

COMITATO NAZIONALE PER L'ENERGIA NUCLEARE
Laboratori Nazionali di Frascati

LNF - 69/59
14 Ottobre 1969

M. Nigro, P. Spillantini e V. Valente: UN PROGRAMMA DI
CALCOLO PER LE GRANDEZZE DELLA FOTOPRODUZIONE
SINGOLA DI PIONI DA NUCLEONI. -

Nota interna: n. 453
14 Ottobre 1969

M. Nigro^(x), P. Spillantini e V. Valente: UN PROGRAMMA DI CALCOLO PER LE GRANDEZZE DELLA FOTOPRODUZIONE SINGOLA DI PIONI DA NUCLEONI. -

INTRODUZIONE. -

In vista di un prossimo programma di misure di fotoproduzione singola di π da nucleone e delle conseguenti analisi fenomenologiche, è sembrato utile preparare un programma di calcolo del tutto generale, atto a fornire previsioni sulle grandezze di maggiore interesse sperimentale. I dati d'ingresso del programma sono le ampiezze elementari (o ampiezze di multipolo) e le fasi dello scattering π -nucleone. La ragione di una tale scelta discende dal fatto che le varie teorie⁽¹⁻⁴⁾ danno previsioni su queste ampiezze e si possono, quindi, in questo modo, calcolare tutte le quantità (sezioni d'urto, asimmetrie di produzione, polarizzazione del nucleone di rinculo, etc) nelle condizioni cinematiche richieste. Inoltre poichè scopo di una analisi fenomenologica della fotoproduzione è proprio la determinazione di tali ampiezze, un programma di questo tipo è adatto a controllare se i risultati di siffatte analisi, oltre a dare valori assoluti delle quantità calcolate in accordo con quelli misurati, ne riproducono anche la corretta dipendenza funzionale dai parametri cinematici.

(x) - Istituto di Fisica dell'Università di Padova.

2.

Il programma è già stato usato nell'analisi dei risultati di fotoproduzione di $\pi^+(5)$ e di $\pi^0(6)$ da γ polarizzati per studiare la influenza delle onde superiori alla p prevista dalla teoria⁽¹⁾ e inoltre per un confronto completo dei dati di un'analisi in multipoli⁽⁷⁾ con i dati sperimentali.

In § 1 diamo le formule di tutte le grandezze misurabili in funzione della espressione più generale dell'ampiezza \mathcal{F} di fotoproduzione⁽⁸⁾. In § 2 è data la decomposizione di \mathcal{F} in ampiezze di multipolo⁽⁸⁾ fino a stati con $J^P = (7/2)^+$ ed è inoltre indicato come si tiene conto nel programma del contributo degli stati angolari superiori in approssimazione di Born. In § 3 e § 4 sono dati gli sviluppi delle ampiezze di tutti i processi ($\gamma + p = \pi^+ + p$, $\pi^0 + p$; $\gamma + n = \pi^- + p$, $\pi^0 + n$) in funzione delle ampiezze con stato di isospin definito⁽⁸⁾ e il legame che c'è fra la parte reale e immaginaria di tali ampiezze. In § 5 è dato lo schema a blocchi logici e la lista del programma con una descrizione dei dati d'ingresso e d'uscita del medesimo. Concludiamo con un esempio di uscita, dedotta usando come dati d'ingresso le ampiezze di multipolo di F. Berends et al.⁽¹⁾.

§ 1. -

Dall'espressione generale dell'ampiezza di fotoproduzione⁽⁸⁾

$$\mathcal{F} = i \mathcal{F}_1 \vec{\epsilon} \cdot \vec{\epsilon} + \mathcal{F}_2 \frac{(\vec{\epsilon} \cdot \vec{q})(\vec{\epsilon} \cdot \vec{k} \times \vec{\epsilon})}{qk} + i \mathcal{F}_3 \frac{(\vec{\epsilon} \cdot \vec{k})(\vec{q} \cdot \vec{\epsilon})}{qk} +$$

$$+ i \mathcal{F}_4 \frac{(\vec{\epsilon} \cdot \vec{q})(\vec{q} \cdot \vec{\epsilon})}{q^2}$$

si possono ricavare le seguenti espressioni per le grandezze di maggiore interesse sperimentale:

1a) Sezioni d'urto

$$(1.1) \quad \frac{k}{q} \frac{d\sigma_y(\theta, E_\gamma)}{d\Omega} = |\mathcal{F}_1|^2 + |\mathcal{F}_2|^2 - 2 \operatorname{Re} \mathcal{F}_1^* \mathcal{F}_2 \times$$

$$(1.2) \quad \frac{k}{q} \frac{d\sigma_x(\theta, E_\gamma)}{d\Omega} = |\mathcal{F}_1|^2 + |\mathcal{F}_2|^2 - 2 \operatorname{Re} \mathcal{F}_1^* \mathcal{F}_2 \times +$$

$$+ \operatorname{sen}^2 \theta \left\{ |\mathcal{F}_3|^2 + |\mathcal{F}_4|^2 + 2 \operatorname{Re} \mathcal{F}_1^* \mathcal{F}_4 + 2 \operatorname{Re} \mathcal{F}_2^* \mathcal{F}_3 + \right.$$

$$\left. + 2 \operatorname{Re} \mathcal{F}_3^* \mathcal{F}_4 \times \right\}$$

$$(1.3) \quad \frac{k}{q} \frac{d\sigma(\theta, E_\gamma)}{d\Omega} = \frac{k}{q} \frac{1}{2} \left(\frac{d\sigma_y}{d\Omega} + \frac{d\sigma_x}{d\Omega} \right)$$

$$(1.4) \quad A(\theta, E_\gamma) = \frac{d\sigma_x - d\sigma_y}{d\sigma_x + d\sigma_y}$$

