

Laboratori Nazionali di Frascati

LNF-55/43 (14. 11. 55)

G. Salvini: CARATTERISTICHE PRINCIPALI DELL'ELETTROSINCRO-
TRONE DA 1000 MeV - DATA 31. 10. 55.

ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE

SEZIONE ACCELERATORE

Relazione G.19

CARATTERISTICHE DELL'ELETTROSINCROTRONE DA 1000 MEV

(Data 31 Ottobre 1955.)

I dati che seguono cancellano per il nostro progetto, ove diversi, quelli contenuti nelle relazioni : Gruppo teorico 16, Gruppo teorico 17, G 13, G 16, G 17, G 18, M 52. Si chiede che questi dati vengano indicati con la Sigla 31/10/55. Si può verificare che essi non differiscono da quelli contenuti nella relazione G 16 che in pochi particolari.

E' da sottolineare che alcuni di questi dati potranno ancora essere variati nel futuro: una discussione delle possibili varianti è data nelle appendici della presente relazione. Queste appendici sono fondamentali per l'intelligenza del progetto.

§ 1.- Dati fondamentali

Energia finale	E_{\max}	= 1000 MeV
Induzione finale sull'orbita principale	B_{\max}	= 9260 gauss
Raggio orbita principale	R	= 360 cm
Numero dei tratti rettilinei		= 4
Lunghezza tratto rettilineo (nominale)	L	= 120,6 cm
Indice del campo (1)	n	= 0,61
Energia di iniezione (totale)	E_1	= 2,5 MeV
Distanza tra i poli (= altezza traferro) (2)		= 8,6 cm
Larghezza dei poli alla base minore (= larghezza traferro) (2)		= 22,7 cm
Iniettore:	Cockroft e Walton in gas compresso	
Eccitazione del magnete: (3)	Sinusoidale a 20 periodi ($\omega = 125,66 \text{ sec}^{-1}$) con componente continua (bias) regolabile tra 4170 e 4630 gauss (questi numeri possono essere leggermente modificati dalle caratteristiche del ferro scelto).	

(1) - Per questi dati vedi appendice n° 1

(2) - Per questi dati vedi appendice n° 2

(3) - Per questi dati vedi appendice n° 3; in essa si precisa anche il problema della spiralizzazione alla iniezione.-

Da queste grandezze fondamentali si ricavano le seguenti grandezze derivate :

Lunghezza orbita principale	l	=	2744 cm
Lunghezza di un settore curvo (nominale)		=	565,5 cm
Fattore di allungamento $A = (2 \sqrt{R} + 4 L) / 2 \sqrt{R}$		=	1,213
Periodo di rivoluzione finale ($\beta = 1$)	T_{∞}	=	$9,154 \times 10^{-8}$ sec
Frequenza di rivoluzione finale ($\beta = 1$)	ν_{∞}	=	$10,924 \times 10^6$
Energia massima irradiata in un giro	L^F	=	25 KeV

Oscillazioni di Betatrone :

Lunghezza d'onda dei tratti sinusoidali verticali	λ	=	2896 cm
	κ	=	$\lambda / 2\pi = 461$ cm
Lunghezza d'onda dei tratti sinusoidali orizzontali	λ_h	=	3625 cm
	κ_h	=	577 cm
Lunghezza d'onda della sinusoi- de approssimante verticale	λ_v^*	=	3179 cm
Lunghezza d'onda della sinusoi- de approssimante orizzontale	λ_h^*	=	3983 cm
Numero oscillazioni per giro :			
verticali	Q_v	=	0,863
orizzontali	Q_h	=	0,688

Caratteristiche all'iniezione (grandezze derivate):

Velocità all'iniezione	$\beta_i = v_i/c = 0,9789$
Durata di un giro all'iniezione	$T_i = 9,35 \times 10^{-8} \text{ sec}$
Frequenza di rivoluzione all'iniezione	$I/T_i = 10,69 \text{ MHz}$
Campo magnetico sull'orbita principale all'iniezione	$B_i = 22,7 \text{ gauss}$

Caratteristiche della Radiofrequenza:

Armonica	$K = 4$
Frequenza finale ($v = c$)	$\nu_{oc} = 43,70 \text{ MHz}$
Frequenza all'iniezione	$\nu_i = 42,78 \text{ MHz}$
Ampiezza teorica della modulazione di frequenza	$= 2,11 \%$

§ 2. - Dati di costruzione. Magnete -

Tipo(4) : (Cfr. Dis. I) struttura a C con ciambella esterna

Poli(5) : (Cfr. Dis. I) poli mobili fissati alle ali del C

Altezza del traferro al livello dell'orbita principale(5) : $= 8,6 \text{ cm}$

Larghezza della base minore dei poli(5) $= 22,7 \text{ cm}$

(4) - Vedi appendice n°2 e relazione interna G 15.-

(5) - Vedi appendice n°2, in particolare per quanto riguarda una soluzione alternativa.-

Struttura azimutale (Cfr. § 1 e Dis.n°3):	4 quadranti
Peso del ferro (approssimato)	: $9,3 \times 10^4$ Kg
Numero di spire per quadrante	: 12
Peso del rame (approssimato)	: $0,8 - 1 \times 10^4$ Kg
Tipo di ferro usato: lamierino al silicio ARMCO DI-MAX 19 - spessore	: 0,35 mm
Induzione massima nel traferro	: 9260 gauss
Induzione massima media nel ferro (approssimata)	: 14.000 gauss
Induttanza del magnete	: $18,5 \times 10^{-3}$ henry
Energia massima nell'aria	: $2,65 \times 10^5$ Joule

§ 3.- Dati di costruzione - Alimentazione del magnete.

