

TITOLO PARAMETRI DI ADONE PER IL FUNZIONAMENTO A DUE  
FASCI A 1000 MeV

NOME M.E. Biagini  
M.A. Preger

A seguito di una proposta per la misura del fattore di forma del neutrone nella regione time-like alla soglia (cioè circa 1000 MeV per fascio), è stata presa in considerazione la possibilità di riportare Adone al funzionamento a due fasci.

A questo proposito si è cercato di analizzare quei parametri di macchina che risultano più importanti dal punto di vista di un esperimento a due fasci.

Questi sono, ovviamente, la luminosità ottenibile e la lunghezza della sorgente.

## 1. LUMINOSITA'

La luminosità di un anello di accumulazione, per collisioni frontali e fasci gaussiani identici, è data da:

$$L = \frac{k i_b^2}{e^2 f_0 4\pi \sigma_x^* \sigma_z^*} \quad (1)$$

dove:  $k$  = numero di bunches per fascio,  $i_b$  = corrente per bunch,  $f_0$  = frequenza di rivoluzione (per Adone  $f_0 = 2.86$  MHz),  $\sigma_x^*, \sigma_z^*$  = deviazioni standard delle dimensioni trasverse del fascio al punto di interazione.

Per ogni energia di operazione, a causa del cosiddetto limite di carica spaziale, esiste una corrente massima  $I_{max}$  accumulabile. Se la corrente in un fascio supera  $I_{max}$ , si osserva una crescita della dimensione verticale (flipping) del fascio più debole e la luminosità si riduce a valori trascurabili.

Questo limite fisico si può schematizzare, nel modello lineare, mediante un parametro  $\xi_{x,z}$ , che misura la forza dell'interazione, e che viene definito da:

$$\frac{4\pi\xi_x}{\beta_x^*} = \frac{2r_0 i_b}{e f_0 \gamma \sigma_x^* (\sigma_x^* + \sigma_z^*)} = \frac{\sigma_z^* 4\pi}{\sigma_x^* \beta_z^*} \xi_z \quad (2)$$

dove:  $r_0$  = raggio classico dell'elettrone,  $\beta^*$  = funzione di betatrone all'incrocio,  $\gamma = E/m_0 c^2$ .

Questo parametro è inoltre legato allo spostamento del numero d'onda di betatrone,  $\delta Q_{x,z}$ , prodotto dall'interazione fascio-fascio:

$$2\pi\xi_{x,z} = \sin(2\pi\delta Q_{x,z}) \{ 1 + \tan(\pi\delta Q_{x,z}) \cot\mu_{x,z} \}$$

dove  $\mu_{x,z}$  è l'avanzamento di fase tra due punti di incrocio vicini. La non linearità dell'interazione produce una distribuzione continua in  $Q$ , dal valore imperturbato fino a  $Q + \delta Q$ .

Il parametro di interazione  $\xi$  dipende dal numero d'onda di betatrone  $Q$ . Avvicinandosi all'intero, multiplo del numero di bunches  $k$ , si ottengono a parità di  $\delta Q$ , dei limiti su  $\xi$  più alti. Questa è la ragione per la quale il modo di operazione di Adone a due fasci, con tre bunches, era  $Q_x = Q_z = 11$ .

E' possibile, utilizzando le equazioni (1) e (2), esplicitare la dipendenza della luminosita' dal parametro  $\xi$ :

$$L = \frac{f_0 \cdot \gamma^2 \cdot \epsilon_x^* \cdot \xi_x \cdot \xi_z}{r_0^2 \beta_z^*} \left( 1 + \frac{\xi_x \beta_z^*}{\xi_z \beta_x^*} \right)^2 \quad (3)$$

dove:  $\epsilon_x^* = \pi(\sigma_{xp}^2 + \sigma_{xs}^2) / \beta_x^*$ , che coincide con l'emittanza radiale del fascio quando la dispersione D e' nulla.

Dalla relazione (3) si puo' dedurre che si ottiene un aumento di luminosita' minimizzando  $\beta_z^*$ , che aumentando l'emittanza, nonché operando con i valori massimi ottenibili di  $\xi_x$  e  $\xi_z$ .

Le misure ad Adone [2] mostrano anche, per  $E > .7$  GeV, che pur superando corrente I<sub>max</sub>, il flipping non e' distruttivo, le dimensioni trasverse variano poco e la vita media non peggiora.

