U

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA "TOR VERGATA"

Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali Corso di Laurea Triennale in Fisica

Tesi di Laurea

Calibrazione ed analisi dati del monitor di carica dell'esperimento RAP presso la Beam Test Facility dei Laboratori Nazionali di Frascati

Relatore: Prof.ssa ANNALISA D'ANGELO Laureando: ROBERTO DI NARDO

Correlatore: Dott. GIOVANNI MAZZITELLI

ANNO ACCADEMICO 2004-2005

Introduzione

La presente tesina ha lo scopo di studiare l'errore commesso nel misurare l'energia rilasciata da un fascio di elettroni ad una barra risonante di niobio nell'ambito dell'esperimento di Rilevazione Acustica di Particelle (RAP) realizzato presso i Laboratori Nazionali di Frascati (LNF).

Nel primo capitolo viene descritto il setup sperimentale di RAP. Nel secondo capitolo viene illustrata la calibrazione dell' Integrating Current Transformer (ICT) utilizzato per le misure di carica del fascio. Nel terzo capitolo vengono utilizzati i dati raccolti nei run di maggio 2005 di RAP stimando l'energia rilasciata alla barra risonante e il relativo errore.

Indice

In	trod	uzione	i
In	dice		ii
1	L'es	sperimento RAP	1
	1.1		1
	1.2	Modello Termo-Acustico	2
	1.3	Apparato Sperimentale	2
		1.3.1 I rivelatori risonanti	3
		1.3.2 Il sistema di sospensione e il sistema criogenico	3
		1.3.3 Trasduttori e sistema di acquisizione dati	4
	1 /	1.3.4 Caratteristicne del Iascio	Э г
	1.4	Simulazione Monte Carlo	Э
2	Cal	ibrazione ICT	8
-	2.1	Calibrazione tramite oscilloscopio	9
	$\frac{2.1}{2.2}$	Calibrazione tramite ODC	11
	2.2		11
3	Ana	alisi dati RAP	14
	3.1	Sistema di acquisizione dati di RAP	14
	3.2	Piedistalli	15
	3.3	Carica dei bunch	15
A	List	ato del programma in Fortran	19
Co	onclu	ısioni	23

 $\mathbf{24}$

Capitolo 1

L'esperimento RAP

1.1 Introduzione

Dal 1993 ai Laboratori Nazionali di Frascati è in funzione il rivelatore di onde gravitazionali ultracriogenico Nautilus, costituito da un cilindro in lega di alluminio Al5650 di 2,3 tonnellate. Tra i segnali spuri che possono mettere in oscillazione la sbarra di alluminio e generare così eventi indistinguibili da onde gravitazionali (GW) ci sono i raggi cosmici di alta energia; per tale motivo Nautilus è stato dotato di un sistema di rivelazione di raggi cosmici permettendo così di effettuare un'analisi dei dati in coincidenza.

Nel periodo in cui il rivelatore ha lavorato in regime superconduttivo è stata riscontrata la presenza di fenomeni in cui l'energia rivelata dall'antenna appariva essere molto maggiore di quella attesa (figura 1.1) [1]; al contrario, in regime non superconduttivo, la frequenza di eventi particolarmente energetici appariva in accordo con il valore teorico atteso(figura 1.2) [2].

Per tale motivo si è ritenuto indispensabile andare ad indagare il meccanismo alla base del trasferimento di energia da parte dei raggi cosmici al rivelatore. L'esperimento di Rivelazione Acustica di Particelle (RAP) si propone di misurare l'eccitazione di una barra risonante indotta da un fascio di elettroni, fornito dalla Beam Test Facility (BTF) di DA Φ NE, dalle caratteristiche note, sia in regime conductivo che in regime superconductivo.



Figura 1.1: Frequenze degli eventi in funzione delle ampiezze (distribuzioni integrali) per temperature T<1 K



Figura 1.2: Frequenze degli eventi in funzione delle ampiezze (distribuzioni integrali) per temperature T>1 K

1.2 Modello Termo-Acustico

Secondo il modello termoacustico [3–5] il rilascio di energia in un cilindro metallico da parte di una particella ionizzante provoca un innalzamento locale della temperatura e quindi un'onda di pressione che eccita i moti vibrazionali del cilindro stesso. Secondo tale modello l'ampiezza dell'oscillazione della sbarra è proporzionale al rapporto tra il coefficiente di espansione termico e il calore specifico attraverso il parametro di Grüneisen

$$\gamma = \frac{\beta V_m}{c_v \chi_T}$$

dove β, χ_T, V_m, c_v rappresentano rispettivamente il coefficiente di dilatazione termico, la compressibilità isoterma, il volume molare e il calore specifico a volume costante. Il valore aspettato per l'ampiezza dell'oscillazione risulta essere

$$B_{th} = \frac{2}{\pi} \frac{\alpha L}{c_v M} W \left(1 + \epsilon\right)$$

dove α è il coefficiente di dilatazione lineare, L ed M sono rispettivamente la lunghezza e la massa del cilindro, W è l'energia totale rilasciata alla sbarra da parte del fascio mentre ϵ è un fattore correttivo stimato attraverso una simulazione Monte Carlo che tiene conto dei contributi di ordine $O[(R/L)^2]$ dove R indica il raggio del cilindro.