Tipo⁽⁶⁾: (Cfr. Dis.2) corrente alternata parzialmente polarizzata con corrente continua.

Frequenza di alimentazione = Frequenza di ripetizione =
= 20 periodi/sec

Potenza del banco di condensatori in parallelo al magnete (calcolata a 20 periodi al secondo) = 10.560 KVA

Capacità del banco di condensatori = 3.420 μ Farad

Valore dell'induttanza di protezione (approssimata : Cfr. Dis.2) = $5,6 \times 10^{-2}$ henry

Potenza prevista per il generatore c.a. = 510 KVA

Potenza prevista per il generatore c.c. = 315 Kw

(6) - Vedi per lo schema di alimentazione le varie relazioni del gruppo Magnete.-

§ 4; - Dati di costruzione - Iniettore(7)

Tipo : Cockroft e Walton in gas compresso.
 Pressione del gas nella tank : 15 atmosfere.
 Tipo del gas : azoto con percentuale di CO₂ o Freon (~ 10%)
 Dimensioni approssimative
 di ingombro :

lunghezza	5 m
larghezza	3,5 m
altezza	3,5 m

Materiale della tank : acciaio inossidabile.
 Energia degli elettroni : 2,5 MeV (totale)
 Corrente massima : 200 mA
 Durata dell'impulso : da 1 a 10 μ sec
 Capacità della colonna
 fissa : 1,57 m μ F
 Frequenza di alimentazio-
 ne : \geq 1000 c.p.s.
 Frequenza di ripetizio-
 ne : 20 c.p.s.
 Corrente continua : 100 μ A
 Struttura elettrica : 5 stadi da 400.000 volt,
 raddrizzatori al selenio
 Potenza dell'impianto : 10 KVA
 Ripple : dell'ordine di 2×10^{-4}
 Deflettore : elettrostatico
 Stabilità richiesta al-
 l'energia d'iniezione : 2 ‰

(7) - Il progetto si è fatto all'Istituto Superiore di Sanità, che ne curerà anche la realizzazione e la messa a punto.-

Dimensioni del fascetto all'iniezione : $1 \times 1 \text{ cm}^2$
 Apertura angolare del fascetto all'iniezione : $\pm 3 \times 10^{-3} \text{ rad}$

§ 5.- Dati di costruzione - Radiofrequenza.

Armonica (frequenza oscillazione cavità
 risonante / frequenza rivoluzione) : $K = 4$
 Tipo di cavità acceleratrici : rientranti
 (coassiali)
 Numero delle cavità acceleratrici (8) : 2
 Tipo di eccitazione : entrambe ad
 amplificatore
 Energia degli elettroni al passaggio dalla
 prima alla seconda cavità : $E_p \cong 7 \text{ MeV}$
 Massima modulazione prevista sulla prima
 cavità : 2,5% (42,6 -
 - 43,7 Mhz)
 Frequenza (fissa) della seconda cavità : 43,7 Mhz
 Massima tensione alla gap della prima
 cavità (RF₁) (9) : 7000 Volt
 Massima tensione alla gap della seconda
 cavità (RF₂) (10) : $5 \times 10^4 \text{ Volt}$
 Potenza massima dell'impianto R.F. : 60 KW
 La cavità R.F.2 lavora sotto vuoto.

(8) - Vedi appendice n°4

(9) - Vedi appendice n°3

(10) - Non è escluso che una tensione finale di $\sim 30 - 35.000$
 volt sia sufficiente (v. rapp.19 del Gruppo Teorico).

Funzionamento RF₁ : pulsato 20 periodi al secondo
 Tempo di utilizzazione : dipende dalla spiralizzazione
 Funzionamento RF₂ : pulsato 20 periodi al secondo
 Tempo di utilizzazione : 50 % (~ 24.000 μ secondi)
 Raffreddamento RF₂ : acqua circolazione chiusa; aria
 ciclo aperto.

§ 6.- Dati di costruzione - Ciambella a vuoto.

Pompe a diffusione	=	4
Capacità di ogni pompa a diffusione	=	3000 l/sec
Rotative	=	4
Capacità di ogni pompa rotativa	=	60 mc/h
Pressione finale	=	10^{-5} \rightarrow 10^{-6} mm Hg
Materiale ciambella	:	vetro pyrex
Sezione ciambella	:	(cerchi raccordati)
Dimensioni ciambella (esterne) ⁽¹¹⁾	:	230x78 mm
Spessore ciambella	:	8 \div 11 mm
Lunghezza sull'orbita princi- pale di un settore della ciam- bella	:	565 mm

(11) - La ciambella avrà le dimensioni massime compatibili con il traferro scelto. Vedi quindi anche appendice n°2.

§ 7.- Edificio

I disegni degli edifici del Sincrotrone e dei laboratori sono a disposizione degli interessati presso la Sezione Acceleratore. Il disegno n°3 si limita a dare una vista sintetica della macchina entro il suo edificio. Lo studio completo si trova presso il progettista Ing. Scaccia, dell'Istituto Superiore di Sanità.

§ 8.- Quadro dei tempi

Un quadro dei tempi di approntamento delle diverse parti è dato in Dis.4. Sono indicati con un asterisco i tempi che dipendono ormai da precisi impegni delle Ditte. I tempi dati iniziano dal 1° agosto 1955, poichè in questa data la Ditta Ansaldo San Giorgio ha iniziato i lavori di progetto per il magnete. Purtroppo è da tenere presente che ben poche sono le Ditte capaci di rispettare scrupolosamente gli impegni presi.