In questo caso si puo' perciò tornare nella regione di stabilita' muovendo la frequenza di betatrone verso la risonanza di accoppiamento (in modo da "superare" il flipping).

La massima luminosita' si ottiene, data una certa corrente accumulata, uscendo dall'accoppiamento in modo da avvicinarsi senza raggiungere il limite fascio-fascio. Cio' e' anche utile per mantenere la luminosita' proporzionale ad I (invece che ad I<sup>2</sup>) man mano che la corrente diminuisce.

Per abbassare il  $\beta_z^*$  si e' pensato di utilizzare gli alimentatori Ansaldo installati per l'esperimento LELA, in modo da avere quattro famiglie di quadrupoli indipendenti: la periodicita' in questa configurazione scende da 12 a 4 e e' cosi' possibile ottenere dei valori dei  $\beta$  piu' bassi di quelli normali nelle sezioni di incrocio dei fasci (e quindi aumentare la luminosita'), mentre i  $\beta$  risultano piu' alti di quelli normali nelle altre sezioni, lasciando approssimativamente invariato il loro valor medio, che determina le frequenze di betatrone.

L'ottica calcolata ha gli stessi Q dell'ottica normalmente usata per il funzionamento attuale di Adone ad un fascio:  $Q_x = Q_z = 3.10$ .

E' perciò possibile iniettare nella configurazione normale e poi condurre la macchina ai valori di  $\beta_x$  e  $\beta_z$  calcolati, senza incontrare risonanze.

L'ottica "low- $\beta$ " studiata ha  $\beta_x^* = 4.5$  m e  $\beta_z^* = 1$  m, avendo posto come condizione che il  $\beta_{max}$  in tutta la macchina non superi i 20 m.

Il basso  $\beta_z^*$  ha inoltre il vantaggio di ridurre l'ampiezza di betatrone verticale proprio nei punti di incrocio, dove, nelle sezioni 9 e 11, l'apertura verticale della ciambella e' stata ridotta, a causa del wiggler e dell'ondulatore.

I parametri di questa ottica sono riportati nella Tabella I, e le relative funzioni ottiche nelle Figg. 1 e 2. Per confronto, in Tabella II e Figg. 3 e' riportata la struttura normale a due famiglie.

I gradienti quadrupolari richiesti differiscono da quelli della configurazione a due famiglie per non piu' del  $\pm 10\%$ , e possono essere facilmente raggiunti con gli impianti Ansaldo, che prevedevano gradienti piu' alti ad un'energia di lavoro minore.

Le misure di luminosita' riportate in [3] e [4], danno per la luminosita' di picco @ 1000 MeV:

$$L \sim 3 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

con una corrente per fascio di 50 mA in tre bunches. Da queste misure e dai



TITOLO

NOME

lori delle funzioni ottiche riportati in Tabella II, si possono calcolare i loro limite del parametro di interazione  $\xi$  per il punto (3.1,3.1), con un' accoppiamento  $\xi^2 = .17$ :

$$\xi_x = .038 \quad , \quad \xi_z = .073$$

da cui:

$$\delta Q_x = .023 \quad , \quad \delta Q_z = .036$$

Se si suppone di lavorare con la nuova struttura low- $\beta$ , di avere gli stessi limiti per  $\xi_{x,z}$  e lo stesso accoppiamento, la corrente accumulabile salirebbe, in teoria, a  $\sim 90$  mA, e la luminosità corrispondente a  $\sim 1.7 \cdot 10^{30} \text{ cm}^{-2}$ .

Una corrente così elevata sarebbe probabilmente limitata dai problemi di iniezione dei positroni.

Nell'ipotesi di ridurre la corrente accumulabile a 50 mA per fascio, si dovrebbe, mantenendo gli stessi valori di  $\xi_{x,z}$ , lavorare ad un valore di accoppiamento minore ( $\xi^2 = .05$ ), che darebbe una luminosità  $\sim 9 \cdot 10^{29} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

Poiché inoltre il  $\delta Q$  limite sembra sensibile al numero di bunches, cioè al numero di incroci per giro, (e' proporzionale circa a  $\sqrt{3}$ ), si può pensare di operare con un solo bunch, essendo la luminosità proporzionale a  $k$  e la corrente a  $k \xi$ .