$\frac{d\sigma_y}{d\Omega}$ ($\frac{d\sigma_x}{d\Omega}$) è la sezione d'urto differenziale di fotoproduzione da parte di γ con il vettore elettrico polarizzato normalmente (parallelamente) al piano di produzione, individuato dai momenti k , q del fotone e del π ; $d\sigma/d\Omega$ è la sezione d'urto di produzione mediata sugli stati di polarizzazione del γ , A è la asimmetria di produzione, x è il coseno dell'angolo di produzione del π nel centro di massa: $x = \vec{k} \cdot \vec{q} / |\vec{k} \cdot \vec{q}|$.

1b) Polarizzazione del nucleone di rinculo.

$$(1.5) \quad P_{\perp} = \frac{P_{yy}}{d\sigma_y/d\Omega} \quad \text{con} \quad \frac{k}{q} P_{yy} = 2 \sin \theta \operatorname{Im}(\mathcal{F}_1 \mathcal{F}_2^*)$$

$$(1.6) \quad P_{\parallel} = \frac{P_{xy}}{d\sigma_x/d\Omega} \quad \text{con} \quad \frac{k}{q} P_{xy} = 2 \sin \theta \operatorname{Im}(\mathcal{F}_1 \mathcal{F}_2^* + \mathcal{F}_1 \mathcal{F}_3^* + x(\mathcal{F}_1 \mathcal{F}_4^* - \mathcal{F}_2 \mathcal{F}_3^*) - \mathcal{F}_2 \mathcal{F}_4^* - \sin^2 \theta \mathcal{F}_3 \mathcal{F}_4^*)$$

$$(1.7) \quad P = \frac{P_{\perp} d\sigma_y + P_{\parallel} d\sigma_x}{d\sigma_x + d\sigma_y}$$

P_{\perp} (P_{\parallel}) è la polarizzazione normale al piano di produzione del nucleone di rinculo nel processo di fotoproduzione da parte di γ con il vettore elettrico polarizzato normalmente (parallelamente) al piano di produzione; P è la polarizzazione del nucleone mediata sugli stati di polarizzazione del fotone.

§ 2. -

Ognuna delle ampiezze \mathcal{F}_i viene sviluppata in ampiezze di multipolo magnetiche $M_{1\pm}$, e elettriche $E_{1\pm}$. Con l'ipotesi che per le energie considerate il contributo delle ampiezze di multipolo con $l \geq 4$ sia dato dalla sola approssimazione di Born, le \mathcal{F}_i si possono

4.

scrivere come :

$$\begin{aligned}
 \mathcal{F}_1 &= \sum_{l=0}^3 \left\{ (lM_{l+} + E_{l+})P'_{l+1}(x) + ((l+1)M_{l-} + E_{l-})P'_{l-1}(x) \right\} + f_1 \\
 \mathcal{F}_2 &= \sum_{l=1}^3 \left\{ (l+1)M_{l+} + lM_{l-} \right\} P'_1(x) + f_2 \\
 (2.1) \quad \mathcal{F}_3 &= \sum_{l=1}^3 \left\{ (E_{l+} - M_{l+})P''_{l+1}(x) + (E_{l-} + M_{l-})P''_{l-1}(x) \right\} + f_3 \\
 \mathcal{F}_4 &= \sum_{l=1}^3 \left\{ M_{l+} - E_{l+} - M_{l-} - E_{l-} \right\} P''_1(x) + f_4
 \end{aligned}$$

con :

$$\begin{aligned}
 f_1 &= \mathcal{F}_1^B - \sum_{l=0}^3 \left\{ (lM_{l+}^B + E_{l+}^B)P'_{l+1}(x) + ((l+1)M_{l-}^B + E_{l-}^B)P'_{l-1}(x) \right\} \\
 f_2 &= \mathcal{F}_2^B - \sum_{l=1}^3 \left\{ (l+1)M_{l+}^B + lM_{l-}^B \right\} P'_1(x) \\
 (2.2) \quad f_3 &= \mathcal{F}_3^B - \sum_{l=1}^3 \left\{ (E_{l+}^B - M_{l+}^B)P''_{l+1}(x) + (E_{l-}^B + M_{l-}^B)P''_{l-1}(x) \right\} \\
 f_4 &= \mathcal{F}_4^B - \sum_{l=1}^3 \left\{ M_{l+}^B - E_{l+}^B - M_{l-}^B - E_{l-}^B \right\} P''_1(x)
 \end{aligned}$$

contributo totale delle ampiezze con $l \geq 4$ in approssimazione di Born⁽⁹⁾. $M_{l\pm}^B$, $E_{l\pm}^B$ sono le ampiezze di multipolo quali si ricavano proiettando le ampiezze di Born \mathcal{F}_i^B sugli stati di momento angolare⁽⁹⁾, $P_l(x)$ sono i polinomi di Legendre definiti dalle :

$$(l+1)P_{l+1}(x) = (2l+1)xP_l(x) - lP_{l-1}(x)$$

$$P_0(x) = 1$$

$P'_1(x)$, $P''_1(x)$ le derivate prime e seconde di $P_1(x)$.