A proposito dei tempi facciamo presente che in questa relazione non si parla delle altre apparecchiature occorrenti per le esperienze con il Sincrotrone, quali ad esempio i magneti analizzatori, gli spettrometri di coppie elettroniche, le camere di taratura del fascio, l'elettronica rapida di uso corrente nelle esperienze con contatori.

L'approntamento di queste apparecchiature è solo in piccola parte responsabilità della Sezione Acceleratore, poichè all'attrezzatura fondamentale contribuiranno le altre Sezioni e Sottosezioni dell'I.N.F.N.

Il Sincrotrone qui descritto sarà in grado di contribuire effettivamente alla ricerca scientifica soltanto dopo che queste apparecchiature saranno costruite ed efficienti.

- APPENDICI -

In queste appendici indichiamo i problemi attualmente più vivi per noi, ed i nomi delle persone che vi si dedicano. Complete informazioni possono trovarsi nelle relazioni della Sezione Acceleratore o presso le persone indicate:-

Appendice n° 1.-

La scelta teorica del valore di n e la traduzione in pratica del valore teorico.

a) Per quanto riguarda la scelta di n , vedi Rapporto Teorico n° 16, pag.2, e Rapporto G 13, pag.2. Delle risonanze indicate in questo rapporto è stata studiata dal Gruppo Teorico la:

$$p = - 2 ; \quad q = 3 ; \quad r = 0$$

per un semplice caso non lineare. Impiegando il metodo di Kryloff e Bogoliuboff si conclude che in condizioni di esatta risonanza (per noi $n = 0,634$) le soluzioni corrispondenti alle possibili condizioni iniziali divergono tutte, più o meno lentamente. Questo studio non è tuttavia risolutivo, e perchè non fornisce informazioni sulla larghezza (in Δn) della risonanza, e per l'arbitrarietà dell'omissione di altre perturbazioni.

Un'altra risonanza studiata, la

$$p = -1 ; q = -1 ; r = 2 ; n_{ris} = 0,593$$

si presenta notevolmente più complicata e per il momento non vi sono indicazioni sul comportamento delle sue soluzioni.

Quanto sopra si accenna è documentato presso il Gruppo Teorico.

b) Per determinare il profilo radiale dei poli si sono fatte misure su modelli in ferro massiccio ed in lamierino, eccitati in corrente continua (nostri rapporti finali in preparazione). Si sono provati diversi profili, e sino ad ora si è arrivati a realizzare un valore di n contenuto entro i limiti $n_{teorico} \pm 0,1 \cong 0,61 \pm 0,1$ su una estensione \underline{l} pari al 50 - 55% della base minore del polo $L_2 = 227 \text{ mm}$ (V. Dis.1). E' improbabile che si possano trovare risultati migliori di questi se ci si limita a modificare il profilo dei poli.

Altri metodi per allargare l'estensione radiale \underline{l} in prossimità dell'iniezione sono allo studio presso il Gruppo del magnete. Si osservi che a tutt'oggi non sono soddisfatte le richieste del Gruppo Teorico sulle dimensioni del traferro utile (V. Appendice n°2); i grafici dei risultati sono stati tracciati da Canarutto e da Ghigo che si sono particolarmente dedicati al problema.

c) Quanto detto in b) riguarda l'estensione di n utile quale si ottiene in misure in corrente continua, quindi l'estensione utile della gap a campi medi (600 - 6000 gauss) quando gli effetti della rimanenza (Diambrini, Relaz. M 53), delle correnti parassite, delle saturazioni nel ferro sono trascurabili. Altra questione è il conoscere l'estensione della regione utile della gap all'iniezione (22,7 gauss). Molto verrà allora chiesto alle correcting coils (V. nostra relazione; Amman ha in corso una relazione completa in proposito. Il progetto è affidato ad Amman, Corazza, Salvini, Sanna), ed una parte dell'aggiustamento per focalizzare il fascio sarà necessariamente empirica. Infatti appare a tutt'oggi difficile che n possa misurarsi all'iniezione con errore minore di 0,1 (studi in proposito sono avviati da Ghigo e Quercia). La tecnica in preparazione è quella delle peaking strips. I problemi magnetici connessi a questa tecnica sono stati particolarmente studiati da Diambrini. I limiti di n qui dati sono sinora più o meno gli stessi ritrovati da altri sperimentatori in macchine analoghe.

Appendice n° 2.-

Le dimensioni del traferro. La struttura del magnete.

Non è escluso che le dimensioni del traferro vengano ulteriormente modificate, e se mai allargate. Infatti i risultati teorici indicano che, con le ipotesi fatte sull'iniettore e sulla

inomogeneità del campo, è conveniente disporre di un traferro utile (interno alla ciambella) di $66 \times 177 \text{ mm}^2$ (vedi rapporto teorico n° 17, pagg. 5, 8, 10, 11) mentre è praticamente certo che queste dimensioni interne non sono compatibili con quelle esterne della ciambella^{gww} date in §. 3 almeno nei riguardi dell'altezza ($230 \times 78 \text{ mm}^2$). (Il vuoto e la ciambella sono affidati a Corazza. Per la statica della ciambella vedi Rapporto T 20 di Persico e Bernardini).

