Esperienza di interferenza di singolo elettrone con doppia fenditura e sensore ad alta risoluzione temporale in un TEM

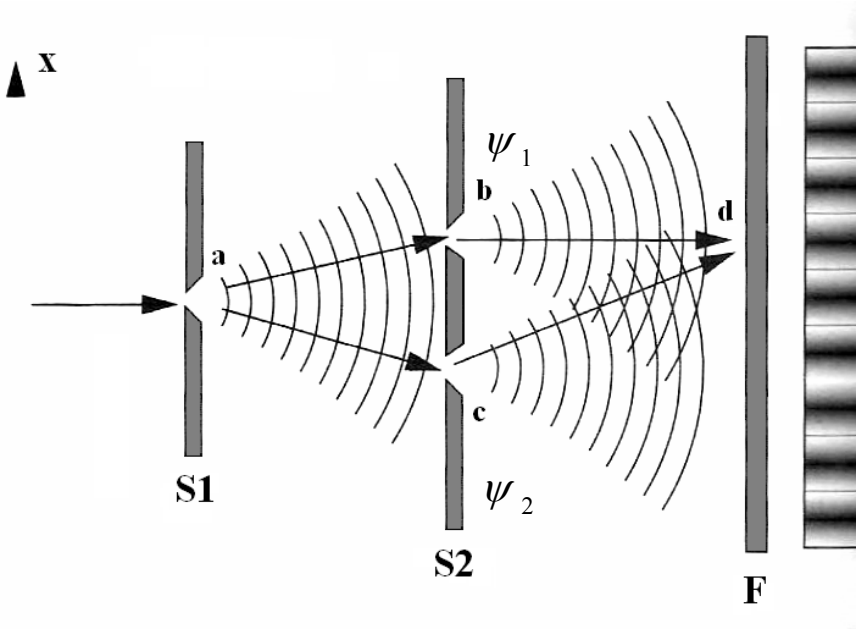
Summary

- L’esperienza di interferenza di singolo elettrone.
- Perche’ una nuova misura.
- Il set-up sperimentale.
- I dati sperimentali

Interferenza, esperimento di Young

Elementi base:

- una sorgente monocromatica (γ) o monoenergetica (e^-) coerente (piccola) → λ, $\lambda_{De\ Broglie}=h/p$
- Due fenditure a distanza d (sorgenti secondarie di onde coerenti) → λ/d angolo misurabile
- Schermo a distanza D>>d

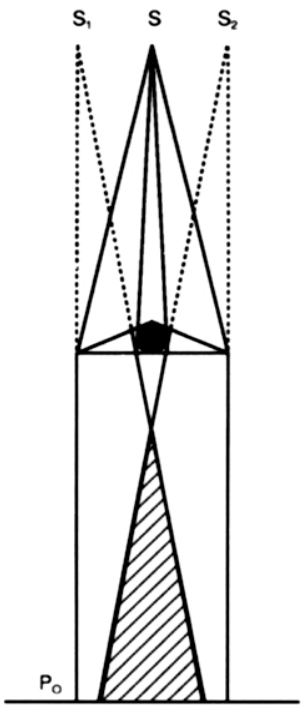


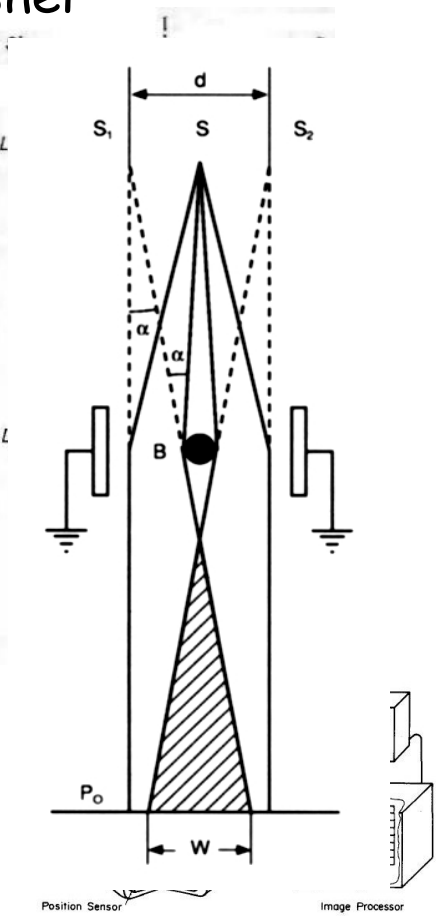
L'osservazione di frange di interferenza è una firma **indubitabile** della natura ondulatoria del processo di propagazione