1.3 Apparato Sperimentale

Le parti principali dell'apparato sperimentale di RAP sono i rivelatori risonanti, il sistema criogenico, il sistema di sospensione, i trasduttori e il sistema di acquisizione dati che vengono di seguito descritti. Per i test è stato utilizzato il fascio [6] fornito dalla beam test facility.

1.3.1 I rivelatori risonanti

Durante la prima fase dell'esperimento RAP è stata utilizzata come massa oscillante una barra cilindrica di alluminio Al5056 (5.2% Mg, 0.1% Mn, 0.1% C). Le caratteristiche principali di questa sbarra sono riassunte nella tabella seguente

Massa	34.1 Kg
Lunghezza	$500 \mathrm{~mm}$
Diametro	$182 \mathrm{~mm}$
Densità	2.64 g/cm^3
Frequenza del primo modo longitudinale a 296K	5096 Hz

Tabella 1.1: Barra di alluminio

Di seguito vengono invece riportate le caratteristiche della barra di niobio utilizzata nella seconda fase dell'esperimento

Massa	18.4 Kg
Lunghezza	$274 \mathrm{~mm}$
Diametro	$100 \mathrm{~mm}$
Densità	$8{,}56~{\rm g/cm^3}$
Frequenza del primo modo longitudinale a 290K	$6373~\mathrm{Hz}$

Tabella 1.2: Barra di niobio

1.3.2 Il sistema di sospensione e il sistema criogenico

L'obiettivo principale di una sospensione meccanica di un rivelatore di segnali meccanici è quello di ridurre il rumore sismico dell'ambiente circostante al livello della sensibilità degli strumenti di misura. Nel caso di RAP, inoltre, la sospensione meccanica ha anche lo scopo di fornire un contatto termico tra il cilindro e il refrigeratore a diluizione.

Il sistema di sospensione utilizzato consiste in una serie di filtri meccanici il cui numero e dimensionamento è stato scelto in modo tale da garantire un'attenuazione di circa -150 dB in un intervallo in frequenza che va da 1700 a 6000 Hz.



Figura 1.3: Barra di alluminio a criostato aperto

Per effettuare le misure in regime superconduttivo è necessario portare le barre risonanti a valori di temperatura prossimi alla loro temperatura critica (~ 9 K per il niobio e 1.1 K per l'Al5056). Per fare ciò viene utilizzato un sistema criogenico basato su un criostato commerciale cilindrico ad elio liquido (altezza 3.2 m, diametro 1.016 m) e un refrigeratore a diluizione ad ³He-⁴He. L'apparato di refrigerazione a diluizione verrà prossimamente utilizzato per eseguire l'ultimo insieme di misure sulla barra di alluminio nello stato superconduttivo.



Figura 1.4: Esperimento RAP montato nella BTF

1.3.3 Trasduttori e sistema di acquisizione dati

Per misurare l'ampiezza delle oscillazioni della barra dovute ad un innalzamento locale della temperatura causato dal rilascio di energia da parte del fascio sono stati utilizzati due piezoelettrici ceramici Pz24 connessi in parallelo (figura1.5). Il segnale generato dai piezoelettrici viene inviato ad un amplificatore a basso rumore ($V_{noise} \sim 4nV/\sqrt{Hz}$). Un'importanza rilevante nell'ambito dell'esperimento viene assunta dalla calibrazione dei trasduttori ovvero trovare il fattore di conversione elettromeccanico che permette di risalire all'oscillazione della barra partendo dal segnale elettrico generato [7].



Figura 1.5: Piezoelettrici montati in parallelo al centro del cilindro di RAP

Il sistema di acquisizione dati (DAQ) è basato su un ADC di picco VME a 16 bit e una scheda VME CPU Pentium III con sistema operativo Linux.

1.3.4 Caratteristiche del fascio

Il fascio di elettroni per l'esperimento RAP viene fornito dalla BTF di DA Φ NE. La BTF è una linea di trasferimento con la funzione di produrre un fascio di elettroni o positroni la cui energia e molteplicità può essere regolata attraverso due dipoli magnetici e delle slitte mentre quattro quadrupoli magnetici provvedono alla focalizzazione del fascio. Nella tabella che segue vengono riassunte le principali caratteristiche del fascio

Massima energia del fascio	$800 {\rm MeV}~{\rm e}^-$,550 ${\rm MeV}~{\rm e}^+$
Frequenza impulsi	fino a 50 Hz
Durata impulsi	1 - 10 ns
Spread in energia	$\sim 1\%$
Particelle per impulso	fino a 10^{10}

Per l'esperimento RAP la BTF provvede a fornire singoli impulsi contenenti ognuno $O[10^8]$ elettroni mentre la carica di ogni singolo impulso viene misurata grazie ad un Integrating Current Transformer (ICT).