D'altra parte è da dire che la gap attuale (227×86) è già circa la massima compatibile con il nostro tipo di magneti a lamierini, date le nostre esigenze di precisione e di solidità dell'intera struttura del magnete. Ulteriori varianti di altezza e di larghezza difficilmente potrebbero andare oltre il 10 - 15%.

La situazione è stata particolarmente discussa tra Ageno, Persico e Salvini, in una riunione del 20 gennaio 1955 (vedi verbale relativo) e successivamente tra Persico e Salvini in queste ultime settimane. Si è deciso che nel modello lungo un metro in Scala 1 : 1 del nostro magnete (metro campione) si proveranno due tipi di poli : il primo tipo di poli corrispondente alla gap riportata in questo testo (227×86) e l'altro per una gap maggiorata di un 10 - 15% nelle due dimensioni, e di forma da definirsi. Attualmente sono troppo incerte le nostre conoscenze sulle proprietà del nostro iniettore e sulle effettive qualità del nostro campo magnetico per anticipare una decisione.

E' da notare che le modificazioni leggere nell'intraferro possono farsi variando la forma dei poli e senza mutare il disegno fondamentale del magnete (vedi Relazione M 54, e disegni del magnete).

La struttura del magnete è stata studiata in collaborazione tra la Sezione Acceleratore (Sacerdoti, Toschi, Salvini) e la Ditta Ansaldo San Giorgio. Il progetto è ormai condensato in disegni costruttivi che sono attualmente in esame presso la nostra Sezione.

Ogni quadrante è costituito da pacchetti di lamierino magnetico incollati con araldite per uno spessore azimutale di 10 cm. I pacchetti sono riuniti in gruppi di tre su guide regolabili. La solidità finale è garantita da opportune armature metalliche. La tecnica di incollatura è stata particolarmente studiata da Corazza, Sacerdoti, Clozza. Il raffreddamento è fatto in acqua in circuito chiuso entro le spire di rame del magnete. Lo scambiatore di calore sarà probabilmente ad acqua fluente. E' anche previsto un raffreddamento superficiale del ferro. Del problema di raffreddamento dell'acqua si sono interessati Amman e Scaccia.

Appendice n° 3.-

Sull'ampiezza della componente continua di alimentazione del magnete; sul rallentamento del campo nell'intraferro durante e dopo l'iniezione.

a) Come si è detto, il valore del campo nell'orbita principale

all'iniezione è di 22,7 gauss. A seconda del valore della corrente continua nella eccitazione del magnete noi abbiamo all'iniezione diversi valori di $\frac{dB}{dt} \equiv \dot{B}$, cui corrispondono diversi valori della spiralizzazione degli elettroni verso l'orbita di equilibrio.

I valori di \dot{B} sono limitati superiormente ed inferiormente dalle esigenze dell'iniezione e della Radiofrequenza. I valori del bias (corrente continua) dell'eccitazione del magnete sono a loro volta limitati dalle proprietà magnetiche del ferro. Il gioco delle varie esigenze può farsi nei seguenti termini.

b) Per quanto riguarda le relazioni tra la corrente continua e la corrente alternata nella eccitazione del magnete, è da dire che B_{min} (*) dovrà probabilmente restare al disotto di un certo limite (p.e. $B_{min} < -100$ gauss), ed essere comunque negativo (essendo $B_{max} > 0$). Questo si richiede per poter "lavare" almeno in parte il magnete di ferro, riducendone la rimanenza. Non è ancora possibile stabilire il valore di tale limite (probabilmente tra - 700 e - 100 gauss), e questo problema verrà chiarito nel metro campione. Se il limite inferiore di B_{min} fosse incompatibile con le esigenze della R.F.

(*) Vedi Rapporto Gruppo Teorico n°16. Riassumendo, si ammette che il campo magnetico principale vari nel tempo con la legge :

$$B_c = B_b - B_a \cos \omega t$$

$$= B_{min} + 2 B_a \sin^2 \frac{\omega t}{2}, \text{ con } B_{min} = B_b - B_a$$

e della iniezione, allora dovremmo ricorrere ad un "lavaggio" del campo addizionale, per esempio (Persico) inviando opportuni impulsi di corrente mentre il campo magnetico è negativo o comunque sotto il valore di iniezione.

Esigenze dell'iniezione.- Durante il processo di iniezione dobbiamo conservare la possibilità di spiralizzazioni comprese tra $\overset{\sigma = 1 \text{ cm} \text{ e } \sigma = 0,2 \text{ cm}}{\sigma = 0,2 \text{ cm}}$, pari, all'iniezione, a $\dot{B} = 250.000$ gauss/sec e $\dot{B} = 53.000$ gauss/sec rispettivamente. Valori di $\sigma \approx 0,2$ cm riportano gli elettroni iniettati contro il deflettore. Valori $\sigma > 1$ cm riducono di troppo il tempo utile di iniezione (Vedi nostri rapporti del Gruppo Teorico, in particolare T 3, T 4, T 5, T 6, T 9, T 21).

Esigenze della R.F. (per la cavità RF_1). Le richieste per la cavità RF_1 sono indicate nel grafico di Dis. 5. In esso si è dato il valore massimo di \dot{B} tollerato dalla RF, in funzione del valore di B al centro del traferro. Infatti è da dire che le difficoltà tecniche e la potenza richiesta dalla cavità aumentano rapidamente se si chiedono una troppo rapida modulazione di frequenza (cioè troppo alti valori di $\frac{d\nu}{dt}$, quindi di $\frac{dB}{dt}$), ed una troppo elevata ampiezza massima di tensione.

