



LNF-01/019 (NT)
23 Aprile 2001

L'APPARATO DELL'ESPERIMENTO SFERA DEI LNF

L. Cacciotti, L. Catani, R. Sorchetti, F. Tazzioli

INFN- Laboratori Nazionali di Frascati, Frascati (Roma) Italy

Riassunto

E' descritto l'apparato dell'esperimento SFERA del Gruppo V presso i LNF, che ha per scopo lo studio di foto emettitori robusti per i catodi degli acceleratori lineari avanzati di elettroni che trovano applicazione nei colliders e nei FEL. Sono illustrati gli apparati di misura del rendimento quantico di emissione e della distribuzione temporale degli impulsi emessi. Vengono inoltre accennati i metodi di misura e di elaborazione dei dati.

PACS.: 29.25.Bx

1 – Introduzione

L'apparato dell'esperimento SFERA del Gruppo V presso i LNF ha per scopo lo studio di foto emettitori robusti per i catodi degli acceleratori lineari avanzati di elettroni che trovano applicazione nei colliders e nei FEL. Sono allo studio materiali vari quali le ceramiche ferroelettriche ed i film di diamante sintetico policristallino. Lo scopo delle misure e' la determinazione del rendimento quantico di emissione a varie lunghezze d'onda della radiazione incidente. Si definiscono catodi robusti quelli che possono operare in condizioni di vuoto non ultra spinto, quale invece e' richiesto dai fotocatodi alcalini cesiati di uso corrente. Si richiede inoltre che essi abbiano una elevata soglia di danneggiamento da radiazione laser.

2 – Schema generale dell'apparato sperimentale

I catodi sono illuminati perpendicolarmente da impulsi laser di 25 picosecondi forniti da un Nd-YAG nell'infrarosso, $\lambda=1064$ nm, e convertiti alle lunghezze d'onda delle armoniche : seconda= 532 nm, terza= 355nm e quarta= 266nm. Queste vengono ottenute attraverso cristalli con caratteristiche ottiche non lineari. La carica emessa dal catodo viene raccolta da un anodo posto frontalmente a circa 3mm da esso. Il catodo è portato a un potenziale negativo di qualche kV, questa tensione agisce come potenziale accelerante favorevole alla raccolta degli elettroni fotoemessi. Il sistema di misura della carica è costituito da un anodo collegato a massa da una resistenza di 50 Ω , e da un oscilloscopio ultraveloce. Catodo e anodo sono contenuti in una camera da vuoto che durante l'esperimento viene mantenuta alla pressione di circa 10^{-5} mbar. L'apparato sperimentale è costituito da:

- Camera da vuoto con struttura per l'alloggio e il posizionamento del campione, corredata dai dispositivi per la realizzazione e la misura del vuoto.
- Apparato per la misura della carica emessa e dell'energia dell'impulso laser, e l'applicazione del potenziale di raccolta.
- Laser Nd-Yag con generatore di seconda (SHG) terza (THG) quarta armonica (FHG) e sistema ottico per l'allineamento.
- Apparato per la misura della distribuzione temporale nell'impulso di carica.