1.4 Simulazione Monte Carlo

Al fine di stimare l'energia rilasciata dal fascio al rivelatore risonante è stata sviluppata una simulazione Monte Carlo utilizzando GEANT 3.21. Di seguito vengono riportati i risultati principali della simulazione nel caso della barra di niobio. Nel realizzare tale simulazione si è tenuto conto della reale geometria del sistema, del materiale del criostato, delle caratteristiche del fascio della BTF, dell'interazione degli elettroni con la materia. A causa della presenza del criostato, schematizzato nella simulazione come una successione di tre cilindri coassiali di alluminio, l'energia degli elettroni diminuisce leggermente a causa di emissioni di fotoni per Bremsstralhung. Inoltre per ogni elettrone di 510 MeV entrante nella barra viene generato uno sciame elettromagnetico in cui vengono prodotte più di 100 particelle secondarie. La distribuzione spaziale all'interno della barra di niobio di queste particelle secondarie viene mostrata nella figura 1.6.



Figura 1.6: Distribuzione spaziale delle particelle secondarie all'interno della barra

L'energia totale rilasciata alla sbarra da ogni singolo elettrone del fascio deve essere valutata andando a sommare il contributo energetico di ogni particella secondaria per ogni passo della simulazione.

Nella figura 1.7 viene mostrata la distribuzione dell'energia persa da un singolo elettrone di energia 510 MeV all'interno della barra di niobio dopo 10^6 run.



Figura 1.7: Energia rilasciata alla barra per singolo elettrone

L'energia media persa da un elettrone è quindi

$$\langle \Delta E \rangle \pm \sigma_{\Delta E} = 453 \pm 39 MeV$$

mentre per un fascio di N elettroni l'energia totale rilasciata alla barra di niobio è

$$W = N \left\langle \Delta E \right\rangle \quad \sigma_W = \sqrt{N} \sigma_{\Delta E}$$

Come si può notare l'incertezza relativa sull'energia rilasciata W è data dalla relazione

$$\frac{\sigma_W}{W} = \frac{\sigma_{\Delta E}}{\langle \Delta E \rangle} \cdot \frac{1}{\sqrt{N}}$$

in funzione del numero di elettroni incidenti. Osserviamo che questa è dominata dal contributo delle fluttuazioni statistiche e quindi tende a zero al crescere di N.

Capitolo 2

Calibrazione ICT

Come accennato nel precedente capitolo, per misurare il numero di elettroni del fascio durante l'esperimento RAP si è utilizzato un Integrating Current Transformer (ICT) della Bergoz modello ICT-122-070-05:1.

Quando il fascio attraversa l'ICT, nella bobina viene indotta una corrente I_{out} proporzionale a quella del fascio I_{beam} tale che

$$\int I_{out}dt = \frac{1}{R} \int I_{beam}dt$$

dove R è il rapporto di trasformazione. Integrando la corrente indotta nell'ICT, noto R, è possibile risalire alla carica totale del singolo bunch e quindi al numero di elettroni che lo compone.



Figura 2.1: ICT montato durante l'esperimento RAP

Per misurare questo rapporto di trasformazione sono state utilizzate due

procedure: una misura è stata fatta tramite oscilloscopio ed un'altra tramite un convertitore analogico di carica (QDC).

Va inoltre specificato che la procedura di calibrazione è resa possibile dal fatto che sull'ICT stesso è stata montata una 'bobina di calibrazione' adattata a 50 Ω (vedi figura 2.2).



Figura 2.2: ICT con bobina di calibrazione

Tramite questa bobina è possibile indurre in modo controllato una corrente nell'ICT. Ciò simula quanto effettivamente avviene con un bunch reale e permette così di misurare il rapporto R tra la carica indotta e la carica del fascio.

2.1 Calibrazione tramite oscilloscopio

L'apparato sperimentale utilizzato per realizzare la misura del rapporto di trasformazione dell'ICT tramite oscilloscopio è il seguente

- ICT
- Oscilloscopio Agilent
- Impulsatore Agilent 33250A Function / Arbitrary Waveform Generator
- Splitter resistivo (modulo a 32 canali LNF)

La configurazione utilizzata per effettuare le misure è mostrata nella figura 2.3



Figura 2.3: Configurazione per la calibrazione tramite oscilloscopio

Tramite l'impulsatore è possibile generare un segnale che simula quello generato da un bunch reale della BTF. Una volta prodotto, il segnale viene sdoppiato tramite uno splitter resistivo adattato a 50 Ω , costituito da tre resistenze disposte a stella; in questo modo è possibile inviare all'oscilloscopio adattato a 50 Ω sia il segnale in ingresso all'ICT, sia quello in uscita. Per misurare il rapporto di trasformazione dell'ICT è necessario integrare i due segnali in ingresso e in uscita e farne il rapporto. L'operazione di integrazione del segnale viene svolta automaticamente da una opportuna funzione dell'oscilloscopio utilizzato.

