

COMITATO NAZIONALE PER L'ENERGIA NUCLEARE
Laboratori Nazionali di Frascati

LNF - 69/16
7 Marzo 1969

M. Grilli, P. Spillantini e R. Visentin: MISURE DI EFFI-
CIENZA DI CAMERE A SCINTILLA IN FUNZIONE DELLA
IONIZZAZIONE SPECIFICA DELLE PARTICELLE. -

Nota interna: n. 436
7 Marzo 1969

M. Grilli, P. Spillantini, R. Visentin: MISURE DI EFFICIENZA DI CAMERE A SCINTILLA IN FUNZIONE DELLA IONIZZAZIONE SPECIFICA DELLE PARTICELLE. -

Per lo studio delle annichilazioni (e^+e^-) in due bosoni carichi:

(1) $e^+e^- \rightarrow \pi^+ \pi^-$

(2) $e^+e^- \rightarrow K^+ K^-$

da eseguirsi con Adone⁽¹⁾ si richiede di misurare:

a) la direzione di emissione dei due prodotti finali carichi (selezione eventi collineari, ricostruzione della sorgente, ecc.);

b) range dell'ordine del millimetro in Alluminio, alla soglia del processo. (2).

Per entrambi questi scopi sono state costruite delle camere a scintilla (R_I , R_{II} , R_{III}) con piatti sottili, con le caratteristiche^(x) riportate nella tabella I. Lo schema costruttivo di queste c. a s. è riportato in Fig. 1.

(x) - La tecnica di costruzione di queste camere è stata messa a punto dai tecnici R. Bonini e G. Di Stefano, che qui ringraziamo vivamente per la loro opera altamente qualificata.

2.

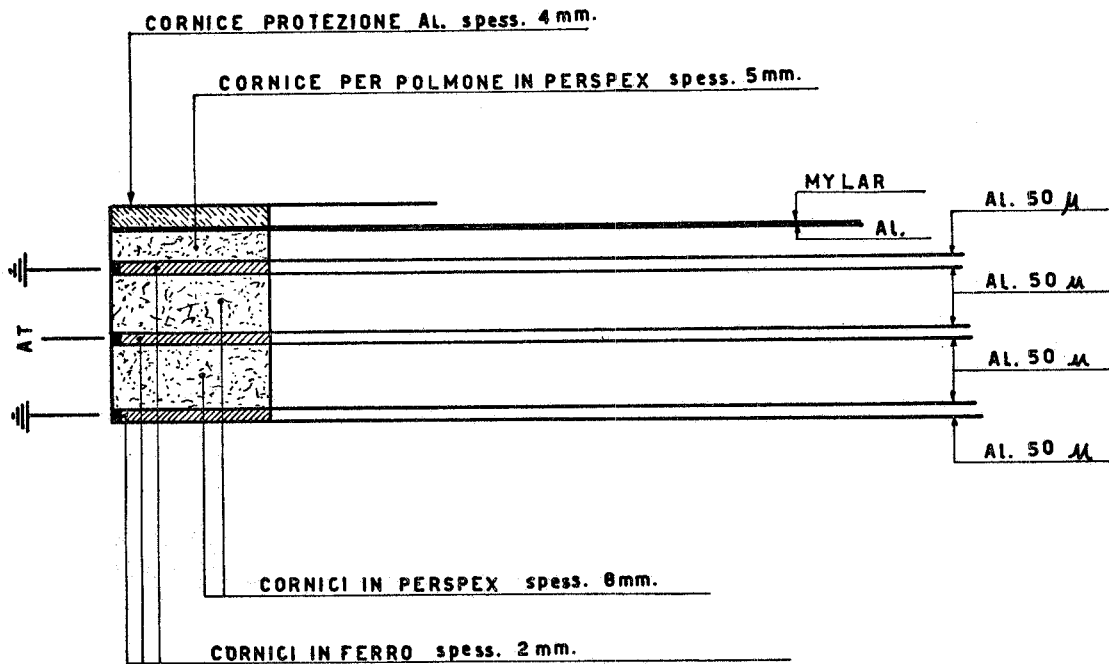


FIG. 1 - Schema costruttivo delle camere

TABELLA I

Camera	R_I	R_{II}, R_{III}
N° piatti	5	9
Materiale piatti	Al	Al
Spessore (mm)	0,1 (= 2x0,05) ^x	0,2 (= 2x0,1) ^x
Dimensioni (utili)(cm ²)	65 x 65	65 x 65
Gap (cm)	0,8	0,8

Nel seguito riportiamo i risultati delle calibrazioni fatte su queste camere sia con particelle al minimo di ionizzazione (§ 1) sia con particelle a fine range (§ 2).

In tutte queste misure le camere erano riempite con He spettroscopico (a pressione atmosferica ed in flusso continuo); è stata adoperata pellicola P30 Ferrania ed una apertura f/8 per il diagramma della macchina fotografica. Ci siamo assicurati nelle varie prove fatte di riprodurre condizioni il più possibile identiche dal punto di vista ottico, per assicurarsi che i risultati di queste diverse prove fossero confrontabili.

(x) - Vedi disegno costruttivo in Fig. 1.

