

INFN/AE-72/8  
11 Novembre 1972

M. Ambrosio: CALCOLO DELL'EFFICIENZA DI RIVELAZIONE DELLA  
ESPERIENZA  $e^+e^- \rightarrow p\bar{p}$  CON IL METODO DI MONTECARLO. -

Il metodo statistico di Montecarlo è stato usato in questo lavoro per calcolare l'efficienza di rivelazione dell'apparato sperimentale utilizzato dal gruppo di Particelle Elementari di Napoli per rivelare le coppie  $p\bar{p}$  prodotte nella reazione

$$e^+e^- \rightarrow p\bar{p}$$

ottenuta con l'anello di accumulazione Adone dei Laboratori Nazionali di Frascati. Il programma è scritto in linguaggio FORTRAN, per un calcolatore IBM 360/44.

Nel seguito descriviamo brevemente l'apparato sperimentale, il trigger usato, ed il metodo di analisi, più ampiamente poi il calcolo e le diverse fasi del programma.

#### 1. - APPARATO SPERIMENTALE. -

In Figura 1 è mostrata una sezione completa dell'apparato sperimentale. I rivelatori a scintillazione formano due telescopi incrociati, chiamati AE - BI ed AI - BE, di otto scintillatori ognuno (esclusi quelli costituenti l'odoscopio), distribuiti simmetricamente in due rami.

Le coppie  $p\bar{p}$ , date le caratteristiche di Adone, devono soddisfare i seguenti requisiti:

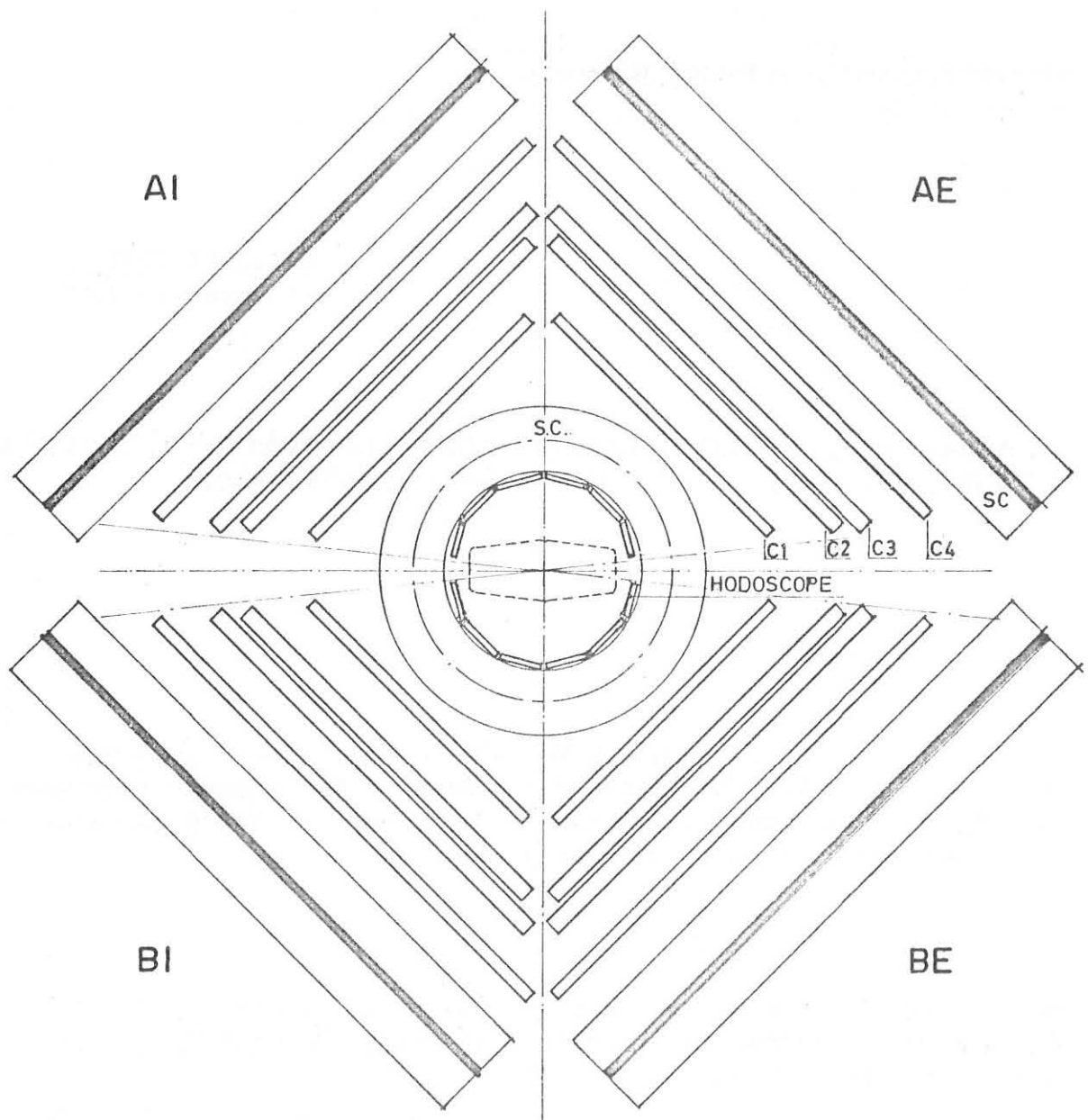


FIG. 1

a) - Complanarità e collinearità. -

Questa proprietà discende direttamente dal fatto che la reazione avviene nel sistema del baricentro delle due particelle. Correzioni radiative non turbano apprezzabilmente questa condizione.

b) - Energia cinetica dei protoni emessi  $\approx 110$  MeV. -

Infatti l'energia totale a disposizione nella reazione è di 2.1. GeV, con un momento trasferito time-like  $q^2 = -4.4$  (GeV/c)<sup>2</sup>.

La prima condizione impone che la rivelazione di una coppia  $p\bar{p}$  interessi un solo telescopio dei due che costituiscono l'apparato spe

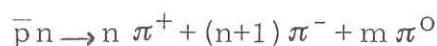
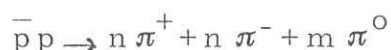
rimentale, mentre la seconda condizione impone che i protoni e gli antiprotoni si fermino alla fine dei contatori 2 o all'inizio dei contatori 3 opposti del telescopio considerato.

Nel calcolo dell'efficienza geometrica basta allora considerare un solo telescopio, ad es: AE - BI, ed imporre che la coppia collineare  $p\bar{p}$  prodotta incontri l'odoscopio, i contatori 1 ed i contatori 2 del detto telescopio.

## 2. - TRIGGER ELETTRONICO. -

Il protone e l'antiprotone emessi, perdono molta energia nei ( $> 20$  MeV) contatori 2 opposti di uno stesso telescopio perchè vi arrivano a fine range.

Il protone può anche giungere nel contatore 3, ma mai nel 4. L'antiprotone invece annichila sui nuclei del plastico e può dar luogo alle seguenti reazioni:



I pioni carichi di annichilazione possono incontrare gli altri rivelatori del telescopio, compresi i contatori 4, per cui il trigger elettronico usato è definito dalle seguenti condizioni:

a) c'è un segnale da due contatori opposti dell'odoscopio. Questa condizione impone la complanarità entro  $\pm 15$  gradi degli eventi rivelati.

b) Nei contatori 1 la perdita di energia è maggiore di 5 MeV.

c) Nel ramo del protone non c'è segnale dal contatore 4.

d) Nel ramo del protone la perdita di energia nel contatore 2 è maggiore di 20 MeV.

e) Nel ramo dell'antiprotone c'è un segnale dai contatori 2 e 3, e ci può essere un segnale dal contatore 4.

