

Laboratori Nazionali di Frascati

LNF - 53/17
20.6.1953.

F. Amman, G. Salvini e G. Tagliaferri: RELAZIONE SUL
VIAGGIO A BADEN.-

*

RELAZIONE SUL VIAGGIO A BADEN DI G.SALVINI, G.TAGLIAFERRI e F.AMMAN.

1.- Cronologia. Partenza da Milano l'8 giugno 1953, per treno. Permanenza a Baden il 9 giugno. Rientro in Italia con partenza da Baden il mattino del 10 giugno, sempre per treno. L'ing. Amman si è trattenuto a Baden anche l'intera mattinata del 10 giugno, per raccogliere più dettagliate informazioni sulle vasche elettrolitiche (per questa parte vedasi relazione, riportata in appendice, di Amman), rientrando comunque in Italia nella stessa giornata del 10 giugno.

2.- Scopo del viaggio. Oggetto del viaggio a Baden è stata una visita alla Brown, Boveri & C., A.G. . La visita è stata resa possibile su proposta e per interessamento dell'Ing. G. Gaiani del Tecnomasio Italiano Brown Boveri.

L'interesse della visita dipendeva dalla possibilità di entrare in contatto con il dr. Widerße, progettista del betatrone E.S. (prevalentemente per uso medico) da 31,5 MeV, e del sincrotrone da circa 100 MeV, in corso di approntamento per l'Università di Torino. Il betatrone da 31,5 MeV è descritto in un numero della "Revue Brown Boveri" (vol. 38, pag. 260 e seguenti, 1951) di cui la nostra sezione è in possesso.

Abbiamo visto un esemplare di betatrone di questo tipo completamente montato nel laboratorio del dr. Widerße.

3.- Il betatrone Brown Boveri da 31,5 MeV. In questo paragrafo supponiamo note le caratteristiche generali della macchina, che sono riportate nella pubblicazione sopra citata. Per la realizzazione del circuito magnetico della macchina è impiegato il tipo di costruzione a lamierini radiali, nota specialità della Brown Boveri. Il raggio dell'orbita di equilibrio è $r_0 = 24.5$ cm; l'indice del campo è $n = 0.4$; il $B_{max} = 4\ 000$ gauss. Due avvolgimenti per l'espansione dell'orbita sono sistemati nello spazio tra i poli del campo guida e quelli del magnete centra

le (campo acceleratore). Le perdite complessive nel ferro e nel rame ammontano a circa 8-9 kW, ed il raffreddamento è ottenuto con circolazione forzata di aria.

3°1.- Circuiti di iniezione e di contrazione. I due trasformatori (di corrente per gli avvolgimenti di contrazione e di tensione per l'iniettore) hanno il nucleo di un materiale la cui caratteristica magnetica presenta un accentuato ginocchio: il materiale è denominato 5000 Z, ed è composto all'incirca del 50% di Fe e del 50% di Ni. Questo materiale è descritto, ad es., nell'opuscolo "Weichmagnetische Werkstoffe" della ditta Vacuumschmelze A.G. di Hanau am Main (cfr. tab. V): quest'opuscolo è in nostro possesso. La presenza del circuito di contrazione migliora l'intensità all'uscita di un fattore 2 o 3. Gli avvolgimenti di contrazione creano un campo parallelo al campo guida e di senso ad esso contrario durante l'iniezione (hanno cioè la stessa funzione degli avvolgimenti previsti come una delle soluzioni possibili per diminuire la pendenza del campo all'iniezione nel nostro sincrotrone). Ulteriori particolari, il diagramma semplificato del circuito di iniezione, e gli andamenti della corrente negli avvolgimenti di contrazione e della tensione di iniezione in funzione del tempo, sono riportati nella citata rivista (pag.266, e fig. 9).

3°2.- Avvolgimenti di correzione. Su ciascuna delle 6 gambe esterne del magnete sono avvolte alcune spire chiuse su resistenze variabili, per rendere uniforme la distribuzione azimutale del flusso. Sulla ciambella, e fissati ad essa mediante fasciatura in nastro isolante, vi sono 10 conduttori, 5 sulla parete superiore e 5 sulla parete inferiore, disposti secondo circonferenze concentriche con l'asse principale del betatrone. Le coppie di conduttori corrispondenti (uno sulla parete superiore della ciambella ed uno sulla parete inferiore) determinano delle superficie cilindriche il cui asse

deve essere parallelo al campo guida; gli estremi di ogni coppia sono cortocircuitati, cosicchè le eventuali componenti tangenziali del campo guida possono venire controllate alimentando opportunamente questi conduttori. La regolazione dei circuiti di correzione viene effettuata cercando il massimo dell'intensità alla uscita.