Nello stesso grafico con il segmento IM si è indicata la condizione imposta dalla iniezione (in particolare nel grafico il punto I indica la condizione più severa: $\sigma = 0,2$ cm).

c) Nel grafico di Dis. 5 sono anche indicate le curve $\dot{B} = \dot{B}(B)$ per diversi valori di σ . ~~Senza spiralizzazioni~~ Con le spiralizzazioni

minori si hanno valori di B_{\min} negativi molto bassi o addirittura > 0 . E' probabile che almeno in questi casi i lavaggi addizionali del campo divengano essenziali.

d) Restano validi i richiami alle tabulazioni dati in Appendice n°3 della relazione G 16, e resta valido l'enunciato del problema del rallentamento dato nella stessa Appendice, nel caso improbabile che il rallentamento occorra.

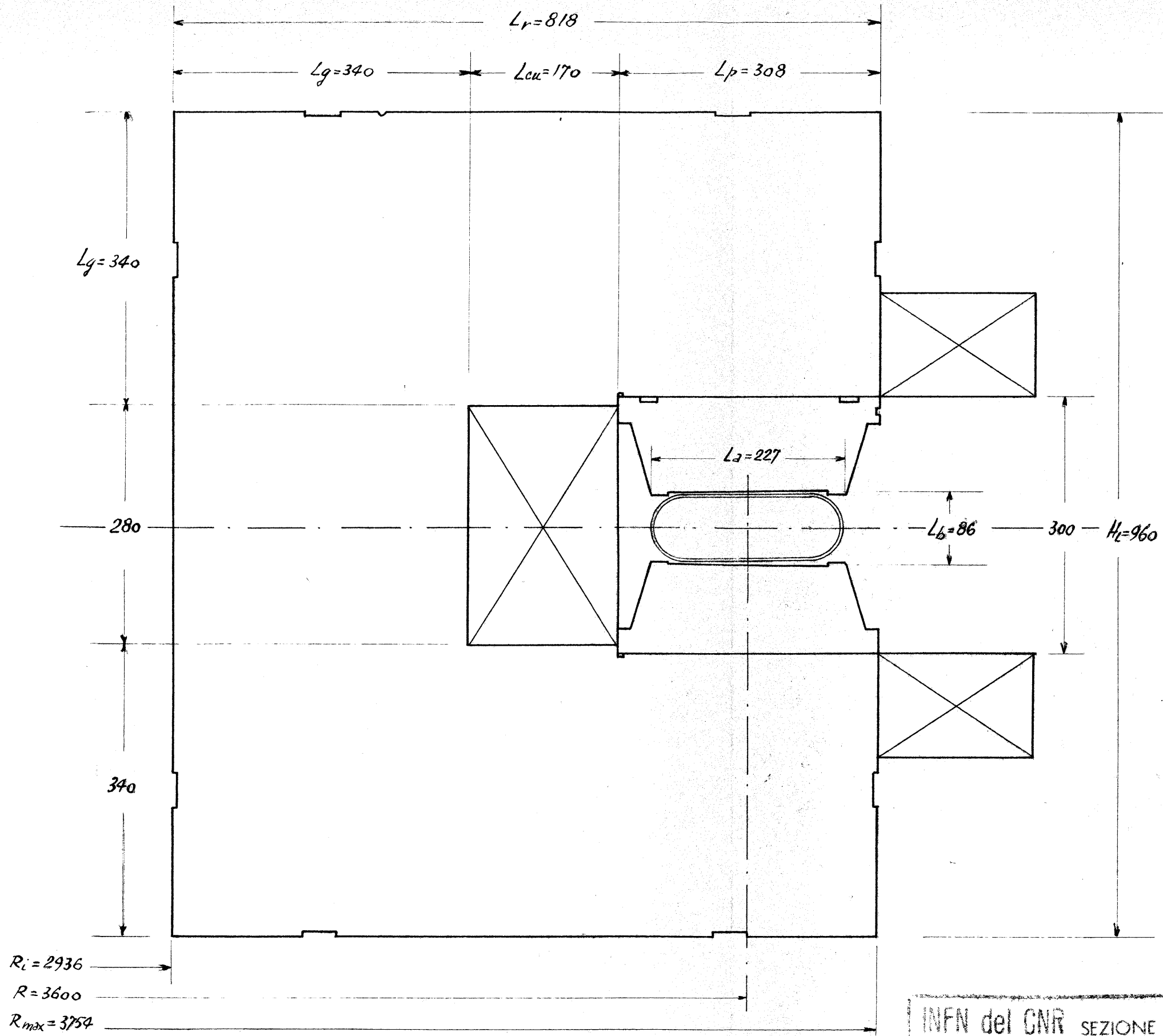
Appendice n° 4.-

Non sono ancora definite le caratteristiche della cavità risonante ad alta tensione (RF_2).

Per quanto riguarda la cavità RF_1 , essa sarà del tipo "coassiale" caricato ad un estremo con una capacità. La cavità attualmente in costruzione è a pressione atmosferica (Vedi relazione R 11 di Puglisi, Quercia, Lepri).