Tale trigger può essere falsato nei seguenti punti:

c) - Il contatore 4 nel ramo del protone può essere attraversato da un pione carico di annichilazione dell'antiprotone. In tal caso, se è scattato anche il 4 opposto, l'evento non viene rivelato, mentre se il 4 opposto non è scattato l'evento viene rivelato, ma viene rigettato in sede di analisi. In ogni caso un evento di questo genere viene perduto.

d)- Può accadere anche che sia il protone che l'antiprotone si fermino nei contatori 2 (coppie a piccolo angolo con il fascio), e nessuno

4.

dei pioni carichi di annichilazione incontri un contatore 3 del telescopio. Anche in tal caso l'evento si perde, ma la probabilità di avere un evento di questo tipo è 2% per cui non viene considerata nel presente Montecarlo.

In definitiva il calcolo dell'efficienza di trigger si riduce a calcolare la percentuale di eventi tipo c), osservando la distribuzione statistica dei contatori 4 intercettati dai pioni carichi emessi nell'an-nichilazione degli antiprotoni nel plastico.

### 3. - METODO DI ANALISI. -

Uno dei principali criteri di riconoscimento di una coppia  $p\bar{p}$  consiste nell'osservare la stella di annichilazione dell'antiprotone, cioè una grossa perdita di energia nei contatori intercettati dall'antiprotone. Inoltre vengono rigettati quegli eventi in cui nel ramo del protone è scattato il contatore 4.

Il protone viene identificato ricostruendone la massa mediante la sua perdita di energia nei contatori. Non si può fare lo stesso per l'antiprotone per la presenza dei pioni carichi di annichilazione, la cui perdita di energia si somma a quella dell'antiprotone.

Possiamo allora definire una efficienza di analisi considerando le seguenti percentuali:

- a) percentuale di eventi in cui l'antiprotone annichila in soli pioni neutri. In tal caso manca chiaramente la stella di annichilazione;
- b) percentuale di eventi in cui c'è un segnale dal contatore 4 nel ramo del protone;
- c) distribuzione statistica della perdita totale di energia, nei contatori 1 - 2 - 3 del ramo dell'antiprotone, dei pioni carichi di annichila-zione. Si può vedere così come varia statisticamente la lettura della perdita di energia nel ramo dell'antiprotone.

### 4. - DESCRIZIONE DEL PROGRAMMA. -

Nel programma ci siamo interessati al solo telescopio AE - BI dell'apparato sperimentale. Ciò non invalida i risultati ottenuti, data la simmetria dell'apparato stesso. Inoltre abbiamo usato le seguenti approssimazioni:

- a) l'antiprotone annichila sulla superficie superiore del conta-tore 2. Ciò non è vero in generale, ma incide pochissimo nel calcolo.
- b) Non si introduce alcuna correlazione angolare tra le dire-zioni dei pioni emessi.

Infatti un check a due corpi (2 pioni carichi, emessi a caso due pioni carichi emessi in direzioni opposte) ha mostrato che le percentuali cercate non variano apprezzabilmente inserendo una correlazione angolare.

Come sistema di riferimento abbiamo scelto una terna di assi cartesiani solidali con la superficie superiore del contatore 2, come mostrato in Fig. 2, e con l'asse  $y$  parallelo alla linea di volo degli elettroni.

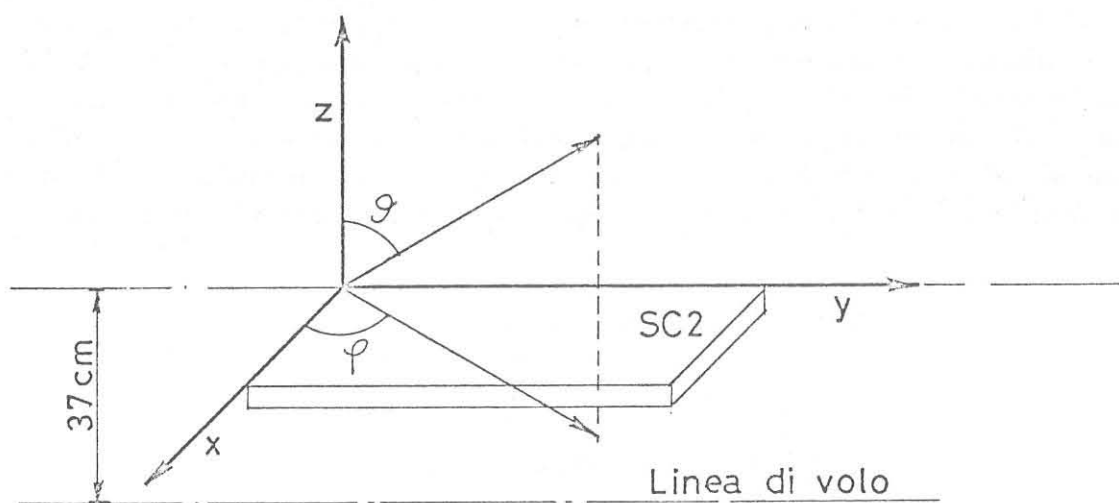


FIG. 2

Il primo passo del programma (vedi listing) consiste nello scegliere una coppia  $p\bar{p}$  collineare e complanare con il fascio di elettroni. La sorgente di coppie  $p\bar{p}$  è costituita dal bunch dei due pacchetti di elettroni e positroni. Dati sperimentali suggeriscono di assimilare l'intensità di tale sorgente ad una gaussiana con una  $\sigma = 25$  cm. Il punto sorgente di una coppia  $p\bar{p}$  viene scelto con la subroutine GAUSS della IBM 360/44, che fornisce numeri a caso tra  $-\infty$  e  $+\infty$  pesati con la distribuzione gaussiana voluta. Per definire la direzione della coppia  $p\bar{p}$  ci serviamo invece della subroutine RANDU della IBM 360/44 che fornisce numeri a caso tra 0 e 1 con distribuzione uniforme. Indicando gli angoli tra la direzione di emissione della  $p\bar{p}$  e gli assi del nostro sistema di riferimento come in figura 2, con la subroutine RANDU si sceglie una distribuzione uniforme in  $0 \leq \cos \theta < 1$  e in  $-\pi \leq \varphi \leq \pi$ : si individua così la direzione di emissione dell'antiprotone nel ramo AE del telescopio considerato; per la direzione del protone basta ribaltare gli angoli ponendo:

$$\theta' = \pi - \theta, \quad \varphi' = \pi + \varphi$$

6.

Delle coppie  $p\bar{p}$  così prodotte vengono accettate solo quelle che l'odoscopio ed i contatori 1 del telescopio AE - BI; l'efficienza geometrica di tale telescopio è semplicemente il rapporto tra il numero di eventi accettati ed il numero totale di eventi considerati. L'efficienza geometrica dell'intero apparato sperimentale è chiaramente il doppio.