§ 3. -

Tutte le espressioni di cui ai punti 1, 2, 3 sono valide per ognuno dei seguenti processi, contraddistinti nel programma con l'in

dice J :

$$(3.1) \quad \begin{aligned} \gamma + p &= \pi^+ + n & J &= 1 \\ \gamma + n &= \pi^- + p & J &= 2 \\ \gamma + p &= \pi^0 + p & J &= 3 \\ \gamma + n &= \pi^0 + n & J &= 4 \end{aligned}$$

$\mathcal{F}_i(J) (M_{1\pm}(J))$ si sviluppano⁽⁸⁾ in funzione delle ampiezze isoscalari $\mathcal{F}_i^0 (M_{1\pm}^0)$, e isovettoriali $\mathcal{F}_i^{1/2}, \mathcal{F}_i^{3/2} (M_{1\pm}^{1/2}, M_{1\pm}^{3/2})$ o in funzione delle ampiezze a G-parità definita $\mathcal{F}_i^0, \mathcal{F}_i^{\pm} (M_{1\pm}^0, M_{1\pm}^{\pm})$.

Per le ampiezze di multipolo si ha :

$$(3.2) \quad \begin{aligned} M_{1\pm}(1) &= \sqrt{2} \left\{ M_{1\pm}^0 + \frac{1}{3} (M_{1\pm}^{1/2} - M_{1\pm}^{3/2}) \right\} = \sqrt{2} \left\{ M_{1\pm}^0 + M_{1\pm}^- \right\} \\ M_{1\pm}(2) &= \sqrt{2} \left\{ M_{1\pm}^0 - \frac{1}{3} (M_{1\pm}^{1/2} - M_{1\pm}^{3/2}) \right\} = \sqrt{2} \left\{ M_{1\pm}^0 - M_{1\pm}^- \right\} \\ M_{1\pm}(3) &= M_{1\pm}^0 + \frac{1}{3} (M_{1\pm}^{1/2} + 2 M_{1\pm}^{3/2}) = M_{1\pm}^0 + M_{1\pm}^+ \\ M_{1\pm}(4) &= -M_{1\pm}^0 + \frac{1}{3} (M_{1\pm}^{1/2} + 2 M_{1\pm}^{3/2}) = -M_{1\pm}^0 + M_{1\pm}^+ \end{aligned}$$

Le stesse espressioni valgono per le ampiezze totali $\mathcal{F}_i(J)$, nonché, ovviamente, per i multipoli in approssimazione di Born $M_{1\pm}^B(J)$.

§ 4. -

Le ampiezze totali o di multipolo sono quantità complesse. Il legame fra la parte reale e la parte immaginaria d'ogni ampiezza di multipolo è dato dal teorema di Fermi-Watson:

$$(4.1) \quad \text{Im } M_{1\pm}^{2T}(W) = \text{Re } M_{1\pm}^{2T}(W) \text{ tang } \delta_{2J, 2T}(W)$$

con $\delta_{2J, 2T}(W)$ fase del processo di scattering $\pi + n = \pi + n$; W energia nel centro di massa comune ai due processi di fotoproduzione e scattering.