G. SALVINI

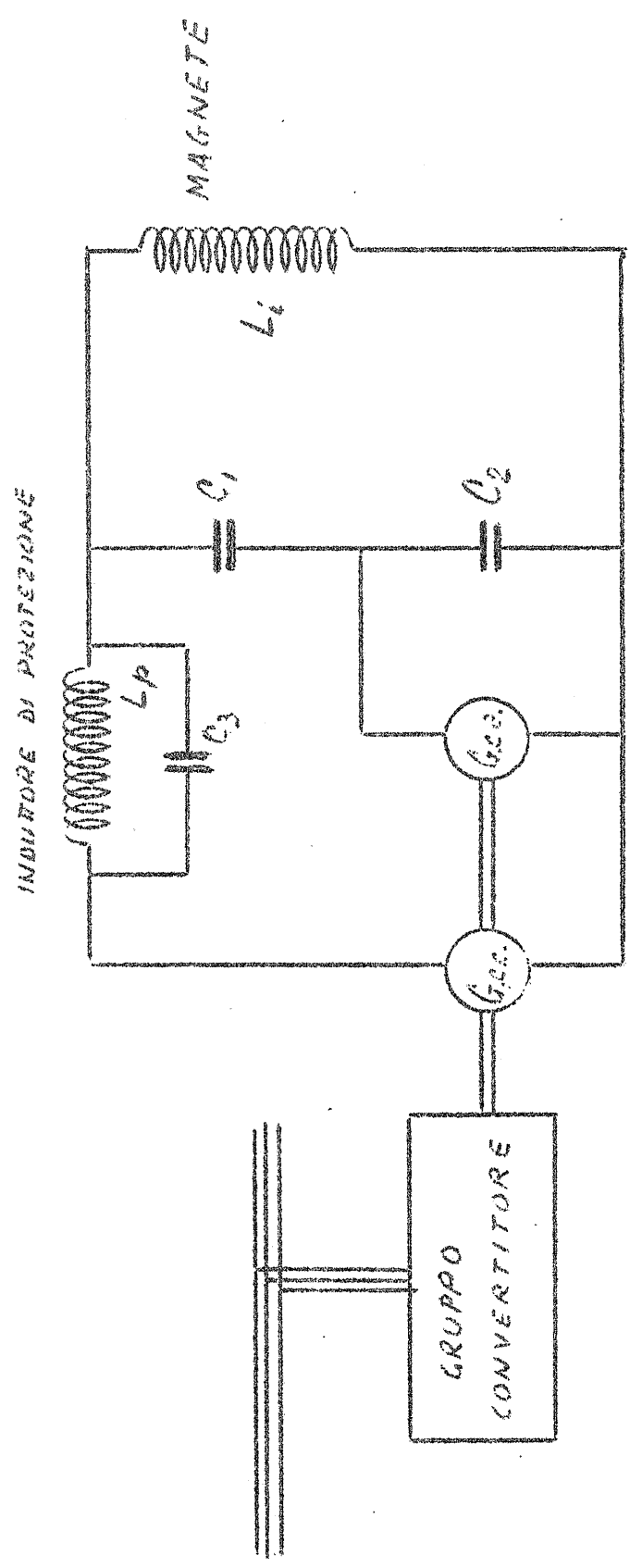
Roma, 14 Novembre 1955



INFN del CNR SEZIONE ACCELERATORE		SCALA	1:5
SEZ. VERTICALE DEL MAGNETE		DISEGNO N.º	1 (rel. G.19)
		RIFERIMENTO N.º	
DS SA		SOSTITUISCE IL N.º	
PROG.		SOSTITUITO DA N.º	
		DATA	9.11.1955.

SE2. ACCELERATORE - INFEN.

CIRCUITO DI ALIMENTAZIONE DEL MAGNETE



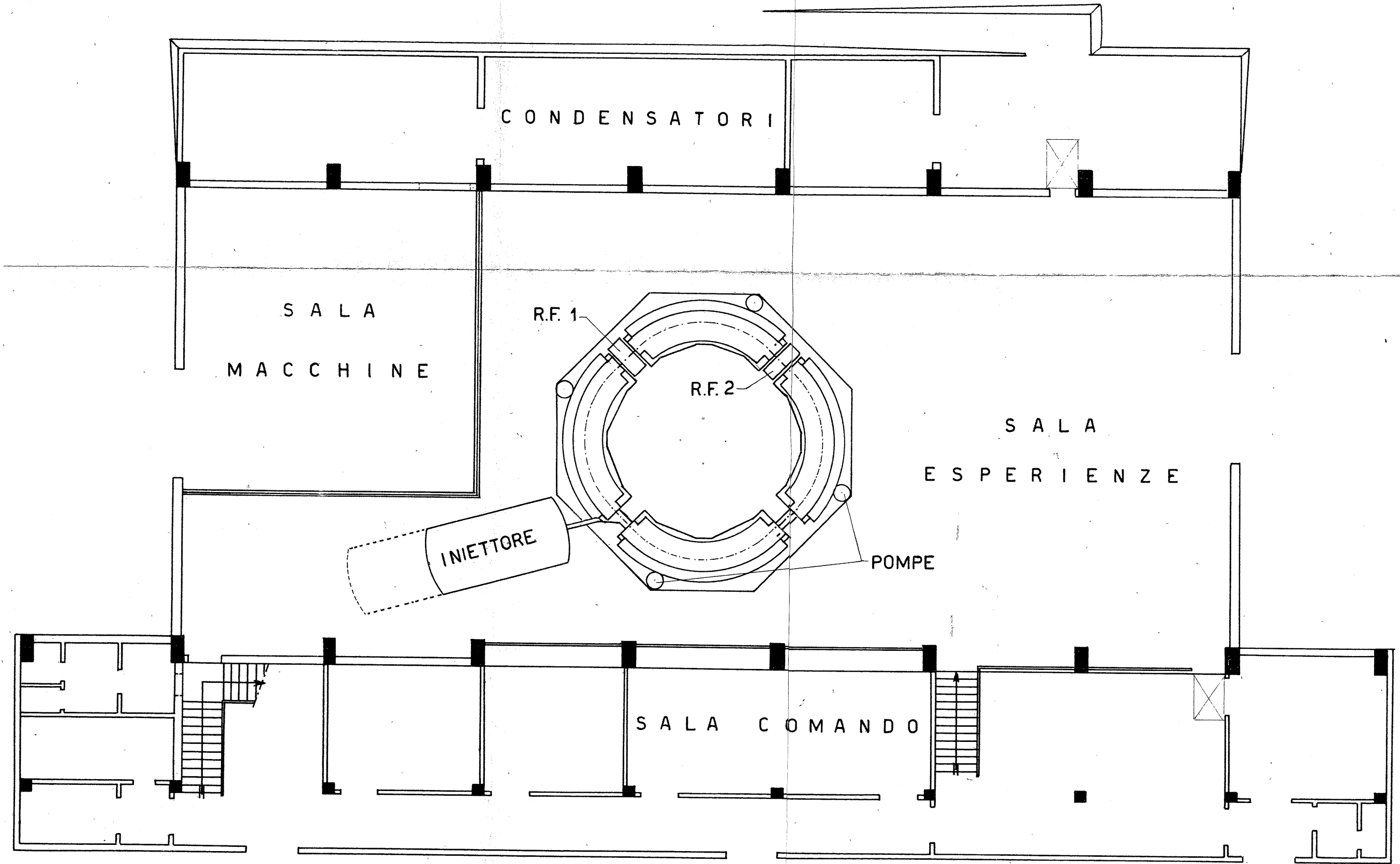
$$\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \approx 3430 \mu F$$