Di ogni evento accettato si trova poi il punto in cui l'antiprotono incontra la superficie superiore del contatore 2 AE, ed in tal punto si fa avvenire la reazione di annichilazione  $p\bar{p}$  oppure  $n\bar{p}$ . La probabilità che avvenga l'una o l'altra reazione è determinata dalla composizione del plastico. Considerando anche il fatto che nei nuclei i protoni occupano in media una shell più esterna dei neutroni, si è trovato che la probabilità che avvenga la reazione  $p\bar{p}$  è  $\sim 60\%$ . A questo punto il programma sceglie il tipo di reazione in base a tale percentuale, ed il numero di pioni carichi emessi. Le probabilità relative sono le seguenti (1)

$$p\bar{p} = n\pi^+ + n\pi^- + m\pi^0$$

$2n = 0$	3.2%
$2n = 2$	42.62%
$2n = 4$	49.6%

La possibilità  $2n = 6$  è piccola e si include nella  $2n = 4$   $\bar{p}n = n\pi^+ + (n+1)\pi^- + m\pi^0$

$2n+1 = 1$	16%
$2n+1 = 3$	60%
$2n+1 = 5$	24%

Fissato il numero dei pioni carichi emessi, il Montecarlo sceglie a caso la direzione di ognuno di essi, con una distribuzione uniforme in  $\cos\theta$  e  $\varphi$ ; quindi di ogni pione carico si segue il percorso nei contatori 1, 2, 3 del ramo AE, e si vede quale dei contatori 4 va ad intercettare. Al fine abbiamo così per ogni processo di annichilazione il numero di centimetri di plastico attraversato totalmente dai pioni carichi emessi nei contatori 1, 2, 3 del ramo AE, e quali dei contatori 4 sono stati interessati. La prima quantità è legata alla perdita di energia di tali pioni nei contatori, che falsa la lettura della perdita di energia dello antiprotono e rende impossibile ricostruirne la massa.

Per memorizzare la seconda quantità abbiamo fatto uso di una "tabella di verità" in questo senso: associate ai quattro contatori 4 ci sono dei numeri rispettivamente chiamati NAE - NBI - NBE - NAI, normalmente posti uguale ad 1, che assumono rispettivamente i valori 2-3-4-5 ogni volta che un pione li incrocia. Abbiamo così 16 possibili combinazioni dei contatori 4:

Distrib. dei 4	NAE	NBI	NBE	NAI	PRODOTTO
Nessun 4	1	1	1	2	1
4 AE	2	1	1	1	2
4 BI	1	3	1	1	3
4 BE	1	1	4	1	4
4 AI	1	1	1	5	5
4 AE - 4BI	2	3	1	1	6
4 AE - 4BE	2	1	4	1	8
4 AE - 4AI	2	1	1	5	10
4 BI - 4BE	1	3	4	1	12
4 BI - 4AI	1	3	1	5	15
4 BE - 4AI	1	1	4	5	20
4 AE - 4BI - 4BE	2	3	4	1	24
4 AE - 4BI - 4AI	2	3	1	5	30
4 AE - 4BE - 4AI	2	1	4	5	40
4 BI - 4BE - 4AI	1	3	4	5	60
4 AE - 4BI - 4BE - 4AI	2	3	4	5	120

Alla fine di ogni calcolo abbiamo così memorizzato il prodotto  $NAE \times NBI \times NBE \times NAI$ , che indica la distribuzione dei contatori 4 interessati dall'evento, e la perdita totale di energia nei contatori 1, 2, 3 AE dei pioni carichi emessi nell'annichilazione dell'antiprotone.

#### 5. - OUTPUT. -

L'output del programma consiste in grafici che in ascisse riportano la perdita di energia totale nei contatori 1, 2, 3 del ramo AE dei pioni carichi prodotti nell'annichilazione dell'antiprotone, ed in ordinate il corrispondente numero di eventi. Ogni grafico si riferisce ad una determinata distribuzione di contatori 4. Come intestazione ai grafici sono riportati i valori delle seguenti variabili:

- COPPIE PP = numero di coppie  $p\bar{p}$  accettate dall'apparato sperimentale  
 EVENTI = numero di coppie  $p\bar{p}$  i cui pioni carichi di annichilazione hanno determinato la particolare distribuzione di contatori 4 cui si riferisce il grafico.  
 EV BUONI = numero di coppie  $p\bar{p}$  i cui pioni carichi di annichilazione hanno determinato la particolare distribuzione di contatori 4 cui si riferisce il grafico, perdendo più di 65 MeV nei contatori 1, 2, 3 del ramo AE.  
 EFFICIENZA = valore dell'efficienza geometrica dell'apparato sperimentale  
 PERCENT = rapporto  $EVENTI/COPPIE p\bar{p}$ . Dà la percentuale di eventi che determinano la distribuzione dei contatori 4 considerata.

8.

FRAZIONE = rapporto EV Buoni/Eventi

PERC. EVENTI 65 MeV = rapporto EV BUONI/COPPIE  $p\bar{p}$ . Fornisce la percentuale di eventi tipo EV BUONI.

6. - RISULTATI. -

L'efficienza geometrica dell'apparato sperimentale è di 0.28.

Per l'efficienza di trigger e di analisi occorre esaminare i grafici. I primi sedici grafici si riferiscono alle sedici possibili combinazioni dei contatori 4. Le corrispondenti percentuali sono le seguenti:

Contatori 4 intercettati	Percentuale eventi (%)	Percentuale eventi con pioni che perdono più di 65 MeV %
Nessun 4	4.7	1.3
4 AE	22.5	4.4
x 4 BI	2.2	5
4 AI	7.1	3.0
4 BE	5.8	2.2
x 4 AE-4 BI	6.3	1.4
4 AE-4 AI	14.8	6.4
4 AE-4 BE	15.3	6.3
x 4 BI-4 AI	1.8	6.7
x 4 BI-4 BE	2.0	8
4 AI-4 BE	3.7	2.5
x 4 AE-4 BI-4 AI	3.0	1.4
x 4 AE-4 BI-4 BE	2.1	0.4
4 AE-4 AI-4 BE	5.2	3.5
x 4 BI-4 AI-4 BE	6	5
x tutti i 4	0.7	0.5

La percentuale di decadimento in soli pioni neutri è invece del 2-%. Gli eventi perduti nel trigger sono tutti quelli che danno luogo ad una combinazione contenenti entrambi i contatori 4 AE-4 BI e nella tabella precedente sono segnati con l'asterisco. La loro percentuale è del 12.1%. Gli eventi perduti in sede di analisi sono tutti quelli dei rimanenti che danno luogo ad una combinazione contenente il contatore 4 BI, e nella tabella precedente sono segnati con una x. La loro percentuale è del 6.6%.

Si ha quindi:

Efficienza geometrica

28.4%

Si impone solo che la coppia  $p\bar{p}$  collineare incontri l'odoscopio



ed i contatori 1 e 2 opposti di un telescopio.

Efficienza di trigger 88%

ottenuta imponendo che non si abbia una coincidenza tra i due contatori 4 opposti del telescopio interessato. L'efficienza di accettazione di una coppia  $p\bar{p}$  e quindi

$$0.28 \times 0.88 = 25\%$$

Efficienza di analisi 93.4%

ottenuta imponendo che non si abbia un segnale dal contatore 4 dal ramo del protone.

