

Sul Magnetismo Susseguente del Ferro.

A. BERNINI.

PARTE QUINTA.

NUOVO CONTRIBUTO ALLO STUDIO DELL'AMMONTARE DEL MAGNETISMO SUSSEGUENTE DEL FERRO NELLA MAGNETIZZAZIONE. — INFLUENZA DEL CAMPO.

CAPO PRIMO.

Introduzione e scopo del lavoro.

Il Klemencic ¹⁾ ed il Mazzotto ²⁾, nello studiare l'influenza del campo sull'ammontare del Magnetismo Susseguente nella magnetizzazione (M. S.), avevano impiegati campi relativamente deboli, ed entrambi, nonostante il metodo diverso e le diverse condizioni di esperienza, avevano concluso che: *mentre il valore assoluto del M. S. cresceva col campo, il % del M. S. rispetto alla magnetizzazione indotta totale invece decresceva.*

In una mia nota recente ³⁾ ebbi anch'io ad esporre dei risultati di mie ricerche sul M. S. in campioni di Ferro diversamente suddivisi, ed aventi tutti la stessa massa; senza però trarre, per pura dimenticanza, alcuna considerazione per quanto si riferiva all'influenza del campo sull'ammontare del M. S. Alle conclusioni che si trovano esposte in quella mia nota e riguardanti i risultati ivi raccolti nella tab. IV, a cui rimando il lettore, si potrebbero pertanto aggiungere queste che seguono:

Con campi da 0,035 fino a 0,14 Unità, per campioni di Ferro di Germania in forma di sbarra, di fresco

¹⁾ Klemencic. *Wied. Ann.* V. 62, 1897.

²⁾ Mazzotto. *Nuovo Cimento*, Febbraio 1900.

³⁾ Bernini. *Nuovo Cimento*, Aprile 1912.

ricotti e completamente smagnetizzati, aventi uguale massa e uguale lunghezza, appare confermato quanto constatarono, sebbene per condizioni diverse, i precedenti sperimentatori, ossia: col crescere del campo

a) cresce l'ammontare del M. S.

b) diminuisce il $\%$ del M. S. rispetto alla magnetizzazione indotta totale (M. T.).

Inoltre per campioni della stessa massa e lunghezza, suddivisi perpendicolarmente alle linee di forza del campo, (suddivisione in cilindretti), non si mostra verificata la b delle precedenti conclusioni. Invece, per campioni suddivisi secondo le linee di forza del campo (suddivisione in fili) si trova verificata sia la a che la b; e di più la diminuzione del $\%$ col crescere del campo avviene tanto più rapidamente quanto più grande è la suddivisione.

Nessun altro lavoro, ch'io mi sappia, ha seguito sull'argomento. Le ricerche sono state dunque finora limitate per campi piuttosto deboli; ed io ho perciò ritenuto di grande interesse la estensione dello studio in particolare per campi più intensi. Avrei potuto così vedere se, da un certo campo in poi, il valore assoluto del M. S., invece di continuare a crescere, avrebbe finito coll'assumere andamento inverso; come parrebbe da attendersi, considerando che il valore del $\%$ si è mostrato decrescente col crescere del campo, (secondo il Klemencic dovrebbe finire coll'annullarsi) e che il M. T., com'è ben noto, tende ad un massimo.

Nell'accingermi a riprendere lo studio per riempire questa lacuna, io ho però avuto occasione di persuadermi, che, quanto alla suddivisione del Magnetismo Indotto in Susseguente ed Istantaneo, le comuni norme del metodo magnetometrico consentono una obbiezione, non accennata dai precedenti sperimentatori, ai cui risultati, come ai miei, essa va estesa, la quale verrebbe a scemare alquanto la fiducia nelle conclusioni che dai risultati sono state dedotte.