Di seguito vengono riportati i profili di un segnale in ingresso (durata impulso 10 ns, tempo di salita 5 ns, ampiezza 500 mV) e il corrispondente segnale in uscita con le rispettive integrazioni. Le tracce continue corrispondono alle funzioni cumulative fornite dall'oscilloscopio che permettono di valutare rapidamente l'integrale dalla differenza dei due valori asintotici.



Figura 2.4: Segnale all'ingresso dell'ICT



Figura 2.5: Segnale all'uscita dell'ICT

Al fine di misurare il rapporto di trasformazione R si sono eseguite tre serie di misure nelle quali per ognuna è stata fissata l'ampiezza del segnale (1 V, 2 V, 3 V) ed il tempo di salita (5 ns) mentre è stata fatta variare la durata

dell'impulso. Nelle figure vengono riportati i grafici ottenuti del valore R in funzione della durata del segnale in ingresso.



Figura 2.6: Ampiezza segnale 1 V (banda di confidenza 95%)



Figura 2.7: Ampiezza segnale 2 V (banda di confidenza 95%)

La funzione utilizzata per effettuare il fit dei dati sperimentali è

$$Y = S(1 - e^{-KX}) + B$$

mentre la tabella che segue riporta i valori ottenuti per i parametri S, K e B.

Ampiezza segnale	S	В	K	R
1 V	$0.73 {\pm} 0.11$	$9.84{\pm}0.10$	$0.0098 {\pm} 0.0040$	$10.6 {\pm} 0.2$
2 V	$0.53 {\pm} 0.13$	$9.98 {\pm} 0.13$	$0.0141 {\pm} 0.0086$	10.5 ± 0.3
3 V	$0.61 {\pm} 0.10$	$9.98 {\pm} 0.08$	$0.0067 {\pm} 0.0015$	$10.6 {\pm} 0.2$



Figura 2.8: Ampiezza segnale 3 V (banda di confidenza 95%)

Dai grafici è possibile vedere come il rapporto di trasformazione R diventa stabile solo con impulsi di durata superiore ai 100ns. Il valore di R viene stimato dalla relazione

$$R = S + B$$

e, come si osserva dalla tabella, il suo valore si attesta su

$$R = 10, 6 \pm 0, 2$$

2.2 Calibrazione tramite QDC

Oltre alla misura tramite oscilloscopio, si è ritenuto opportuno misurare il valore del parametro R anche attraverso l'utilizzo dell'elettronica usata durante la presa dati di RAP. E' possibile, infatti, che alcuni apparati elettronici utilizzati (es. modulo Phillips per fornire un offset al segnale) possa introdurre un contributo di rumore al segnale. L'apparato sperimentale utilizzato in questa fase della misura è costituito da

- ICT
- Impulsatore Agilent 33250A Function / Arbitrary Waveform Generator
- Modulo Phillips MOD 744 (Linear Fan-out con invertitore di segnale)

- Delay box
- QDC dual range modello CAEN V965
- Digital Delay Pulse Generator Stanford

Nella figura 2.9 è mostrato come sono stati montati gli elementi elencati per misurare il parametro R



Figura 2.9: Configurazione per la calibrazione tramite QDC

Una volta generato il segnale attraverso l'impulsatore, questo viene ritardato attraverso un delay box di circa 100 ns. Questa operazione è necessaria affinché l'impulso entrante e il segnale uscente dall'ICT rientrino nell'intervallo temporale (gate) di 240 ns nei quali avviene l'acquisizione del QDC. Poiché il QDC utilizzato non sempre inizia ad integrare segnali piccoli in corrispondenza del gate è risultato necessario introdurre un'offset a scapito di un aumento del piedistallo. Inoltre il QDC acquisisce soltanto segnali con polarità negativa. Pertanto, dopo essere stato ritardato, l'impulso viene inviato al modulo Phillips. Tramite questo modulo è possibile sia aggiungere un offset regolabile sia avere un segnale in uscita come quello in ingresso o il suo negato. In tal modo viene connessa l'uscita negata del segnale ad un canale del QDC mentre il segnale non negato viene mandato all'ICT. L'uscita dell'ICT viene connessa al modulo Phillips in modo da fornire il necessario offset al segnale prima di essere inviato ad un altro canale del QDC. In questo caso non è ne-

cessario prendere come segnale in uscita l'impulso negato poiché, come si può

vedere dalla figura 2.5, il segnale esce con polarità negativa direttamente dall'ICT. Infine una opportuna uscita del generatore di segnali fornisce al modulo (Stanford) che genera il gate un segnale di trigger che consente di ottenere la corretta temporizzazione del sistema di acquisizione dati.