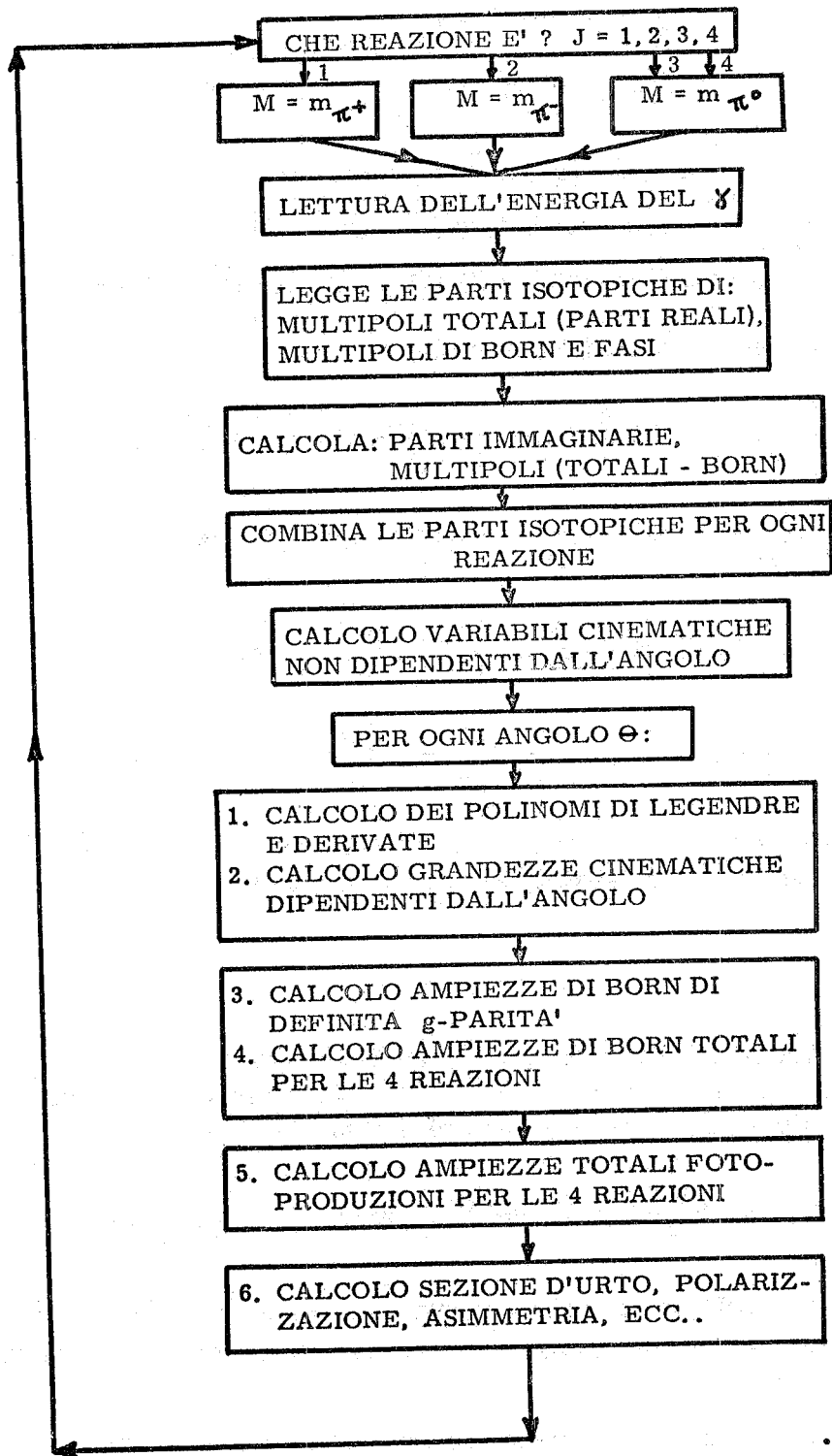
Tutte le ampiezze in approssimazione di Born sono reali.

6.

§ 5. -

Lo schema a blocchi logici e la lista del programma sono dati in Tabella I.

TABELLA I



./.

```

C      FOTOPAI      SANITA 7040
C
C      QUESTO PROGRAMMA CALCOLA TUTTE LE GRANDEZZE RELATIVE AI PROCESSI DI
C      FOTOPRODUZIONE SINGOLA DI MESONI PI GRECO NEI TRE STATI DI CARICA NELLE
C      REAZIONI GAMMA NUCLEONE IN PIONE NUCLEONE
C      IL CALCOLO E SVOLTO NELLA IPOTESI CHE AL PROCESSO CONTRIBUISCANO GLI
C      STATI ANGOLARI CON L DA 0 A 3 E CHE CONTRIBUTI DI ORDINE SUPERIORE
C      SIANO VALUTABILI IN APPROSSIMAZIONE DI BORN
C      LE SINGOLE REAZIONI VENGONO IDENTIFICATE DA UN INDICE SECONDO
C      LO SCHEMA SEGUENTE
C
C      GAMMA PIU PROTONE CHE VA IN NEUTRONE PIU PAI PIU J=1
C      GAMMA PIU NEUTRONE CHE VA IN PROTONE PIU PAI MENO J=2
C      GAMMA PIU PROTONE CHE VA IN PROTONE PIU PAI ZERO J=3
C      GAMMA PIU NEUTRONE CHE VA IN NEUTRONE PIU PAI ZERO J=4
C
      DIMENSION A0(12),A1(12),A3(12),PH1(12),PH3(12)
      DIMENSION B0(12),B1(12),B3(12)
      DIMENSION R(12,4),E(12,4),RPH1(12),RPH3(12),E0(12),E1(12),E3(12)
      DIMENSION F1B(4),F2B(4),F3B(4),F4B(4)
      DIMENSION F1R(4),F2R(4),F3R(4),F4R(4)
      DIMENSION F1E(4),F2E(4),F3E(4),F4E(4)
      DIMENSION SY(4),ASS(4),SX(4),S(4),PYY(4),D(4),PXY(4),AS(4)
      DIMENSION F12R(4),F14R(4),F23R(4),F34R(4),F11(4),F22(4),F33(4)
      DIMENSION F12E(4),F13E(4),F14E(4),F23E(4),F24E(4),F34E(4),F44(4)
      DIMENSION PT(4),PP(4),PPT(4),P(4)
28  FORMAT(2I4,2F6.3,3(F7.2,F5.3),1X,2F6.3)
44  FORMAT (5(2X,E10.3))
444 FORMAT (3(2X,E10.3))
88  FORMAT (3I4)
89  FORMAT (I4)
101 FORMAT (27HREAZIONE G + P = N + PI+)
102 FORMAT (27HREAZIONE G + N = P + PI-)
103 FORMAT (27HREAZIONE G + P = P + PIO)
104 FORMAT (27HREAZIONE G + N = N + PIO)
302 FORMAT (1X,7HEGAMMA=,I4,3X,6H,BETA=,F6.4,3X,5H,K/Q=,F7.4,3X,3H,W=,
1F7.4,3X,7H,OMEGA=,F7.4)
230 FORMAT (I2)
29  FORMAT (1H )
27  FORMAT (22X,10HG NON POL.,4X,7HG POL//,5X,7HG POL T)
49  FORMAT (9HEGAMMA 0 ,7HCOS 0 ,3HCSI,3(5X,1HS,5X,1HP),5X, 9HA PT-
1P//)
900 FORMAT (1H1)
      PRINT 900
700 READ 230,J
      GO TO (11,13,15,17),J
11  PRINT 101
      EMP=139.6
      EM=6.7192
      GO TO 100
13  PRINT 102
      EMP=139.6
      EM=6.7192
      GO TO 100
15  PRINT 103
      EMP=135.
      EM=6.7192
      GO TO 100
17  PRINT 104
      EMP=135.
      EM=6.9548
      GO TO 100
100 UMP=0.56027/EM
      UX=-0.01817/EM