Questa obbiezione, su cui mi tratterò subito nel capitolo seguente, si riferisce poi per giunta ad una causa di errore, la quale, nell'ipotesi assai probabile che il valore del

% decresca sempre col crescere del campo, pregiudicherebbe tale valore tanto più, quanto più grande è il campo.

Non sarebbe stato pertanto opportuno l'estendere lo studio nel senso indicato, senza avere prima provveduto ad eliminare le incertezze del metodo, che finora è pur l'unico, che sembra applicabile in queste ricerche.

Aggiungo poi ancora che nelle mie prime esperienze, relative ai casi in cui il M. S. appariva minore del M. R., ritenni di poter giudicare, meglio che non per gli altri casi, se la bobina compensante alla chiusura del circuito fosse in eccesso, seguendo un criterio, che ora invece riconosco non del tutto esatto ¹⁾. La opportunità di riprendere lo studio era dunque sentita anche solo per un controllo alle precedenti conclusioni relative ai campi deboli.

Con un semplice dettaglio di esperienza, che non porta nessuna variazione alla solita disposizione sperimentale ed è estendibile per qualunque campo, io ritengo di essere riuscito a conseguire dei risultati degni di maggior fiducia di quelli noti finora, e tali da poter assegnare alle relative conclusioni un sufficiente grado di attendibilità.

Di questo dettaglio di esperienza, non che dei nuovi risultati fino a campi di 20 Unità, riferisco nei capitoli seguenti.

CAPO SECONDO.

Norme di esperienze.

§ 1.° Quando colla solita disposizione sperimentale, (da me adottata, anche per queste ricerche), si avesse di mira non la determinazione nell'ammontare del M. S. ma soltanto lo studio del suo andamento, sarebbe lecito ed anche conveniente per risparmio di tempo fare a meno di quei laboriosi tentativi, per cercare quale sia la posizione più adatta per la bobina compensante, perchè la sua azione sull'ago possa, alla chiu-

¹⁾ *N. Cimento*, Ottobre, 1911, Parte Prima, Capo II, § 2.°.

sura del circuito, equilibrare quella della bobina magnetizzante e del magnetismo Istantaneo (M. I.) del campione ¹⁾.

Le deviazioni finali dell'ago non corrisponderebbero però in tale caso al valore del M. S., e nemmeno la differenza fra l'azione della bobina compensante e quella della magnetizzante senza campione corrisponderebbe al valore del M. I.

Nella costruzione delle curve per lo studio dell'andamento del M. S., su cui ho riferito nella nota quinta, dissi di aver sempre curato che alla chiusura del circuito si verificasse nel miglior modo possibile la compensazione indicata. Epperò, mentre le deviazioni finali dell'ago, corrispondenti ai valori di A nell'equazione

$$(x) \dots \varphi = A \left(1 - e^{-\lambda \sqrt[3]{t}} \right),$$

mi rappresentavano l'ammontare del M. S., le deviazioni dovute all'azione simultanea delle due bobine sole mi rappresentavano il valore relativo del M. I., determinato il quale potevasi calcolare la Magnetizzazione Indotta Totale (M. T. = M.S. + M.I.), e conseguentemente il valore di $\% = \frac{M.S. \times 100}{M.S. + M.I.}$, per le diverse condizioni di esperienza. E per essere poi il tempo impiegato a prodursi dal M. S. trascurabile, rispetto a quello necessario perchè il Magnetismo Indotto assuma il suo massimo valore, l'andamento generale della Magnetizzazione potrebbe venire rappresentato con un unico diagramma. Il tratto di curva corrispondente al M. I. risulterebbe allora come coincidente coll'asse delle ordinate, ed il suo estremo superiore coincidente coll'origine del tratto relativo al M. S.; e la curva generale del fenomeno verrebbe rappresentata dalla equazione *

¹⁾ Infatti, se ad es. la bobina compensante fosse leggermente in eccesso sull'ago, basterebbe trascurare nella correzione o nella costruzione della curva il tratto corrispondente al tempo, durante il quale l'eccesso persiste o poco più.

$$\psi = I + A \left(1 - e^{-\lambda \sqrt[3]{I}} \right),$$

dove I ed A indicano rispettivamente il M. I. ed il M. S.