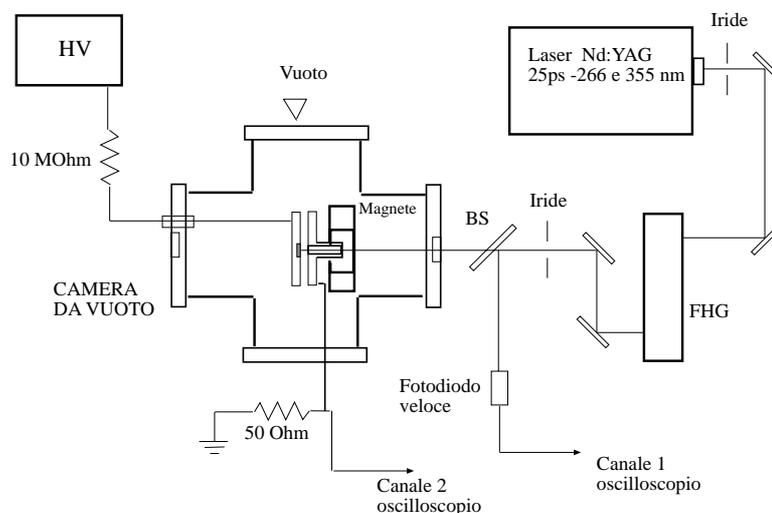


Fig. 1 Schema generale dell'apparato sperimentale

Il trasporto e centramento del fascio laser sul campione vengono effettuati con due specchi ad alta riflettività a 45 gradi. La radiazione illumina il fotocatodo con un angolo di incidenza di circa 0° che può essere variato di qualche grado agendo su una manopola esterna che permette di ruotare la base del portacatodo. Dopo l'uscita del laser il fascio viene collimato con un'iride di 3mm di diametro. Questo permette di migliorare l'uniformità dell'impulso e ne attenua l'intensità per misure sensibili. Un beam splitter BK7 al 1% circa di riflessione, posizionato prima della camera da vuoto, permette di dirigere una piccola parte del fascio verso un fotodiodo per la misura dell'energia dell'impulso laser. Per evitare danni allo strumento, a causa dell'elevata intensità del fascio, viene interposto un diffusore.

La radiazione laser entra nella camera attraverso una finestra di silicio fuso. Prima di incidere sul catodo il fascio attraversa l'anodo, posto frontalmente, mediante un'apertura circolare con diametro di 5mm.

La rotazione del supporto dell'anodo permette di spazzolare l'area del campione con la macchia del laser. La carica emessa viene raccolta dall'anodo e quindi portata a massa attraverso cavo coassiale a un oscilloscopio veloce. A questo strumento arriva anche il segnale proveniente dal fotodiodo che viene usato sia per la misura dell'energia, sia come trigger per il segnale di carica.

3- Camera da vuoto

In figura 3 viene mostrata la camera da vuoto utilizzata per l'esperimento.



Fig. 2 Foto della camera da vuoto

Essa è costituita da quattro rami principali e due minori chiusi da flange da alto vuoto. Le due flange allineate con il fascio laser hanno finestre trasparenti. La camera risulta allineata quando la radiazione attraversa il centro delle finestre di ingresso e di uscita. Un'altra flangia è fornita di passanti per i cavi coassiali. Uno di questi è collegato all'anodo per la raccolta della

carica l'altro viene utilizzato per applicare un tensione di polarizzazione (bias) ai catodi ferroelectrici. A un'altra flangia sono connessi la pompa da vuoto e il rivelatore di pressione. La flangia superiore è dotata di un connettore di alta tensione.

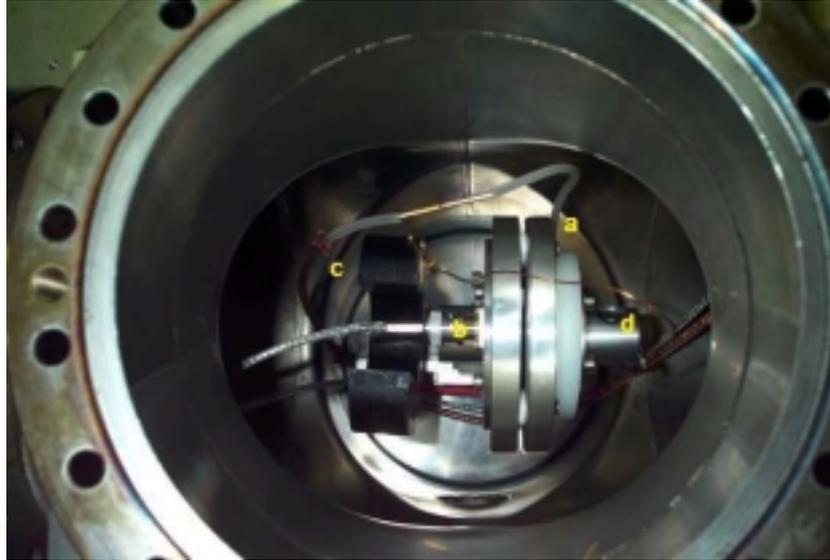


Fig. 3 Portacatodo alloggiato nella camera. Si distingue: a) il portacatodo; b) il contatto per la raccolta della carica; c) il magnete; d) il contatto per l'alta tensione sul catodo.

