

S C H E R M I M A G N E T I C I G E N E R A L I T A'

Gli schermi magnetici hanno la funzione di proteggere oggetti sensibili dall'aggressione magnetica esterna.

Questi schermi possono essere suddivisi in due grandi categorie :

a) Schermi magnetostatici , realizzati con materiali magnetici ferrosi ad alta resistività elettrica ed ad elevata permeabilità magnetica

b) Schermi elettrodinamici , realizzati con metalli conduttori ad alta conducibilità elettrica ed alla permeabilità magnetica dell'aria

Tipo di Schermo magnetostatico : Tubo in ferro magnetico

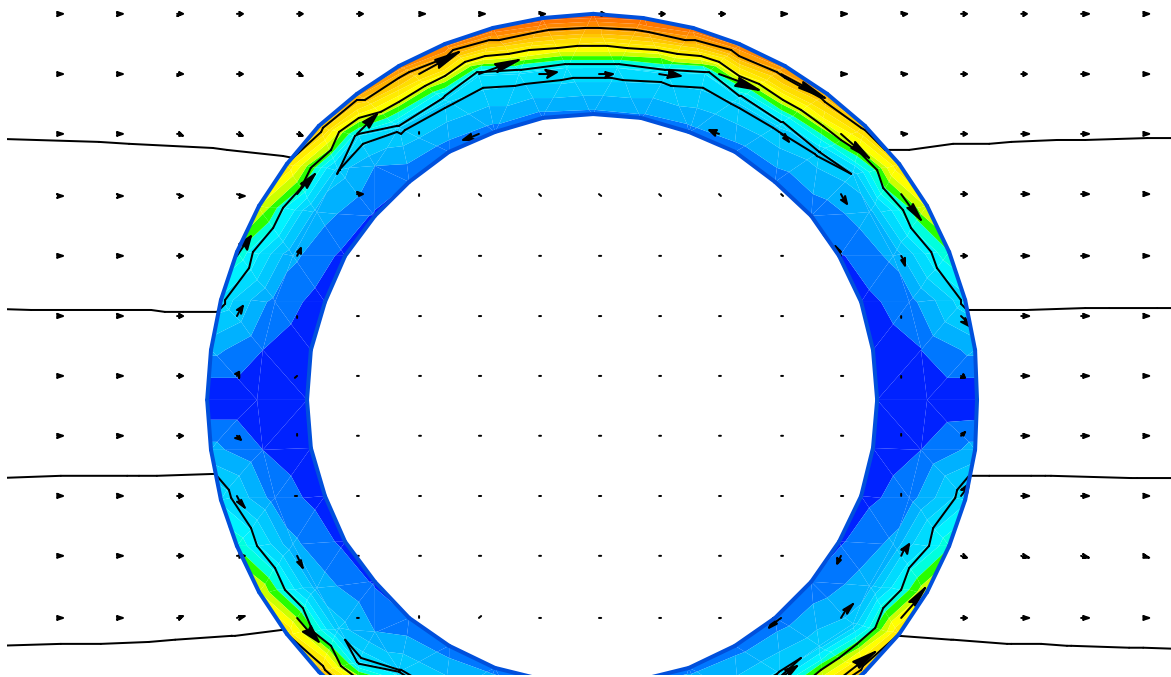


Fig. 1 Tubo in ferro immerso in un campo magnetico esterno

Il tubo assorbe nella sua struttura magnetica le linee di flusso esterne proteggendo così lo spazio tubolare interno e riducendo il campo esterno periferico al tubo. Questa facoltà del ferro è valida sia in presenza di campi magnetici stazionari che in campi poco variabili a frequenze industriali.

Per campi magnetici alternati con determinate frequenze , l'introduzione D di un campo magnetico esterno nel materiale viene ridotta con l'aumento della frequenza in base alla legge:

$$D = 1/ \text{SQR}(2*3.14*\text{Frequenza} \times \text{Permeabilità} \times \text{Conducibilità})$$

Tipico schermo elettrodinamico : Tubo metallico in Alu od in Cu

Gli schermi elettrodinamici sono realizzati con materiali metallici ad altissima conducibilità elettrica.

In presenza di un campo magnetico esterno variabile , vengono indotte nel metallo correnti capaci di generare campi magnetici che si oppongono al campo esterno.

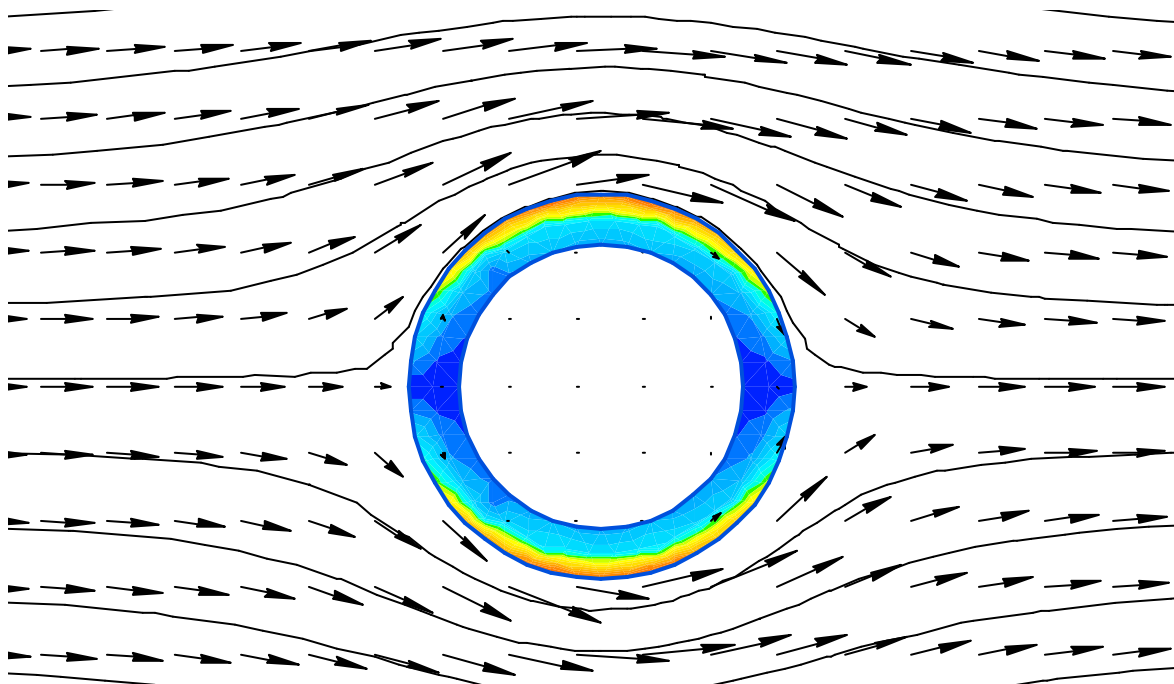


Fig . 2 Tubo metallico in un campo magnetico esterno variabile a 50 Hz

Le correnti di reazione sviluppate nel tubo liberano lo spazio interno al tubo dal campo magnetico esterno che si rafforza in periferia all'esterno del tubo.