R. Feynmann: - Lecture on Physics, Vol 3: L'esperimento alla Young con elettroni può essere **solo di natura concettuale** per la piccolezza della lunghezza d'onda di De Broglie

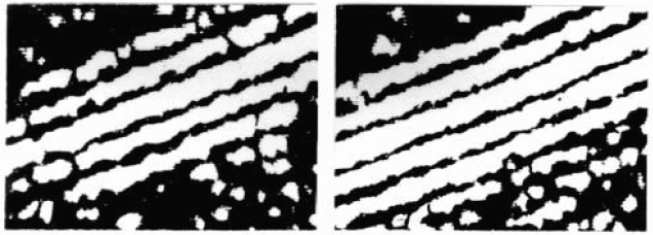
Esperimenti precedenti

Altro sistema per osservare interferenza:
Biprisma di Fresnel





Primi esperimenti di interferenza da singolo elettrone con microscopio elettronico
Esperimenti di
Merli, Missiroli, Pozzi (1976)
A. Tonomura et al. (1989)



Dimostrazione di:
-Carattere ondulatorio dell'elettrone
-L'interferenza base è quella di un **elettrone con se stesso**

Physics World (2002): L'esperimento più bello di tutti i tempi (2500 bc-2002 ac)

Perche’ una nuova misura…

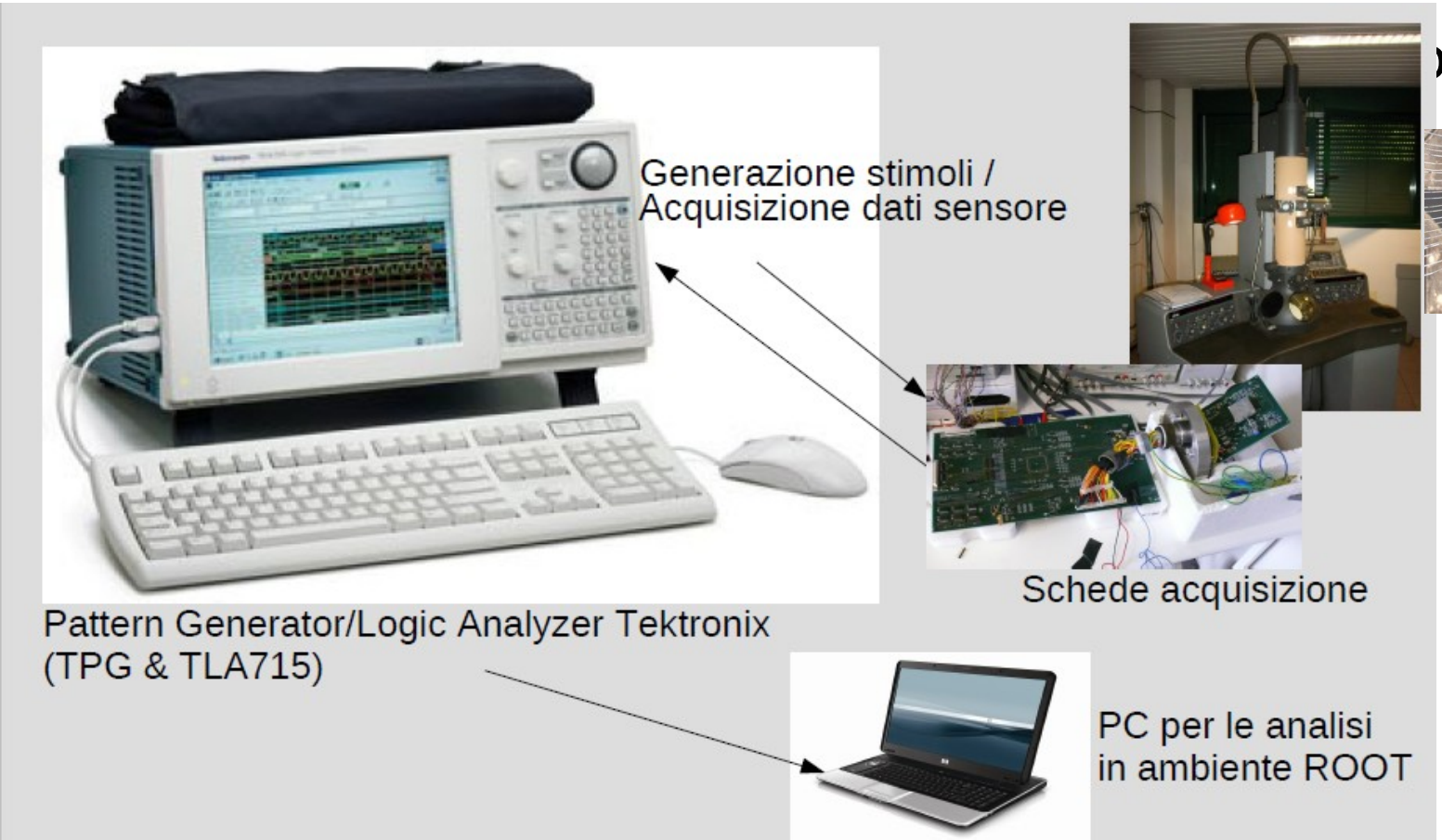
- Gli esperimenti condotti negli anni ‘70 pubblicati da Merli Missiroli e Pozzi non usano la doppia fenditura ma il biprisma di frenel. Il fenomeno di interferenza e’ il medesimo ma con una doppia fenditura si ha maggiore chiarezza concettuale.
- La condizione di singolo elettrone attraverso il biprisma e’ estrapolata in modo statistico. (distanza tra gli elettroni ~10 km)
  - Le immagini sono integrate nel tempo e presentano ben piu’ di un singolo elettrone.
  - Non si ha nessuna informazione sul tempo di arrivo relativo tra un elettrone e l’altro.