Nel seguito indichiamo con:

ϵ_g : la efficienza media per gap (mediata su tutte le gaps di una camera).
Ossia

$$\epsilon_g = 1 - \frac{n}{KN}$$

ove:

N = particelle che hanno attraversato la camera

K = n° gaps della camera (K = 4 per R_I, K = 8 per R_{II} ed R_{III})

n = scintille mancanti

ϵ_{bg} : efficienza media per bigap

\bar{E} : campo applicato fra i piatti (KV/cm)

\bar{e} : campo pulitore (V/cm)

θ : angolo fra le direzioni della particella e del campo \bar{E}

I/I_0 : ionizzazione (media) delle particelle usate per la calibrazione, riferita a quella di una particella relativistica ($I_0 = 0,32$ KeV/cm in He a 1 Atm e temperatura ambiente; ovvero, in corrispondenza, ~ 6 copie di ioni/cm)

t : ritardo "passaggio particella-impulso di A. T. "

Essenzialmente lo scopo di questa ricerca è stato di trovare condizioni di lavoro in cui, sfruttando la differenza in ionizzazione fra le particelle che si vogliono rivelare ($I/I_0 \gtrsim 8$) e quelle al minimo di ionizzazione (fondo), si possa discriminare fra queste.

Come mostrato nel § 2 esistono intervalli di \bar{E} ed \bar{e} per cui si può operare parzialmente una tale discriminazione. Il grado di discriminazione dipende, dal valore delle ionizzazioni specifiche delle particelle che si devono rivelare e, come si vedrà, dalle condizioni di affollamento delle camere.

Dalle misure che si descrivono in questa nota, e le osservazioni dello stesso tipo di altri autori (brevemente discusse nel § 3), risulta la ben nota difficoltà di operare discriminazioni fra particelle di diversa ionizzazione specifica mediante rivelazione con camera a scintilla, lavorando questa in regime di scarica del tipo Geiger.

1. - CALIBRAZIONI CON PARTICELLE AL MINIMO DI IONIZZAZIONE. -

Per le calibrazioni delle camere mediante i raggi cosmici ($I/I_0 \simeq 1$) è stata adoperata la disposizione mostrata in Fig. 2.

Con questa disposizione sono state misurate le seguenti caratteristiche delle camere:

a) Efficienza in funzione del campo applicato (Fig. 3 - ϵ_g vs \bar{E}).

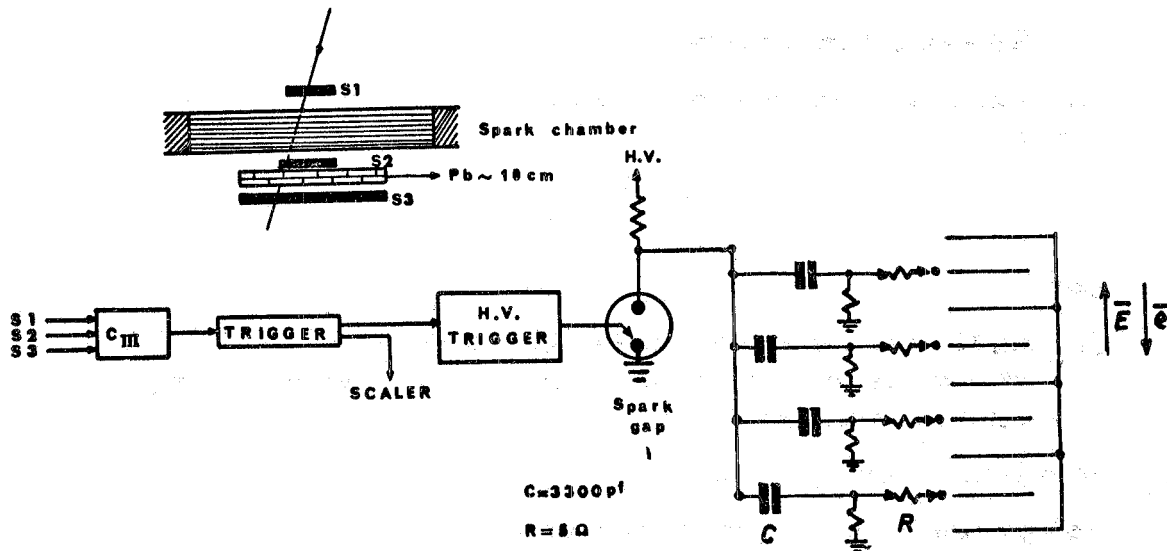


FIG. 2 - Disposizione sperimentale per la calibrazione delle camere con raggi cosmici.

Da queste misure veniva fissata per ogni camera la condizione di massima efficienza, in cui sono state eseguite le prove di cui ai punti seguenti (b + e).

b) Uniformità di risposta dalle camere.

Abbiamo controllato l'uniformità di risposta delle camere misurando ϵ_g in quattro diverse zone (v. Fig. 4) di ciascuna c. a s.

E' risultata una efficienza ϵ_g indipendente, entro 1%, dal punto di attraversamento della particella.