La probabilità di avere una coppia  $p\bar{p}$  accettata in sede di analisi è quindi:

$$0.28 \times 0.93 = 26.5\%$$

Efficienza di rivelazione 81.4%

ottenuta imponendo che l'evento sia accettato sia dal trigger sia in sede di analisi.

Tenendo presente che l'angolo solido coperto dai rivelatori, si ha allora che la probabilità di avere una coppia  $p\bar{p}$  accettata dal trigger sia in sede di analisi:

$$0.284 \times 0.814 = 23.1\%$$

Efficienza di annichilazione 50%

ottenuta che i pioni carichi emessi nell'annichilazione perdano più di 50 MeV nei contatori 1, 2, 3 del ramo dell'anti-protone (v. Fig. 3).



FIG. 3

10.

L'efficienza totale dell'apparato sperimentale, tenendo anche conto delle interazioni nucleari (4%) e dell'annichilazione in volo degli antiprotoni (6%), e pertanto:

$$n = 0.28 \times 0.814 \times 0.5 \times 0.96 \times 0.94 = 10.4\%$$

come esempio di output è riportato il grafico che mostra la perdita di energia di pioni dovuti all'annichilazione di antiprotoni accettati dallo apparato sperimentale, dal trigger e dall'analisi.

Ringrazio vivamente il Prof. J. W. Humphrey per la sua continua assistenza e gli utilissimi suggerimenti, nonché per la messa a punto della subroutine PLOT che esegue i grafici.

```

C -----
C PROGRAMMA PER CALCOLARE IL PERCORSO NEI CONTATORI DEI PRODOTTI DI
C ANNICHILAZIONE DELL'ANTIPROTONE.
C IL PROGRAMMA CALCOLA L'EFFICIENZA GEOMETRICA DELL'APPARATO SPERIMENTALE
C PER COPPIE P-P+ COLLINEARI, PRODOTTE DA UNA SORGENTE CON DISTRIBUZIONE
C GAUSSIANA LUNGO L'ASSE Y, DI SEMILARGHEZZA S=25 CM. INOLTRE FORNISCE LA
C SITUAZIONE STATISTICA DEI CONTATORI 4
C DISTRIBUZIONE GAUSSIANA LUNGO L'ASSE Y
C SI ASSUME CHE L'ANNICHILAZIONE AVVENGA ALLA FINE DEL CONTATORE ZAE
C E CHE L'ANTIPROTONE ABBA ENERGIA ZERO.
C (X2,Y2) SONO LE COORDINATE DEL PUNTO DI INTERAZIONE
C AL3(2,1) INDICA IL PERCORSO DI UN PIONE NEL CONTATORE 3 (2,1)
C -----

```

```

0001 DIMENSION TOTAL (5)
0002 DIMENSION X(100), Y(100,16), NR(16),NY(16),NA(16)
0003 DIMENSION IMAGE (10300)
0004 INTEGER*2 IMAGE
0005 DATA X1MX,Y1MX,Z1MN,X1MN,Y1MN / 57.,66.5,-1.,7.,8.5/
0006 DATA X2MX,Y2MX,Z2MN,X2MN,Y2MN / 64.,75.,-3.,0.,0./
0007 DATA X3MX,Y3MX,Z3MX,X3MN,Y3MN / 66.5,78.,3.,-2.5,-3./
0008 DATA ZBL,PG / -7.,3.1415927/
0009 DATA X4MX,Y4MX,Z4MN,X4MN,Y4MN / 75.,87.5,-89.,-11.,-12.5/
0010 DATA X41MX,Y41MX,Z41MX,Z41MN,Y41MN / 75.,87.5,9.,-77.,-12.5/
0011 DATA X42MX,Y42MX,Z42MX,Z42MN,Y42MN / -11.,87.5,9.,-77.,-12.5/
0012 DATA X40MX,Y40MX,Z40MN,X40MN,Y40MN / 75.,87.5,9.,-11.,-12.5/
0013 DATA ERRE, YDMN, YDMX / 14.5,12.5,62.5/
0014 DATA NR(1),NR(2),NR(3),NR(4),NR(5),NR(6),NR(7),NR(8),NR(9),NR(10),
INR(11),NR(12),NR(13),NR(14),NR(15),NR(16) / 1,2,3,4,5,6,8,10,12,15,2
10,24,30,40,60,120/
0015 REAL PP / .6/
0016 DATA PPD,PP2,PP4 / .032,.4582,.9542/
0017 DATA PN1,PN3,PN5 / .16,.76,1./
0018 REAL ZV / 40./
0019 DATA ZV4/-49./
0020 DATA ZV1/29./
0021 ZV1S=-ZV1
0022 S=25.
0023 AM=37.5

```

```

C -----
C S DA LA SEMILARGHEZZA DELLA GAUSSIANA
C AM = CENTRO DELLA GAUSSIANA
C -----
C AZZERAMENTO MEMORIE DEL PLOT
C -----

```

```

0024 DO 3 NT=1,100
0025 DO 3 NS=1,16

```

```

0026 Y(NT,NS) = 0.
0027 NY(NS)=0
0028 NA(NS)=0
0029 3 CONTINUE
0030 DO 11 KN=1,100
0031 TE=KN-1
0032 X(KN)=TE+1.
0033 11 CONTINUE
0034 NUM=0
0035 NMD=0
0036 IX=736943

```

```

C -----
C LOOP EVLNTI
C -----
C SI SCEGLIE UN PUNTO SORGENTE SULLA LINEA DI VOLO DEGLI ELETTRONI, ED UNA
C DIREZIONE DI EMISSIONE. XV ED YV SONO LE COORDINATE DEL PUNTO SORGENTE
C MENTRE X2 E Y2 SONO LE COORDINATE DEL PUNTO IN CUI L'ANTIPROTONE
C ANNICHILA SULLA SUPERFICIE SUPERIORE DEL CONTATORE 2
C -----

```

```

0037 DO 700 K=1,2000
0038 XV = 32.
0039 CALL GAUSS (IX,S,AM,V)
0040 YV = V
0041 IF (YV.LT.YDMN.OR.YV.GT.YDMX) GO TO 700
0042 CALL RANDU (IX,IY,YFL)
0043 IX = IY
0044 CTV = YFL
0045 STV = SQRT (1.-CTV**2)
0046 TTV = STV/CTV
0047 CALL RANDU (IX,IY,YFL)
0048 IX = IY
0049 FIV = -PG + 2.*PG*YFL
0050 YDD = ERRE*STV*SIN(FIV)+YV
0051 IF (YDD.LT.YDMN.OR.YDD.GT.YDMX) GO TO 700
0052 X1V=ZV1*TTV*COS(FIV)+XV
0053 Y1V=ZV1*TTV*SIN(FIV)+YV
0054 IF(X1V.LT.X1MN.OR.X1V.GT.X1MX) GO TO 700
0055 IF(Y1V.LT.Y1MN.OR.Y1V.GT.Y1MX) GO TO 700
0056 TTP=-TTV
0057 FIP = FIV+PG
0058 YDD = ERRE*STV*SIN(FIP)+YV
0059 IF (YDD.LT.YDMN.OR.YDD.GT.YDMX) GO TO 700
0060 X1P=ZV1S*FIP*COS(FIP)+XV
0061 Y1P=ZV1S*FIP*SIN(FIP)+YV
0062 IF(X1P.LT.X1MN.OR.X1P.GT.X1MX) GO TO 700
0063 IF(Y1P.LT.Y1MN.OR.Y1P.GT.Y1MX) GO TO 700
0064 X2 = ZV*TTV*COS(FIV) + XV