Perche’ una nuova misura …

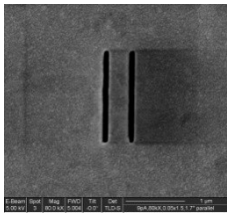
- Grazie alle opportunita’ offerte dalle nuove tecnologie
  - E’ ora possibile ottenere coppie di fenditure dalle dimensioni piu’ vicine a quelle della lunghezza d’onda dell’elettrone.
  - Come per il biprisma, le lenti elettroniche del microscopio possono amplificare l’effetto sfruttando gli ingrandimenti.
  - E’ possibile risolvere in spazio/tempo i singoli elettroni emessi da un microscopio TEM grazie ai sensori sviluppati per la fisica delle alte energie.

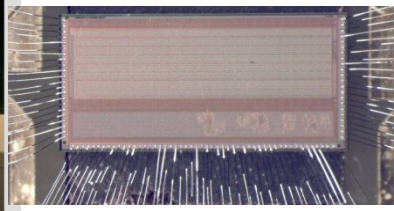
Detto fatto (o quasi!)
Ecco il set-up sperimentale

- Strumentazione
  - Microscopio elettronico



oppia

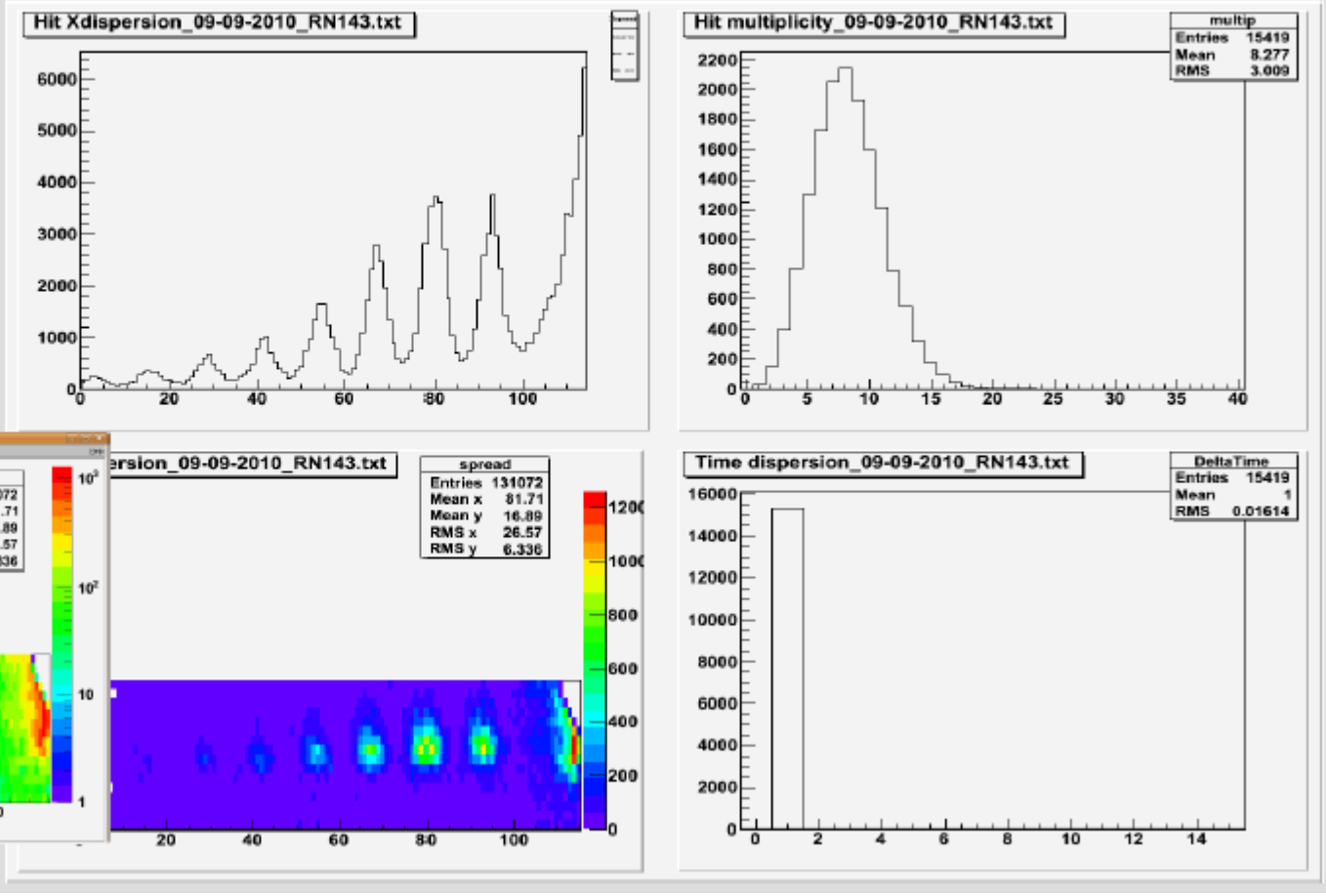




I dati sperimentali

Analisi statistica con ROOT (OFFLINE)

- Dispersione in X
- Dispersione XY
- Istogramma di molteplicità degli eventi (quante HIT in ogni evento?)
- Distribuzione temporale (dispersione dei tempi di arrivo tra una hit e la successiva)