La flangia inferiore infine è fornita di un passante ruotabile solidale, all'interno della camera, con una rotaia che sostiene il complesso anodo-catodo e permette di aggiustare l'allineamento del complesso anodo-catodo. Come si vede nella foto, su questa rotaia sono fissati il portacatodo, l'anodo in alluminio e un magnete. Questo genera un campo B , trasverso all'asse, di un centinaio di Gauss, la cui funzione è spiegata nel seguito. Lo schema funzionale è riportato nella figura 4. La radiazione passa attraverso un'apertura cilindrica di 5mm, coperta da un retino metallico a trama fine, e incide perpendicolarmente sul campione. Questo è fissato sull'apertura del portacatodo da un pistone con molla. Il portacatodo è collegato all'alimentazione di alta tensione. E' possibile inoltre, sfruttando il contatto posteriore, applicare una tensione tra le facce del campione per polarizzare i catodi ferroelectrici.

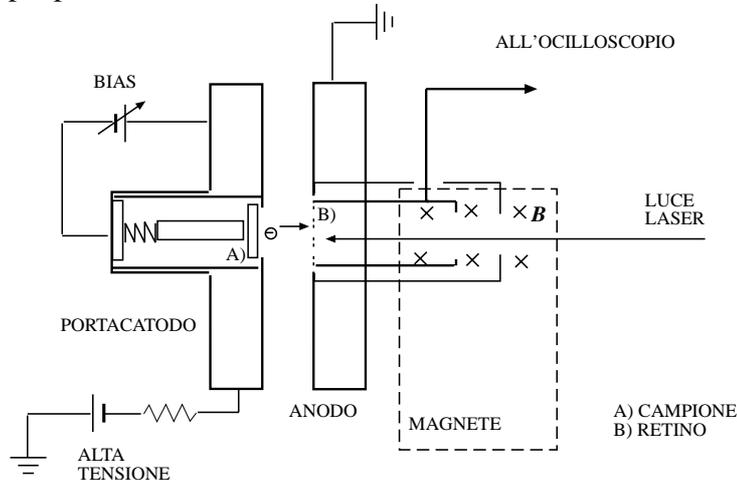


Fig. 4 Schema funzionale del portacatodo

La carica accelerata dal campo, viene parzialmente intercettata dal retino metallico, per altro trasparente all'80% alla luce laser, collegato all'anodo. La parte non intercettata viene deflessa dal campo magnetico verso il cilindro anodico, quindi perviene anch'essa all'oscilloscopio. Mostriamo in figura 5 il portacatodo estratto dalla camera da vuoto.

Durante l'esperimento la camera è tenuta a una pressione di circa 10^{-5} mbar per evitare scariche elettriche da ionizzazione. Il sistema da vuoto è composto da una pompa da prevuoto a membrana (della PAPST) in serie a una pompa turbomolecolare (della VARIAN). Per rivelare la pressione nella camera sono utilizzati due sensori in parallelo: un pirani per pressioni superiori a 10^{-3} mbar ed uno a catodo freddo per valori inferiori.