```


8.

C
C
C

CINEMATICA

```
701 READ 89,NEGAM
EGAM=NEGAM
EEGA=EGAM/EMP
SW=2.*EM*EEGA+EM*EM
W=SQRT(SW)
EN=(SW+EM*EM-1.)/(2.*W)
EN1=(SW+EM*EM)/(2.*W)
Q=SQRT(EN*EN-EM*EM)
OM=W-EN
BETA=Q/OM
CAP=(SW-EM*EM)/(2.*W)
CSQ=CAP/Q
ZE=SQRT((EM+EN1)*(EM+EN))
CS=SQRT((EM+EN1)/(EM+EN))
AL=W+EM
BE=W-EM
TE=BE/(25.1328*W)
GA=W*W-EM*EM
A=1.00265*TE*ZE
B=1.00265*TE*CS
CALL SSWTCH(6,NDO)
GO TO (500,501),NDO
500 PRINT 302,EGAM,BETA,CSQ,W,OM
501 CALL SSWTCH(5,NVO)
GO TO (600,601),NVO
600 PRINT 29
PRINT 27
PRINT 49
```

C
C
C

CALCOLI-POLINOMI-E-DERIVATE

```
601 READ 88,I1,I2,ID
DO 55 I=I1,I2,ID
T=I
T=T*0.01745
X=COS(T)
S1=SIN(T)
S12=S1*S1
P1=X
P2=0.5*(3.*X*X-1.)
P3=(5.*X*P2-2.*P1)/3.
P4=0.25*(7.*X*P3-3.*P2)
P21=3.*X
P31=(5.*P2+5.*X*P21-2.)/3.
P41=0.25*(7.*P3+7.*X*P31-3.*P21)
P22=3.
P32=(10.*P21+5.*X*3.)/3.
P42=0.25*(14.*P31+7.*X*P32-9.)
UN1=CAP*OM*(1.-BETA*X)/(2.*EM)
DE=GA-4.*EM*UN1
AM=(EM*BE-4.*EM*EM*UN1/BE)/DE
SI=(EM*AL-4.*EM*EM*UN1/AL)/DE
RO=EM/DE
TA=1./(2.*EM*UN1)
DD=0.30285*(EM/GA-RO)
DP=0.30285*(EM/GA+RO)
FF=0.30285*TA*(EM/AL-RO*BE)
FP=0.30285*TA*(EM/AL+RO*BE)
G=-0.30285*TA*(EM/BE-RO*AL)
GP=-0.30285*TA*(EM/BE+RO*AL)
H=EK/AL-AM
HP=EM/AL+AM
PO=EM/BE-SI
POP=EM/BE+SI
```

./.

C
C
C

AMPIEZZE DI BORN DI DEFINITA G PARITA

$FP1=A*(DD-UMP*H)$
 $FP2=-B*Q*(DD+UMP*PO)$
 $FP3=A*Q*(FF-2.*RO*UMP)$
 $FP4=B*Q*Q*(G-2.*RO*UMP)$
 $FO1=A*(DD-UM*H)$
 $FO2=-B*Q*(DD+UM*PO)$
 $FO3=A*Q*(FF-2.*RO*UM)$
 $FO4=B*Q*Q*(G-2.*RO*UM)$
 $FM1=A*(DP-UMP*HP)$
 $FM2=-B*Q*(DP+UMP*POP)$
 $FM3=A*Q*(FP+2.*UMP*RO)$
 $FM4=B*Q*Q*(GP+2.*UMP*RO)$