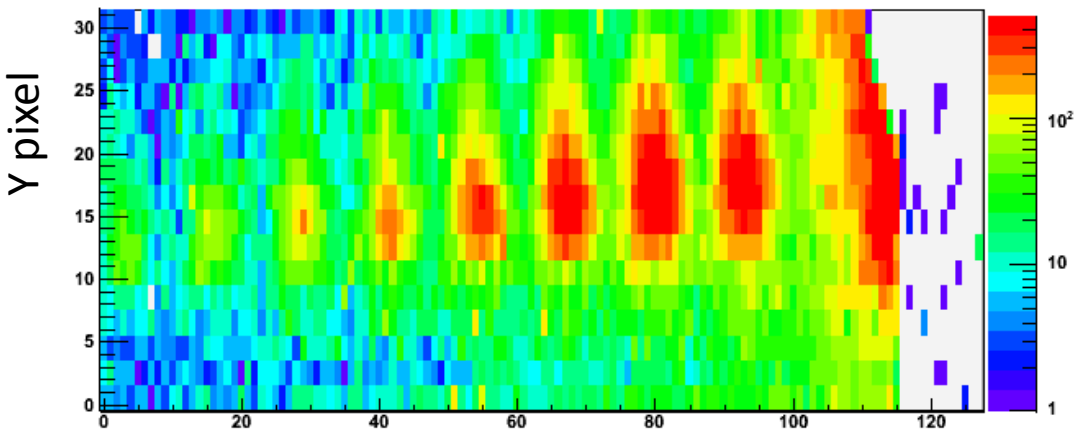
I dati sperimentali

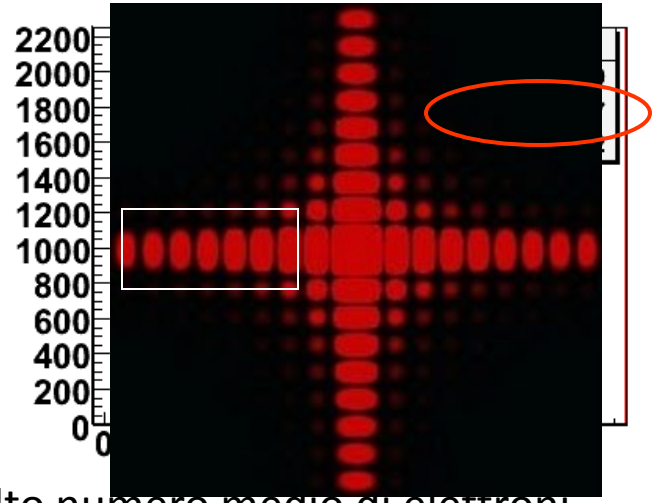
Diffrazione da carbon grating

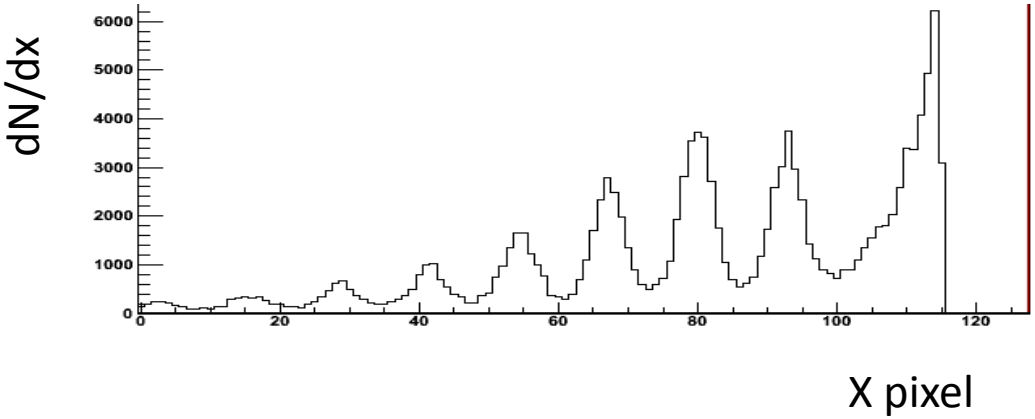
Reticolo di diffrazione al carbonio: passo tipico 400 nm