In queste condizioni il limite su  $\xi$  sembra però alzarsi, rispetto ai bunches, solo del 20% circa, poiché la vicinanza del Q all'intero dà una pendenza di  $\xi$  da  $k$  meno pronunciata, pur alzando la  $\xi$  limite.

Operando con un solo bunch si avrebbe inoltre una riduzione di un fattore 3 sul rate dei cosmici, per l'esperimento.

E' comunque da studiare se l'iniezione con un solo bunch sia compatibile col nuovo inflector del Linac, usato attualmente per iniettare con la 51.4

## 2. LUNGHEZZA DELLA SORGENTE

La lunghezza della sorgente equivalente per l'esperimento e' data dalla lunghezza del bunch divisa per  $\sqrt{2}$ , per tener conto della sovrapposizione delle distribuzioni gaussiane dei due fasci.

Per le correnti a cui si può pensare di lavorare si e' certamente sopra soglia di allungamento anomalo. In queste condizioni la lunghezza del bunch r.m.s. si ricava dal fit [5]:

$$\sigma_L = 41.4 \left( \frac{2\pi i_b}{h V} \right)^{1/3}$$

con  $i_b$  in A,  $V$  in Volt e  $\sigma_L$  in m.

In Tabella III sono riportati i valori r.m.s. calcolati nell'ipotesi di rare a varie correnti per bunch e nelle due configurazioni di RF possibili attualmente: 8.5 MHz ( $h = 3$ ) e 51.4 MHz ( $h = 18$ ).

TITOLO

NOME

REFERENZE

- 1 - S.Tazzari, "Beam-beam interactions: a summary of experimental evidence", IEEE NS-28,1
- 2 - S.Tazzari, "Beam-beam effects at the 1.5 GeV,  $e^+e^-$  storage ring Adone", Brookhaven 1979
- 3 - F.Amman et al., "Remarks on two beam behaviour of the 1.5 GeV  $e^+e^-$  storage ring Adone", Ginevra 1971.
- 4 - F.Amman, "Electron and positron storage rings: present situation and future prospects", Ginevra 1971.
- 5 - S.Tazzari, "Scaling dell'allungamento anomalo secondo il modello di Chao-Gareyte", Memo

## LABORATORI NAZIONALI DI FRASCATI DELL'INFN

DIVISIONE MACCHINE MEMORANDUM INTERNO

DATA

Gruppo  
e Numero

G-55

TITOLO

NOME

N	EL	BETAX	BETAZ	PSI	PSI'	MUX	MUZ
0	0	8.9995	3.2800	2.0494	0.0000	0.0000	0.0000
1	1	9.1853	3.7897	2.0494	0.0000	.1427	.3755
2	2	7.4829	5.2548	1.8297	-.8106	.2046	.4994
3	1	5.7681	6.8944	1.5898	-.8106	.2497	.5486
4	3	4.2448	8.6343	1.3166	-.2349	.3613	.6152
5	1	3.9790	8.6957	1.2203	-.2349	.4612	.6625
6	4	3.6227	8.8266	1.0662	.0000	.8113	.8116
7	4	3.9763	8.6956	1.2203	.2349	1.1615	.9606
8	1	4.2413	8.6341	1.3166	.2349	1.2615	1.0079
9	3	5.7626	6.8942	1.5899	.8106	1.3732	1.0745
10	1	7.4756	5.2546	1.8298	.8106	1.4184	1.1237
11	2	9.1759	3.7895	2.0495	-.0000	1.4803	1.2476
12	1	8.9900	3.2797	2.0495	-.0000	1.6232	1.6232