§ 2.^o A dir vero però su questo punto, come feci cenno sopra ed anche nella precedente nota, si presenta una obbiezione. Siccome non c'è punto caratteristico e determinato da scegliere come punto di divisione della curva completa dell'andamento generale della Magnetizzazione Indotta, questa separazione fra il M. I. e il M. S. appare un po' arbitraria; e per quanto col ripetere le esperienze per le stesse condizioni si possa conseguire una concordanza nei risultati molto soddisfacente ¹⁾, non si può negare, che i singoli valori del M. I. e del M. S. vengano a modificarsi, a seconda del punto che si sceglie per la suddetta divisione.

A meno che dunque non si possano stabilire elementi sufficienti per giudicare caso per caso del criterio tenuto nella scelta di tal punto, non sembrano paragonabili fra loro i risultati ottenuti da due diversi sperimentatori per una medesima curva di magnetizzazione, e nemmeno quelli ottenuti da uno stesso sperimentatore per diverse condizioni di esperienza.

Per dare meglio una idea oltre che del dettaglio di esperienza, che, come dissi, ho escogitato per eliminare tale obbiezione, anche del limite di approssimazione che con questo si viene a conseguire pei risultati, credo sia conveniente riportare senz'altro un esempio.

Considererò così il caso delle ricerche sul campione di Ferro di Germania di 250 grammi in forma di sbarra, lungo 60 cm. pel campo di 0,02 unità, di cui alla tab. I parte IV e tab. I della nota presente; e per maggiore chiarezza descriverò le esperienze nell'ordine secondo cui si sono succedute, e ne riporterò tutti i dati, partendo dal momento in cui la bobina compensante si trovava in quella posizione per cui, avendo chiuso il circuito, si era notato un predominio di questa sull'ago, reso manifesto dallo spostamento dello

¹⁾ *N. Cimento*, Aprile 1912, Parte seconda, Tab. II.

zero della scala per alcune divisioni *a destra* (rispetto all'osservatore), e seguito poi da un ritorno sempre più lento della scala verso la posizione primitiva.

Ecco come sono seguite le esperienze:

a) Si è annullato il campo aprendo il circuito, poi si è *allontanato* dal magnetometro la bobina compensante, girando di 180° secondo le lancette dell'orologio la apposita vite micrometrica connessa alla bobina. Chiuso di nuovo il circuito, si è notato subito un rapido spostamento dello zero della scala a *sinistra*, che continuò lentamente, fino a raggiungere dopo 3 minuti primi la divisione 27.

La immediata partenza dello zero della scala verso sinistra sta a dirci, che per tale nuova posizione la bobina compensante all'atto della chiusura del circuito non era in eccesso. Non potendo però escludere che non fosse in difetto si potrà scrivere intanto: $M. S. \leq 27$.

b) Annullato il campo inducente, si è *avvicinato* al Magnetometro la bobina compensante per un tratto corrispondente alla girazione di 90° della vite micrometrica in senso contrario alle lancette dell'orologio; poi si è con cura smagnetizzato ancora il campione.

Chiuso di nuovo il circuito, si notò da prima un leggerissimo impulso dello zero verso *destra*, seguito poi da un rapido spostamento a *sinistra*, che continuò sempre più lentamente, fino a raggiungere la divisione 15,5 dopo tre minuti primi.