3°3.- Eccitazione. L'eccitazione del magnete è fatta a mezzo della rete, ponendo in parallelo una batteria di condensatori (costruiti anch'essi dalla B.B.).

Il Q del circuito risonante è 62.5 (potenza reattiva 4.000 KVar, perdite 25 KW).

Una variazione di frequenza dell'1% porta ad un assorbimento dalla rete di 80 KVar. L'ordine di grandezza delle variazioni di frequenza, a Zufigo, è di $\pm 0.5\%$: tali variazioni non sono tali da dover prevedere le batterie di condensatori con elementi inseribili e disinseribili; in sei mesi di funzionamento del betatro-ne all'ospedale di Zurigo non è stato mai necessario variare il valore della capacità.

Una variazione di frequenza porta a variazioni nelle correnti parassite e quindi nelle fasi del campo, nel tempo di iniezione. Non sono stati fatti esperimenti per rilevare quantitativamente gli effetti sull'intensità di uscita; è sufficiente ad ogni modo regolare l'iniezione per non avere effetti sensibili sul funzionamento.

Una variazione dell'1% nella tensione porta ad una variazione del 0.4% nell'intensità d'uscita.

3°4.- Magnete. Il magnete, come si è detto, è a struttura radiale: vengono preparati degli elementi con lamierini aventi dimensioni radiali scalate, tenuti assieme mediante puntatura. I lamierini sono semplicemente isolati con carta, senza collanti. La rigidità della strut

tura è ottenuta con delle corone in ferro pieno che abbracciano il nucleo. Gli avvolgimenti principali sono raffreddati ad aria; la corrente totale è 170 A, la densità di corrente 2.4 A/mm^2 .

La quantità d'aria necessaria per il raffreddamento è di 5 m^3 per KWh e la superficie disperdente del rame di $24,6 \text{ cm}^3/\text{W}$. Le sovratemperature sono: nel rame circa 30°C , nel ferro circa 70°C . Tali sovratemperature portano ad una differenza di rendimento della macchina tra il funzionamento a freddo e a caldo, dell'ordine del 10% (minore a caldo).

Le misure del campo magnetico son state fatte con metodi di ponte.

4.- Il sincrotrone per l'Università di Torino. Di questo sincrotrone da 100 MeV

ci è stato mostrato un modello in scala 1:3, nonché dei disegni. La macchina ha una fase iniziale di betatrone. Il raggio dell'orbita stabile è di poco superiore ($r_0 = 29 \text{ cm}$) a quello del betatrone da 31,5 MeV, mentre è previsto un $B_{\text{max}} = 12 \text{ 000}$ gauss. Le dimensioni del traferro sono circa $8 \times 7 \text{ cm}$. La costruzione del magnete ripete, salvo le maggiori dimensioni, quella della macchina da 31,5 MeV. La ciambella è in vetro, in un pezzo unico, costruita dalla stessa Brown Boveri. Il problema del risuonatore a R.F. non pare sia ancora stato affrontato praticamente. Il peso del ferro è dell'ordine di 5 tonnellate. Uno schizzo con le dimensioni di questo sincrotrone è allegato alla presente relazione.

In questa macchina è particolarmente da notare il circuito magnetico per l'accelerazione a betatrone (il sistema pare sia brevettato in Svizzera ma non in Italia). Vi è un apposito avvolgimento interno al nucleo centrale del magnete (cfr. disegno schematico allegato). Le connessioni con l'eccitazione del campo guida ed il sena di avvolgimento sono tali che normalmente non vi è flusso nel nucleo centrale del magnete. Per eccitare il campo accelerante si immette nel suddetto avvolgimento un impulso di corrente

di opportuna durata e del senso voluto per fornire il campo richiesto per la fase a betatrone.

5.- Possibilità di commesse alla Brown Boveri per il sincrotrone dell'I.N.F.N.