Elettroni da 40 keV: $\lambda = h/p = 5{,}9$ pm, angoli tipici 10^{-5} rad

Rivelatore: soglie 20 mV; Finestre di osservazione di 3 millisecondi







Alto numero medio di elettroni

Segnale buono;

Assenza di fondi significativi

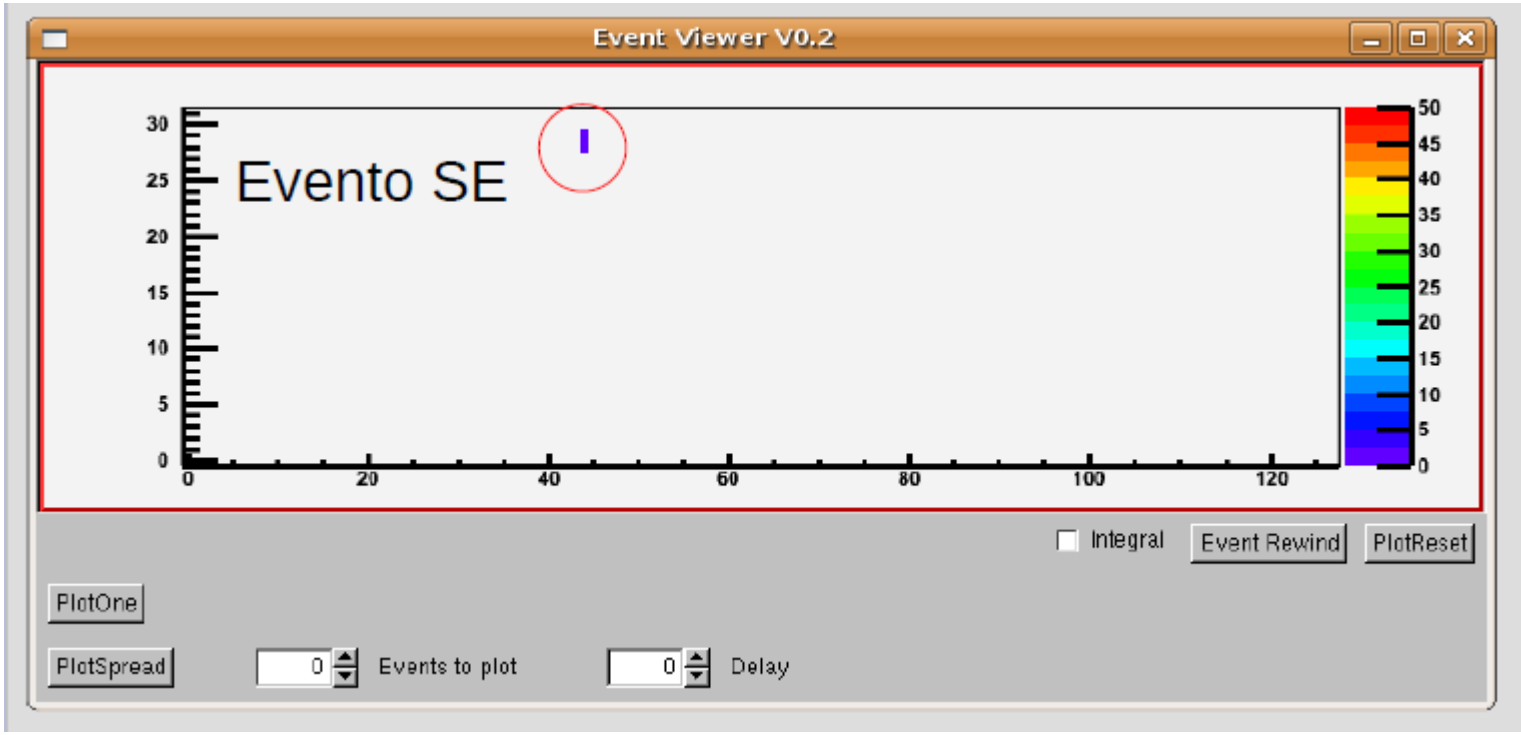
Distanza dei massimi:

13 pixels

→ 0,65 mm

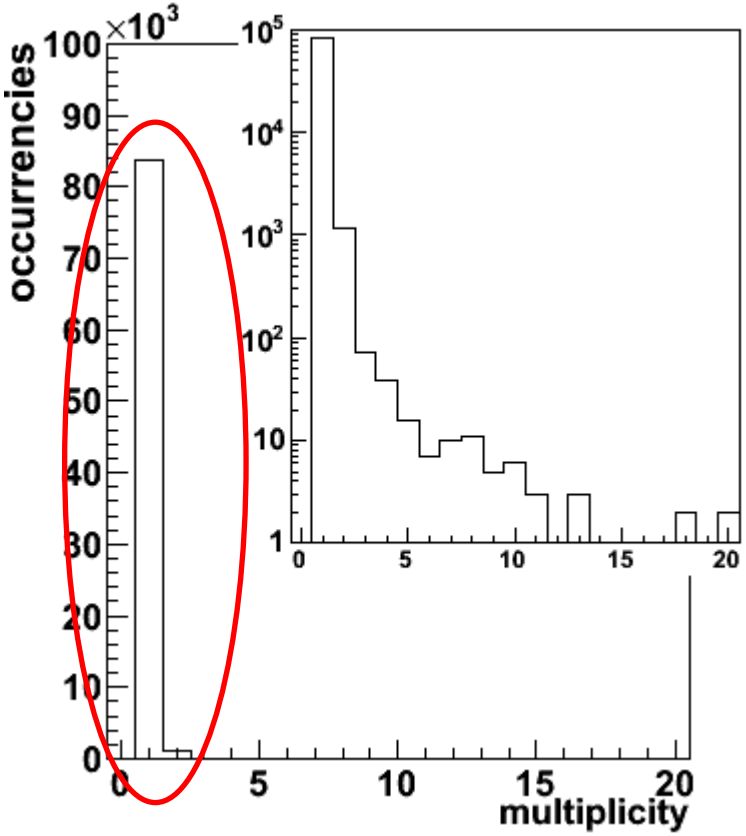
I dati sperimentali

Sensore 32x128 pixels
Esempio di evento di singolo elettrone.
Finestra temporale di acquisizione 165 us. (FRAME rate ~6kHz)