```

```

0065      Y2 = ZV*TTV*SIN(FIV) + YV
C
C-----
C NUM1 = TOTALE EVENTI
C-----
C
0066      NUM1 = NUM1 + 1
0067      NAE=1
0068      NAI=1
0069      NBI=1
0070      NBE=1
C
C-----
C SCEGLIE LA REAZIONE PP OPPURE PN
C-----
C
0071      CALL RANDU (IX,IY,YFL)
0072      IX=IY
0073      PERC=YFL
C
C-----
C PERC ) .52 SI CONSIDERA LA REAZIONE P- P+ N PAI- N PAI+ M PAIO
C PERC , .52 SI CONSIDERA LA REAZIONE P- N NPAI+ (N+1)PAI- MPAIO
C-----
C
0074      IF(PERC-PP) 10,10,70
0075      10 JR=1
C
C-----
C SCEGLIE IL VALORE DI NPAI
C PROB ESPRIME LA PROBABILITA' DI AVERE UN CERTO VALORE DI N
C-----
C
0076      CALL RANDU (IX,IY,YFL)
0077      IX=IY
0078      PROB = .9542 * YFL
0079      IF (PROB.GE.0..AND.PROB.LE.PP0) GO TO 18
0080      IF (PROB.GT.PP0.AND.PROB.LE.PP2) GO TO 20
0081      IF (PROB.GE.PP2.AND.PROB.LE.PP4) GO TO 30
0082      18 NMO = NMO+1
0083      GO TO 700
0084      20 NPAI= 2
0085      GO TO 130
0086      30 NPAI= 4
0087      GO TO 130
0088      70 JR=0
C
C-----
C SCEGLIE IL VALORE DI NPAI

```

```

C-----
C
0089      CALL RANDU (IX,IY,YFL)
0090      IX=IY
0091      PROB=YFL
0092      IF (PROB.GE.0..AND.PROB.LE.PN1) GO TO 80
0093      IF (PROB.GE.PN1.AND.PROB.LE.PN3) GO TO 90
0094      IF (PROB.GE.PN3.AND.PROB.LE.PN5) GO TO 100
0095      80 NPAI=1
0096      GO TO 130
0097      90 NPAI=3
0098      GO TO 130
0099      100 NPAI=5
0100      130 DO 135 I=1,5
0101      TOTAL(I)=0.
0102      135 CONTINUE
C
C-----
C LOOP NPAI
C-----
C
0103      DO 510 J=1,NPAI
0104      PG2=PG/2.
C
C-----
C SCEGLIE ANGOLI TETA E FI
C-----
C
0105      CALL RANDU (IX,IY,YFL)
0106      IX=IY
0107      CT=2.*YFL-1.
0108      ST=SQRT(1.-CT**2)
0109      TT=ST/CT
0110      CALL RANDU (IX,IY,YFL)
0111      IX=IY
0112      FI= -PG + 2.*PG*YFL
0113      160 AL3=0.
0114      AL2=0.
0115      AL1=0.
0116      IF(CT) 260,170,170
C
C-----
C SCEGLIE LA DIREZIONE DEL PAI
C PAI VERSO L'ALTO
C CALCOLA AL3
C-----
C
0117      170 X3=73MX*TT*COS(FI)+X2
0118      Y3=73MX*TT*SIN(FI)+Y2

```

```

0119      IF (X3.LT.X3MN.OR.X3.GT.X3MX) GO TO 172
0120      IF (Y3.LT.Y3MN.OR.Y3.GT.Y3MX) GO TO 172
0121      AL3= Z3MX/CT
0122      GO TO 220
0123      172 IF (FI.GE.0..AND.FI.LE.PG2) GO TO 180
0124      IF (FI.GE.PG2.AND.FI.LE.PG) GO TO 190
0125      IF (FI.GE.(-PG2).AND.FI.LE.0.) GO TO 200
0126      IF (FI.GE.(-PG).AND.FI.LE.(-PG2)) GO TO 210
0127      180 AL3= ALL(X3MX,Y3MX,X2,Y2,FI,+1)/ST
0128      GO TO 220
0129      190 AL3= ALL(X3MN,Y3MX,X2,Y2,FI,+1)/ST
0130      GO TO 220
0131      200 AL3= ALL(X3MX,Y3MN,X2,Y2,FI,-1)/ST
0132      GO TO 220
0133      210 AL3= ALL(X3MN,Y3MN,X2,Y2,FI,-1)/ST
0134      GO TO 220

```

```

C
C-----
C VEDE SE INCONTRA IL CONTATORE 4AE
C
C

```

```

0135      220 X4=Z40MN*TT*COS(FI)+X3
0136      Y4=Z40MN*TT*SIN(FI)+Y3
0137      IF(X4.LT.X40MN.OR.X4.GT.X40MX) GO TO 221
0138      IF (Y4.GT.Y40MN.AND.Y4.LT.Y40MX) NAE=2
0139      221 GO TO 430

```

```

C
C-----
C PAI VERSO IL BASSO
C CALCOLA AL2
C
C

```

```

0140      260 XX2=Z2MN*TT*COS(FI)+X2
0141      YY2=Z2MN*TT*SIN(FI)+Y2
0142      IF (XX2.LT.0..OR.XX2.GT.X2MX) GO TO 272
0143      IF (YY2.LT.0..OR.YY2.GT.Y2MX) GO TO 272
0144      AL2=Z2MN/CT
0145      GO TO 320
0146      272 IF (FI.GE.0..AND.FI.LE.PG2) GO TO 280
0147      IF (FI.GE.PG2.AND.FI.LE.PG) GO TO 290
0148      IF (FI.GE.(-PG2).AND.FI.LE.0.) GO TO 300
0149      IF (FI.GE.(-PG).AND.FI.LE.(-PG2)) GO TO 310
0150      280 AL2= ALL(X2MX,Y2MX,X2,Y2,FI,+1)/ST
0151      GO TO 320
0152      290 AL2= ALL(X2MN,Y2MX,X2,Y2,FI,+1)/ST
0153      GO TO 320
0154      300 AL2= ALL(X2MX,Y2MN,X2,Y2,FI,-1)/ST
0155      GO TO 320
0156      310 AL2= ALL(X2MN,Y2MN,X2,Y2,FI,-1)/ST

```

```

0157      320 X1= (Z2MN+ZBL)*TT*COS(FI)+X2
0158      Y1= (Z2MN+ZBL)*TT*SIN(FI)+Y2
0159      IF (X1.LT.X1MN.OR.X1.GT.X1MX) GO TO 420
0160      IF (Y1.LT.Y1MN.OR.Y1.GT.Y1MX) GO TO 420