$$C_3 \approx 1140 \mu F$$

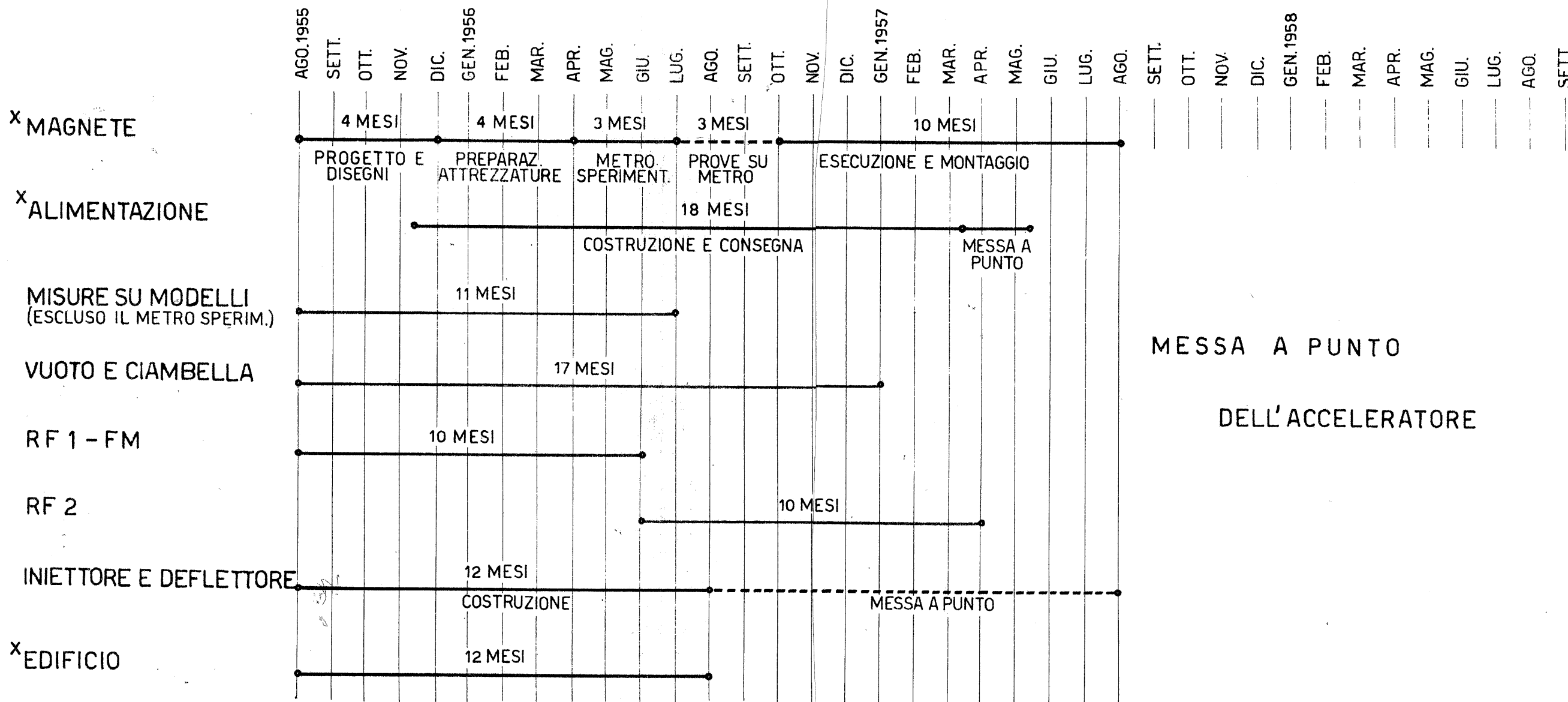
$$L_i \approx 0,0185 \text{ Henry}$$

$$L_p \approx 0,056 \text{ Henry}$$

Rel. no G19 dis. no 2
9. 11. 1955.

