KK), 8 December 1982 (1982-12-08)

(72) Inventor: **Camin, Daniel Victor**  
**20141 Milano (IT)**

**EP 1 014 098 B1**

Note: Within nine months from the publication of the mention of the grant of the European patent, any person may give notice to the European Patent Office of opposition to the European patent granted. Notice of opposition shall be filed in a written reasoned statement. It shall not be deemed to have been filed until the opposition fee has been paid. (Art. 99(1) European Patent Convention).

Printed by Jouve, 75001 PARIS (FR)

# Riassunto relativo allo spin-off OCCM

- L'architettura OCCM permette di specchiare linearmente, via mezzi ottici, un segnale DC, quasi-DC, o pulsato e veloce, che scorre *nell'ingresso passivo* dell' OCCM.
- No e' richiesto di fornire alcun potenziale di alimentazione alla regione isolata.
- Quando lo stadio d'ingresso viene raffreddato *a 77 K*, la performance dell'OCCM migliora nettamente: *il guadagno di anello aumenta un fattore due* e la *soglia per il segnale diminuisce*. Questa particolarità apre delle opportunità specialmente per i rivelatori criogenici.
- L'OCCM e' stato *installato e ha prodotto dei dati di stelle con gli 880 PMTs* dei due telescopi prototipali di Auger.
- Recentemente si e' verificata la trasmissione di segnali analogici via fibra ottica mediante l'OCCM in una banda di *5 MHz* e con un range dinamico di *100:1*. Un punto d'inizio ragionevole con molto spazio per ulteriori miglioramenti.
- *Il range dinamico* potrebbe *aumentare* collegando diversi stadi a guadagno diverso in serie con lo stadi d'ingresso. *Questa possibilità e in fase di studio*.
- Gli unici *componenti sotto eventuali rischi di radiazione* : il LED, il photodiode e la fibra.

# La Elettronica del FD (FDE)

- Progettata per mantenere il rumore totale non piu' del 10 % al di sopra del rumore originato dalla luce di fondo-ciolo.
- 15 bit DR con 12 bit 10 MHz ADC's, ottenuto mediante il "canale virtuale"
- Analog Board con filtro antialiasing tipo Bessel.
- Trigger flessibile implementato con Altera's PLD's
- Timing basato su GPS.

## Uno spin-off dello sviluppo della FDE:

- Sono state misurate delle stelle di debole intensità con i primi due telescopi equipaggiati con un sistema optoelectronic innovativo: il "Optically-Coupled Current Mirror".
- Questa innovazione fu brevettata negli Stati Uniti e nella CE.
- E' in corso l'ottimizzazione per la trasmissione di segnali veloci via fibra ottica.

# Calibrazione FD e monitoraggio atmosferico

- Calibrazione end-to-end (drum calibration)
- Calibrazione relativa mediante fibre ottiche e Xe flasher
- Monitoraggio atmosferico :

Steerable Lidar: 355 nm YAG laser, 6ns pulses of 6nJ @ 10 Hz

- Misure di attenuazione orizzontale.
- Aerosol phase function
- Radiosonda in palloni per la determinazione del profilo atmosferico (P,T)
- Monitore di nuvole
- Controllo meteorologico

# La fase prototipale di Auger: Engineering Array (EA)

## Obiettivi:

- Verificare che tutti i sottosistemi si comportino come specificato.
- Verificare la possibilità di raccogliere e ricostruire degli eventi ibridi.
- La fase prototipale fu superata nel 2002.