Indicando l'impulso iniziale a destra un leggero predominio della bobina compensante sull'ago, si può scrivere:

$$27 > M. S. > 15,5.$$

c) Annullato il campo inducente, *allontanata* dal magnetometro la bobina compensante per un tratto corrispondente alla girazione della vite di circa 30° , e smagnetizzato il campione, si notò alla chiusura del circuito che lo zero della scala partì subito verso *sinistra*, continuando poi per un tratto corrispondente a 20 divisioni. Dedussi da ciò essere:

$$15,5 < M. S. \leq 20.$$

d) Ripetute le necessarie operazioni preliminari, e chiuso il circuito dopo di avere *accostato* leggermente la bobina al Magnetometro, si potè dedurre la relazione

$$15,5 < M. S. \leq 18,5$$

e) Smagnetizzato di nuovo accuratamente il campione senza più spostare la bobina compensante, venne costruita la curva dell'andamento del M. S. L'ammontare del M. S. corrispose ancora a 18,5 divisioni della scala, ossia a 16,5 cm. di spostamento della macchietta luminosa tracciante la curva; donde il valore 16,5 per A nella tab. 1.^a riga 2.^a della mia nota quarta.

Si deduce da ciò che l'errore probabile, che si commette coll'assegnare al M. S. il valore corrispondente a 18,5 divisioni, è di circa $\frac{18,5 + 15,2}{2} = 1,5$ divisioni, corrispondenti a cm. 1, 3 di spostamento della macchietta luminosa.

Ora, poichè il M. I., espresso nelle stesse unità, risultò corrispondente a 83 cm., si avrebbero pel M. Totale $83 + 15,5 = 99,5$ divisioni. Conseguentemente il valore del % del M. S. rispetto al M. T. risulta $\frac{16,5 \times 100}{83 + 16,5} = 16,6$, con un errore massimo probabile del 7,7 %.

Noto che, per quanto le difficoltà dell'esperienze crescano col crescere del campo, l'errore probabile del %, fatta eccezione di un solo caso che indicherò in seguito, riuscì sempre inferiore ad 8,4 %.

Dopo ciò ritengo che la suddivisione del magnetismo indotto in M. S. e in M. I., quale risulta da queste mie ultime ricerche, non sia del tutto arbitraria, come ragionevolmente appare nelle esperienze precedenti; e che i confronti fra questi miei risultati possano essere leciti e di conseguenza attendibili le conclusioni che da tali confronti derivano.

§ 3.^o Nella precedente memoria (Parte quarta) fu avvertito che, allo scopo di ottenere le curve del M. S. colla maggior ampiezza possibile, si era modificata, a seconda del

campo, la distanza della bobina magnetizzante dal magnetometro. Conseguentemente le deviazioni corrispondenti al M. S., raccolte sotto A nelle tabelle 1.^a e 3.^a di quella memoria, non potevano servire senz'altro a darci una idea dell'influenza del campo sull'ammontare del M. S. Per potere giudicare di una tale influenza era dunque necessario calcolare quale sarebbe stata per ciascun campo la deviazione corrispondente al M. S., se la bobina si fosse mantenuta sempre nella posizione medesima rispetto al magnetometro.

A tale scopo ecco come operavo :

Eliminata dal circuito la bobina compensante, levavo il campione dalla bobina magnetizzante, e, per ciascuna delle diverse posizioni di questa, misuravo quale intensità i di corrente era necessaria, perchè l'ago subisse una deviazione corrispondente a 25 divisioni della scala.

Dividevo poi le i così ricavate pel valore I dell'intensità corrispondente alla posizione p , che aveva la bobina, quando operavo col campo 0,01; e ottenevo così per ciascuna posizione un rapporto ρ , pel quale poi moltiplicavo il valore di A delle tabelle 1.^a e 3.^a corrispondente alla stessa posizione.

È evidente che tali prodotti venivano a rappresentare quei valori, che si sarebbero ottenuti pel M. S., se la bobina magnetizzante si fosse sempre trovata nella posizione p .

§ 4.^o A completare la esposizione dei dettagli delle mie esperienze accennerò anche nell'artificio, di cui mi ero servito qualche volta già nelle precedenti ricerche, per poter determinare il M. I. in quei casi in cui la deviazione corrispondente dell'ago mi portava la scala fuori del campo del cannocchiale.