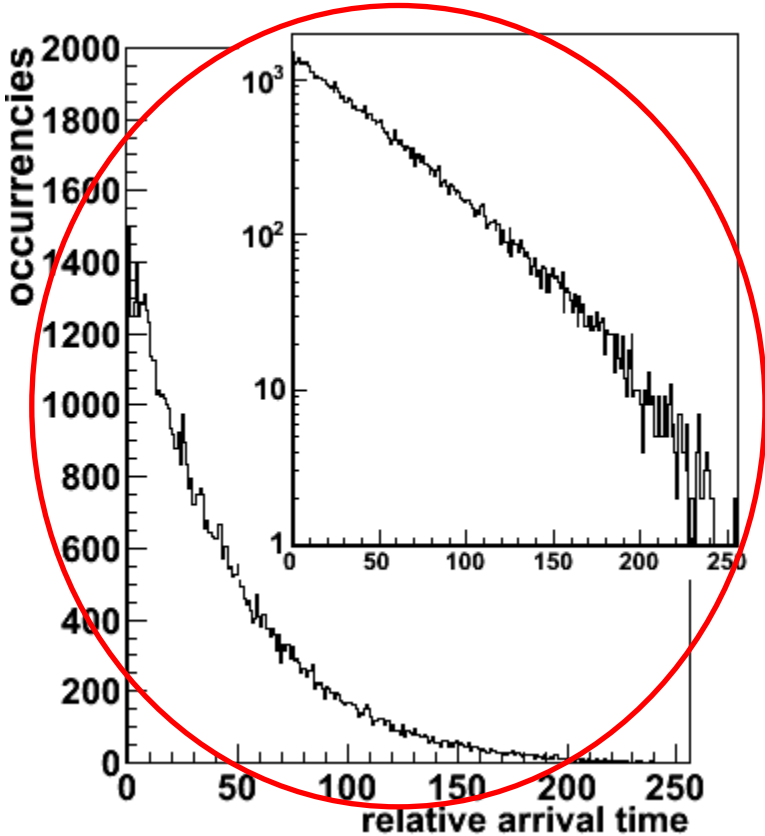
I dati sperimentali

Istogramma di molteplicita' dei FRAME



GOL NUMERO 1: frame da elettroni singoli

Distanza relativa tra gli elettroni*



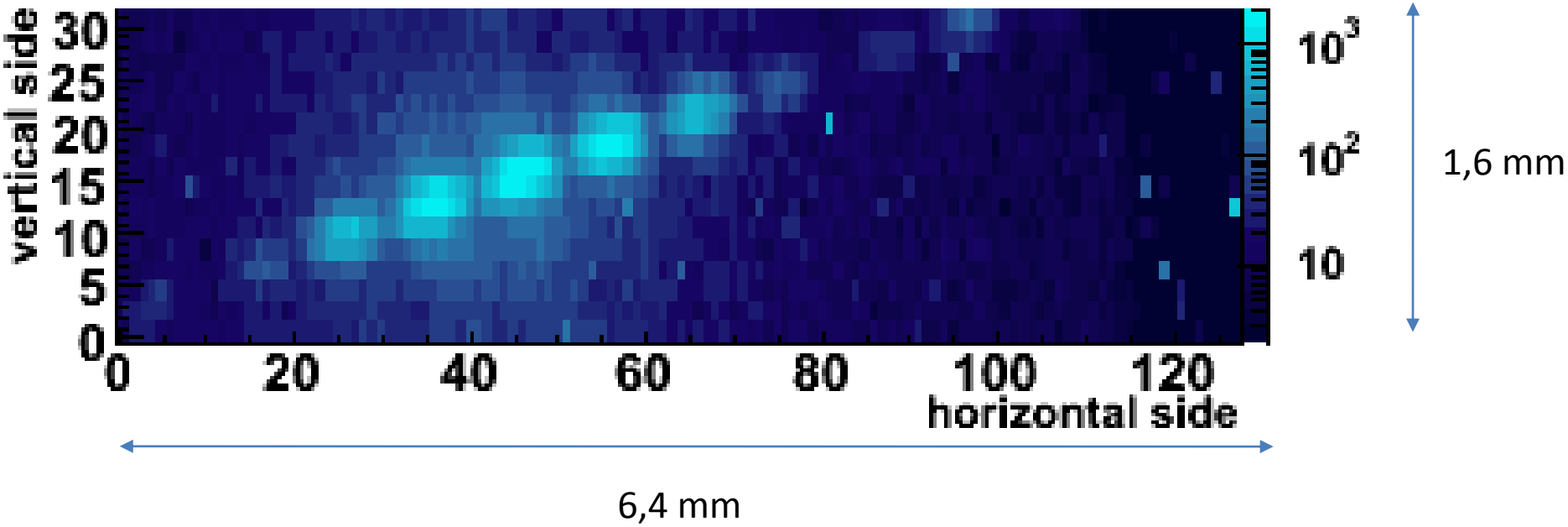
(In unita' di 165 us,
Media ~ 3 ms)