## I rivelatori:

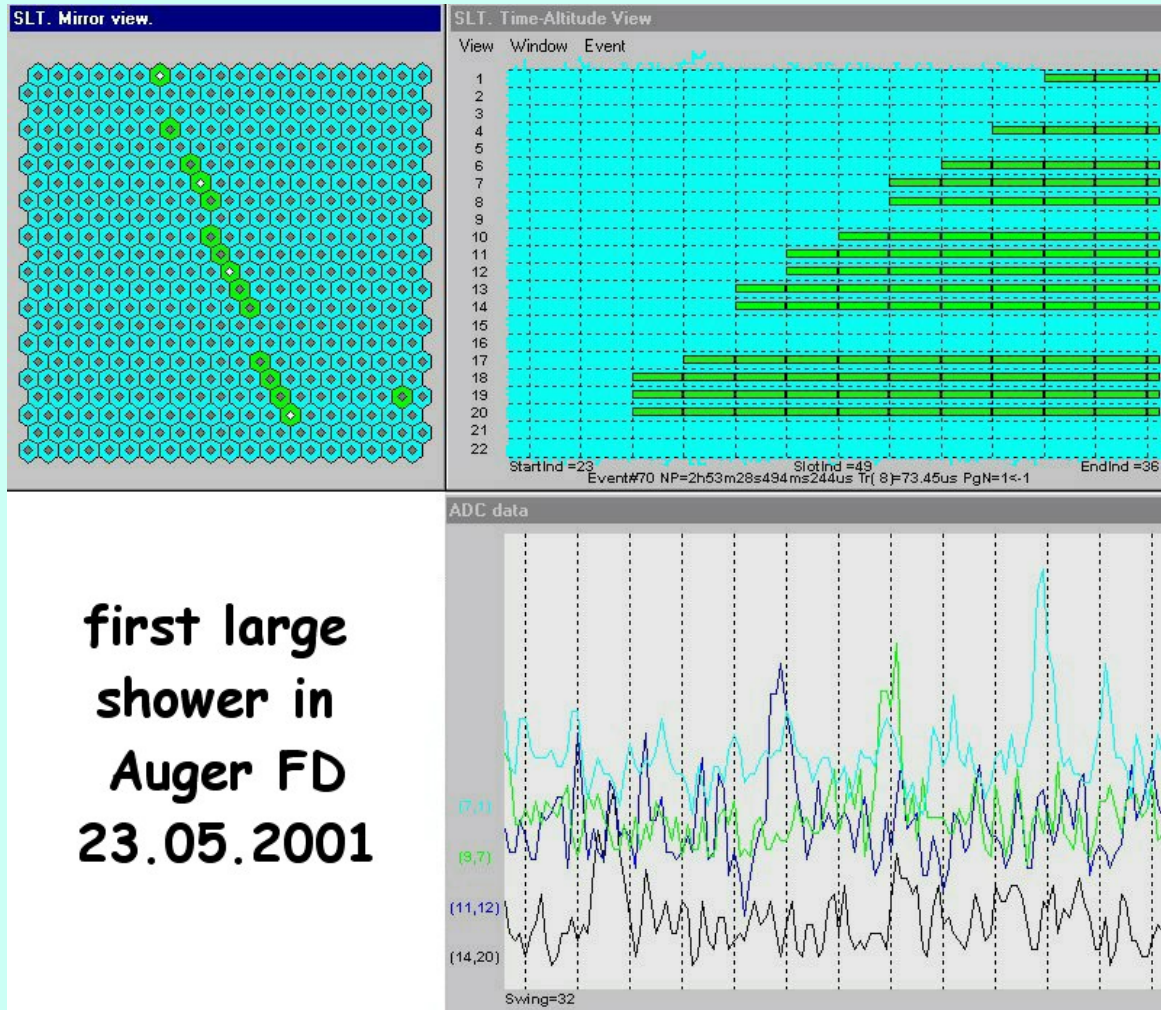
- 32 moduli SD
- 2 FD telescopi nel cerro Los Leones.

## Risultati:

- Si è migliorato il design e la costruzione delle taniche (moduli, elettronica e cablaggio).
- Si sono sviluppati delle procedure per facilitare l'installazione delle taniche sul sito.
- Due taniche distanziate alcuni metri fra di loro ( Carmen e Miranda) .
- Il FD ha funzionato con l'11 % di duty-cycle, raccogliendo oltre 1000 eventi.
- Si e' realizzata una sincronizzazione dei impulsi laser.
- Sono stati raccolti circa 80 eventi ibridi fra il 2001 e 2002.