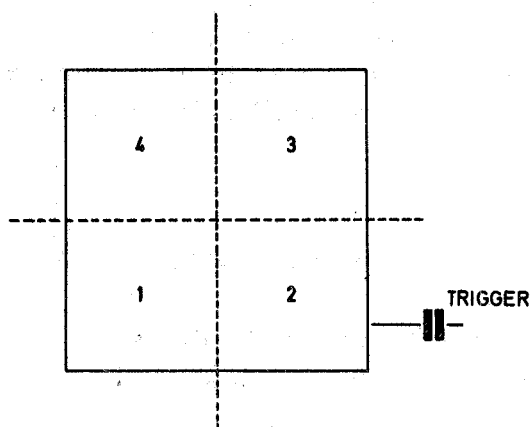


FIG. 4 - Zone delle camere a scintilla cui si riferiscono le misure riportate in Tab. II.

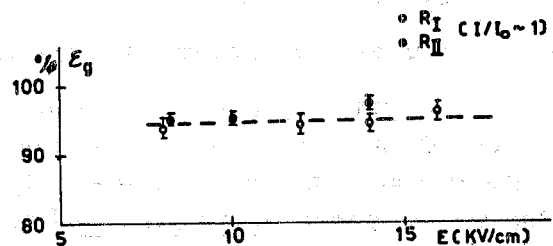


FIG.3 - Curve di tensione (ϵ_g vs \bar{E})

c) Dipendenza di ϵ_g da θ .

Le misure di cui al punto b), estese sino a $\theta \simeq 40^\circ$ mostrano che l'efficienza è indipendente da θ entro il range esplorato, come risulta dai dati riportati in Tab. II

d) Dipendenza di ϵ_{bg} dal ritardo t (particella-impulso di A. T.).

L'efficienza ϵ_{bg} è risultata indipendente dal ritardo t , per $t \leq 1 \mu s$. I risultati relativi alla R_{II} , alimentata a 11.5 KV/cm, sono riportati in Tab. III.

TABELLA II

 ξ_g per particelle relativistiche ($I/I_0 \approx 1$) $\theta = 0^\circ \div 40^\circ$

Camera	Zona	$\xi_g(\theta = 20^\circ \div 40^\circ)$	$\xi_g(\theta \leq 10^\circ)$
R _I	1 + 2	$(98 \pm 0.5)\%$	$(94 \pm 0.5)\%$
	3 + 4	98 ± 0.5	93 ± 0.5
R _{II}	1 + 2	95 ± 1	97 ± 0.5
	3 + 4	96 ± 1	95 ± 0.5
R _{III}	1 + 2	96 ± 0.5	97 ± 0.5

TABELLA III

$t(\mu s) = .400$.540	.650	.800	1.000
$\xi_{bg} = 98,7 \pm .6$	$98.3 \pm .6$	$99.3 \pm .7$	$100 \pm .5$	$95.5 \pm 2.0\%$

e) Risposta delle singole gaps. -

I valori della efficienza delle singole gaps di R_I, R_{II}, R_{III}, misurata con particelle con $I/I_0 \approx 1$, sono riportati in Fig. 5. Ne risulta che, ove si esclude la 4^a gap di R_I, le differenze fra le efficienze delle varie gaps sono contenute entro $\pm (2 - 3)\%$.

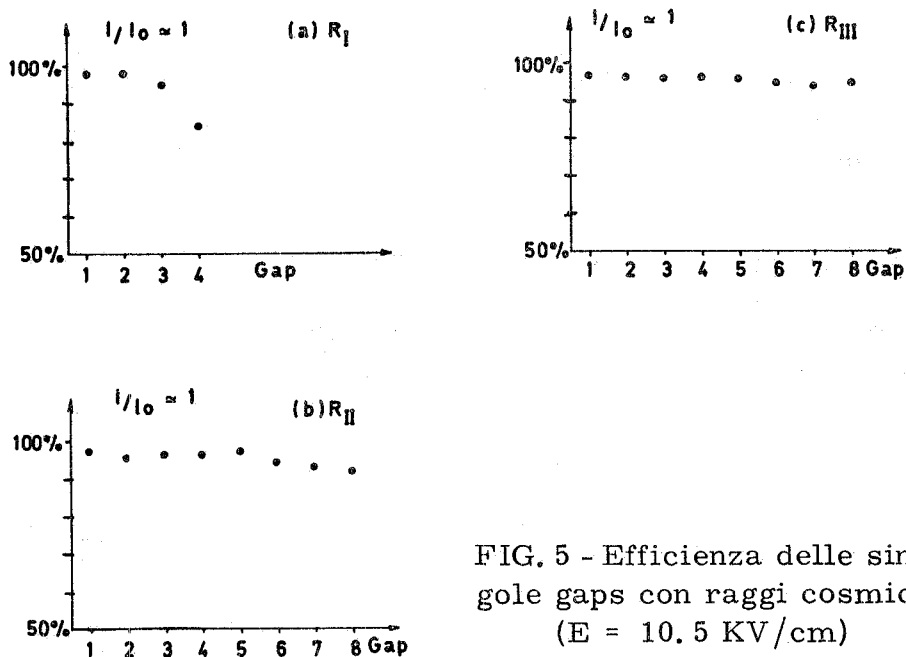


FIG. 5 - Efficienza delle singole gaps con raggi cosmici ($E = 10.5 \text{ KV/cm}$)

6.

2. - MISURA DELLA EFFICIENZA CON PARTICELLE DI DIVERSA IONIZZAZIONE SPECIFICA. -

Queste calibrazioni sono state eseguite con protoni o pioni di momento definito (prodotti da reazioni di fotoproduzione di pioni in idrogeno) tali che si avesse I/I_0 fra $7 \div 40$ nel caso dei protoni, e $I/I_0 \approx 1$ per i pioni.