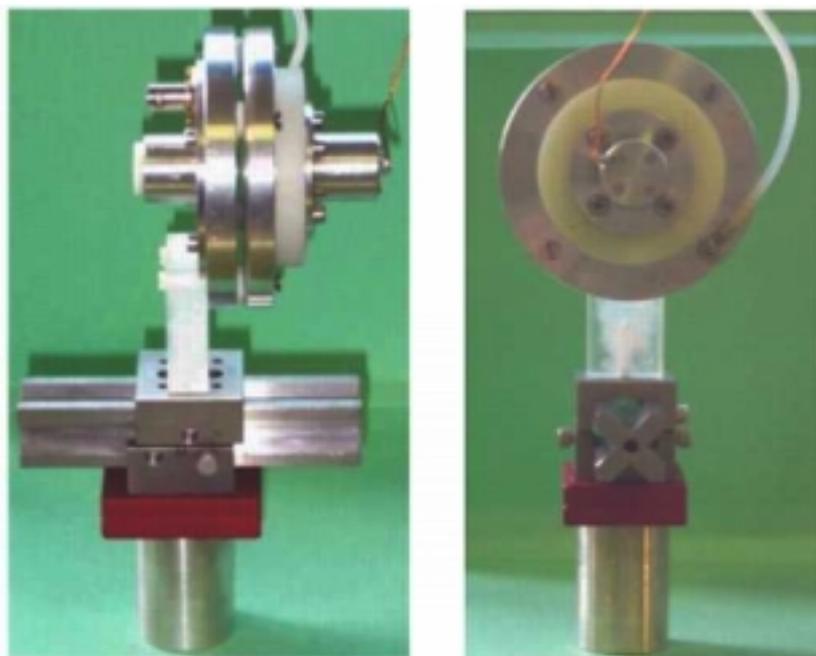


Fig. 5 Foto posteriore e laterale del portacatodo

4 Apparati per la misura di carica ed energia

La carica raccolta dall'anodo perviene a un oscilloscopio digitale (LeCroy 9362 con banda passante di 1.5 GHz e frequenza di campionamento di 10 Gsample al secondo) attraverso un cavo coassiale da 50 Ohm doppiamente schermato. Questo accorgimento è necessario per attenuare il rumore elettrico generato dalle scariche delle lampade di pompa del laser. I cavi e lo stesso oscilloscopio limitano la banda del segnale che si allarga da 25 ps fino a 5 ns. La variazione della forma d'onda però, in prima approssimazione, non altera l'area sottesa dal segnale, la quale è proporzionale alla carica. Per evitare danneggiamenti dell'oscilloscopio è necessario interporre a ridosso dello stesso un adattatore con impedenza di ingresso paria a 1 M Ω in parallelo a una resistenza di chiusura di 50 Ω . In questo modo il cavo viene terminato sul parallelo tra le due resistenza e, in caso di scariche, la potenza viene dissipata sulla resistenza più piccola., fuori dall'oscilloscopio. Per misure sensibili utilizziamo un amplificatore di corrente che permette di rivelare cariche dell'ordine del decimo di pC.

La misura dell'energia dell'impulso laser viene effettuata durante l'esperimento mediante un fotodiode THORLABS 201/579, avente tempo di risposta di alcuni ns. Un beam splitter provvede a campionare una parte del fascio ed a rifletterla verso un diffusore posto ad opportuna distanza dal fotodiode, per non saturare la sua curva di sensibilità e danneggiarlo. Questo strumento viene preliminarmente tarato con l'ausilio di un joulemeter MOLECTRON mod J3-05 DW. Riportiamo lo schema grafico concettuale dell'operazione di taratura:

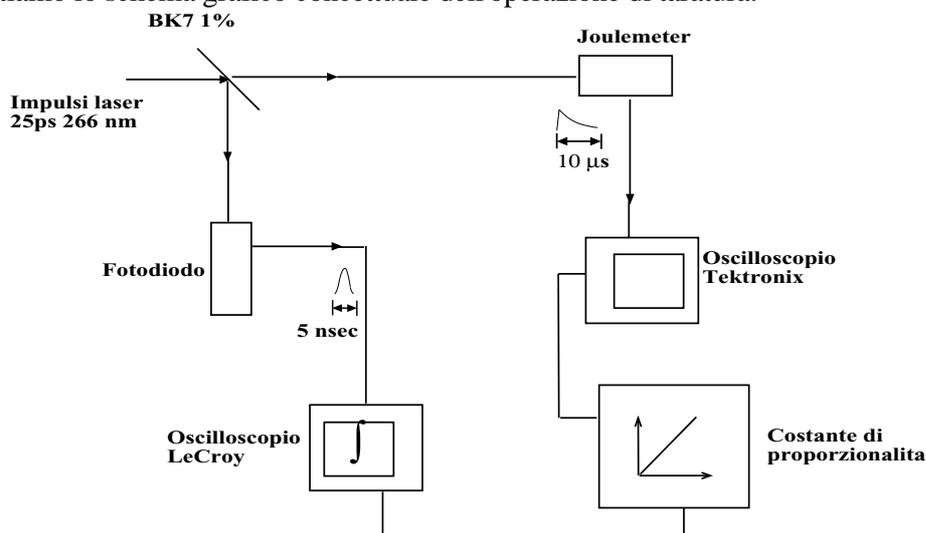


Fig. 6 Schema della taratura

Il joulemeter sfrutta un rivelatore piroelettrico del diametro di 5mm. La radiazione che illumina questa area sensibile ne aumenta la temperatura e produce in questo modo una tensione proporzionale all'integrale della potenza incidente. Il segnale prodotto dallo strumento viene trasmesso attraverso un cavo coassiale a un oscilloscopio (TEKTRONIX TDS520) che permette la terminazione su 50 Ohm. L'ampiezza di picco della tensione misurata, moltiplicata per un fattore di proporzionalità fornito dalla fabbrica produttrice del joulemeter ($f = 3 \text{ Volts/mJ}$), fornisce l'energia complessiva dell'impulso. Questa viene confrontata con il segnale del fotodiode (un segnale di tensione che, diviso per 50 ohm e integrato, fornisce una grandezza proporzionale all'energia dell'impulso riflesso).

Per ogni singolo impulso l'energia irradiata viene confrontata con il segnale di fotocorrente in modo da ottenere la curva di rendimento del campione in esame.

Durante l'esperimento, quindi, sull'oscilloscopio LeCroy otteniamo due segnali di tensione relativi al fotodiode e alla carica emessa. Questi due impulsi vengono memorizzati e trasferiti ad un computer. Per l'elaborazione si fa uso di un' interfaccia realizzata con il software Labview su piattaforma Mac OS/9. I segnali forniti dall'oscilloscopio sono contenuti in una finestra temporale costituita da 250 punti per ciascun segnale. Per ricostruire gli impulsi, nella scala di 2.5 ns per divisione, è necessario un intervallo di 20-40 punti. I limiti della forma d'onda vengono selezionati manualmente mediante due cursori. Il programma effettua un integrale sui punti precedenti contenuti nella finestra per stabilire il valore di fondo. In questo modo viene integrata l'area dei segnali provenienti dal fotodiode e dal catodo, depurati dal valore di fondo. In

seguito la prima viene normalizzata rispetto alla costante di calibrazione e la seconda viene divisa per 50 Ohm.

In Fig. 7 e' mostrata una tipica curva di emissione di un fotocatodo costituito da un film di diamante policristallino depositato su un substrato metallico.