C
C
C

AMPIEZZE DI BORN PAIPIU,PAIMENO,PAIZERO

$F1B(1)=(FO1+FM1)*1.4142$
 $F2B(1)=1.4142*(FO2+FM2)$
 $F3B(1)=(FO3+FM3)*1.4142$
 $F4B(1)=(FO4+FM4)*1.4142$
 $F1B(2)=(FO1-FM1)*1.4142$
 $F2B(2)=(FO2-FM2)*1.4142$
 $F3B(2)=(FO3-FM3)*1.4142$
 $F4B(2)=(FO4-FM4)*1.4142$
 $F1B(3)=FO1+FP1$
 $F2B(3)=FO2+FP2$
 $F3B(3)=FO3+FP3$
 $F4B(3)=FO4+FP4$
 $F1B(4)=-FO1+FP1$
 $F2B(4)=-FO2+FP2$
 $F3B(4)=-FO3+FP3$
 $F4B(4)=-FO4+FP4$

C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C

LETTURA MULTIPOLI FASI CALCOLO MULTIPOLI PI+ PI- PIO

L INDICE 1-12 SIGNIFICA

1-E0+
 2-E1+
 3-E2+
 4-E3+
 5-E2-
 6-E3-
 7-M1+
 8-M2+
 9-M3+
 10-M2-
 11-M3-
 12-M1-

$DO 4 I=1,12$
 $READ 44, A0(I), A1(I), A3(I)$
 $READ 444, B0(I), B1(I), B3(I), PH1(I), PH3(I)$
 $RPH1(I)=PH1(I)*0.01745$
 $RPH3(I)=PH3(I)*0.01745$
 $E0(I)=A0(I)*3.*SIN(RPH1(I))/COS(RPH1(I))$
 $E1(I)=A1(I)*(SIN(RPH1(I))/COS(RPH1(I)))$
 $E3(I)=A3(I)*(SIN(RPH3(I))/COS(RPH3(I)))$
 $A0(I)=(A0(I)-B0(I))*3.$
 $A1(I)=A1(I)-B1(I)$
 $A3(I)=A3(I)-B3(I)$
 $R(I,1)=(A0(I)+A1(I)-A3(I))*0.4714$
 $E(I,1)=(E0(I)+E1(I)-E3(I))*0.4714$
 $R(I,2)=(A0(I)-A1(I)+A3(I))*0.4714$
 $E(I,2)=(E0(I)-E1(I)+E3(I))*0.4714$
 $R(I,3)=(A0(I)+A1(I)+2.*A3(I))/3.$
 $E(I,3)=(E0(I)+E1(I)+2.*E3(I))/3.$
 $R(I,4)=(A0(I)-A1(I)-2.*A3(I))/3.*-1.$
 $E(I,4)=(E0(I)-E1(I)-2.*E3(I))/3.*-1.$

4 CONTINUE

./.

10.