CONDUTTORE PERCORSO DA CORRENTE

Nel presente esempio si considera un conduttore tubolare percorso da corrente alternata o continua

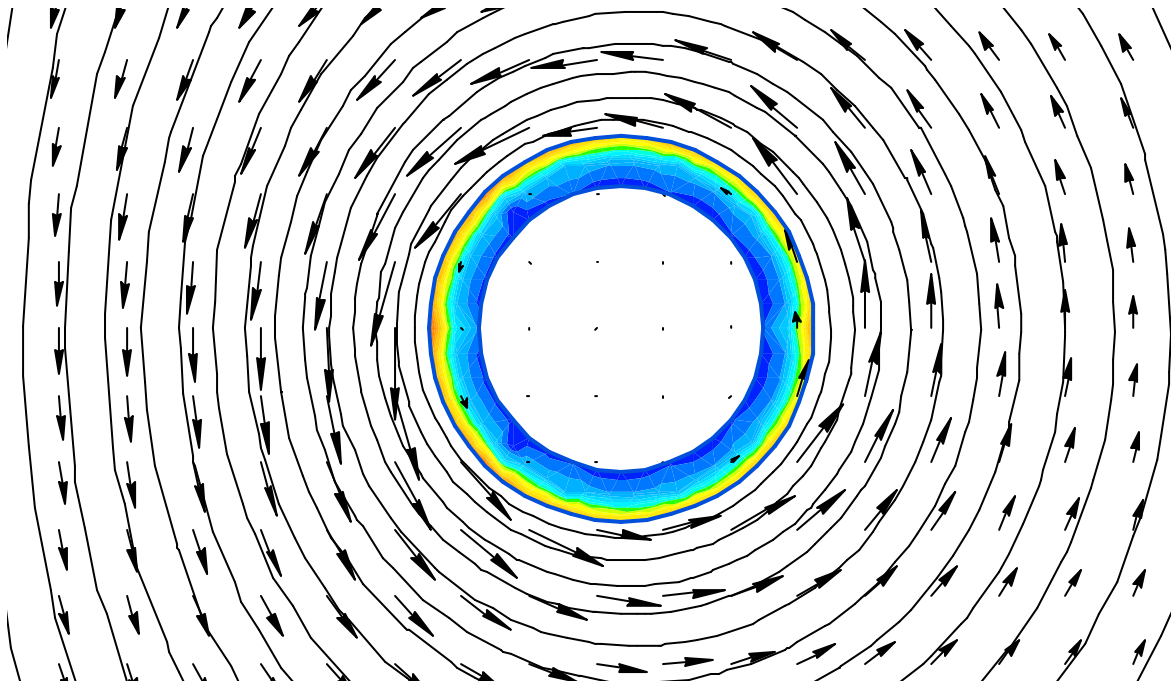


Fig. 3 Campo magnetico generato da un tubo percorso da corrente

Lo spazio esterno al conduttore viene invaso da un campo magnetico continuo od alternato .

Nell'interno del tubo non c'è magnetismo

Schermatura dello spazio esterno circostante al tubo con un altro tubo metallico concentrico .

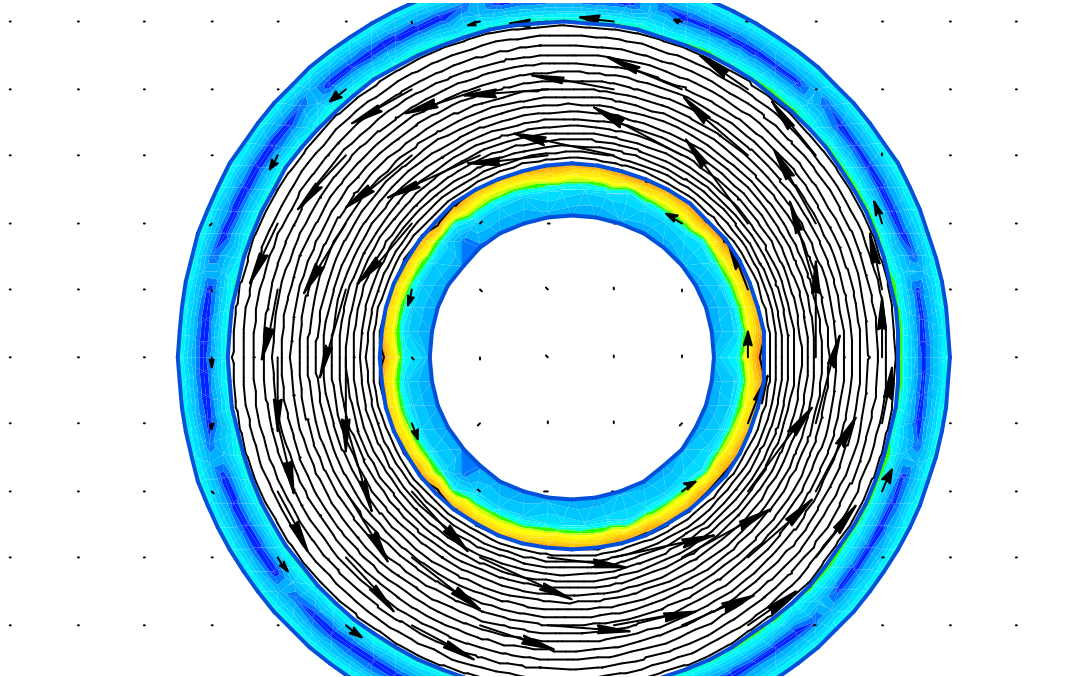


Fig. 4 Schermatura dell'ambiente dal campo magnetico prodotto dal conduttore tubolare percorso da correnti con un tubo metallico concentrico messo a terra alle estremità

Questa schermatura è possibile solo in caso di correnti variabili nel tempo che eccitano controcorrenti opposte nel tubo esterno capaci di annullare il campo magnetico prodotto dalla corrente del tubo primario.