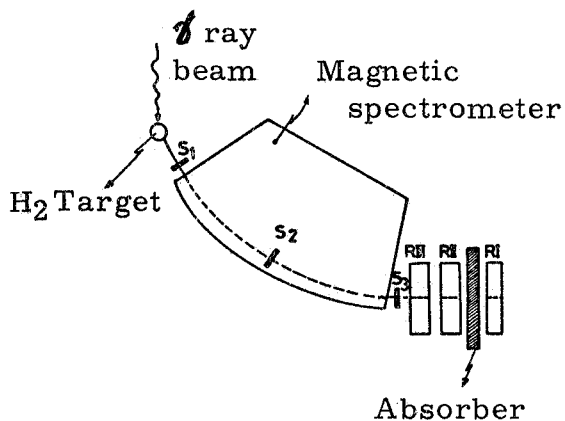


FIG. 6 - Disposizione sperimentale per la misura dell'efficienza della camera RIII in funzione della ionizzazione specifica delle particelle.

La disposizione sperimentale adoperata è schematizzata in Fig. 6 (si riferisce alla calibratura di RIII). Le particelle erano selezionate in momento, mediante un canale magnetico. Il sistema (RII - assorbitore - RI) serviva a suddividere, mediante misure di range, le particelle che attraversavano RIII in bande di ionizzazione specifica sufficientemente ristrette, all'interno dell'intervallo $7 \leq I/I_0 \leq 40$. Le camere di riferimento (RII ed RI, nel caso di Fig. 6) lavorano in condizioni ($E = 11.5$ KV/cm) di massima efficienza ($> 90\%$) già per particelle al minimo di ionizzazione.

Le misure relative all'intervallo $I/I_0 = 7 \div 40$ venivano eseguite allo stesso tempo. Le misure di riferimento a $I/I_0 \approx 1$ venivano eseguite fra una ed un'altra delle prove a $I/I_0 = 7 \div 40$.

Nel corso di queste prove abbiamo controllato che con particelle con $I/I_0 \approx 1$ riproducevamo, a parità di condizioni, i risultati ottenuti durante le precedenti calibrazioni con i raggi cosmici.

Nel corso dell'analisi dei risultati di queste misure ne abbiamo controllato la coerenza (mediante alcuni tests statistici, quali la frequenza di tracce con $s(\bar{s}=0, 1, \text{ecc.})$ scintille; la successione nel tempo delle tracce con una data gap mancante ecc.).

2.1. - Dell'insieme di misure di ϵ_g eseguite con particelle di diversa I/I_0 in funzione del campo pulitore (\bar{e}) e per diversi valori del campo impulsivo \bar{E} si riportano in Fig. 7 i risultati relativi alla camera RII, con campo pulitore $\bar{e} = 0$ e per diversi valori di \bar{E} , e quelli relativi a RIII, a $\bar{E} = 4$ KV/cm e con diversi valori di \bar{e} , in Fig. 8 e Tab. IV.

Dall'insieme di queste misure si ricava:

a) una chiara differenza in ϵ_g , a parità di \bar{E} ed \bar{e} , per particelle con $I/I_0 \approx 1$ ed $I/I_0 \geq 7$; in tutto il range coperto in \bar{E} ed \bar{e} ;

b) per $I/I_0 \approx 1$ si ha, una forte dipendenza di ϵ_g da \bar{E} ed \bar{e} .
(Fig. 8).

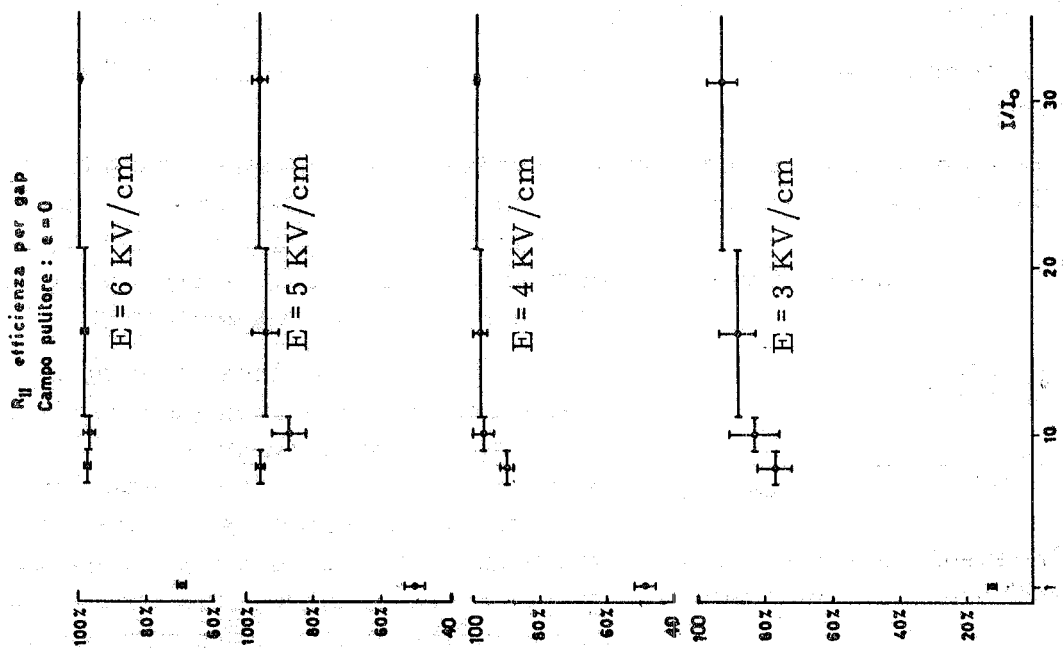


FIG. 7 - Variazione di ϵ_g con \bar{E} , per $\bar{\epsilon} = 0$, per particelle di diversa I/I_0 (camera RII).