ENERGIA = 1.00000

SIGMAP = .38521E-03

D = -.01788

ALFAC = .06692

LUNG. TOT. = 104.92799

M = .36408

QX TOT. = 3.10001

QZ TOT. = 3.10000

CROMATISMO ORIZZONTALE = -1.01493

CROMATISMO VERTICALE = -.97981

EMITTANZA ORIZZONTALE = .1080E-06

EMITTANZA VERTICALE = .5402E-07

N	EL	LUNGH.	K <sup>2</sup>	ALFAX	ALFAZ	GAMMAX	GAMMAZ	SIGMAX	SIGMAZ
0	0	0.0000	0.000000	0.0000	0.0000	.1111	.3049	1.2632	.4210
1	1	1.2930	0.000000	-.1437	-.3942	.1111	.3049	1.2711	.4525
2	2	.5320	.771213	3.1074	-2.5572	1.4240	1.4348	1.1425	.5328
3	1	.2960	0.000000	2.6859	-2.9819	1.4240	1.4348	.9991	.6103
4	3	.5320	.757925	.3793	-.0511	.2695	.1161	.8461	.6830
5	1	.4100	0.000000	.2689	-.0988	.2695	.1161	.8068	.6854
6	4	1.3090	.135647	.0005	.0000	.2760	.1133	.7484	.6905
7	4	1.3090	.135647	-.2679	.0988	.2695	.1161	.8066	.6854
8	1	.4100	0.000000	-.3784	.0512	.2695	.1161	.8459	.6830
9	3	.5320	.757947	-2.6829	2.9820	1.4226	1.4349	.9989	.6103
10	1	.2960	0.000000	-3.1040	2.5573	1.4226	1.4349	1.1422	.5328
11	2	.5320	.771237	.1438	.3942	.1112	.3049	1.2707	.4525
12	1	1.2930	0.000000	-.0000	.0000	.1112	.3049	1.2628	.4209