```

```

C
C-----
C CALCOLA AL1
C
C

```

```

0161      370 XX1= Z1MN*TT*COS(FI)+X1
0162      YY1= Z1MN*TT*SIN(FI)+Y1
0163      IF (XX1.LT.X1MN.OR.XX1.GT.X1MX) GO TO 372
0164      IF (YY1.LT.Y1MN.OR.YY1.GT.Y1MX) GO TO 372
0165      AL1=Z1MN/CT
0166      GO TO 420
0167      372 IF(FI.GE.0..AND.FI.LE.PG2) GO TO 380
0168      IF(FI.GE.PG2.AND.FI.LE.PG) GO TO 390
0169      IF(FI.GE.(-PG2).AND.FI.LE.0.) GO TO 400
0170      IF (FI.GE.(-PG).AND.FI.LE.(-PG2)) GO TO 410
0171      380 AL1= ALL(X1MX,Y1MX,X1,Y1,FI,+1)/ST
0172      GO TO 420
0173      390 AL1= ALL(X1MN,Y1MX,X1,Y1,FI,+1)/ST
0174      GO TO 420
0175      400 AL1= ALL(X1MX,Y1MN,X1,Y1,FI,-1)/ST
0176      GO TO 420
0177      410 AL1= ALL(X1MN,Y1MN,X1,Y1,FI,-1)/ST

```

```

C
C-----
C VEDE SE INCONTRA IL CONTATORE 4BI
C
C

```

```

0178      420 XX4=Z4MN*TT*COS(FI)+X2
0179      YY4=Z4MN*TT*SIN(FI)+Y2
0180      IF (XX4.LT.X4MN.OR.XX4.GT.X4MX) GO TO 421
0181      IF (YY4.GT.Y4MN.AND.YY4.LT.Y4MX) NBI=3
0182      421 GO TO 430
0183      430 IF(FI.GE.(-PG2).AND.FI.LE.0.) GO TO 440
0184      IF(FI.GE.0..AND.FI.LE.PG2) GO TO 440
0185      IF(FI.LE.(-PG2).AND.FI.GE.(-PG)) GO TO 450
0186      IF(FI.GE.PG2.AND.FI.LE.PG) GO TO 450

```

```

C
C-----
C VEDE SE INCONTRA IL CONTATORE 4AI
C
C

```

```

0187      440 Z4AI=(X41MX-X2) / (TT*COS(FI))
0188      Y4AI=(X41MX-X2)*SIN(FI)/COS(FI)+Y2
0189      IF(Z4AI.LT.Z41MN.OR.Z4AI.GT.Z41MX) GO TO 441
0190      IF(Y4AI.GT.Y41MN.AND.Y4AI.LT.Y41MX) NAI=4

```

```

0191      441 GO TO 500
C
C-----
C VEDE SE INCONTRA IL CONTATORE 4BE
C-----
C
0192      450 Z4BE=(X42MX-X2)/(TT* $\cos(FI)$ )
0193      Y4BE=(X42MX-X2)* $\sin(FI)/\cos(FI)+Y2$ 
0194      IF(Z4BE.LT.Z42MN.OR.Z4BE.GT.Z42MX) GO TO 451
0195      IF(Y4BE.GT.Y42MN.AND.Y4BE.LT.Y42MX) NBE=5
0196      451 GO TO 500
C
C-----
C CALCOLA LA SOMMA DEI PERCORSI DEI PIONI NEI CONTATORI
C SCEGLIE LA DISTRIBUZIONE DEI CONTATORI 4 E SISTEMA IL PLOT
C-----
C
0197      500 TOTAL(J)=AL3+AL2+AL1
0198      510 CONTINUE
0199      SOMMA=0.
0200      DO 520 I=1,NPAI
0201      SOMMA=TOTAL(I) + SOMMA
0202      520 CONTINUE
0203      KT=SOMMA
0204      IF(KT.GT.100) KT=100
0205      NP=NAE*NRI*NAI*NBE
0206      DO 531 J=1,16
0207      IF(NP-NR(J)) 531,532,531
0208      531 CONTINUE
0209      532 Y(KT,J) = Y(KT,J)+1.
0210      NY(J)=NY(J)+1
0211      IF(KT=32) 535,535,536
0212      536 NA(J) = NA(J)+1
0213      535 GO TO 700
0214      700 CONTINUE
0215      BRH= (FLOAT(NMD))/(FLOAT(NUM1))
0216      DUMI=0.
0217      PRC=0.
0218      PESO=0.
0219      BON = 0.
0220      EVT=20000.
C
C-----
C PLOT 15 GRAFICI
C-----
C
0221      DO 900 M=1,16
0222      CALL PLOT1 (IMAGE,51,101,10,10)
0223      DO 800 KT=1,100

```

```

0224      A=2.*X(KT)
0225      IF(Y(KT,M)-1.) 740,720,720
0226      720 NYK=Y(KT,M)
0227      DO 730 JT=1,NYK
0228      Z=JT+1
0229      CALL PLOT2 (A,Z,200.,0.,50.,0.,1,1H*)
0230      730 CONTINUE
0231      740 GO TO 800
0232      800 CONTINUE
0233      DUMI = 2.*(FLOAT(NUM1))/(EVT)
0234      PRC=(FLOAT(NY(M)))/(FLOAT(NUM1))
0235      PESO=(FLOAT(NA(M)))/(FLOAT(NY(M)))
0236      BON= (FLOAT(NA(M)))/(FLOAT(NUM1))
0237      WRITE(6,950) NUM1,NY(M),NA(M)
0238      WRITE (6,960) DUMI,PRC,PESO
0239      WRITE (6,970) BON
0240      CALL PLOT3 (200.,0.,50.,0., 60H NUMERO DI EVENTI
1
)
0241      CALL PLOT4 (10,60H PERDITA DI ENERGIA DEI PIONI NEI CONTATORI
1
)
0242      GO TO (805,810,815,820,825,830,835,840,845,850,855,860,865,870,875
1,880),M
0243      805 WRITE (6,1000)
0244      GO TO 900
0245      810 WRITE (6,1010)
0246      GO TO 900
0247      815 WRITE (6,1020)
0248      GO TO 900
0249      820 WRITE (6,1030)
0250      GO TO 900
0251      825 WRITE (6,1040)
0252      GO TO 900
0253      830 WRITE (6,1050)
0254      GO TO 900
0255      835 WRITE (6,1060)
0256      GO TO 900
0257      840 WRITE (6,1070)
0258      GO TO 900
0259      845 WRITE (6,1080)
0260      GO TO 900
0261      850 WRITE (6,1090)
0262      GO TO 900
0263      855 WRITE (6,1100)
0264      GO TO 900
0265      860 WRITE (6,1110)
0266      GO TO 900
0267      865 WRITE (6,1120)
0268      GO TO 900
0269      870 WRITE (6,1130)