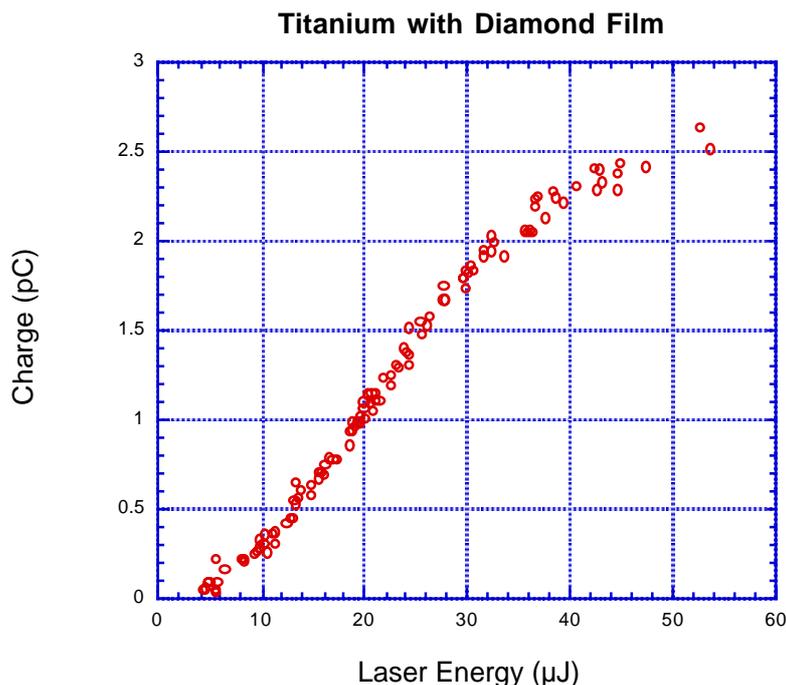


Fig. 7- Curva di emissione di un fotocatodo di diamante su Ti alla terza armonica del laser (350 nm).

5 Il laser

La sorgente di radiazione utilizzata è un laser QUANTEL modello YG501. Si tratta di un laser costituito da un oscillatore a Nd-YAG, pompato con una lampada a flash, con mode locking attivo e passivo che produce un treno di circa dieci impulsi di circa 25ps. A valle dell'oscillatore sono presenti un selettore di impulsi e un amplificatore che forniscono in uscita un impulso di 30 mJ sull'armonica fondamentale, 1064 nm. Il laser può generare impulsi controllati da un trigger esterno o operare a una frequenza di ripetizione di 1, 5 e 10 Hz. All'interno della cavità viene utilizzato un assorbitore saturabile per realizzare sia il Q-switching (commutazione della figura di merito della cavità, una tecnica fondamentale per la generazione di impulsi laser di durata tra i 10 e i 100 ns e di alta intensità) sia il mode locking (che permette di generare un agganciamento dei modi longitudinali per ottenere, per effetto di interferenza tra essi, impulsi ultracorti dell'ordine di qualche decina di ps).A valle dell'amplificatore si possono montare cristalli non lineari per la generazione di seconda (532 nm), terza (354 nm) e quarta armonica (266 nm).

6 - Apparato per la misura della distribuzione temporale dell'impulso.

La distribuzione temporale degli elettroni emessi da un foto-catodo ha un notevole interesse per caratterizzare il fenomeno di emissione e per stabilire se il catodo e' adatto per l'uso negli iniettori dei colliders lineari. Infatti. Per esempio, la presenza di lunghe code nell'impulso e' indesiderata . Il dispositivo di misura funziona secondo il principio della "streak camera". E' costituito da un cannone elettronico, una cavità a radiofrequenza in cui vengono generati campi magnetici incrociati che deflettono trasversalmente gli elettroni. Questi vanno poi a colpire un bersaglio fluorescente generandovi un'immagine che viene acquisita con una telecamera a CCD. La deflessione trasversa causa una correlazione tra la posizione longitudinale della particella (proporzionale alla ascissa temporale) e la posizione trasversa sullo schermo. L'immagine del fascio deflesso giace su un cerchio. In Fig. 8 e' mostrato uno schema dell'apparato.

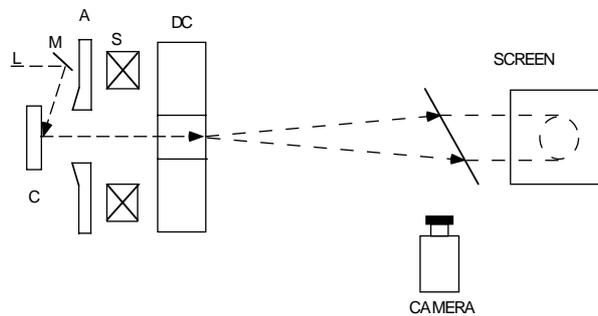


Fig.8- Schema dell'apparato di misura temporale.

I campi deflettenti sono generati eccitando un risonatore a micro-onde nel modo deflettente TM₁₁₀ alla frequenza di 2450 MHz, mediante due antenne spaziate di 90 gradi lungo l'azimut. La durata dell'impulso a radio frequenza (RF) è di 10 μ s per tener conto dell'incertezza sull'istante di partenza dell'impulso di luce del laser. Non e' necessaria la sincronizzazione del laser con la RF perché l'immagine sullo schermo luminescente subisce soltanto una rotazione nel caso di assenza di sincronismo e viene catturata istantaneamente mediante un "frame grabber". L'immagine sullo schermo si trova su un cerchio se I segnali delle due antenne sono ben adattati. Nella Fig. 9 e' riportato uno schema del sistema a micro-onde.