Prima di iniziare la presa dati è stato determinato il piedistallo, ovvero l'errore sistematico dovuto al rumore che viene integrato dal QDC, su entrambe i canali utilizzati. Tale misura risulta necessaria in quanto bisognerà sottrarre il piedistallo dalle misure eseguite con l'impulsatore.



Figura 2.10: Piedistalli per i canali utilizzati

Utilizzando il fit con una distribuzione gaussiana si ottiene che il valor medio del piedistallo per il canale con il segnale in ingresso risulta essere $P_{in} = 573 \pm 6$ mentre per quello in uscita si ottiene $P_{out} = 210 \pm 5$.

Di seguito vengono mostrate le distribuzioni dei conteggi QDC relativi a un segnale di ampiezza 1 V, di durata 30 ns e tempo di salita 5 ns.



Figura 2.11: Distribuzione dei conteggi del QDC per i canali d'ingresso e di uscita

Siano $I \pm \delta I$ il valor medio del numero di conteggi del QDC e il corrispondente errore misurati per il segnale in ingresso e $O \pm \delta O$ i corrispondenti valori ottenuti per il segnale in uscita si ha che

$$I = 3042$$
 $\delta I = 8$ $O = 441.7$ $\delta O = 5.2$

mentre per il parametro R

$$R = \frac{I - P_{in}}{O - P_{out}}$$

$$\delta R = \frac{\sqrt{(I - P_{in})^2 (\delta O^2 + \delta P_{out}^2) + (O - P_{out})^2 (\delta I^2 + \delta P_{in}^2)}}{(O - P_{out})^2}$$

Quindi per la misura effettuata tramite QDC si ottiene

$$R = 10.6 \pm 0.3$$

Osserviamo che tale valore risulta compatibile con quello ottenuto attraverso le misure fatte con l'oscilloscopio nel limite di segnali di durata superiore a 100 ns.

Misure simili sono state effettuate variando la durata dell'impulso ad ampiezza costante (1V).



Figura 2.12: Valori di R al variare della durata dell'impulso

Durata impulso	R	δR
10 ns	10.5	1.0
20 ns	10.7	0.7
25 ns	10.6	0.5
30 ns	10.6	0.3

Come si nota nel grafico in figura 2.12 per qualunque durata del segnale in ingresso, al contrario di quanto accade nelle misure fatte con l'oscilloscopio, il rapporto di trasformazione R rimane pressoché costante; l'errore, invece, si riduce all'aumentare della durata dell'impulso.

Segue quindi che gli andamenti di R in funzione della durata dell'impulso mostrati nei grafici 2.6, 2.7 e 2.8 sono dovuti a effetti puramente strumentali.

Capitolo 3

Analisi dati RAP

Dopo aver misurato il valore del rapporto di trasformazione dell'ICT è possibile stimare l'energia rilasciata alla barra risonante durante l'esperimento di rivelazione acustica di particelle RAP. In particolare vengono presentati i risultati ottenuti nei Run del 13 Maggio (temperatura 81 K) e 18 Maggio (temperatura 11.79-12.75 K) del 2005 .

3.1 Sistema di acquisizione dati di RAP

Di seguito viene illustrato lo schema del sistema di acquisizione dei dati relativi alla carica del fascio utilizzato durante l'esperimento RAP.



Figura 3.1: Configurazione dell'elettronica dell'esperimento RAP

Il segnale generato dal passaggio del fascio attraverso l'ICT viene sdoppiato attraverso uno splitter resistivo (lo stesso utilizzato durante la calibrazione dell'ICT tramite oscilloscopio) e inviato sia ad uno oscilloscopio situato nella sala controllo della BTF, sia al modulo Phillips con il quale è possibile assegnare un offset al segnale. L'uscita del modulo Phillips viene infine connessa con un canale del QDC mentre un trigger di macchina esterno apre il segnale di gate all'interno del quale viene integrato il valore della carica del bunch. I dati del QDC vengono successivamente analizzati attraverso il programma PAW. Nella figura 3.2 è mostrata la serie di dati acquisiti nel run del 13 Maggio



Figura 3.2: Dati acquisiti il 13/5/2005

3.2 Piedistalli

Anche nell'esperimento RAP, per la misura della carica di un singolo bunch, è stato valutato preliminarmente il piedistallo da sottrarre. Di seguito sono riportate le misure dei piedistalli relativi ai Run del 3 e 18 Maggio del 2005

Effettuando un fit di tipo gaussiano si ottengono come valori medi dei piedistalli

Run	Piedistallo	σ
13/05/2005	742.8	4.9
18/05/2005	740.8	4.9



Figura 3.3: Piedistalli

3.3 Carica dei bunch

Siamo ora in grado di stimare la carica di ogni singolo bunch relativo ai dati dei run presi in esame. Definendo D la differenza tra i conteggi QDC di una singola misura e il relativo piedistallo, K il fattore di conversione di carica del QDC, R il rapporto di trasformazione dell'ICT ed S fattore di riduzione del segnale dovuto allo splitter si ha che la carica relativa ad un singolo evento è

$$Q = DRKS \qquad \qquad \delta Q = Q\sqrt{\left(\frac{\delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\delta R}{R}\right)^2 + \left(\frac{\delta K}{K}\right)^2 + \left(\frac{\delta S}{S}\right)^2}$$