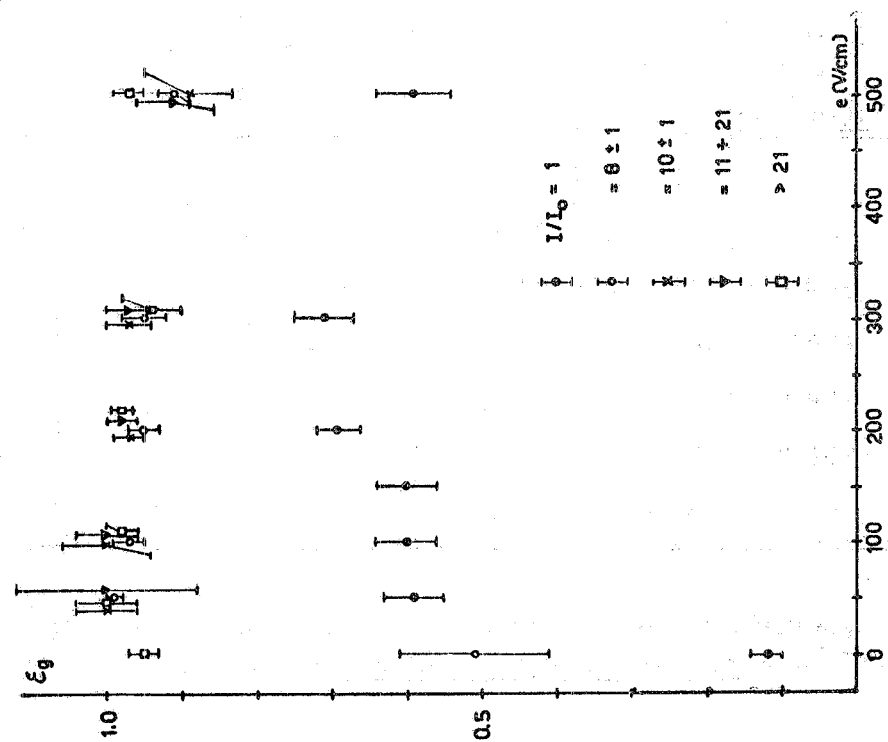


FIG. 8 - Andamento di ϵ_g al variare del campo pulitore per particelle con diversa I/I_0 (camera RIII, $E = 4$ KV/cm).

TABELLA IV - (Camera R_{III}, E = 4 KV/cm)

I/I_0 e(Volt/cm)	1	8 ± 1	10 ± 1	$11 \div 21$	> 21
0	12 ± 2	51 ± 10	---	---	95 ± 2
50	59 ± 4	99 ± 1	100 ± 4	100 ± 12	100 ± 4
100	60 ± 4	97 ± 2	100 ± 4	100 ± 6	98 ± 2
150	60 ± 4	---	---	---	---
200	69 ± 3	95 ± 2	97 ± 2	98 ± 2	98 ± 1
300	71 ± 4	95 ± 3	97 ± 3	97 ± 3	94 ± 4
500	59 ± 5	91 ± 2	89 ± 6	91 ± 5	97 ± 2

Questi fatti, permettono, (v. § 2.2) lavorando in un opportuno range di \bar{E} ed \bar{e} , una parziale discriminazione fra particelle con $I/I_0 \approx 1$ e $I/I_0 > 7$.

La chiara dipendenza di ϵ_g , per $I/I_0 \approx 1$, dal campo \bar{e} fa pensare che la differenza misurata in efficienza fra tracce di diversa I/I_0 sia un effetto combinato di:

a) differenza "primaria" in efficienza fra particelle di diversa ionizzazione specifica. Questa differenza decresce all'aumentare del campo impulsivo applicato. Nel caso da noi studiato essa vale $\sim 0.4 \div 0.3$ tra particelle con $I/I_0 \approx 1$ e con $I/I_0 > 7$, quando si lavori a $E = 4$ KV/cm;

b) competizione fra le particelle da rivelare e il fondo diffuso nelle camere.

Questo secondo effetto, anzi, è predominante, come provato dalla su indicata dipendenza dal campo pulitore. La chiara influenza su ϵ_g , per particelle con $I/I_0 \approx 1$, del fondo diffuso presente nella camera è corroborata, inoltre, dai seguenti fatti:

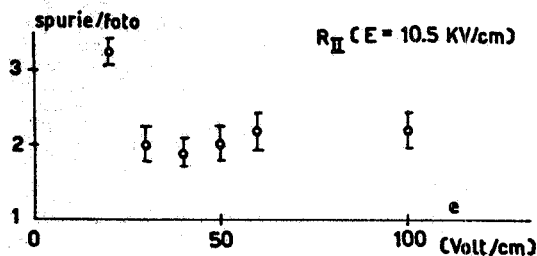


FIG. 9 - Frequenza delle scintille spurie al variare del campo pulitore \bar{e} .