Premetto che la scala da me usata, oltre alla graduazione comune collo zero nel mezzo, ne aveva altre due (Vedi fig. 1), che facevano comodo per quanto sto a descrivere :

Supponiamo che dalla posizione di equilibrio α (fig. 1), per effetto delle due bobine sole senza il campione, la scala, alla chiusura del circuito, venga spostata a *destra*, fino a uscire dal campo dell'oculare.

Allora, collocando opportunamente nelle vicinanze del magnetometro un magnete ausiliario, si porti a coincidere col reticolo n del cannocchiale la divisione 50 della gradua-

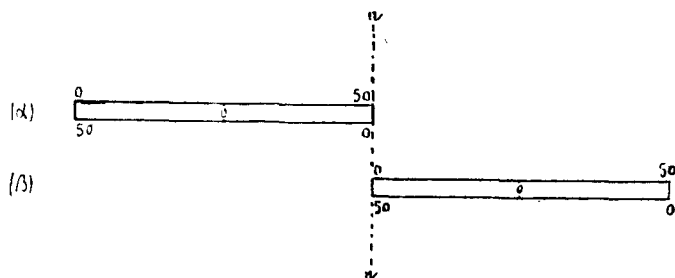


Fig. 1.

zione inferiore della scala (posizione β); poscia si annulli il campo inducente. Sotto l'azione del solo magnete ausiliario la scala si sposterà a *sinistra*; e, ove rimanga ancora nel campo del cannocchiale, la nuova deviazione letta sulla graduazione superiore, sommata con 50, corrisponderà alla deviazione totale che si cerca.

Se invece sotto l'azione del solo magnete la scala si sposta a sinistra tanto da sparire, si agisca sull'ago con un secondo magnete, in modo che la scala venga ricondotta alla posizione α , poscia si allontani il primo magnete ausiliario. E evidente che la scala devierà a *destra*: se rimane visibile, la nuova deviazione letta sulla graduazione inferiore sommata con (50×2) corrisponderà alla deviazione cercata.

Se invece la scala sparisce di nuovo a *destra*, basterà ricondurla alla posizione β mediante il primo magnete, poi allontanare il secondo magnete, e così di seguito.

I valori così determinati per il M. I. sono confrontabili ciascuno soltanto col valore del M. S. trovato per la *stessa* posizione della bobina magnetizzante. Si comprende facilmente come, ove si voglia giudicare dell'influenza che ha il campo sul M. I., questi valori dovranno venire moltiplicati per quei rapporti ρ , per cui vanno moltiplicati i corrispondenti valori

A del M. S. per stabilire, come si disse sopra, anche per questo il confronto pei diversi campi.

CAPO TERZO.

Risultati sperimentali.

Passo ora ad esporre i risultati delle mie esperienze.

Nelle due tabelle che seguono, di fronte ai valori B dei campi impiegati, sono raccolti sotto A' e I' i valori corrispondenti al M. S. e al M. I. dei due campioni *per le diverse posizioni della bobina magnetizzante*, e sotto T' e %_o rispettivamente i valori corrispondenti ad $(I' + A')$ e $\frac{A \times 100}{I' + A'}$.

I valori sotto A' sono dunque i medesimi raccolti sotto A nelle tabelle 1.^a e 3.^a della nota quarta, a cui si sono aggiunti quelli relativi al campo di 3 Unità, pel quale campo non furono costruite le curve dell'andamento.

TABELLA I.