C
C
C

```

CALCOLO AMPIEZZE TOTALI  P+(J=1)  P-(J=2)  POP(J=3)  PON(J=4)

F1R(J)=R(1,J)+(R(7,J)+R(2,J))*P21+(2.*R(8,J)+R(3,J))*P31
F1R(J)=F1R(J)+(3.*R(10,J)+R(5,J)+(3.*R(9,J)+R(4,J))*P41
F1R(J)=F1R(J)+(4.*R(11,J)+R(6,J))*P21+F1B(J)
F2R(J)=(2.*R(7,J)+R(12,J)+(3.*R(8,J)+2.*R(10,J))*P21
F2R(J)=F2R(J)+(4.*R(9,J)+3.*R(11,J))*P31+F2B(J)
F3R(J)=(R(2,J)-R(7,J))*3.+(R(3,J)-R(8,J))*P32+(R(4,J)-R(9,J))*P42
F3R(J)=F3R(J)+(R(6,J)+R(11,J))*P22+F3B(J)
F4R(J)=(R(8,J)-R(3,J)-R(5,J)-R(10,J))*P22
F4R(J)=F4R(J)+(R(9,J)-R(4,J)-R(11,J)-R(6,J))*P32+F4B(J)
F1E(J)=E(1,J)+E(7,J)+E(2,J))*P21+(2.*E(8,J)+E(3,J))*P31
F1E(J)=F1E(J)+(3.*E(10,J)+E(5,J)+(3.*E(9,J)+E(4,J))*P41
F1E(J)=F1E(J)+(4.*E(11,J)+E(6,J))*P21
F2E(J)=(2.*E(7,J)+E(12,J)+(3.*E(8,J)+2.*E(10,J))*P21
F2E(J)=F2E(J)+(4.*E(9,J)+3.*E(11,J))*P31
F3E(J)=(E(2,J)-E(7,J))*3.+(E(3,J)-E(8,J))*P32+(E(4,J)-E(9,J))*P42
F3E(J)=F3E(J)+(E(6,J)+E(11,J))*P22
F4E(J)=(E(8,J)-E(3,J)-E(5,J)-E(10,J))*P22
F4E(J)=F4E(J)+(E(9,J)-E(4,J)-E(11,J)-E(6,J))*P32
F12R(J)=F1R(J)*F2R(J)+F1E(J)*F2E(J)
F14R(J)=F1R(J)*F4R(J)+F1E(J)*F4E(J)
F23R(J)=F2R(J)*F3R(J)+F2E(J)*F3E(J)
F34R(J)=F3R(J)*F4R(J)+F3E(J)*F4E(J)
F11(J)=F1R(J)*F1R(J)+F1E(J)*F1E(J)
F22(J)=F2R(J)*F2R(J)+F2E(J)*F2E(J)
F33(J)=F3R(J)*F3R(J)+F3E(J)*F3E(J)
F44(J)=F4R(J)*F4R(J)+F4E(J)*F4E(J)
F12E(J)=F1E(J)*F2R(J)-F1R(J)*F2E(J)
F13E(J)=F1E(J)*F3R(J)-F1R(J)*F3E(J)
F14E(J)=F1E(J)*F4R(J)-F1R(J)*F4E(J)
F23E(J)=F2E(J)*F3R(J)-F2R(J)*F3E(J)
F24E(J)=F2E(J)*F4R(J)-F2R(J)*F4E(J)
F34E(J)=F3E(J)*F4R(J)-F3R(J)*F4E(J)
SY(J)=(F11(J)+F22(J)-2.*X*F12R(J))*2.*E+04
AS(J)=(F33(J)+F44(J)+2.*(F14R(J)+F23R(J)+F34R(J)*X))*2.*E+04
SX(J)=SY(J)+AS(J)*S12
S(J)=0.5*(SX(J)+SY(J))
ASS(J)=(SY(J)-SX(J))/(2.*S(J))
PYY(J)=2.*S1*F12E(J)
D(J)=-((F13E(J)+X*(F14E(J)-F23E(J))-F24E(J)-S12*F34E(J))
PXY(J)=PYY(J)-2.*D(J)*S1
PT(J)=(PYY(J)/SY(J))*2.*E+04
PP(J)=(PXY(J)/SX(J))*2.*E+04
PPT(J)=PT(J)-PP(J)
P(J)=(PT(J)*SY(J)+PP(J)*SX(J))/(SY(J)+SX(J))
SY(J)=SY(J)*Q/CAP
SX(J)=SX(J)*Q/CAP
S(J)=S(J)*Q/CAP
CSI=1.-BETA*X
PRINT 28,NEGAM,I,X,CSI,S(J),P(J),SX(J),PP(J),SY(J),PT(J),ASS(J),PP
1T(J))
55 CONTINUE
GO TO (700,701),NVO
END

```

I dati d'ingresso sono :

- 1) J: tipo di reazione.
- 2) NEGAM: energia del gamma alla quale si esegue il calcolo.
3. 1) AO(I), A1(I), A3(I), PH(1), PH3(I).
3. 2) BO(I), B1(I), B3(I).

Multipoli e fasi dello scattering :

$$3. 1) M_{1\pm}^0, M_{1\pm}^{1/2}, M_{1\pm}^{3/2}, \delta_{1,2J}, \delta_{3,2J}$$

e multipoli corrispondenti in approssimazione di Born⁽⁹⁾, cioè

$$3. 2) M_{1\pm}^{Bo}, M_{1\pm}^{B, 1/2}, M_{1\pm}^{B, 3/2} \quad \text{nell'ordine specificato nel programma;}$$

4. 1) I1, I2, ID

angolo minimo (θ_{\min}), massimo (θ_{\max}) e passo angolare ($\Delta\theta$).

I dati d'uscita

Per ogni valore di J, cioè per ognuno dei 4 processi (4. 1) i dati di uscita sono nell'ordine :

- I: angolo θ d'emissione del π (nel sistema del centro di massa).
- X: $\cos(\theta)$.
- CSI: $1 - \beta \cos(\theta)$.
- S(J): sezione d'urto di fotoproduzione da γ non polarizzati, formula (1. 3) (in μ barns).
- P(J): polarizzazione del nucleone, formula (1. 7).
- SX(J): sezione d'urto di fotoproduzione da γ polarizzati nel piano di produzione; formula (1. 2) (in μ barns).
- PP(J): polarizzazione del nucleone nel processo di fotoproduzione da γ polarizzato nel piano di produzione; formula (1. 6).
- SY(J): sezione d'urto di fotoproduzione da γ polarizzati in un piano normale a quello di produzione; formula (1. 1) (μ barns).
- PT(J): polarizzazione del nucleone nel processo di fotoproduzione da γ polarizzato in un piano normale a quello di produzione; formula (1. 5).
- ASS(J): Asimmetria; formula (1. 4).
- PPT(J): PT(J) - PP(J).

In Tabella II è dato un esempio d'uscita. I multipoli e le fasi dello scattering usati sono quelli tabulati in bibl. (1), le ampiezze di multipolo in approssimazione di Born sono quelle date in bibl. (3).