Per determinare il fattore di riduzione tra il segnale in uscita dall'ICT e quello in uscita dallo splitter resistivo è stata eseguita una semplice misura connettendo un impulsatore allo splitter ($V_{in} = 1000 \pm 1mV$) e leggendo attraverso un oscilloscopio il segnale in uscita dai rimanenti canali dello splitter. I profili dei segnali in uscita sono mostrati nella figura 3.4



Figura 3.4: Segnali all'uscita dello splitter

Si osserva che l'ampiezza dei due segnali è pari a 500 ± 2 mV da cui si ottiene

$$S = 2.000 \pm 0.008$$

Per il valore di K è stato sufficiente leggere le specifiche tecniche del QDC sul manuale

$$K = \frac{100 \ pC}{4096 \ Canali} \cong 24.4 fC/Canali$$

Anche per l'errore associato ai conteggi $(\pm 1 \ Count)$ relativi a un singolo bunch si è fatto riferimento al manuale del QDC [8] mentre per il parametro R si considera il valore riportato nel precedente capitolo. Per analizzare i dati acquisiti durante i Run considerati si è utilizzato un codice in Fortran, allegato in appendice A, eseguito in ambiente Paw. In tal modo è stato possibile ricavare carica ed errore associato di ogni singolo evento. Nella tabella 3.1 sono riportati per i due run i valori della carica con relativo errore ottenuta per ogni bunch di elettroni indicati tramite l'ora in cui sono stati acquisiti.

13/05/2005			18/05/2005		
Ora	Carica (pC)	errore (pC)	Ora	Carica (pC)	errore (pC)
14:45:00	11.5	2.6	15:34:00	104.1	3.9
14:48:00	12.5	2.6	15:42:00	163.7	5.3
14:50:00	5.8	2.6	15:50:00	215.9	6.6
14:51:00	11.0	2.6	16:03:00	193.2	6.0
14:55:00	19.8	2.6	16:23:00	50.8	3.0
14:56:00	24.4	2.7	16:28:00	58.1	3.1
14:57:30	19.8	2.6	16:35:00	62.2	3.1
14:59:00	24.4	2.7	16:41:00	55.0	3.0
15:00:00	23.4	2.7	16:46:00	27.0	2.7
15:01:30	65.8	3.2	18:32:00	17.7	2.6
15:03:00	63.2	3.1	18:47:00	19.3	2.6
15:04:30	60.7	3.1	19:05:00	17.2	2.6
15:11:30	52.4	3.0	19:16:00	24.9	2.7
15:13:00	58.6	3.1	19:38:00	27.0	2.7
15:31:00	120.2	4.3	19:55:00	14.6	2.6
15:32:45	133.6	4.6	20:05:00	7.9	2.6
15:34:15	136.7	4.7	20:14:00	7.3	2.6
15:35:50	135.2	4.6	20:17:00	14.6	2.6
15:38:00	138.3	4.7	20:30:00	16.7	2.6
15:40:00	186.4	5.9	20:31:00	18.2	2.6
15:41:40	201.4	6.3	20:33:00	18.7	2.6
15:43:15	212.3	6.5			
16:21:00	161.1	5.2			
16:24:00	195.7	6.1			
16:25:30	177.1	5.6			
16:27:00	193.2	6.0			
16:33:00	8.9	2.6			
16:34:00	7.9	2.6			
16:35:00	5.3	2.6			
16:36:00	4.8	2.6			
16:37:00	5.3	2.6			

Tabella 3.1: Ora di acquisizione, valori della carica e relativo errore di ogni bunch dei run del 13 e 18 maggio 2005

E' possibile notare come l'errore relativo diventa particolarmente alto (10%-54%) per bunch a basse correnti[†] (5pC-25pC) e in ogni caso non è mai minore del 3%.

Per calcolare l'energia ceduta alla barra è sufficiente utilizzare la formula

$$W = \frac{Q}{e} \Delta E$$

dove Q/e rappresenta il numero N di elettroni incidenti sulla barra mentre ΔE è l'energia media rilasciata dal singolo elettrone stimato dal Monte Carlo. L'errore relativo su W risulta essere

$$\frac{\delta W}{W} = \frac{\delta Q}{Q} + \frac{\delta \Delta E}{\Delta E}$$

A causa del comportamento calorimetrico della barra risonante, il secondo termine risulta essere proporzionale a

$$\frac{\delta \Delta E}{\Delta E} \propto \frac{1}{\sqrt{N}}$$

e quindi[‡] può essere trascurato per bunch contenente un numero di elettroni dell'ordine di 10⁸. Quindi l'errore relativo associato all'energia rilasciata alla barra da un singolo bunch è equivalente a quello della carica del bunch stesso e, di conseguenza, anch'esso ha come limite inferiore l'errore relativo con il quale si è determinato il valore del rapporto R di trasformazione dell'ICT.