Sbarra di ferro svedese lunga cm. 60
di grammi 205

B	A'	I'	T'	%
0,01	17,8	75,6	93,4	17,2
0,02	16,5	83	99,5	16,6
0,04	18	100	118	15,2
0,06	16,5	103	119,5	13,8
0,1	20,2	140	160,2	12
0,2	19,6	151	170,6	11,5
0,3	17,5	146	163,5	10,7
0,4	20,8	191	211,8	9,8
0,6	21,3	210	231,3	9,2
1,5	17	201	218	7,8
3	19,1	274	293,8	6,5
6	20	445	465	4,3
8	22,5	680	702,6	3,2
10	21,5	1053	1074,5	2
15	20,1	1320	1340,1	1,5
20	18,6	1672	1690,6	1,1 ¹⁾

TABELLA II.

Fascio di 45 fili di ferro svedese
lunghe cm. 60 di grammi 205

B	A'	I'	T'	%
0,1	18,5	284,8	303,3	6,1
0,2	19,2	211,5	223,8	5,5
0,3	17,9	333	350,9	5,1
0,4	18,1	359	377	4,8
0,6	18,6	394,5	413	4,5
0,8	18,3	417,5	435,8	4,2
1	19,5	468	487,5	4
3	19	877,6	826,6	2,3
6	18,6	1531,4	1550	1,2
10	17,5	2851	2868,5	0,61
20	19,8	5980,2	6000	0,33

I soli dati fra loro confrontabili in tali due tabelle sono, come sappiamo, quelli relativi al %.

Nelle tabelle III e IV sono raccolti invece sotto A, I e T i rispettivi valori del M. S., del M. I. e del M. T., quali si sarebbero ottenuti coi rispettivi campi per una *medesima* posizione della bobina magnetizzante. Essi sono stati calcolati col l'apportare ai valori A' I' e T' le correzioni, che vedemmo ne-

¹⁾ L'errore probabile per questo valore è compreso fra 9,5 e 9,8%. Per tutti gli altri, come già si disse, l'errore non è mai superiore a 8,4%.

cessarie all'uso nel § 4.^o del Capo precedente, e scegliendo come posizione p della bobina compensante quella che detta bobina aveva nelle determinazioni con campo 0,1; posizione che, come indicai nella nota 1) al § 2.^o Capo III della Parte Quarta, fu la stessa tanto pel campione in forma di sbarra che pel campione in fili. Con ciò evidentemente viene reso lecito anche il confronto fra i dati relativi ai due campioni per ciascun valore del campo.

TABELLA III

Campione in sbarra

B	A	I	T
0,01	17,8	75,6	93,4
0,02	24,9	125,5	150,4
0,04	50,4	281,5	332
0,06	82,9	518	601
0,1	120	880	1000
0,2	262	2009	2271
0,3	386,5	3225,5	3612
0,4	495,3	4457,8	5053
0,6	740	7308	8048
1,5	2097	24787	26804
3	3453	49665	53118
6	3734	83101	86835
8	3078	93122	96200
10	2070	101433	103503
15	1705,8	112013	113719
20	1319	118583	119902

TABELLA IV

Campione in fascio di fili

B	A	I	T
0,1	42,8	659,3	702
0,2	86,3	1481,8	1568
0,3	143,3	2667,6	2811
0,4	209	4143	4352
0,6	332	7039	7371
0,8	478	10895	11373
1	646	15500	16146
3	1036	44014	45050
6	810	66735	67545
10	529	86211	86739
20	326	98492	98818

Ho trascurato di riportare i valori che si ricaverebbero per $\frac{A \times 100}{A + I}$, perchè evidentemente risultano gli stessi del $\%$ raccolti nelle tabelle I e II.

Riportando poi i dati corrispondenti ai valori di A e del $\%$ sopra un sistema di assi coordinati, in cui le ascisse rappresentano i campi, ho costruite le curve della figura 2, dalle quali, meglio che non dalle tabelle, si può acquistare una idea del complesso dei miei risultati.

Le curve C e g si riferiscono rispettivamente al M. S. ed al $\%$ pel campione in unica sbarra, e le C' e g' al M. S.