Al termine della visita è stato chiesto se la B.B. potrebbe essere interessata alla costruzione di parti del nostro sincrotrone. A questo proposito il sig. Polman ci ha fatto presente che la ditta è presentemente (e lo sarà anche in futuro per almeno 2 anni e mezzo) impegnata in forniture che assorbono l'attività dei reparti per noi maggiormente interessanti (per esempio il reparto trasformatori che potrebbe essere interessato alla costruzione del magnete). Comunque, sulla possibilità per la B.B. di assumersi impegni per conto nostro, ci verrebbe data una risposta dietro presentazione di una richiesta scritta, da farsi tramite il Tecnomasio Italiano B.B. Infine l'ing. Gaiani prospetta l'eventualità che il Tecnomasio Italiano possa essere incaricato della costruzione di parti e servizi (magnete, condensatori, controlli) su disegni della B.B. : questo procedimento sarebbe una consuetudine abbastanza comune nei rapporti tra la ditta Svizzera e la consociata italiana.

6.- Considerazioni finali. Dal viaggio a Baden si è riportata una impressione decisamente favorevole sul livello tecnico e sulla serietà della Brown Boveri. Per quanto a noi interessa più da vicino, osserviamo che questa ditta è altamente specializzata nella costruzione di trasformatori e di motori elettrici (in particolare detiene i brevetti sulle costruzioni a lamierini radiali); dispone di una sezione che si dedica al progetto ed alla costruzione di macchine acceleratrici (sezione "Ultrastrahlen"); è notoriamente competente nel campo delle teletrasmissioni e dei telecomandi e produce tubi elettronici per usi speciali (ivi inclusi i magnetron). Infine dobbiamo aggiungere che siamo stati trattati con molta gentilezza da funzionari e tecnici della B.B., ed ospitati con una signorilità priva di ostentazione.

APPENDICE

7.- La vasca elettrolitica della Brown Boveri. Il laboratorio della B.B. dispone di una vasca elettrolitica, che, in questi ultimi tempi, è servita per il progetto delle espansioni polari del betatrone da 31,5 MeV della B.B., del sincrotrone per l'Università di Torino, e su cui ora sono allo studio le espansioni polari per il proto-sincrotrone del CERN, con strong focusing per $n=3\ 000$.

La vasca ha le pareti in vetro sostenute da un'intelaiatura di profilati in ferro assai rigida; la tenuta agli spigoli è assicurata da comune stucco; le sue dimensioni utili sono approssimativamente $m\ 1,20 \times 1,80$ in pianta, con una profondità di circa 1 m.

Assai preciso è il sistema meccanico per lo spostamento del carrello porta sonda. Ogni parte scorrevole ha da un lato rotelle con asse orizzontale che poggiano su una guida piano, dall'altro due sistemi di rotelle, con assi inclinati, che poggiano su una guida a V rovesciato.

Gli spostamenti longitudinali (secondo la dimensione maggiore della vasca) sono letti su un regolo fisso, avente divisioni di 0.5 mm, mediante una punta solidale col carrello di traslazione longitudinale. L'ing. Hamelin (che si è occupato da un anno e mezzo della vasca ed ora si è trasferito al Centro Ricerche Nucleari Francese) stima che l'errore nella lettura degli spostamenti longitudinali sia dell'ordine del decimo di millimetro.

Il carrello per gli spostamenti longitudinali (che chiamerò semplicemente carrello per le ascisse) porta due guide, ortogonali alla sua direzione di spostamento, sulle quali scorre il carrello porta sonda; nessun sistema è previsto per la misura degli spostamenti normali ai longitudinali (secondo le ordinate).

Per evitare l'effetto del menisco sulla sonda, si servono di una lastra di plexigas (dimensioni: in pianta circa 25×25 cm, al-

tezza 1 cm.), nel centro della quale è infisso un filo di platino (diametro 0.2 mm, lunghezza 1 cm); la piastra viene collegata rigidamente al carrello portasonde, mediante una sferetta metallica che entra in apposita sede al centro della piastra, in collegamento elettrico colla sonda propriamente detta. Il livello dell'elettrolita è mantenuto all'altezza del bordo superiore degli elettrodi, sui quali appoggia la piastra quando si debbono fare le misure del gradiente del potenziale in mezzeria, misure che esigono grande precisione. Occorre una grande accuratezza nell'evitare che sotto la piastra rimangano bolle d'aria, che altererebbero il campo e quindi la misura.