Il tubo esterno deve essere messo a massa alle due estremità .

TRASFORMATORE

Il trasformatore elettrico è una macchina elettrica e , come tale ,esso è sede di avvolgimenti percorsi da correnti elettriche variabili nel tempo.

Dato che le correnti fluiscono nei due avvolgimenti principali in senso opposto , i due flussi , da esse generati, sono anche essi diretti in senso opposto nello spazio interno ed in quello circostante agli avvolgimenti.

In fig. 6 viene rappresentato il campo magnetico generato dalle correnti fluenti nello avvolgimento interno (colore rosso)

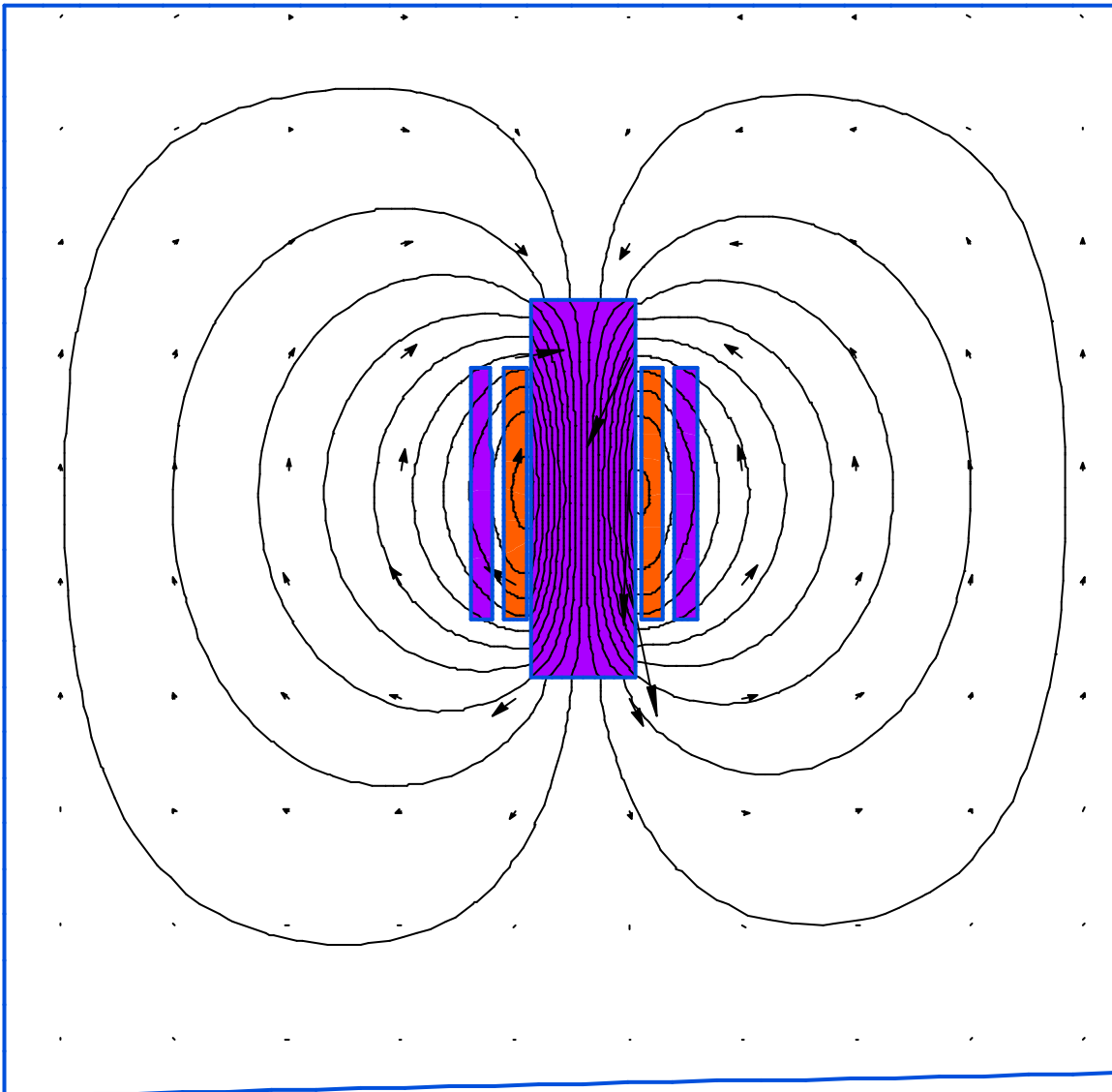


Fig 6 Flusso magnetico generato dalle correnti di Bassa Tensione (interno in figura)

In fig. 7 viene rappresentato il campo magnetico generato dalle correnti fluenti nello avvolgimento esterno (colore rosso)