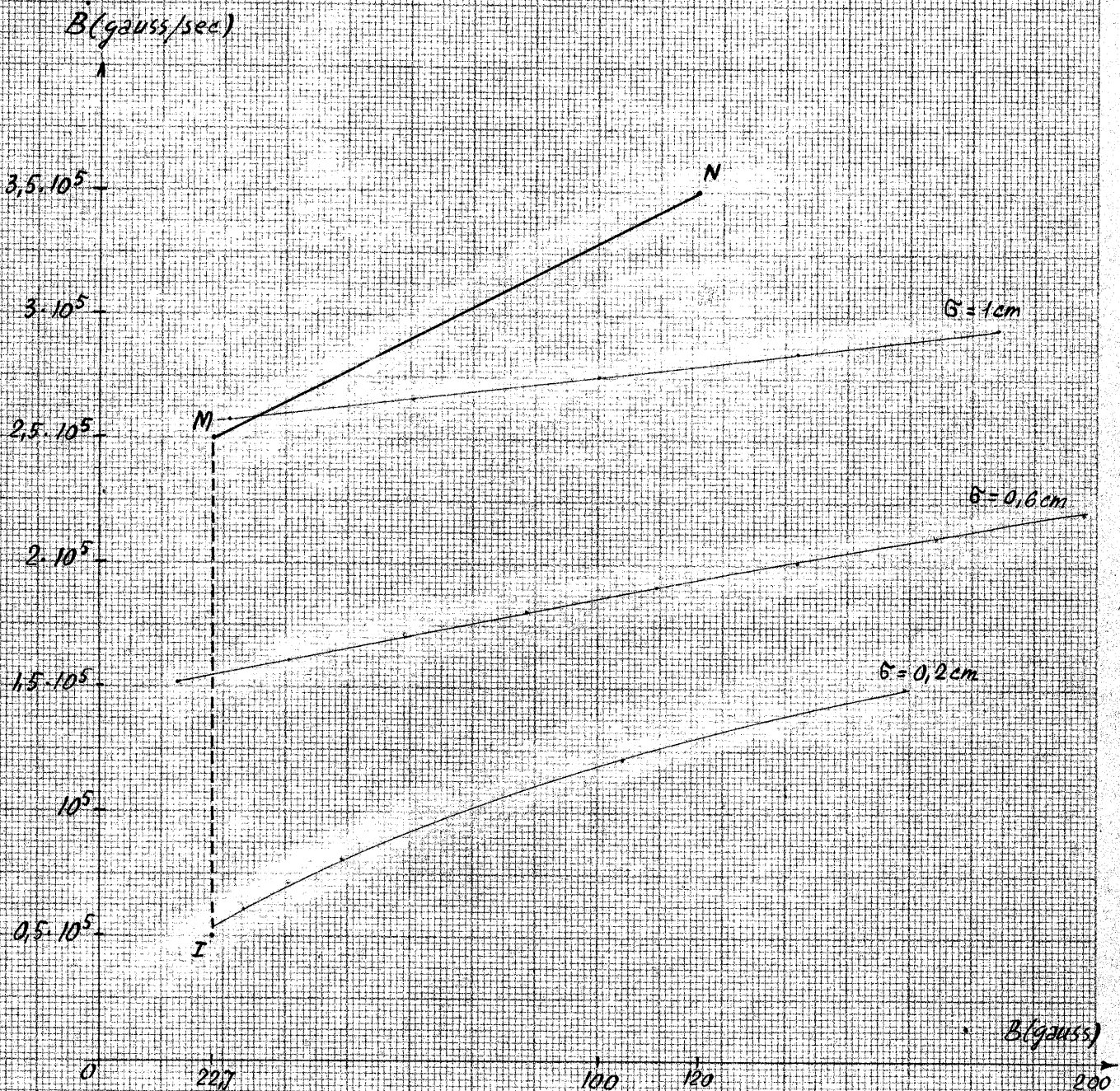


INFN del GNR SEZIONE ACCELERATORE			SCALA 1:100
DISEGNO N.º 3 (REL. G 19)			RIFERIMENTO N.º
POSIZIONE DEL SINCROTRONE NEL SUO EDIFICIO			SOSTITUISCE IL N.º
DIS. SL	PROG.	DATA 9.11.1955.	SOSTITUITO DAL N.º



MESSA A PUNTO
DELL'ACCELERATORE

INFN del GNR SEZIONE ACCELERATORE		SCALA
QUADRO DEI TEMPI		DISEGNO N.º 4 (Rel. G.19)
		RIFERIMENTO N.º
		SOSTITUISCE IL N.º
DIS. <i>SL</i>	PROG.	DATA 9.11.1955.
		SOSTITUITO DAL N.º



SEZ. ACCELERATORE - I.N.F.N.
REL. G.19 - DIS. n° 5

SPEZZATA DEI MASSIMI VALORI DI \dot{B} CONSENTITI ALL'ECCITAZIONE DEL MAGNETE NELL'INTERVALLO 0-120 GAUSS DALLE ESIGENZE DELL'INIEZIONE E DELLA R.F. (ved. appendice n° 3). - SONO RIPORTATE INOLTRE A TRATTELLATO LE CURVE $\dot{B} = \dot{B}(B)$ PER VARI VALORI DI G .