Questo sistema viene applicato solo nel rilievo del gradiente in mezzeria. Quando si deve rilevare il campo, e quindi non occorre una così grande precisione, si applica direttamente la sonda al carrello, si abbassa sopra ad esso un piano di vetro su cui si pone il foglio di carta lucida, e con una matita si segnano gli spostamenti del carrello lungo le equipotenziali.

La vasca è alimentata con tensione a 50 periodi dalla rete attraverso un trasformatore; la differenza di potenziale tra i due elettrodi è dell'ordine dei 15 V.

Gli elettrodi sono in rame argentato, ricoperti da uno strato di soluzione colloidale di grafite (aquodag) che rende minimi la caduta di tensione e lo sfasamento dovuti alla polarizzazione. Il rivelatore di zero è un oscillografo alle cui placche verticali è applicata la differenza di potenziale tra la sonda e il cursore del potenziometro, e alle cui placche orizzontali è applicata una tensione presa, attraverso un trasformatore, in parallelo alla vasca. L'azzeramento sarebbe indicato da una traccia rettilinea orizzontale se non ci fosse lo sfasamento dovuto alla polarizzazione; si ha invece un'ellisse: quando il suo asse maggiore (dato che la c.d.t. capacitiva per polarizzazione è piccola) è orizzontale, significa che la differenza di potenziale tra la sonda e il cursore del potenziometro è sfasata di 90° rispetto alla tensione ai

capi della vasca, ciò che praticamente corrisponde alla condizione di azzeramento, dato che nella c.d.t. per polarizzazione è preponderante la parte capacitiva rispetto a quella puramente resistiva.

Per migliorare le condizioni di azzeramento, in parallelo al potenziometro di misura vi sono delle capacità variabili, regolando le quali si può riportare l'ellisse ad una retta; si può vedere, applicando la teoria del ponte, che tale metodo non è corretto, perchè, a seconda che la c.d.t. capacitiva sia più o meno grande, si ha un campo più o meno grande di posizioni del cursore del potenziometro per ciascuna delle quali si può ottenere l'azzeramento regolando le capacità in parallelo. Ciò è stato dimostrato per esteso dall'ing. Dadda nei suoi lavori. Per le necessità del laboratorio di Baden può darsi tuttavia che quest'errore non sia importante.

Lo schema del circuito della vasca è rappresentato nello schizzo allegato: AA^0 è il circuito equivalente della vasca, AB e A^0B^0 sono i circuiti equivalenti dello strato superficiale degli elettrodi.