1) la presenza di fondo nelle camere, durante le misure riportate in Fig. 7, risulta dal grafico di Fig. 9, in cui si riporta (per la camera R_{II} di riferimento) il numero di spurie per fotogramma in funzione del campo pulitore. I dati sembrano indicare un aumento di spurie in corrispondenza di ~ 25 V/cm.

2) La misura di ϵ_g (per R_{II}, Fig. 7) eseguita in condizioni di intensità del fascio \mathcal{J} primario (nelle misure al sincrotrone) di circa 1/5 di quella usata nelle misure riportate in Fig. 8, dà un valore, in corrispondenza di $I/I_0 \approx 1$, nettamente superiore a quello trovato in queste ultime ($\sim 50\%$ contro $\sim 12\%$).

2.2. - Come detto, le misure riportate in 2.1) indicano la possibilità di una discriminazione parziale per particelle con $I/I_0 \sim 1$ e $I/I_0 > 7$.

Per illustrare questa possibilità riportiamo in Tab. V, in funzione di alcuni valori tipici di ϵ_g , la frequenza ($f(s)$) attesa per tracce con un determinato numero s ($s = 0, \dots, 8$)^(x) di scintille presenti e quella ($F(>s)$) per tracce con almeno s scintille presenti.

TABELLA V

ϵ_g	50%		70%		90%		95%	
	$f(s)$	$F(>s)$	$f(s)$	$F(>s)$	$f(s)$	$F(>s)$	$f(s)$	$F(>s)$
0	.004	1.00	---	----	---	1.00	---	1.00
1	.03	1.00	---	---	---	1.00	---	1.00
2	.11	.97	.01	1.00	---	1.00	---	1.00
3	.22	.86	.04	.99	---		---	1.00
4	.27	.64	.14	.95	.005	1.00	---	1.00
5	.22	.37	.25	.81	.03	.99	.005	1.00
6	.11	.15	.30	.56	.15	.96	.05	.99
7	.03	.035	.20	.26	.38	.81	.28	.94
8	.005		.06		.43		.66	

2.3. - Riportiamo, infine, alcuni controlli o completamenti delle misure discusse in 2.2.), in termini di efficienza media per bigap (ϵ_{bg}).

a) La dipendenza di ϵ_{bg} per differenti valori di I/I_0 , in funzione di \bar{E} (Fig. 10) e del campo \bar{e} (Fig. 11), conferma gli andamenti messi in evidenza dalle misure di Figs. 7 ed 8.

Ovviamente, la differenza in efficienza, fra particelle con $I/I_0 \sim 1$ e $I/I_0 > 7$ è minore in termini di ϵ_{bg} che di ϵ_g .

Le misure di Fig. 10 mostrano inoltre che si ha una unica dipendenza della efficienza da I/I_0 per le due camere studiate (R_{II} ed R_{III}),

(x) - $s = 8$ corrisponde a tracce complete in camere del tipo R_{II}, R_{III}
(a 8 gap)

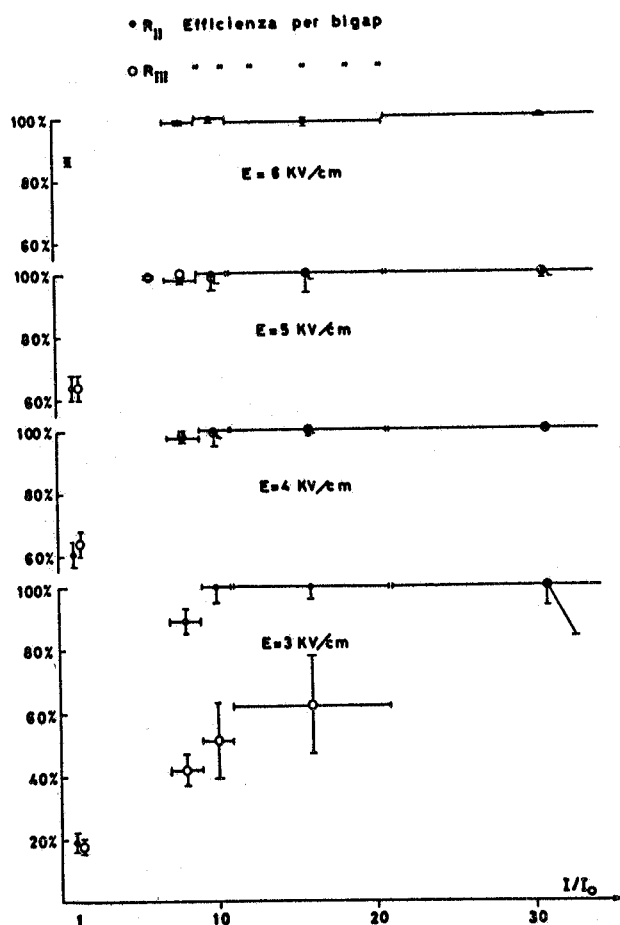


FIG. 10 - Variazione di ϵ_{bg} dalla I/I_0 delle particelle incidenti, per diversi valori del campo E.

se si lavora a $E \geq 4$ KV/cm. Ciò non si verifica per valori inferiori di E, il che, unitamente a prove fatte sulla riproducibilità dei risultati nel caso di $E \leq 3$ KV/cm, indica che queste condizioni di lavoro sono critiche nel caso delle camere da noi sperimentate.

b) Nel range di ritardo ($t < 1 \mu s$) da noi esplorato la efficienza ϵ_{bg} risulta indipendente da questo parametro, per tutti i valori di I/I_0 da noi studiati.