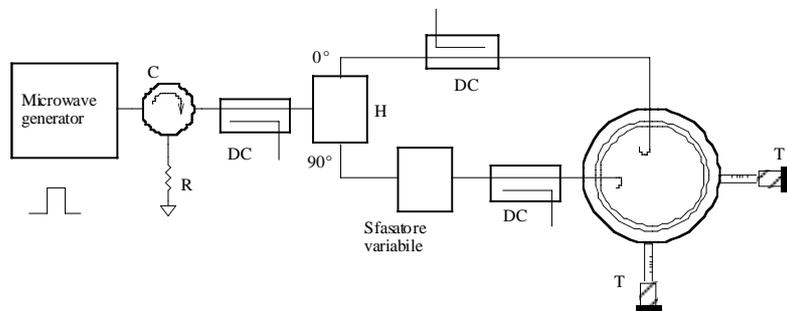


Fig 9- Schema del circuito a micro-onde

H= ibrido; PS=sfasatore; T= accordo; DC=rivelatore direzionale;C=circolatore

Il cannone elettronico ha una struttura alla Pierce e la tensione accelerante, che può raggiungere 30 kV e' ripartita su più elettrodi.. Nella Fig. 10 e' mostrato l'apparato.



Fig. 10- Insieme dell'apparato di misura temporale

Nella Fig.11 e' mostrata l'immagine del fascio sullo schermo fluorescente. In questo caso l'impulso di elettroni aveva una lunga coda temporale che occupava tutto il periodo dell'onda a radiofrequenza, mettendo così in evidenza la traccia su cui giace l'immagine del fascio. Si noti il nucleo della distribuzione intensificato.

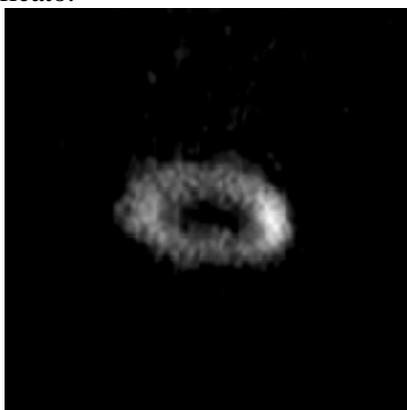


Fig 11- Immagine del fascio sullo schermo fluorescente.

L'acquisizione dell'immagine mediante telecamera CCD e frame grabber permette l'elaborazione della medesima per ricavarne la distribuzione temporale. La risoluzione del sistema di misura e' dell'ordine del picosecondo.

Conclusioni

L'apparato di misura dell'esperimento SFERA dei LNF è in funzione da circa due anni ed ha permesso di ottenere una notevole messe di dati sui fotocatodi, in collaborazione con l'Università ed altre sezioni dell'INFN. Sono state assegnate numerose tesi sperimentali e i risultati conseguiti sono stati pubblicati su varie riviste scientifiche e presentati a conferenze internazionali.

Bibliografia

- [1] I. Boscolo et al. "Plycrystalline Diamond and Nd doped diamond photoemitters", *Optics Communications* 187 (2001) 179-184.
- [2] A.Doria, I. Boscolo et al. "A robust and powerful green light photoemission source", *Applied Physics Letters*, Vol 74, N 6, Feb 1999.
- [3] I. Boscolo et al., "Experiments on photoemission from ferroelectric ceramics", EPAC 2000 - Vienna.
- [4] I.Boscolo et al., Effects of prepoling and polarization on photoemission from ferroelectric ceramics, *Journal of Applied Physics*, Vol 89, 2(2001),1367-1370.
- [5] M.Castellano et al., Mesurement of the temporal response of ferroelectric photocathodes, XX Linac Conference (2000) 169-171.