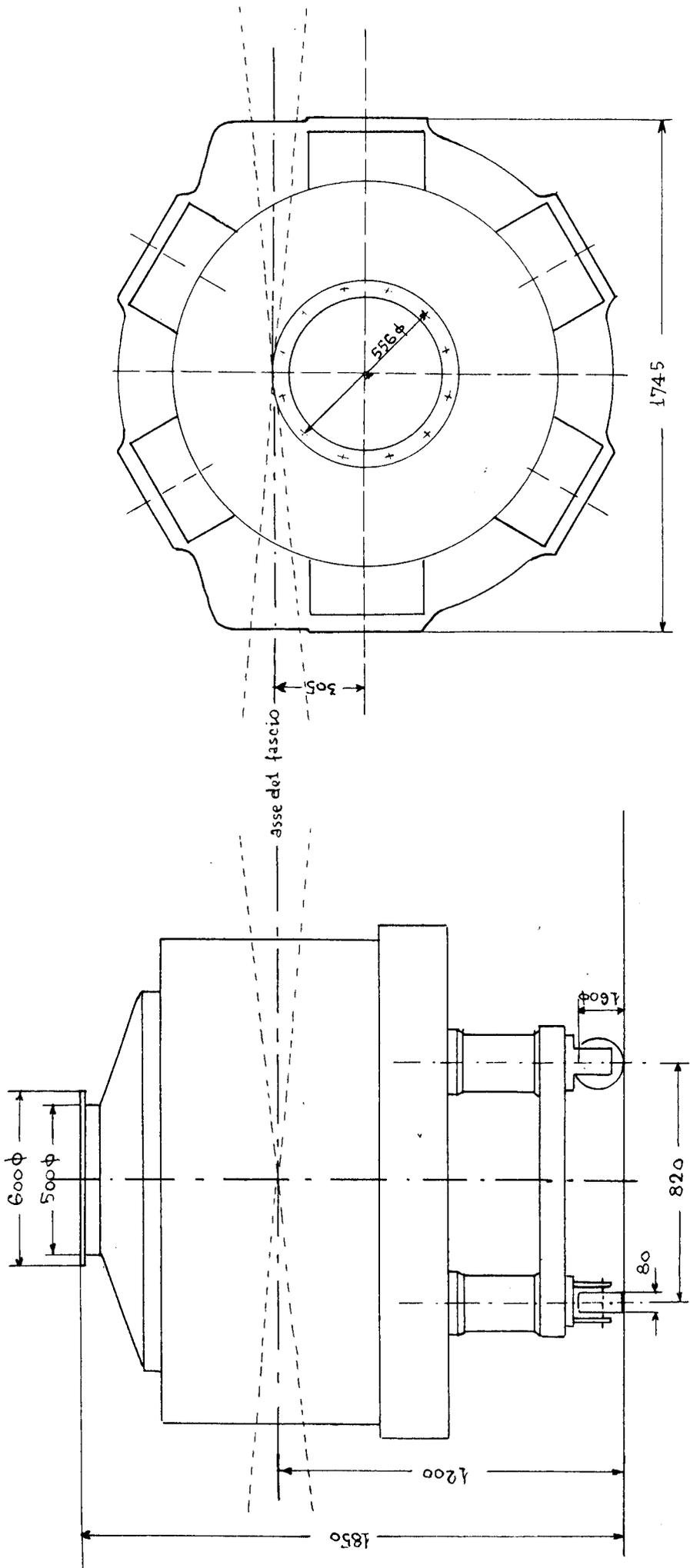
Si è già detto come si procede per il rilievo del campo; per il rilievo del gradiente del potenziale in mezzeria tra i poli, a cui corrisponde nell'analogia il vettore induzione, viene disposto un dispositivo per lo spostamento micrometrico lungo le ordinate al carrello portasonda; sul carrello viene posto poi un micrometro che appoggia su un piano in acciaio levigato fisso, disposto esattamente parallelo alla mezzeria del modello. Questa condizione è ottenuta facendo scorrere il carrello per le ascisse con la sonda in mezzeria (potenziale zero, a terra), e regolando il piano in modo che il micrometro dia sempre la stessa indicazione. Si porta poi il carrello in vari punti (la cui ascissa è determinata con un errore di 0.1-0.2 mm); si porta il cursore del potenziometro a un

valore di resistenza 1% della resistenza tra 0 e B^0 (1 000 ohm) e con uno spostamento lungo le ordinate leggibile sul micrometro (con divisioni di 2 micron) si azzerava nuovamente lo strumento.

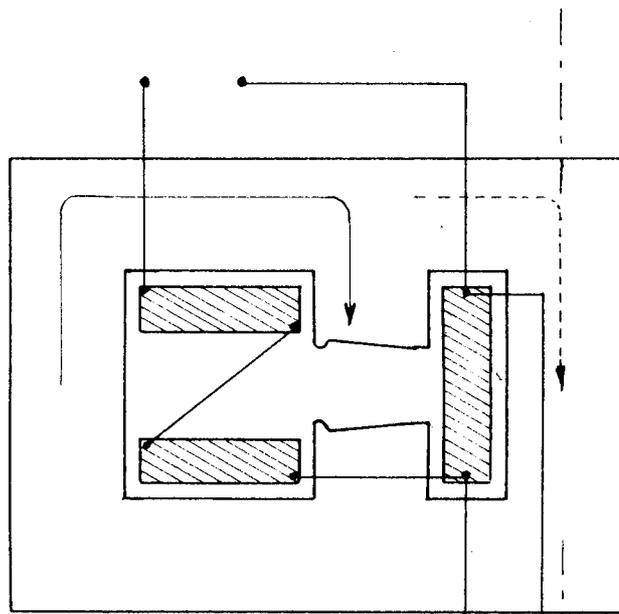
Ogni misura viene ripetuta due volte, ed ogni gruppo di misure viene ripetuto a distanza di tempo (un giorno): gli scostamenti nelle distanze rilevate, e quindi nei gradienti, sono dell'ordine del $\pm 1\%$.