TABELLA I

- Parametri della struttura normale -

TITOLO

NOME

ADONE NORMALE - FUNZIONI OTTICHE

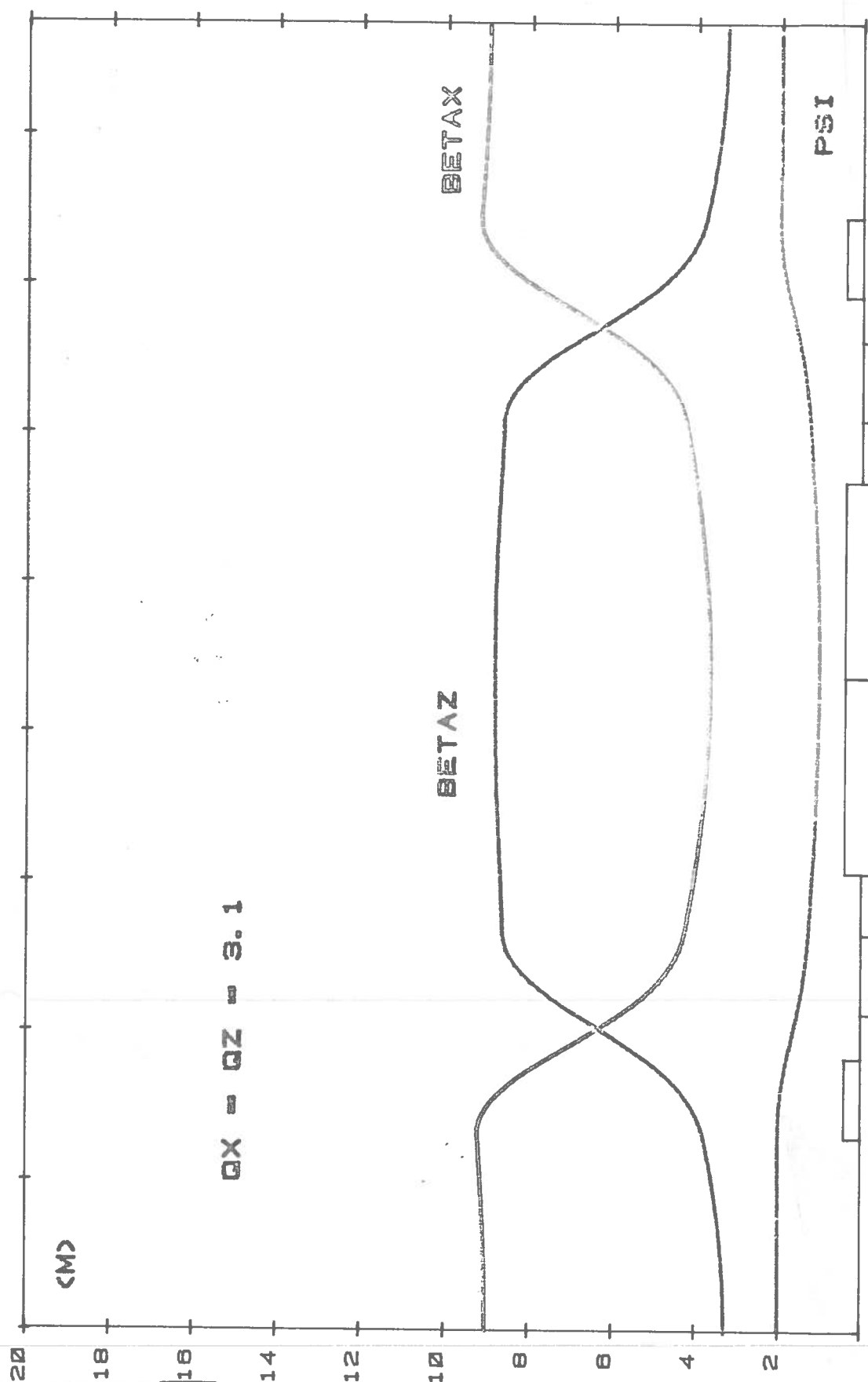


Fig. 1

TITOLO

ADONE NORMALE - DIMENSIONI DEI FASCI

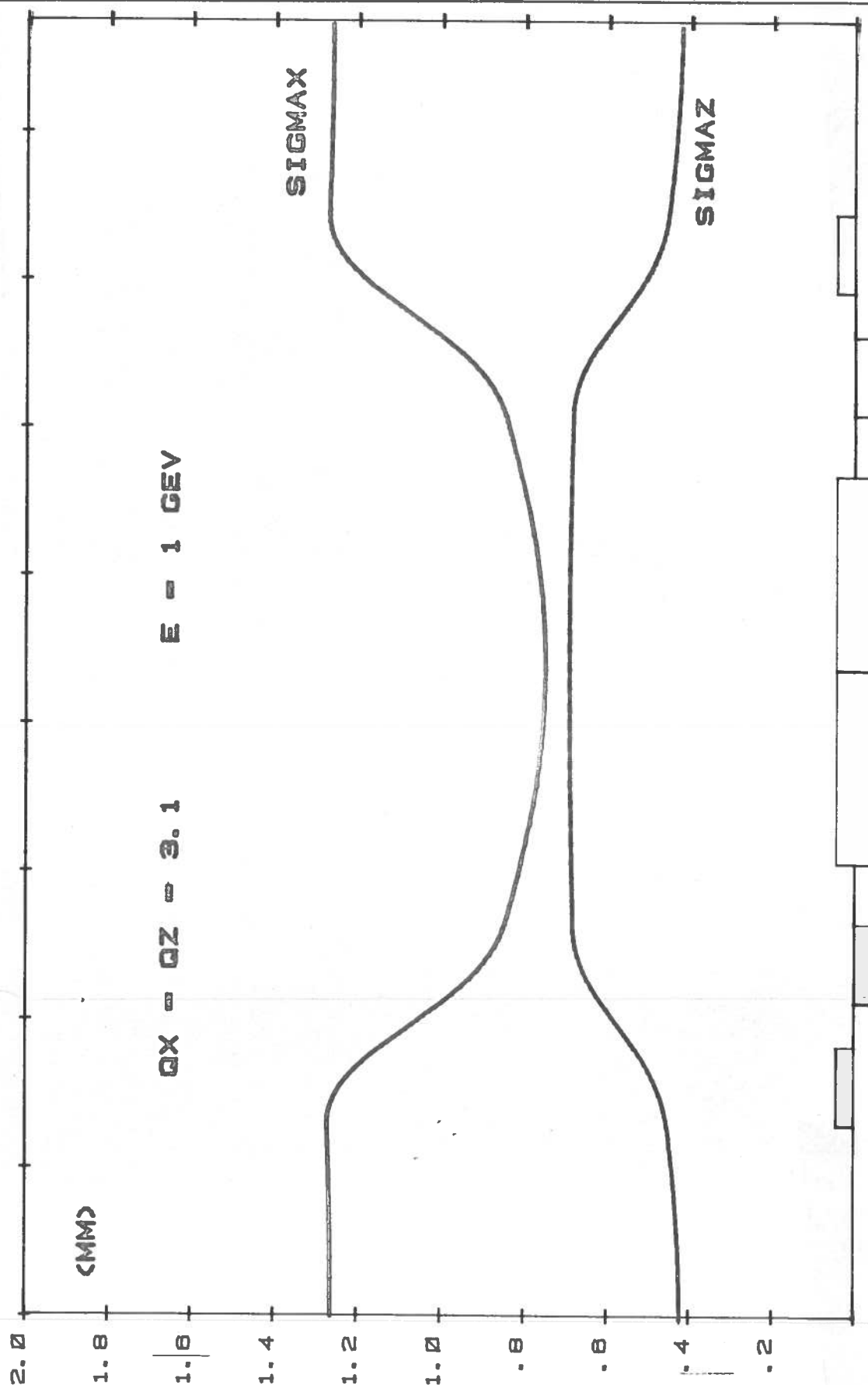


Fig. 2

# LABORATORI NAZIONALI DI FRASCATI DELL'INFN

DIVISIONE MACCHINE MEMORANDUM INTERNO

DATA

Gruppo  
e Numero

G-55

TITOLO

NOME

N	EL	BETA <sub>x</sub>	BETA <sub>y</sub>	P <sub>81</sub>	P <sub>81</sub>	P <sub>81</sub>	MU <sub>Z</sub>
0	0	4.5209	1.0001	2.1256	0.0000	0.0000	0.0000
1	1	4.8907	2.6718	2.1256	0.0000	.2786	.9124
2	2	4.1500	5.2532	1.8818	-.8986	.3923	1.0606
3	1	3.2948	7.8555	1.6158	-.8986	.4725	1.1067
4	3	2.7634	11.3198	1.3159	-.2511	.6570	1.1609
5	1	3.0278	12.2747	1.2130	-.2511	.7992	1.1957
6	4	4.6116	15.2429	1.0378	-.0158	1.1551	1.2909
7	4	7.1089	17.5562	1.1718	.2200	1.3845	1.3705
8	1	8.0559	18.1539	1.2620	.2200	1.4388	1.3935
9	3	11.2988	15.5510	1.5081	.7203	1.4964	1.4242
10	1	14.6413	12.5686	1.7213	.7203	1.5194	1.4453
11	2	18.0454	10.1334	1.9163	-.0000	1.5510	1.4941
12	1	17.9523	9.9656	1.9163	-.0000	1.6229	1.6232