```

```

0270      GO TO 900
0271      875 WRITE (6,1140)
0272      GO TO 900
0273      880 WRITE (6,1150)
0274      900 CONTINUE
0275      WRITE (6,980) NMD, BRH
C
C
C -----
C PLOT EVENTI BUONI CON UN SOLO CONTATORE 4
C -----
C
0276      CALL PLOT1(IMAGE,51,101,10,10)
0277      DO 2800 KT = 1,100
0278      A = 2.*X(KT)
0279      NYK=Y(KT,2)+Y(KT,4)+Y(KT,5)
0280      IF (NYK-1) 2800,2720,2720
0281      2720 DO 2800 JT=1,NYK
0282      Z=FLOAT(JT)+1.
0283      CALL PLOT2(A,Z,200.,0.,50.,0.,1,1H*)
0284      CONTINUE
0285      NTOT1=NY(2)+NY(4)+NY(5)
0286      MTOT1=NA(2)+NA(4)+NA(5)
0287      PRC1=(FLOAT(MTOT1))/(FLOAT(NUM1))
0288      BON1=(FLOAT(MTOT1))/(FLOAT(NUM1))
0289      PESO1=(FLOAT(MTOT1))/(FLOAT(NTOT1))
0290      WRITE (6,950) NUM1,NTOT1,MTOT1
0291      WRITE (6,960) DUM1,PRC1,PESO1
0292      WRITE (6,970) BON1
0293      CALL PLOT3 (200.,0.,50.,0.,60H NUMERO DI EVENTI BUONI CON UN 4
1
)
0294      CALL PLOT4 (10,60H PERDITA DI ENERGIA DEI PIONI NEI CONTATORI
1
)
0295      WRITE (6,3000)

```

C  
C  
C -----  
C PLOT EVENTI BUONI CON DUE CONTATORI 4  
C -----  
C

```

0296      CALL PLOT1(IMAGE,51,101,10,10)
0297      DO 3800 KT = 1,100
0298      A = 2.*X(KT)
0299      NYK=Y(KT,7)+Y(KT,8)+Y(KT,11)
0300      IF (NYK-1) 3800,3720,3720
0301      3720 DO 3800 JT=1,NYK
0302      Z=FLOAT(JT)+1.
0303      CALL PLOT2 (A,Z,200.,0.,50.,0.,1,1H*)
0304      3800 CONTINUE
0305      NTOT2=NY(7)+NY(8)+NY(11)
0306      MTOT2=NA(7)+NA(8)+NA(11)

```

```

0307      PRC2=(FLOAT(MTOT2))/(FLOAT(NUM1))
0308      PESO2=(FLOAT(MTOT2))/(FLOAT(NTOT2))
0309      BON2=(FLOAT(MTOT2))/(FLOAT(NUM1))
0310      WRITE (6,950) NUM1,NTOT2,MTOT2
0311      WRITE (6,960) DUM1,PRC2,PESO2
0312      WRITE (6,970) BON2
0313      CALL PLOT3 (200.,0.,50.,0.,60H NUMERO EVENTI BUONI CON DUE 4
1
)
0314      CALL PLOT4 (10,60H PERDITA DI ENERGIA DEI PIONI NEI CONTATORI
1
)
0315      WRITE (6,4000)

```

C  
C  
C -----  
C PLOT EVENTI BUONI CON TRE CONTATORI 4  
C -----  
C

```

0316      CALL PLOT1(IMAGE,51,101,10,10)
0317      DO 4800 KT = 1,100
0318      A = 2.*X(KT)
0319      NYK=Y(KT,14)
0320      IF (NYK-1) 4800,4720,4720
0321      4720 DO 4800 JT=1,NYK
0322      Z=FLOAT(JT)+1.
0323      CALL PLOT2(A,Z,200.,0.,50.,0.,1,1H*)
0324      4800 CONTINUE
0325      PRC3=(FLOAT(NY(14)))/(FLOAT(NUM1))
0326      PESO3=(FLOAT(NA(14)))/(FLOAT(NY(14)))
0327      BON3=(FLOAT(NA(14)))/(FLOAT(NUM1))
0328      WRITE (6,950) NUM1,NY(14),NA(14)
0329      WRITE (6,960) DUM1,PRC3,PESO3
0330      WRITE (6,970) BON3
0331      CALL PLOT3 (200.,0.,50.,0.,60H NUMERO EVENTI BUONI CON TRE 4
1
)
0332      CALL PLOT4 (10,60H PERDITA DI ENERGIA DEI PIONI NEI CONTATORI
1
)
0333      WRITE (6,5000)

```

C  
C  
C -----  
C PLOT EVENTI TOTALI RIVELATI  
C -----  
C

```

0334      CALL PLOT1 (IMAGE,101,101,10,10)
0335      A=0.
0336      DO I JO = 1,NMD
0337      Z = JO + 1
0338      CALL PLOT2 ( A,Z,200.,0.,100.,0.,1,1H*)
0339      CONTINUE
0340      DO 1800 KT = 1,100
0341      A = 2.*X(KT)

```

```

0342      NYK=Y(KT,1)+Y(KT,2)+Y(KT,4)+Y(KT,5)+Y(KT,7)+Y(KT,8)+Y(KT,11)+Y(KT,
114)
0343      IF (NYK-1) 1800,1720,1720
0344      1720 DO 1800 JT=1,NYK
0345      Z=FLOAT(JT)+1.
0346      CALL PLOT2 ( A,Z,200.,0.,100.,0.,1,1H*)
0347      1800 CONTINUE
0348      DUMI = 2.* (FLOAT(NUM1))/(EVT)
0349      NTOT=ND+NY(1)+NY(2)+NY(4)+NY(5)+NY(7)+NY(8)+NY(11)+NY(14)
0350      MTOT=NA(1)+NA(2)+NA(4)+NA(5)+NA(7)+NA(8)+NA(11)+NA(14)
0351      PRC=(FLOAT(MTOT))/(FLOAT(NUM1))
0352      PESO=(FLOAT(MTOT))/(FLOAT(NTOT))
0353      BDN=(FLOAT(MTOT))/(FLOAT(NUM1))
0354      WRITE (6,950) NUM1,NTOT ,MTOT
0355      WRITE (6,960) DUMI,PRC ,PESO
0356      WRITE (6,970) BDN
0357      CALL PLOT3 (200.,0.,100.,0.,60H NUMERO DI EVENTI BUONI
1
)
0358      CALL PLOT4 (10,60H PERDITA DI ENERGIA DEI PIONI NEI CONTATORI
1
)
0359      WRITE (6,2000)

```

C  
C -----  
C PLOT EVENTI TOTALI BUONI PIU' CONTRIBUTI DELLE SINGOLE COMBINAZIONI  
C -----  
C

```

0360      CALL PLOT1 (IMAGE,101,101,10,10)
0361      DO 5800 KT = 1,100
0362      A = 2.*X(KT)
0363      KYK=Y(KT,1)
0364      Z=FLOAT(KYK)+1.
0365      CALL PLOT2 ( A,Z,200.,0.,100.,0.,1,1H*)
0366      LYK=Y(KT,2)+Y(KT,4)+Y(KT,5)
0367      Z=FLOAT(LYK) +1.
0368      CALL PLOT2 ( A,Z,200.,0.,100.,0.,1,1H*)
0369      MYK=Y(KT,7)+Y(KT,8)+Y(KT,11)
0370      Z=FLOAT(MYK)+1.
0371      CALL PLOT2 ( A,Z,200.,0.,100.,0.,1,1H*)
0372      NYK=Y(KT,14)
0373      Z=FLOAT(NYK)+1.
0374      CALL PLOT2 ( A,Z,200.,0.,100.,0.,1,1H*)
0375      JYK=LYK+MYK+NYK+KYK
0376      Z=FLOAT(JYK)+1.
0377      CALL PLOT2 ( A,Z,200.,0.,100.,0.,1,1H*)
0378      5800 CONTINUE
0379      WRITE (6,5500) NUM1
0380      CALL PLOT3 (200.,0.,100.,0.,60H NUMERO DI EVENTI BUONI
1
)
0381      CALL PLOT4 (10,60H PERDITA DI ENERGIA DEI PIONI NEI CONTATORI