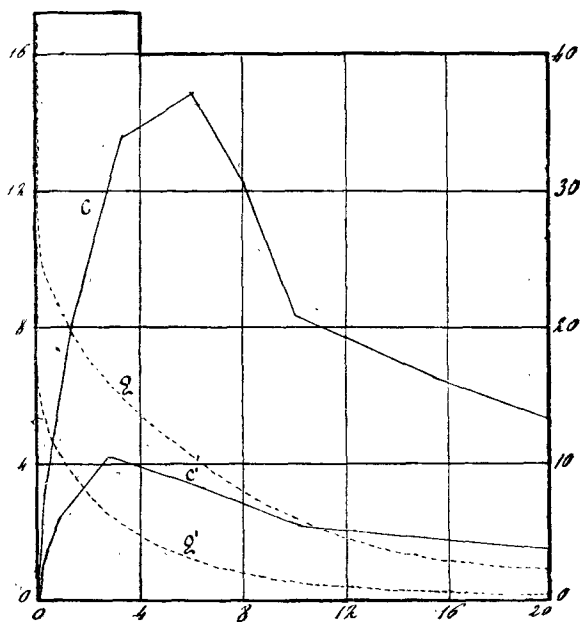


Fig. 2.

e al $\%$ pel campione in fili; essendo la graduazione di sinistra delle ordinate relative al $\%$, e la graduazione di destra al M. S.

CAPO QUARTO.

Conclusioni.

Dall'esame dei risultati sopra esposti, non che delle curve della figura 2, si nota anzitutto, col crescere del campo, una diminuzione del % per entrambi i campioni, rimanendo sempre, per ciascun valore del campo, sia il % che il M. T. pel campione in forma di sbarra più grandi che non pel campione in fascio di fili.

Questo avevo constatato pure nelle mie prime ricerche; e starebbe per ciò a significare come gli inconvenienti accusati per le antiche norme, data la esiguità dei campi allora impiegati, non portassero grande pregiudizio ai risultati. Però soltanto i dettagli delle nuove esperienze potevano dare alla conclusione la necessaria fiducia e consentire di estenderla fino al campo di 20 Unità.

Per quanto si riferisce poi al valore del M. S. si nota da principio un aumento, che è in accordo coi precedenti risultati miei e degli altri sperimentatori; ma, dopo il campo corrispondente a circa 7 od 8 Unità, si ha per entrambi i campioni una diminuzione, che si fa sempre più lenta col crescere del campo, rimanendo sempre, per ciascun valore di questo, il M. S. del campione in sbarra maggiore di quello relativo al campione in fascio di fili. Si verifica quindi pel M. S., e invero con un campo relativamente poco intenso, quel *massimo*, che nel Cap. 1.^o avevo preveduto nell'ipotesi che si verificasse, come si è verificata, la continua diminuzione del % col campo. Con ciò le variazioni del M. S. diventano molto somiglianti a quelle della suscettività magnetica.

Resterebbe ora a cercare se questo *massimo* si ottiene all'incirca per gli stessi valori del campo anche con campioni altrimenti suddivisi, e inoltre per quale valore del campo il M. S. e conseguentemente il % si ridurranno a zero; non potendosi senz'altro prevedere se questo campo sarà o no lo stesso, che si richiede per la saturazione.

Riassumendo, possiamo pertanto per ora giungere alle seguenti conclusioni, le quali comprendono in parte anche quelle esposte precedentemente:

Per campi fino a 20 Unità, con campioni di Ferro di Germania della stessa massa e lunghezza:

a) i valori del M. S. del M. T. e del $\%$ diminuiscono colla suddivisione del campione secondo le linee di forza del campo.

b) il valore del $\%$ diminuisce continuamente al crescere del campo.

c) il valore assoluto del M. S. da principio cresce col campo, raggiunge presto un massimo, poi decresce sempre più lentamente, tendendo a sparire.

Dall' Istituto Tecnico di Pavia.