GOL NUMERO 2: risoluzione temporale

* Tra i frame che contengono almeno 1 elettrone

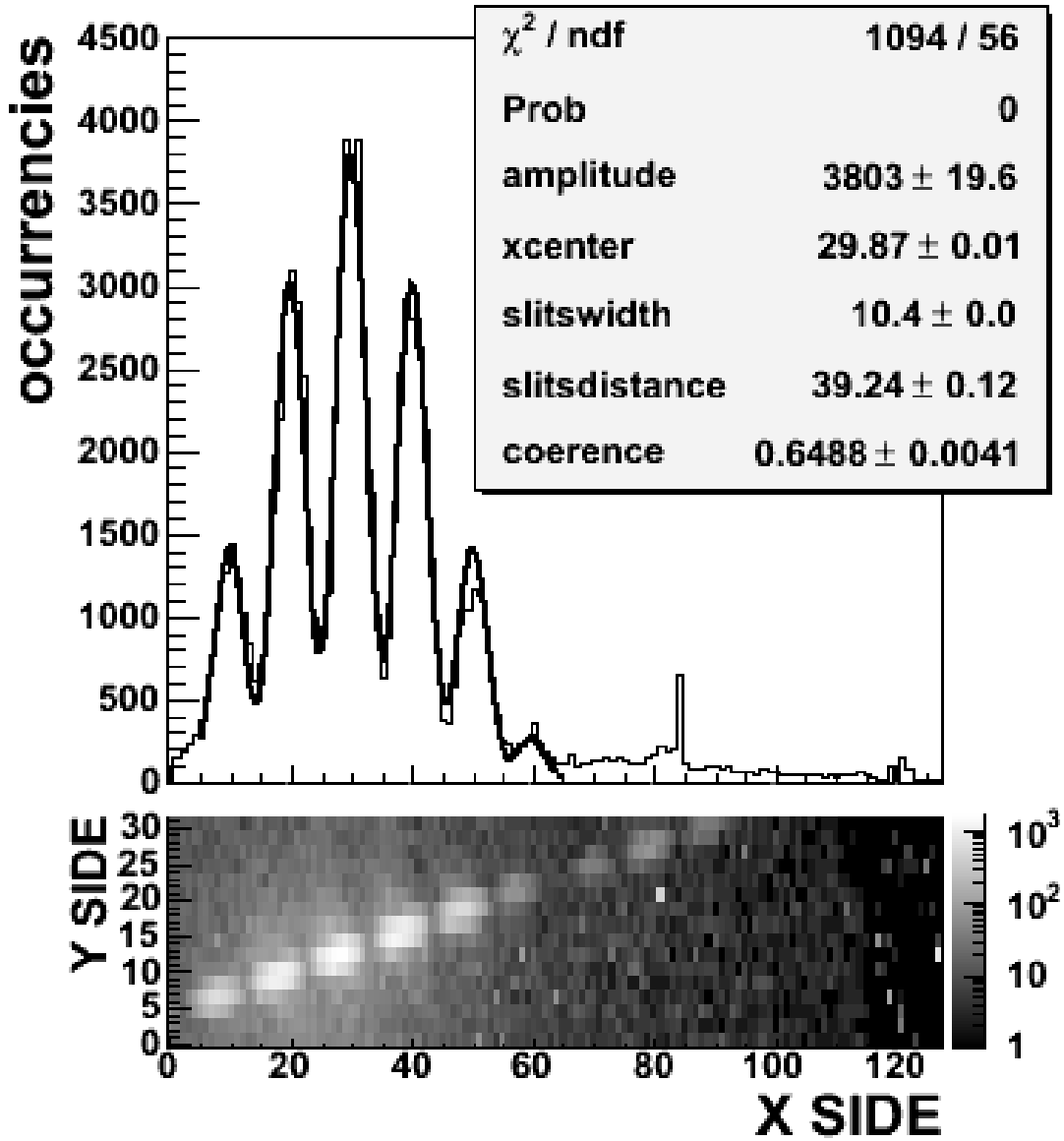
I dati sperimentali

- Immagine integrata da frame di singoli elettroni.
- Esperienza alla Young con doppia fenditura e singoli elettroni.



I dati sperimentali

Causa l'estrema difficolta' di allineamento delle figure sul sensore, e' stata fatta una proiezione obliqua per il fit con la curva attesa.

Attualmente l'allineamento avveniva muovendo il campione e deviando i fasci.

I prossimi set-up forniranno immagini on-line e consentiranno micro-movimentazioni del sensore in modo da agevolare l'allineamento XY/phi.