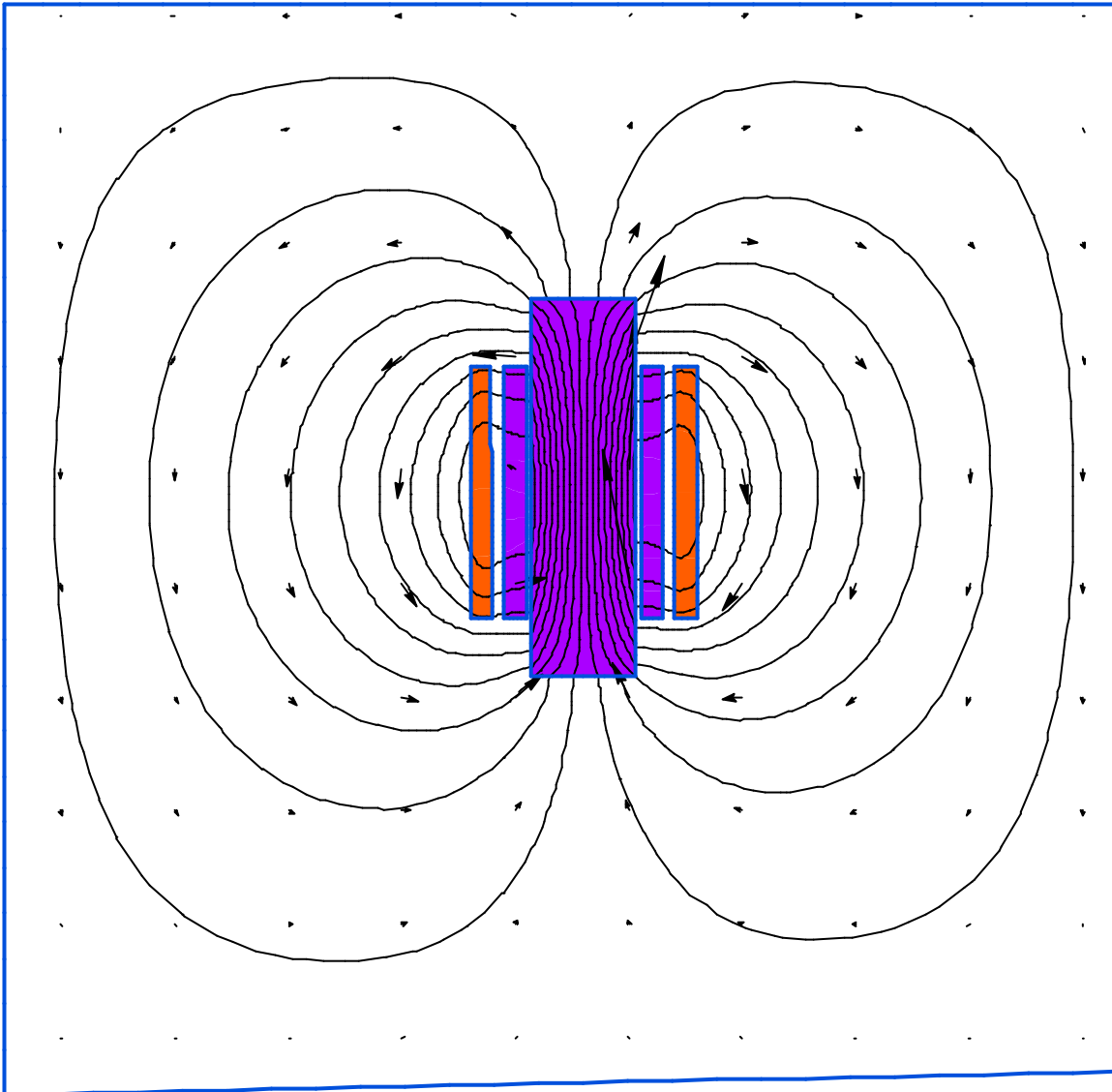


Fig 7 Flusso magnetico generato dalle correnti di Alta Tensione (esterno in figura)

Flusso Magnetico risultante generato dalla presenza contemporanea delle correnti nei due avvolgimenti

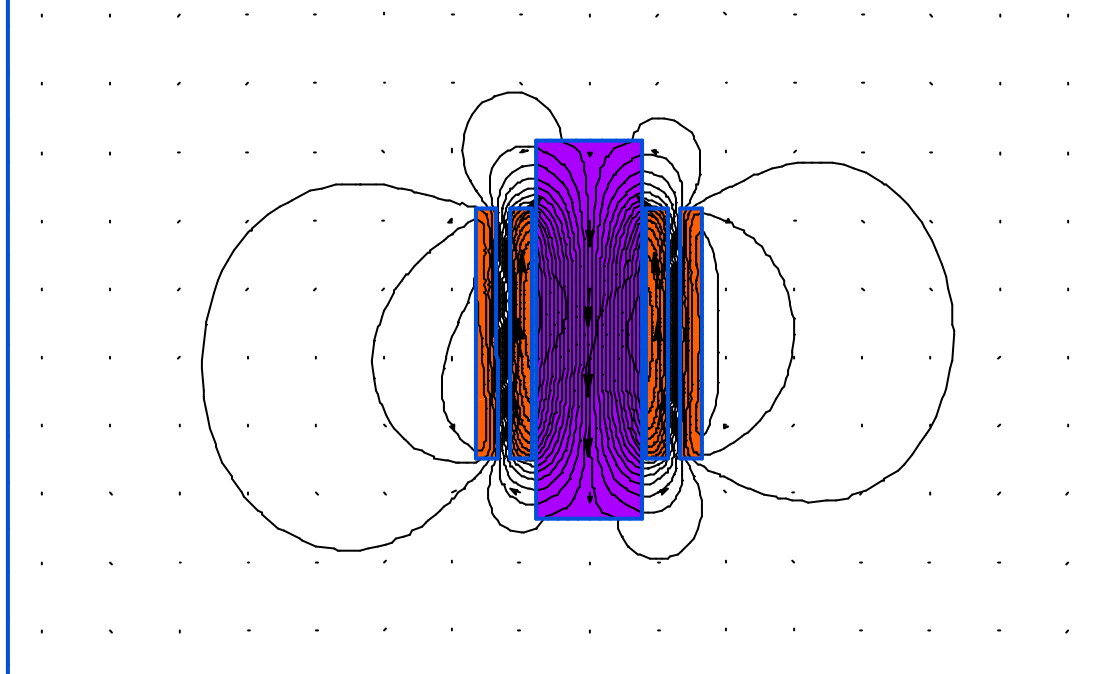


Fig 8 Flusso magnetico risultante dei due flussi opposti generati dalle correnti di Alta Tensione (esterne in figura) e da quelle di Bassa Tensione (interne)