ENERGIA = 1.00000

SIGMAP = .38516E-03

D = -.01743

ALFAC = .06523

LUNG. TOT. = 104.92799

M = .47223

QX TOT. = 3.09954

QZ TOT. = 3.10002

CROMATISMO ORIZZONTALE = -1.24463

CROMATISMO VERTICALE = -1.67773

EMITTANZA ORIZZONTALE = .1401E-06

EMITTANZA VERTICALE = .7006E-07

N	EL	LUNG.	K <sub>02</sub>	ALFAX	ALFAZ	GAMMAX	GAMMAZ	SIGMAX	SIGMA
0	0	0.0000	0.000000	0.0000	0.0000	.2212	.9999	1.1418	.264
1	1	1.2930	0.000000	-.2860	-1.2929	.2212	.9999	1.1643	.432
2	2	.5320	.826521	1.5680	-3.9320	.8334	3.1335	1.0520	.606
3	1	.2960	0.000000	1.3213	-4.8596	.8334	3.1335	.9214	.741
4	3	.5320	.846821	-.2439	-1.1236	.3834	.1999	.8025	.890
5	1	.4100	0.000000	-.4011	-1.2055	.3834	.1999	.8016	.927
6	4	1.3090	.135647	-.7960	-1.0340	.3543	.1357	.8977	1.033
7	4	1.3090	.135647	-1.0917	-.7113	.3083	.0858	1.0953	1.109
8	1	.4100	0.000000	-1.2181	-.7465	.3083	.0858	1.1683	1.127
9	3	.5320	.690013	-5.2694	5.3164	2.5460	1.8818	1.3858	1.043
10	1	.2960	0.000000	-6.0230	4.7593	2.5460	1.8818	1.5783	.938
11	2	.5320	.731536	.0720	.1297	.0557	.1003	1.7530	.842
12	1	1.2930	0.000000	-.0000	.0000	.0557	.1003	1.7493	.835