```

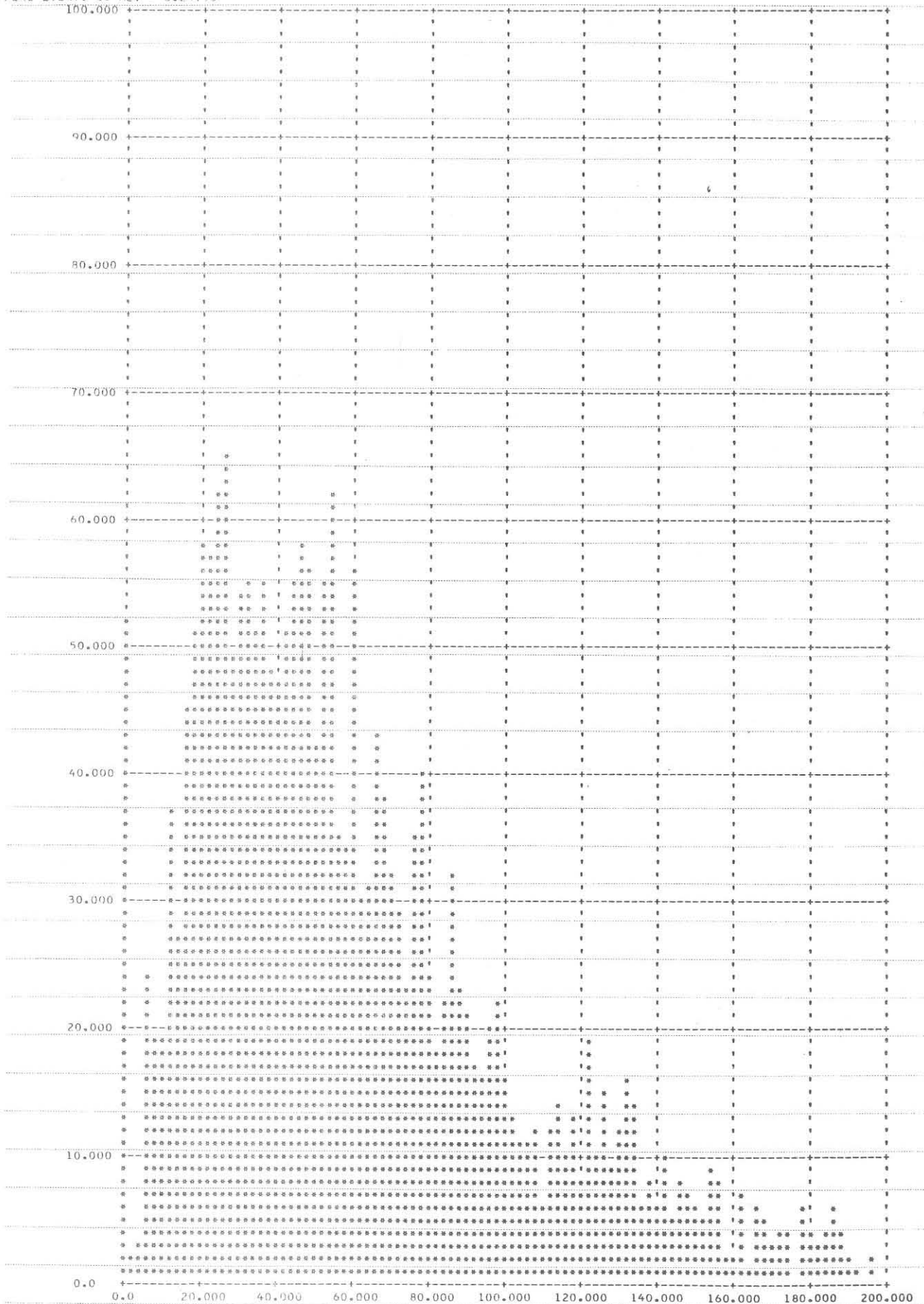
```

1
)
0382      WRITE (6,6000)
0383      STOP
0384      950 FORMAT ('1 COPPIE PP = '15,5X,'EVENTI = '15,5X,'EV BUONI = '15)
0385      960 FORMAT(' EFFICIENZA = 'F6.4,5X,'PERCENT = 'F6.4,5X,'FRAZIONE = 'F6.4)
0386      970 FORMAT (' PERC EVENTI 65 MEV = 'F7.5)
0387      980 FORMAT ('1 NUMERO NEUTRI = '15, ' PERCENTUALE NEUTRI = ' F6.4)
0388      1000 FORMAT (50X,' *** NESSUN 4 *** ')
0389      1010 FORMAT (50X,' *** 4 AE *** ')
0390      1020 FORMAT (50X,' *** 4 BI *** ')
0391      1030 FORMAT (50X,' *** 4 AI *** ')
0392      1040 FORMAT (50X,' *** 4 BE *** ')
0393      1050 FORMAT (50X,' *** 4 AE - 4 BI *** ')
0394      1060 FORMAT (50X,' *** 4 AE - 4 AI *** ')
0395      1070 FORMAT (50X,' *** 4 AE - 4 BE *** ')
0396      1080 FORMAT (50X,' *** 4 BI - 4 AI *** ')
0397      1090 FORMAT (50X,' *** 4 BI - 4 BE *** ')
0398      1100 FORMAT (50X,' *** 4 AI - 4 BE *** ')
0399      1110 FORMAT (50X,' *** 4 AE - 4 BI - 4 AI *** ')
0400      1120 FORMAT (50X,' *** 4 AE - 4 BI - 4 BE *** ')
0401      1130 FORMAT (50X,' *** 4 AE - 4 AI - 4 BE *** ')
0402      1140 FORMAT (50X,' *** 4 BI - 4 AI - 4 BE *** ')
0403      1150 FORMAT (50X,' *** 4 AE - 4 BI - 4 AI - 4 BE *** ')
0404      2000 FORMAT (/ 50X,' *** GRAFICO TOTALE EVENTI BUONI *** ')
0405      3000 FORMAT(/ 50X,' *** GRAFICO EVENTI BUONI CON UN SOLO 4 *** ')
0406      4000 FORMAT(/ 50X,' *** GRAFICO EVENTI BUONI CON DUE 4 *** ')
0407      5000 FORMAT (/ 50X,' *** GRAFICO EVENTI BUONI CON TRE 4 *** ')
0408      5500 FORMAT ('1 COPPIE PP = '15)
0409      6000 FORMAT (/ 50X,' 0 = NESSUN 4 * = UN SOLO 4 / = DUE 4 + = TRE 4
1 X = TOTALE ')
0410      END

```



COPPIE PP = 2846      EVENTI = 2310      EV BUONI = 848  
 EFFICIENZA = 0.2846      PERCENT = 0.8117      FRAZIONE = 0.3671  
 PERC EVENTI 65 MEV = 0.29796



ORDINATE = NUMERO DI EVENTI BUONI  
 ABSCISSA = PERDITA DI ENERGIA DEI PIONI NEI CONTATORI

\*\*\* GRAFICO TOTALE EVENTI BUONI \*\*\*