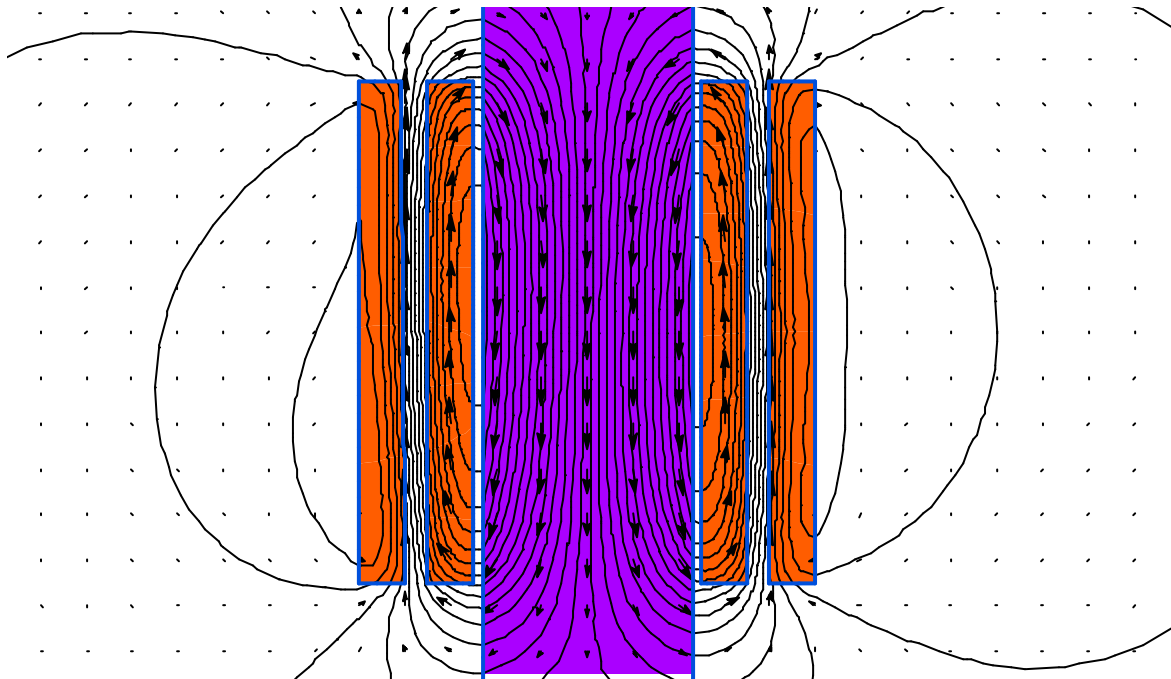


Fig 9 Flusso magnetico risultante dei due flussi opposti generati dalle correnti di Alta Tensione (esterne in figura) e da quelle di Bassa Tensione (interne in figura)

Questo flusso risultante è nominato **STRAY FLUX** in Inglese e **FUSSO DISPERSO** in Italiano.

Notasi che il flusso disperso invade soprattutto gli avvolgimenti generanti ed il nucleo , mentre si riduce all'esterno del complesso detto **Parte Attiva**.

La sua densità B raggiunge il valore massimo nel canale principale che isola i due avvolgimenti in corrispondenza della mezzera secondo la formula seguente

$$B_{max} = K \cdot 1,256 \cdot \text{Ampere} \times \text{Spire avvolgimento} / \text{Altezza avvolgimento}$$

Ove il fattore K è minore di 1 (fattore di Rogowski)

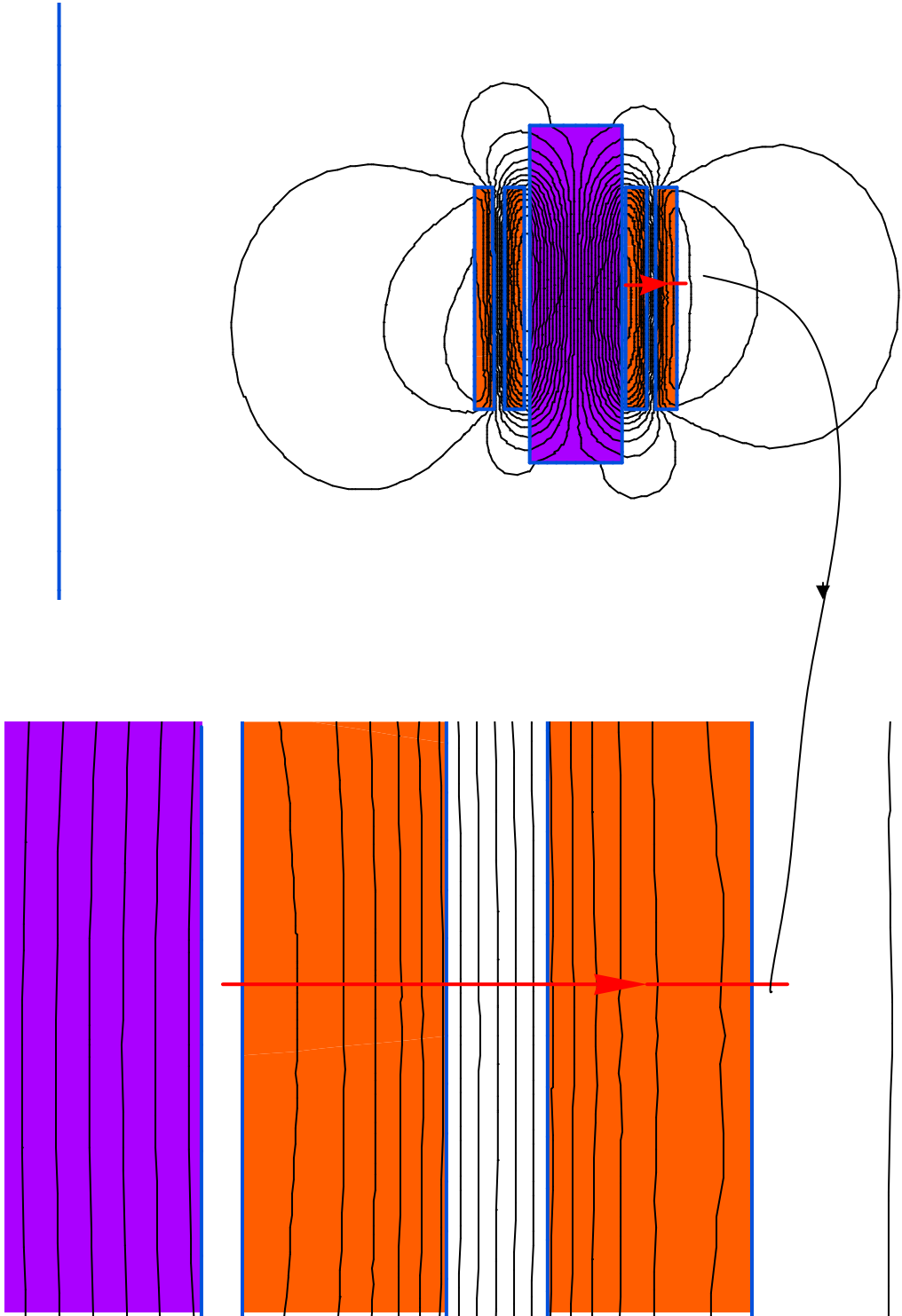


Fig 10 Linea di mezzeria in cui viene calcolata la densità magnetica del diagramma in figura 11 ove sono indicati i valori efficaci