 $^{^{\}dagger}\mathrm{E'}$ lecito parlare di correnti in quanto per l'esperimento RAP la BTF ha fornito impulsi di durata costante pari a 10ns

 $^{^{\}ddagger}\mathrm{Si}$ può vedere facilmente che, utilizzando i risultati del Monte Carlo, il fattore di proporzionalità è 1.09

Appendice A

Listato del programma in Fortran

Di seguito viene riportato il programma in Fortran utilizzato per analizzare i dati dei run del 13 e 18 Maggio 2005

REA	L FUNCTIC	N ele(ped	l,sped)			
REAL						
+X0	,X1	, X2	,Χ3	, X4	, X5	,
+X6	, X7	,X8	, X9	, X10	,X11	,
+X12	,X13	, X14	, X15	,YO	,Y1	,
+Y2	,Y3	,Y4	,Y5	,Y6	,Y7	,
+Y8	,Y9	,Y10	,Y11	,Y12	,Y13	,
+Y14	,Y15	,PEAKO	,PEAK1	,PEAK2	,PEAK3	,
+PEAK4	,PEAK5	,PEAK6	,PEAK7	,SCO	,SC1	,
+SC2	,SC3	,SC4	,SC5	,SC6	,SC7	,
+SC8	,SC9	,SC10	,SC11	,SC12	,SC13	,
+SC14	,SC15	,SC16	,SC17	,SC18	,SC19	,

+SC20	,SC21	,SC22	,SC23	,SC24	,SC25	,
+SC26	,SC27	,SC28	,SC29	,SC30	,SC31	,
+TDCA0	,TDCA1	,TDCA2	,TDCA3	,TDCA4	,TDCA5	,
+TDCA6	,TDCA7	,TDCA8	,TDCA9	,TDCA10	,TDCA11	,
+TDCA12	,TDCA13	,TDCA14	,TDCA15	,TDCA16	,TDCA17	,
+TDCA18	,TDCA19	,TDCA20	,TDCA21	,TDCA22	,TDCA23	,
+TDCA24	,TDCA25	,TDCA26	,TDCA27	,TDCA28	,TDCA29	,
+TDCA30	,TDCA31	,TDCB0	,TDCB1	,TDCB2	,TDCB3	,
+TDCB4	,TDCB5	,TDCB6	,TDCB7	,TDCB8	,TDCB9	,
+TDCB10	,TDCB11	,TDCB12	,TDCB13	,TDCB14	,TDCB15	,
+TDCB16	,TDCB17	,TDCB18	,TDCB19	,TDCB20	,TDCB21	,
+TDCB22	,TDCB23	,TDCB24	,TDCB25	,TDCB26	,TDCB27	,
+TDCB28	,TDCB29	,TDCB30	,TDCB31	,DRLO	,DRHO	,
+DRL1	,DRH1	,DRL2	,DRH2	,DRL3	,DRH3	,
+DRL4	,DRH4	,DRL5	,DRH5	,DRL6	,DRH6	,
+DRL7	,DRH7	,DRL8	,DRH8	,DRL9	,DRH9	,
+DRL10	,DRH10	,DRL11	,DRH11	,DRL12	,DRH12	,
+DRL13	,DRH13	,DRL14	,DRH14	,DRL15	,DRH15	