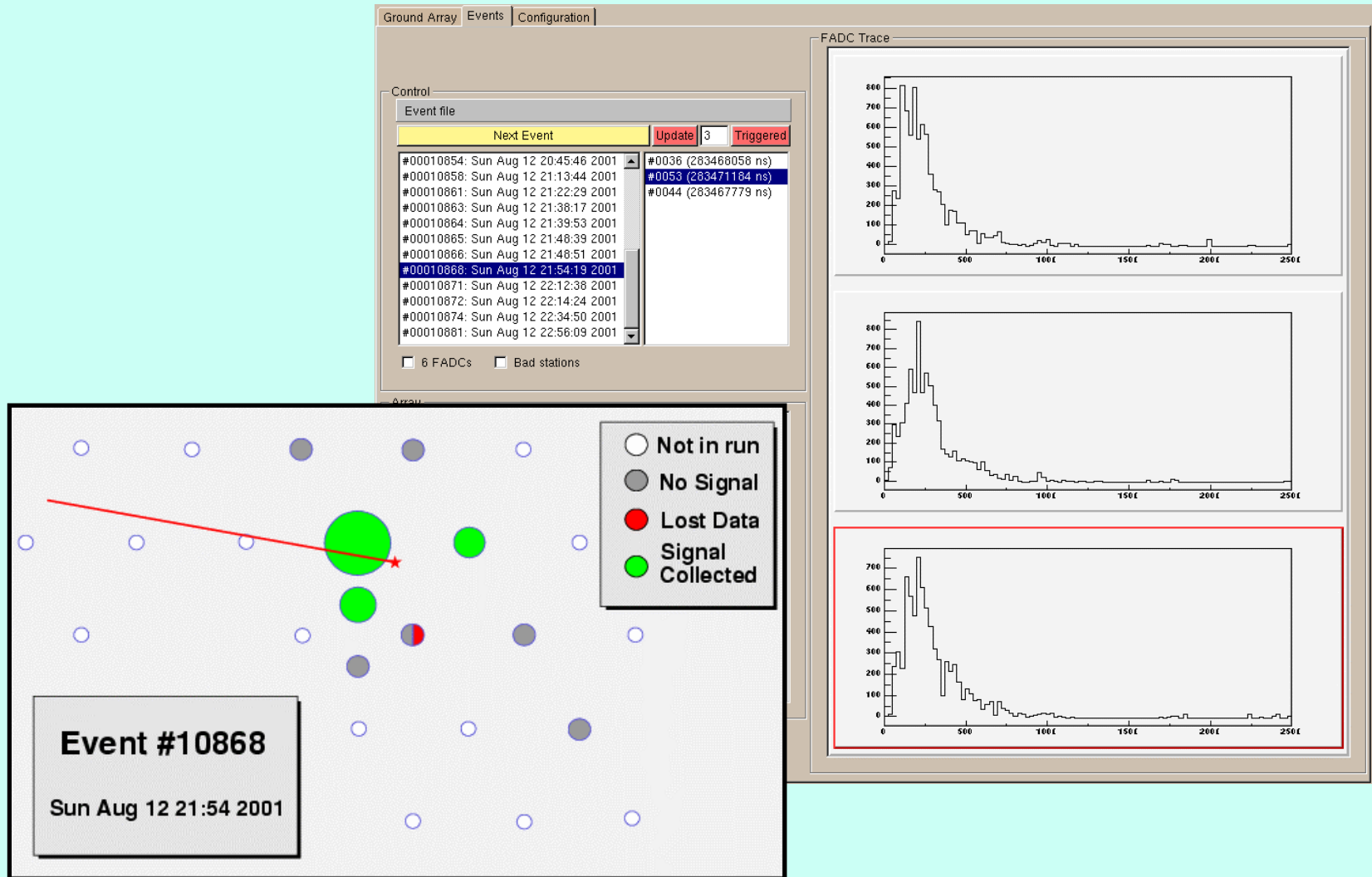
***Al momento procede regolarmente la costruzione ed installazione sul sito dei moduli SD e dei telescopi del FD***

# Risultati dell'EA: primo evento del FD



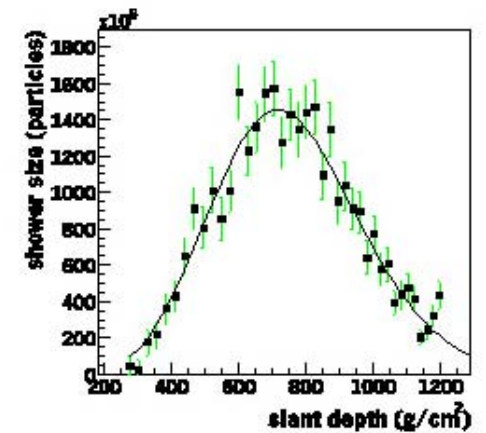
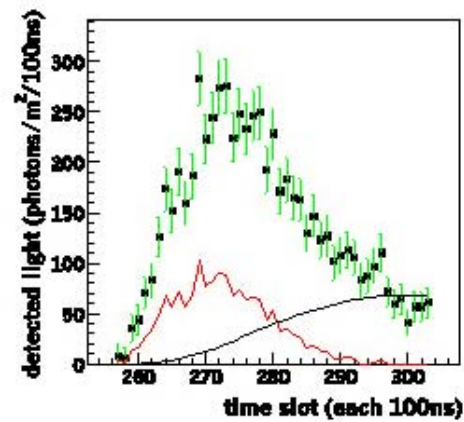
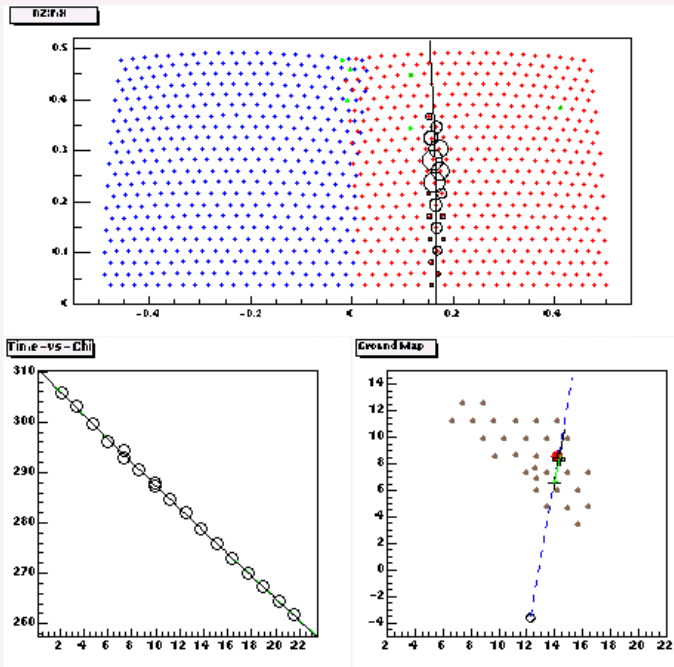
**first large  
shower in  
Auger FD  
23.05.2001**