TABELLA II

REAZIONE G + P = N + P1+											
EGAMMA= 250			BETA= .7479		K/O= 1.2837		W= 8.3194		OMEGA= 1.5064		
EGAMMA			G NON PCL.		G PCL//		G PCL T		A PT-P//		
	θ	COS θ	CSI	S	P	S	P	S	P	A	PT-P//
250	0	1.000	.252	6.750	.000	6.750	.000	6.750	.000	0.000	0.000
250	5	.996	.254	6.68	.012	6.53	-.064	6.83	.085	.022	.150
250	10	.984	.263	6.50	.028	5.95	-.134	7.06	.165	.083	.299
250	15	.965	.277	6.32	.050	5.22	-.210	7.43	.233	.173	.444
250	20	.939	.297	6.26	.076	4.57	-.285	7.94	.288	.268	.574
250	25	.906	.322	6.38	.109	4.20	-.338	8.57	.329	.342	.668
250	30	.866	.352	6.74	.138	4.17	-.349	9.31	.357	.381	.767
250	35	.819	.387	7.33	.162	4.48	-.320	10.13	.375	.386	.695
250	40	.766	.427	8.04	.176	5.07	-.269	11.02	.385	.369	.655
250	45	.707	.471	8.90	.183	5.85	-.218	11.95	.388	.342	.607
250	50	.642	.519	9.83	.194	6.76	-.175	12.90	.387	.312	.563
250	55	.573	.570	10.78	.195	7.71	-.143	13.85	.384	.284	.527
250	60	.500	.625	11.72	.194	8.67	-.119	14.77	.378	.260	.497
250	65	.422	.683	12.61	.191	9.58	-.102	15.64	.371	.239	.474
250	70	.342	.744	13.43	.186	10.43	-.091	16.43	.364	.223	.456
250	75	.259	.806	14.17	.181	11.20	-.085	17.14	.356	.209	.441
250	80	.173	.869	14.82	.175	11.89	-.081	17.75	.348	.197	.430
250	85	.087	.934	15.36	.168	12.48	-.081	18.24	.339	.187	.420
250	90	0.000	.999	15.80	.161	12.90	-.081	18.62	.331	.178	.413
250	95	-.086	1.064	16.13	.154	13.40	-.083	18.86	.323	.169	.407
250	100	-.173	1.129	16.55	.146	13.73	-.085	18.98	.315	.160	.401
250	105	-.253	1.193	16.48	.138	13.98	-.089	18.97	.307	.151	.396
250	110	-.341	1.255	16.51	.130	14.17	-.091	18.85	.298	.141	.390
250	115	-.422	1.315	16.45	.122	14.29	-.094	18.62	.289	.131	.383
250	120	-.499	1.373	16.33	.114	14.36	-.099	18.29	.279	.120	.374
250	125	-.573	1.428	16.14	.105	14.30	-.096	17.90	.268	.108	.364
250	130	-.642	1.480	15.90	.097	14.27	-.095	17.44	.255	.096	.350
250	135	-.706	1.528	15.63	.088	14.33	-.092	16.94	.241	.083	.334
250	140	-.765	1.572	15.34	.079	14.27	-.088	16.42	.224	.070	.318
250	145	-.818	1.612	15.05	.069	14.19	-.083	15.91	.206	.057	.299
250	150	-.865	1.647	14.76	.059	14.11	-.075	15.42	.184	.044	.280
250	155	-.906	1.677	14.49	.050	14.03	-.066	14.96	.160	.032	.260
250	160	-.939	1.702	14.26	.040	13.95	-.055	14.56	.132	.021	.247
250	165	-.965	1.722	14.06	.030	13.89	-.042	14.24	.102	.012	.245
250	170	-.984	1.736	13.92	.020	13.84	-.029	14.00	.059	.003	.099
250	175	-.996	1.745	13.83	.010	13.81	-.014	13.85	.035	.001	.050
250	180	-.999	1.747	13.800	.000	13.800	.000	12.800	.000	0.000	0.000

BIBLIOGRAFIA E NOTE. -

- (1) - F. Berends, A. Donnachie and D. L. Weaver, CERN 67/146/5, TH 744 (1967).
- (2) - W. Korth, H. Rollnik, D. Schwela, and R. Weizel, Z. Physik, 202, 452 (1967).
- (3) - D. Schwela, Thesis, Università di Bonn.
- (4) - W. Schmidt, Comunicazione privata.
- (5) - M. Grilli, P. Spillantini, V. Valente, M. Nigro, and E. Schiavuta, Nuovo Cimento 63A, 1188 (1969).
- (6) - G. Barbiellini, G. Bologna, G. Capon, J. DeWire, G. DeZorzi, G. Diambri, F. L. Fabbri, G. P. Murtas and G. Sette, Frascati report LNF-69/3 (1969).
- (7) - P. Spillantini, V. Valente, M. Nigro and C. Oleari, Nuclear Phys. B13, 320 (1969).
- (8) - G. F. Chew, M. L. Goldberger, F. E. Low and Y. Namby, Phys. Rev. 106, 1345 (1957).
- (9) - Le espressioni di \mathcal{A}_1^B , $M_{1\pm}^B$ e $E_{1\pm}^B$ si trovano ad esempio in D. Schwela (bibl. (3)).
- (10) - Nella tesi di D. Schwela⁽³⁾ sono date in grafici tutte le ampiezze di multipolo in approssimazione di Born sino a M_{3+}^B , E_{3+}^B e distinte nei vari stati di isospin.