I dati relativi ad un campo applicato di 5 KV/cm (valore tipico di E nel caso si lavori con particelle a $I/I_0 > 1$) sono riassunti in Tab. VI e Fig. 12 (camera R_{III}).

Questi risultati estendono, a particelle con $I/I_0 > 1$ e per particelle con $I/I_0 \approx 1$ a "bassi" valori di E, quelli riportati nel § 1d (Tab. III).

TABELLA VI

t(ns)	$I/I_0 = 1$	8 ± 1	10 ± 1	11 ± 21	21
400	$(64 \pm 4)\%$	100 ± 1	98.7 ± 0.3	100 ± 1	100 ± 2 !
550	65 ± 3	---	---	---	---
650	77 ± 4	99 ± 1	98.6 ± 1.4	100 ± 3	99 ± 1
800	61 ± 4	---	---	---	---
1000	75 ± 4	93 ± 2	97 ± 2	100 ± 4	100 ± 10

Si nota che ϵ_{bg} risulta indipendente dal ritardo, per $t \leq 1 \mu s$.

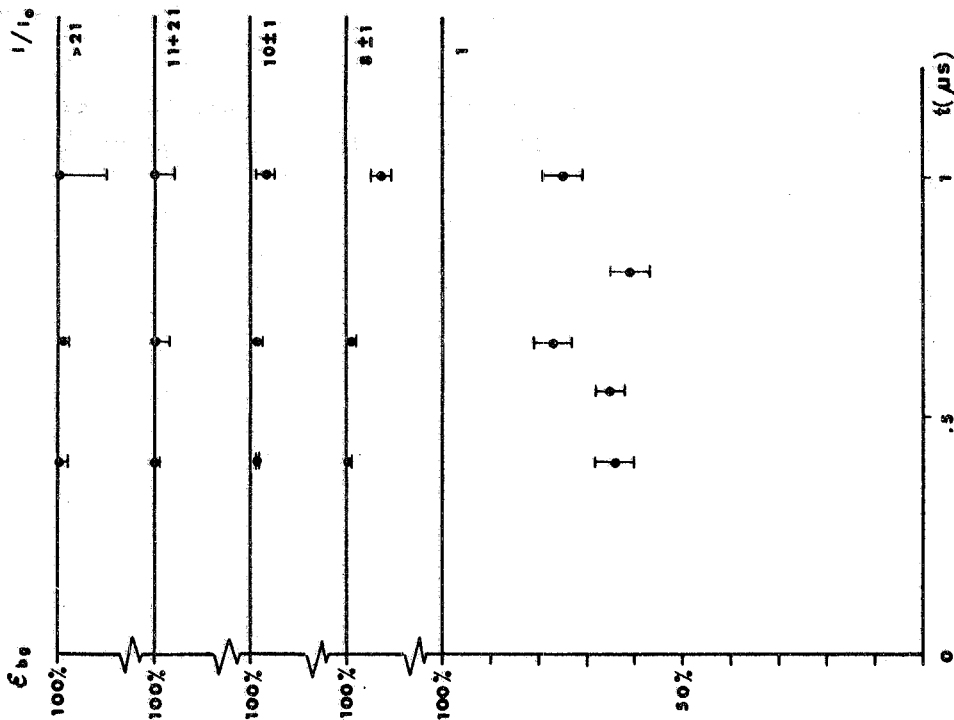


FIG. 11 - Efficienza media per bigap (per la camera RIII) con campo applicato $E = 5 \text{ KV/cm}$ in funzione del ritardo t e per vari valori di I/I_0 .