I modelli su questa vasca sono sempre stati studiati mediante l'analogia diretta, tridimensionale per il betatrone da 31,5 MeV e per il sincrotrone da 100 MeV, bidimensionale per il proto-sincrotrone del CERN; per tener conto in qualche modo delle bobine, sono disposti degli elettrodi supplementari a potenziali opportunamente scalati.

Sia per il betatrone che per il sincrotrone da 100 MeV, allo studio sulla vasca (che per quest'ultimo è durato sei mesi, con la costruzione di sei tipi di espansioni polari, dei quali l'ultimo fu il definitivo) è seguito immediatamente lo studio su modelli in lacchierino alimentati con corrente alternata.



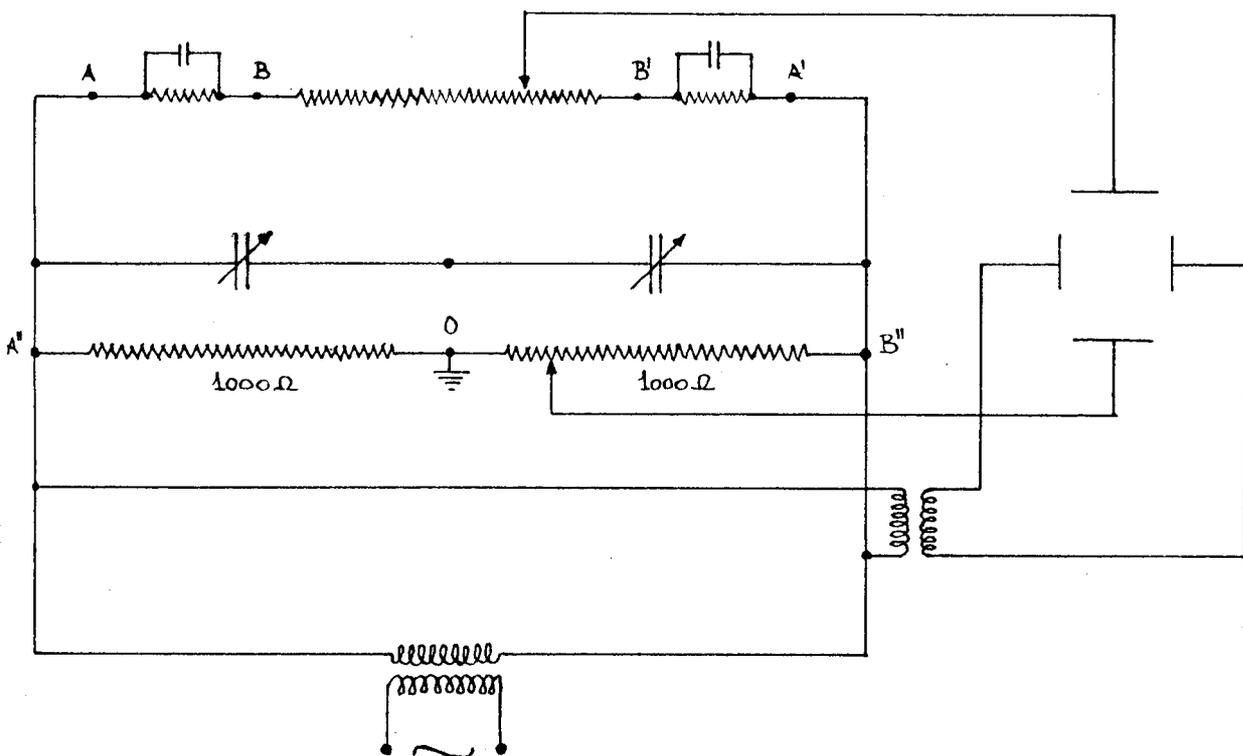
DIMENSIONI DEL SINCROTRONE PER UNIVERSITA' DI TORINO



impulso per l'accelerazione

—————> campo guida
 - - - - -> campo acceleratore

CIRCUITO MAGNETICO PER LA FASE DI BETATRONE



SCHEMA DEL CIRCUITO DELLA VASCA ELETTROLITICA