# Evento SD con 4 taniche. (12 Agosto 2001)

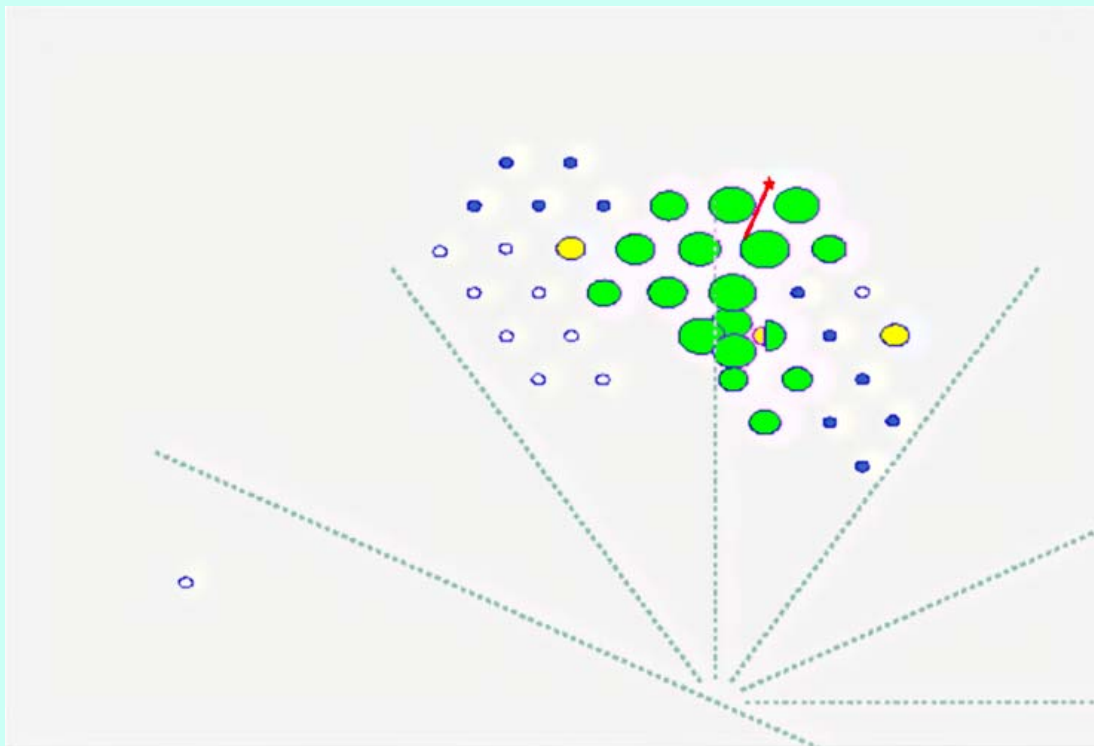


# Eventi ibridi

## Evento registrato nel Gennaio 2002



# Evento visto da 20 taniche, Maggio 23, 2002



**(PRELIMINARY)**

**$\theta \approx 82^\circ$ , Radius of curvature  $\approx 100$  km,  
Energia probabile  $\sim 5 \times 10^{19}$  eV**

# La stazione centrale di acquisizione dati (CDAS)



# L'edificio di assemblaggio



**Delle taniche SD in attesa di installazione della elettronica e successiva dislocazione sul sito**

# Status del Progetto Auger a Novembre 2004

- *I componenti dei rivelatori sono in fase di completamento.*
- *500 dei 1600 moduli SD, sono stati installati sul sito (31%).*
- *6 telescopi installati in Cohiueco e 6 in Los Leones (50 %).*
- *Il terzo edificio del FD e' stato completato a Morados.*
- *L'Osservatorio Sud verrà completato entro 2006.*
- *Inizio di Auger Nord previsto per 2006.*
- *La presa dati FD e SD continua con regolarita'.*



***END***