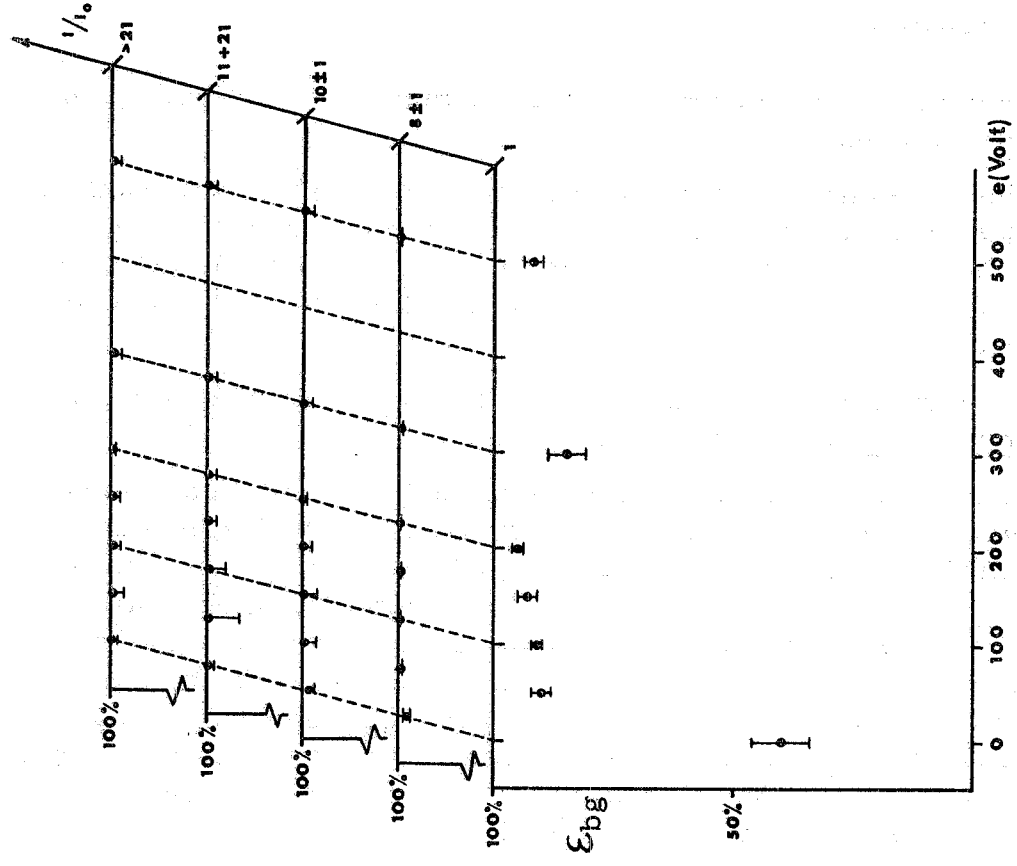


FIG. 12 - Efficienza media per bigap (per la camera RIII) con campo applicato 4 KV/cm in funzione del campo pultore e e per vari valori di I/I_0 .

3. - CONCLUSIONI. -

I risultati sulle calibrazioni delle camere con particelle al minimo (§ 1) sono standard.

Quelle relative a particelle con diverso I/I_0 (§ 2) sembrano indicare una differenza in efficienza, quando si lavora a "bassi" campi impulsivi ($E \sim 4-5$ KV/cm; elio), fra particelle con $I/I_0 \sim 1$ e $I/I_0 \geq 7$ (Fig. 7, 8). Questa differenza è esaltata in presenza di fondo "diffuso" presente nella camera.

Come mostrato nel § 2.2, questo effetto può servire per una parziale discriminazione fra particelle con $I/I_0 \simeq 1$ e $I/I_0 > 7$.

La presente ricerca si inquadra in quella iniziativa da vari autori, negli anni passati, per trovare una correlazione fra l'efficienza delle camere ottiche (o altri parametri delle scintille) e la ionizzazione specifica delle particelle che l'attraversano. Ad esempio, la dipendenza della luminosità o della densità dei bunchs lungo la traccia dalla ionizzazione è stata misurata da Agrinier et al. (3) e da Lyubimov et al. (4) (queste ultime misure sono relative a camere wide-gap). La differenza in efficienza per particella di diversa ionizzazione specifica è stata misurata e sfruttata da vari autori (5 + 7). In particolare, i dati riportati da Engels et al. (7) coprono un intervallo di ionizzazione ($I/I_0 < 4$) complementare a quello da noi esplorato. Va notato, a riguardo, che queste misure (5 + 7), a differenza di quelle da noi riportate nel presente lavoro, sono relative a particelle di diversa ionizzazione specifica contemporaneamente rivelate dalla camera a scintilla (p. es. α^- e P di una Λ^0), ove questa era alimentata con una tensione per cui si aveva massima efficienza per particelle singole con $I/I_0 \simeq 1$.

Un sommario delle misure qui citate sulla dipendenza dei parametri di una camera (a gap stretta o larga) dalla I/I_0 della particella rivelata si trova in Charpak et al. (2).

BIBLIOGRAFIA. -

- (1) - M. Grilli, V. Manno, F. Soso, P. Spillantini, R. Visentin, M. Nigro, E. Schiavuta, V. Valente and L. Paoluzi, Project of an experiment on e^+e^- annihilation in two bosons, Symp. on Electron and Positron Storage Rings (Saclay, 1966) p. VIIa-2-1.
- (2) - G. Charpak, L. Massonnet and J. Favier, The development of spark chamber techniques. Progress in Nucl. Techn. and Instr. (North Holland, Amsterdam, 1965), vol. I, p. 323.
- (3) - B. Agrinière, Y. Koechlin, B. Purlier and P. Catz, J. Phys. Radium 4, 312 (1963).
- (4) - V. A. Lyubimov and F. A. Pavlowsky, Institute for Theoretical and Experimental Physics of A. E. S. E. C. Moscow, Report n. 210 (1963).
- (5) - J. W. Cronin, Nuclear Instr. and Meth. 20, 143 (1963).
- (6) - C. T. Coffin, L. J. Curtis, D. I. Meyer and K. M. Terwilliger, Nuclear Instr. and Meth. 20, 156 (1963).
- (7) - E. Engels, D. Roth, J. Cronin and M. Pyka, IRE Trans. Nuclear Sci. NS-9, 256 (1962).