TABELLA II

- Parametri della struttura low- $\beta$  -



TITOLO

NOME

ADONE CON 4 FAMIGLIE DI QUADRUPLI - DIMENSIONI DEI FASCI

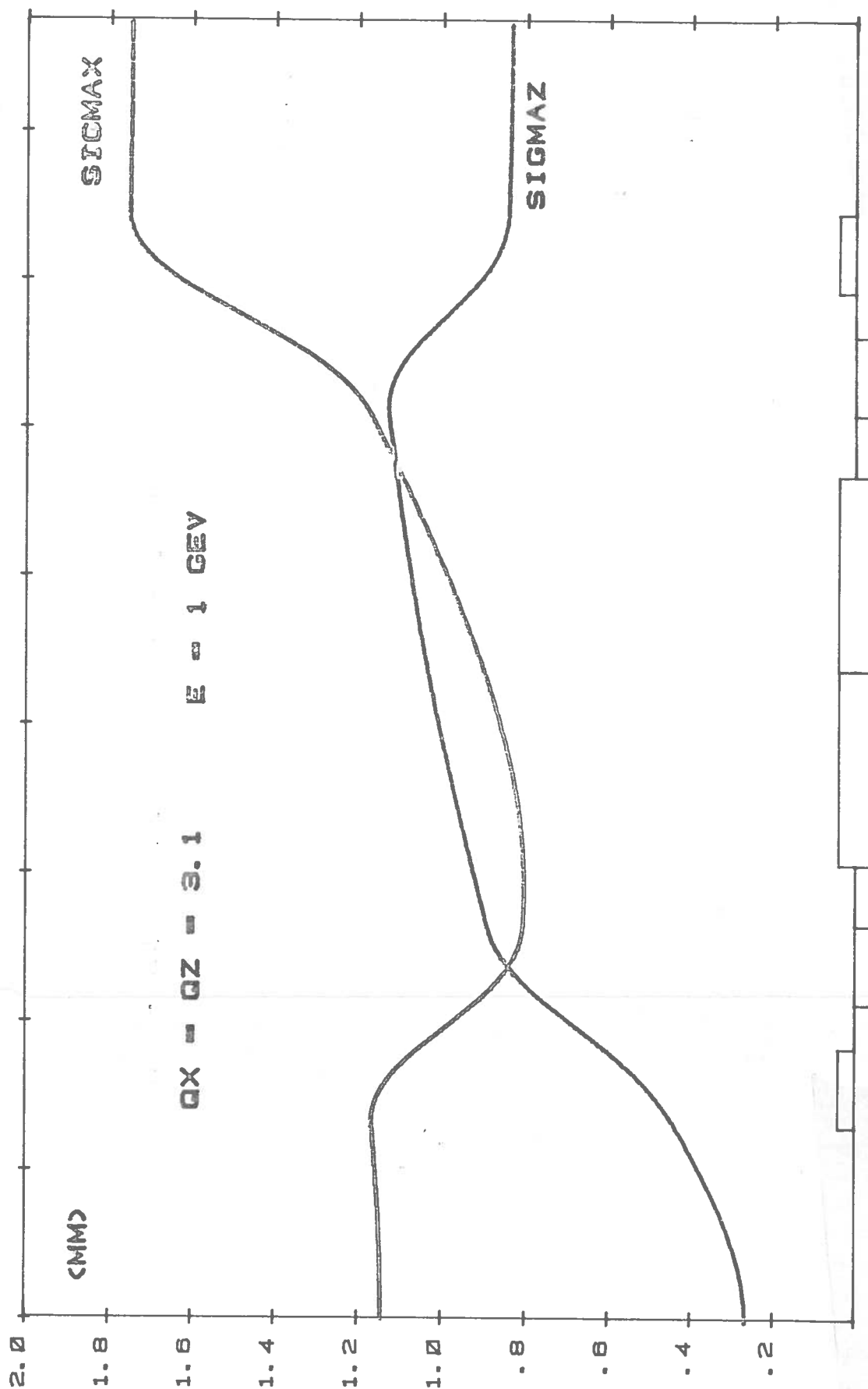


Fig. 3

ADONE CON 4 FAMIGLIE DI QUADRUPOLI - FUNZIONI OTTICHE

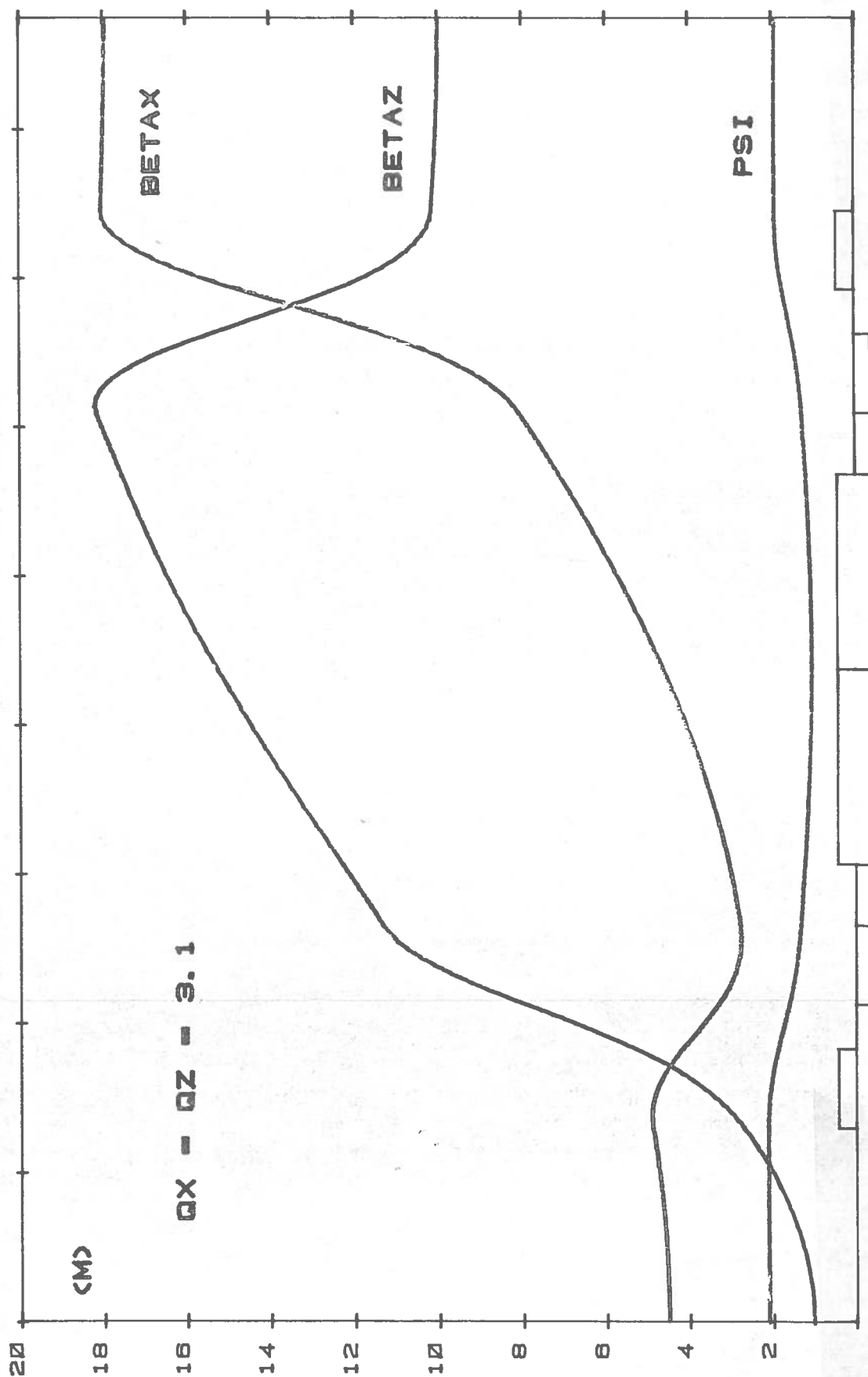


Fig. 4

# LABORATORI NAZIONALI DI FRASCATI DELL'INFN

DIVISIONE

- MEMORANDUM INTERNO

DATA

Gruppo  
e Numero

G-55

TITOLO

NOME

$i_b$ (mA)	$F_{rf}$ (MHz)	$h$	$V_{rf}$ (V)	$\sigma_e$ (cm)	$\sigma_e / \sqrt{2}$ (cm)
17	8.5	3	70	33	23
	51.4	18	200	13	9
30	8.5	3	70	40	28
	51.4	18	200	16	11
55	8.5	3	70	49	35
	51.4	18	200	20	14

Tabella III