*

*

LOGICAL	CHAIN
CHARACTER*128	CFILE

COMMON /PAWCHN/ CHAIN, NCHEVT, ICHEVT COMMON /PAWCHC/ CFILE

*

COMMON/PAWIDN/IDNEVT,OBS(13), +X0 ,X1 ,X2 ,X3 ,X4 ,X5 , $\mathbf{27}$

+X6	, X7	,X8	, X9	, X10	, X11	,
+X12	, X13	, X14	, X15	, YO	,Y1	,
+Y2	,Y3	, Y4	,Y5	, Y6	, Y7	,
+Y8	,Y9	,Y10	,Y11	,Y12	,Y13	,
+Y14	,Y15	,PEAKO	,PEAK1	,PEAK2	,PEAK3	,
+PEAK4	,PEAK5	,PEAK6	,PEAK7	,SCO	,SC1	,
+SC2	,SC3	,SC4	,SC5	,SC6	,SC7	,
+SC8	,SC9	,SC10	,SC11	,SC12	,SC13	,
+SC14	,SC15	,SC16	,SC17	,SC18	,SC19	,
+SC20	,SC21	,SC22	,SC23	,SC24	,SC25	,
+SC26	,SC27	,SC28	,SC29	,SC30	,SC31	,
+TDCA0	,TDCA1	,TDCA2	,TDCA3	,TDCA4	,TDCA5	,
+TDCA6	,TDCA7	,TDCA8	,TDCA9	,TDCA10	,TDCA11	,
+TDCA12	,TDCA13	,TDCA14	,TDCA15	,TDCA16	,TDCA17	,
+TDCA18	,TDCA19	,TDCA20	,TDCA21	,TDCA22	,TDCA23	,
+TDCA24	,TDCA25	,TDCA26	,TDCA27	,TDCA28	,TDCA29	,
+TDCA30	,TDCA31	,TDCB0	,TDCB1	,TDCB2	,TDCB3	,
+TDCB4	,TDCB5	,TDCB6	,TDCB7	,TDCB8	,TDCB9	,
+TDCB10	,TDCB11	,TDCB12	,TDCB13	,TDCB14	,TDCB15	,
+TDCB16	,TDCB17	,TDCB18	,TDCB19	,TDCB20	,TDCB21	,
+TDCB22	,TDCB23	,TDCB24	,TDCB25	,TDCB26	,TDCB27	,
+TDCB28	,TDCB29	,TDCB30	,TDCB31	,DRLO	,DRHO	,
+DRL1	,DRH1	,DRL2	,DRH2	,DRL3	,DRH3	,
+DRL4	,DRH4	,DRL5	,DRH5	,DRL6	,DRH6	,
+DRL7	,DRH7	,DRL8	,DRH8	,DRL9	,DRH9	,
+DRL10	,DRH10	,DRL11	,DRH11	,DRL12	,DRH12	,
+DRL13	,DRH13	,DRL14	,DRH14	,DRL15	,DRH15	

 $\mathbf{29}$

```
REAL pQ,diff,sped,errpq,Z
Z=0.008/2.
IF((drh0-ped)>sped) THEN
    diff = (drh0-ped)
    ele= (diff)*100.*10.6*2./4096.*1e7/1.6
    pQ = (diff)*100.*10.6*2./4096.
    errdiff = (1.+ (sped)**2)**0.5
    errpq=(pQ)*((0.3/10.6)**2.+Z**2.+((errdiff)/(diff))**2.)**0.5
ELSE
    ele= -1
    pQ = -1
ENDIF
write (*,*) idnevt,ele,pQ,errpq,diff,errdiff
END
```

*

*

Conclusioni

RAP è il primo esperimento nel quale si va a verificare la validità del modello termoacustico a basse temperature e la stima degli errori commessi nelle misure effettuate è un aspetto che non può essere trascurato. Con questo lavoro si è trovata la componente di errore legata all'incertezza nella misura del numero di elettroni incidenti sulla barra risonante.

I risultati hanno mostrato che in corrispondenza dei bunch con una carica maggiore di 60pC si sono ottenuti degli errori ragionevolmente contenuti (3%-5%) nelle misure di carica del fascio. Appare inoltre evidente che il 3% rimane un limite inferiore per tale errore poiché corrisponde all'incertezza sul rapporto di trasformazione R dell'ICT misurato tramite la procedura di calibrazione.

Per impulsi di carica inferiore ai 10 pC, invece, l'errore raggiunge anche il 50%; ciò avviene poiché, in questo caso, il numero di conteggi effettuati dal QDC diventa confrontabile con i conteggi del piedistallo.

Infine si è mostrato che l'errore relativo associato alla carica di un bunch di elettroni è equivalente a quello dell'energia rilasciata alla barra dal bunch stesso e, di conseguenza, anch'esso ha come limite inferiore l'errore relativo con il quale si è determinato R.

Bibliografia

- [1] P.Astone, et al., Energetic cosmic rays observed by the resonant gravitational wave detector Nutilus, Phys. Rev. Lett. 84, 14–17 (2000)
- [2] P.Astone, et al., Effect of cosmic rays on the resonant g.w. detector Nautilus at temperature T=1.5 K, Physics Letters B 540, 179–184 (2002)
- [3] B. L. Beron and R. Hofstadter, *Generation of mechanical vibrations by* penetrating particles, Phys. Rev. Lett. 23, 184–186 (1969)
- [4] G. Liu and B. Barish Nuclearite flux limit from gravitational-wave detectors, Phys. Rev. Lett. 61-3, 271 (1988)
- [5] A. M. Allega and N. Cabibbo, Lett. Nuovo Cim. 38, 263 (1983)
- [6] G. Mazzitelli, et al., Commissioning of the DAFNE beam test facility, Nucl. Instrum. Meth. A 515, 524–542 (2003)
- [7] S. Panella, Metodo di calibrazione del fattore di accoppiamento elettromeccanico, RAP TECHNICAL NOTE 004 (2003)
- [8] C.A.E.N. Tecnical information manual MOD. V965 16 channel dual range QDC
- [9] B.Buonomo, et al., Particle acoustic detection in gravitational wave aluminum resonant antennas, Astroparticle Physics Vol. 24, 65-74 (2005)