SCHEMATURA MAGNETICA NEI TRASFORMATORI DI GRANDI POTENZE

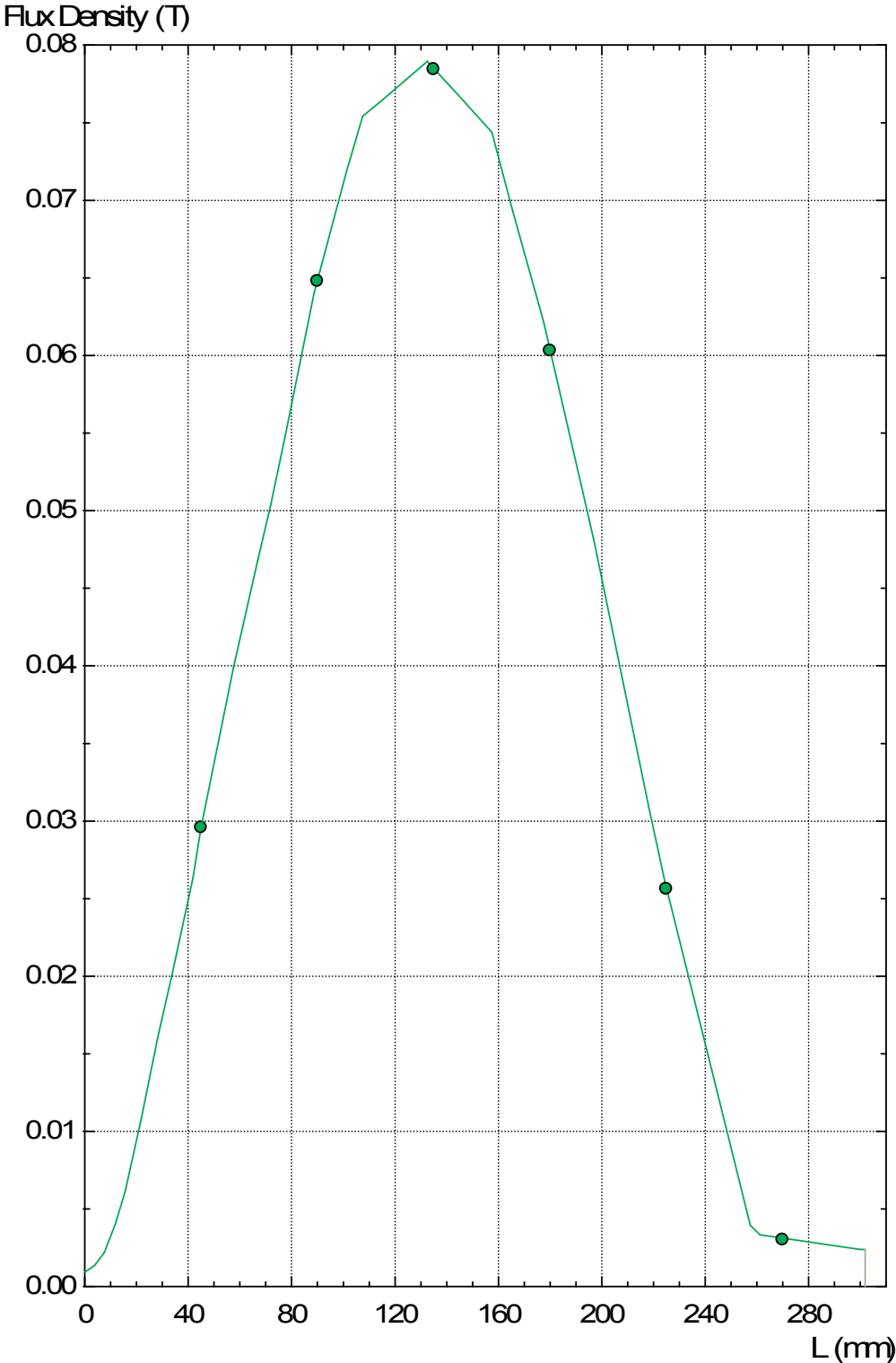


Fig11

Densità magnetica in testata lungo la linea in basso

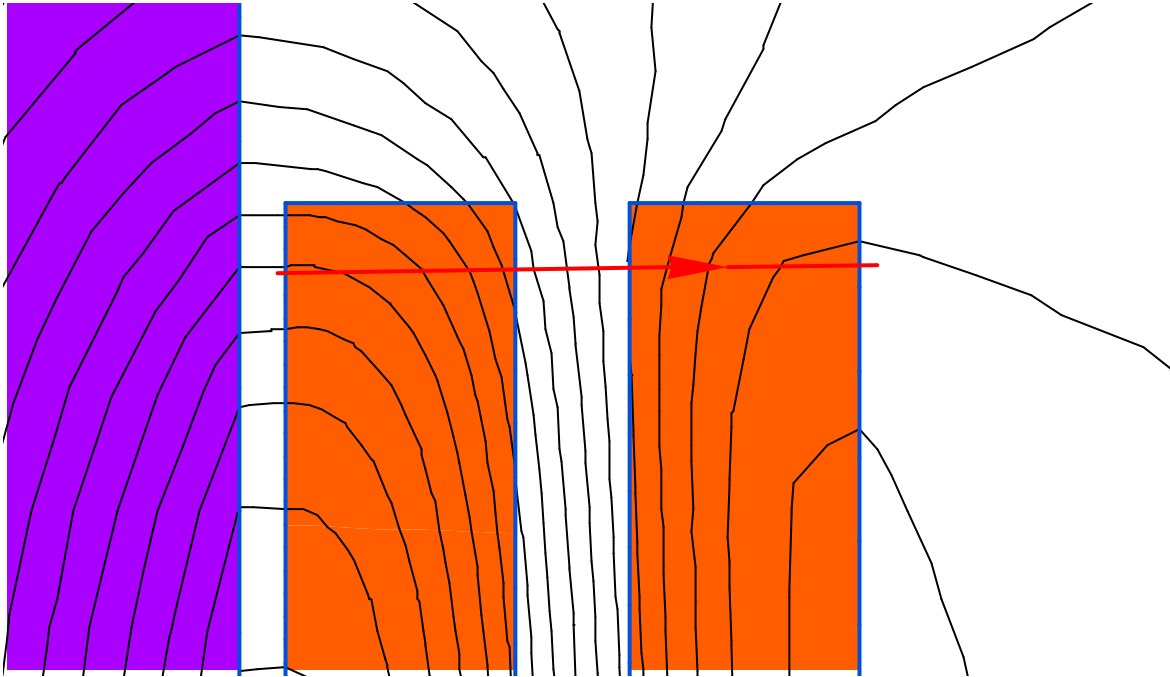


Fig 12

SCHEMATURA MAGNETICA NEI TRASFORMATORI DI GRANDI POTENZE

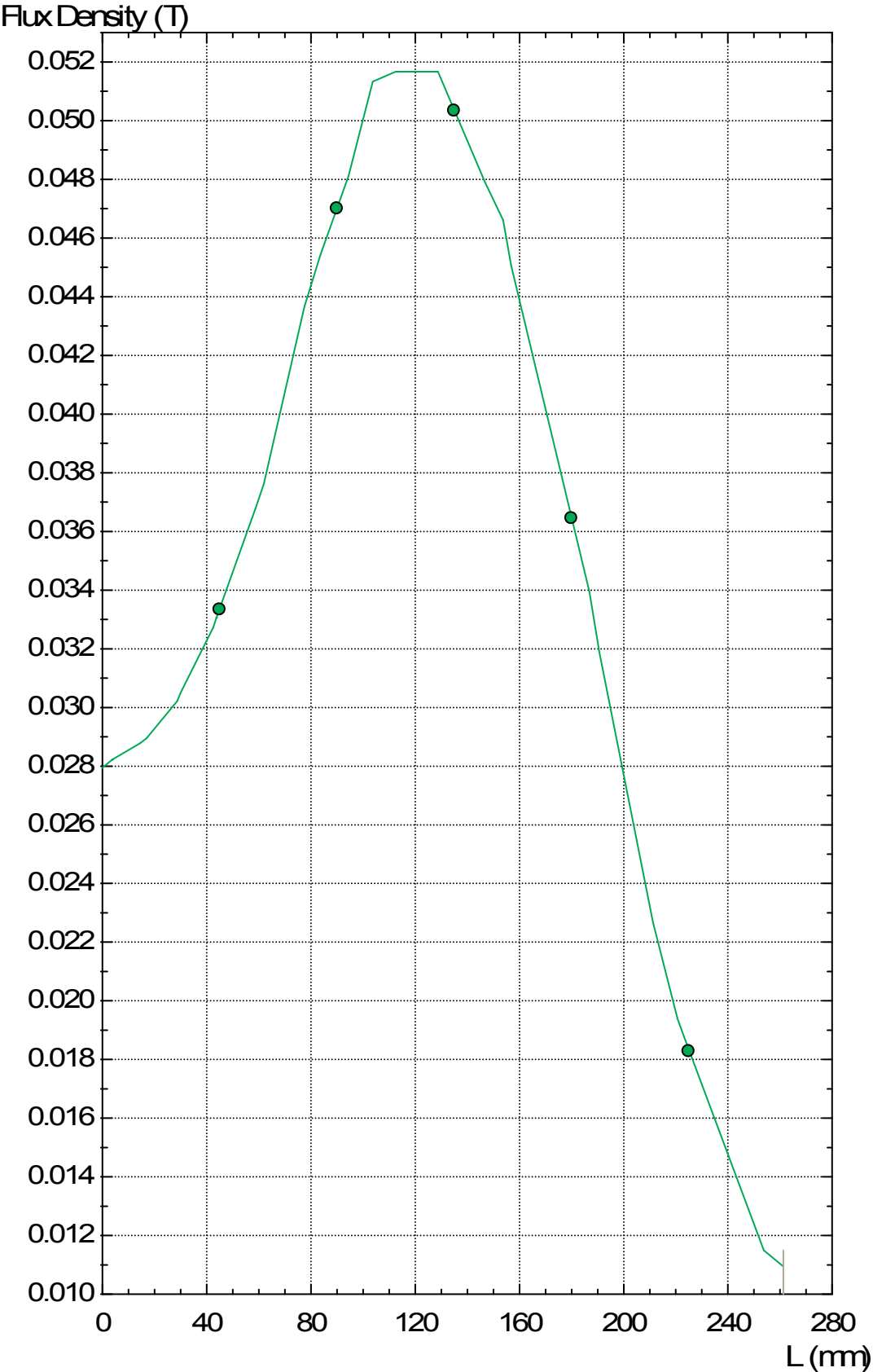


Fig 13

SCHEMATURA MAGNETICA NEI TRASFORMATORI DI GRANDI POTENZE

Notasi che in corrispondenza delle testate degli avvolgimenti la densità magnetica nel canale principale diminuisce per il fatto che il flusso disperso si apre in corrispondenza di queste .

Lungo l'assiale dell'avvolgimento la densità magnetica media varia come mostra il seguente diagramma nell'avvolgimento esterno:

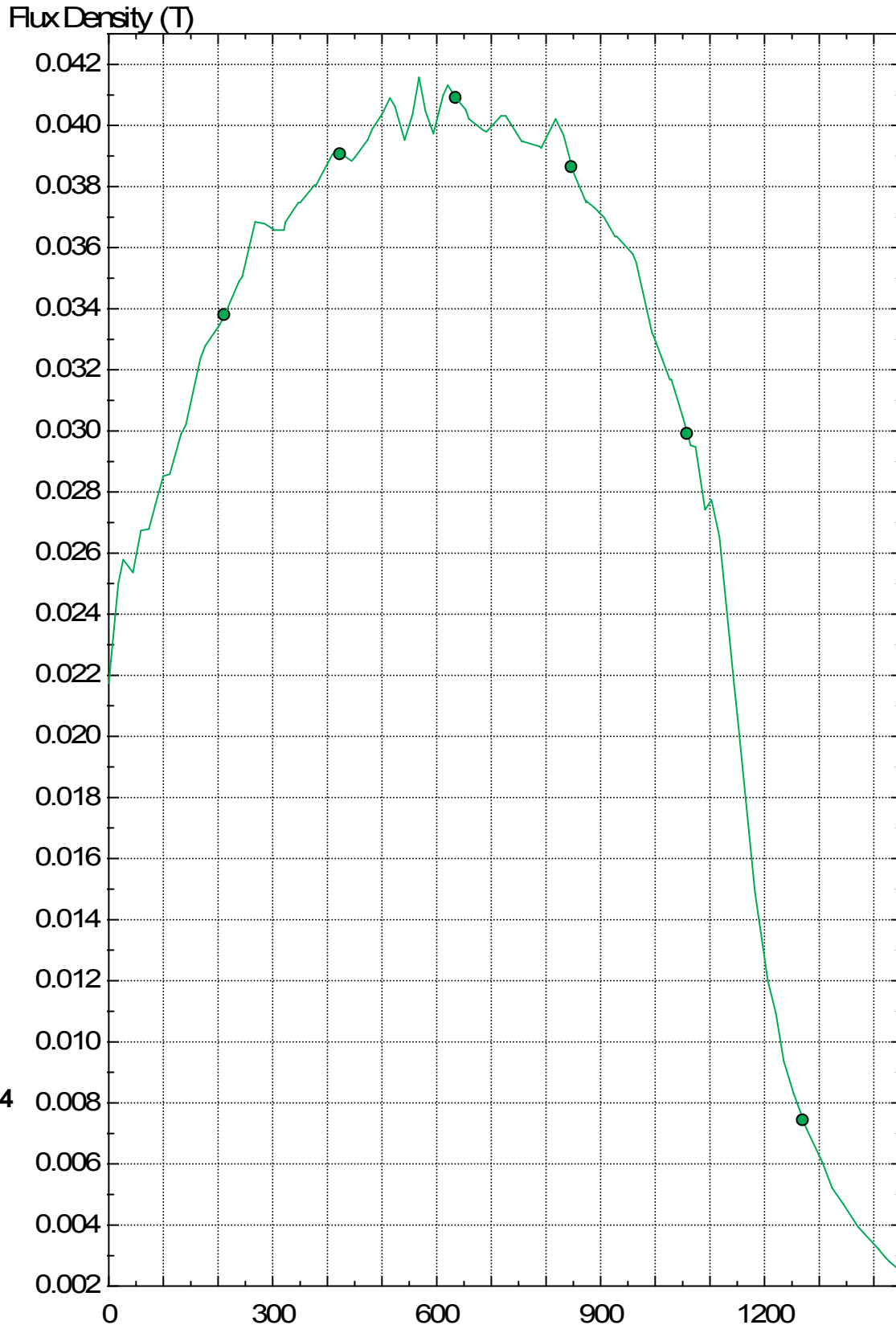


Fig 14

SCHEMATURA MAGNETICA NEI TRASFORMATORI DI GRANDI POTENZE

Appaiono così componenti magnetiche radiali che comportano aumento di perdite addizionali , dette di Foucault , nelle piattine degli avvolgimenti , per cui si usano piattine di dimensioni assiali minori che in mezzera in casi critici.

SCHERMATURA MAGNETICA NEI TRASFORMATORI DI GRANDI POTENZE

Nello stesso tempo queste componenti radiali della densità magnetica comportano la nascita di forze assiali dirette in senso opposto nelle due metà inferiore e superiore degli avvolgimenti, per cui questi si comprimono assialmente. Nella mezzeria si raggiunge il massimo delle forze di compressione.

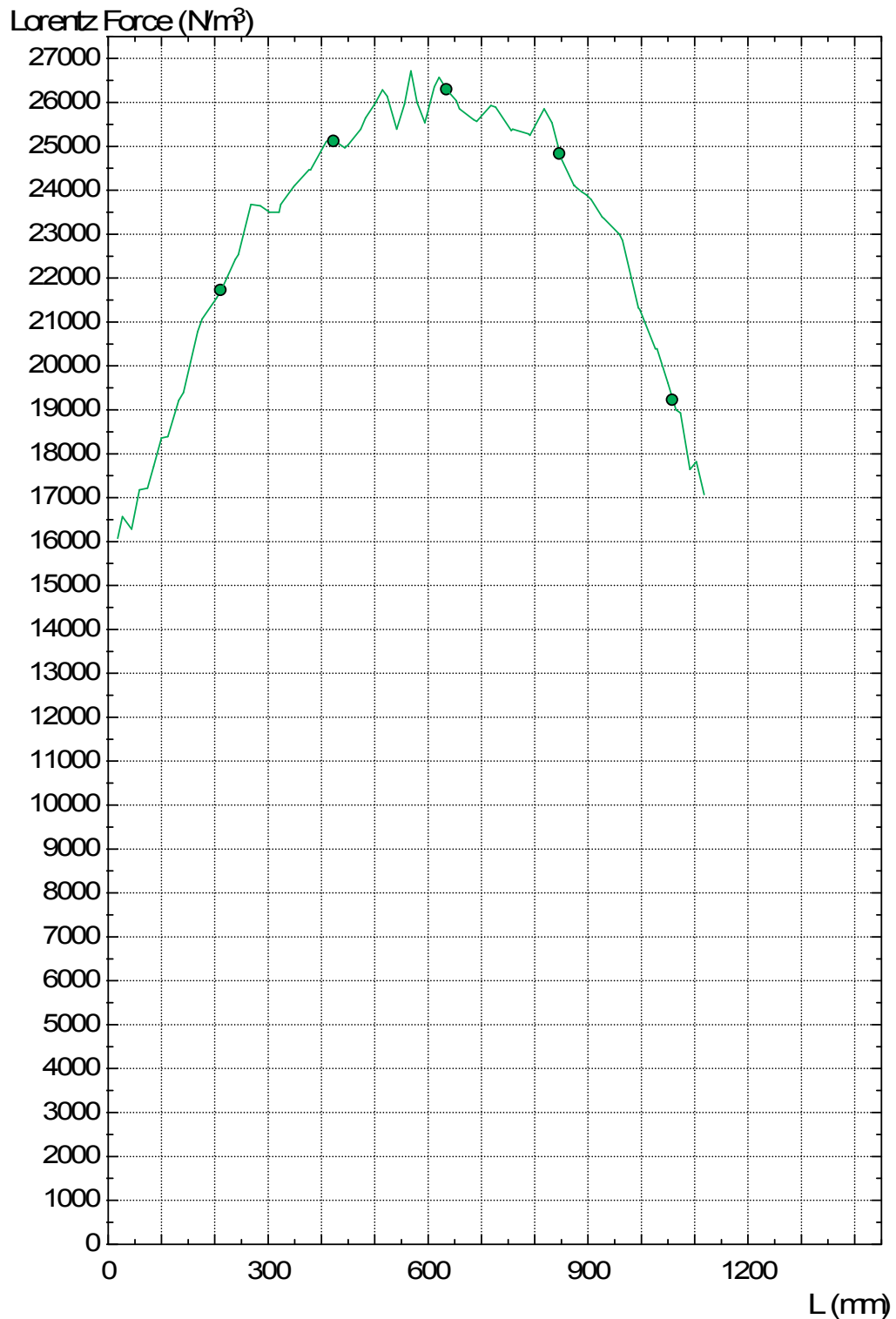


Fig 16

SCHEMATURA MAGNETICA NEI TRASFORMATORI DI GRANDI POTENZE

Tutte le grandezze fisiche che interessano la fase di progetto possono essere rappresentate in tabelle come la seguente lungo un contorno relativo all'avvolgimento esterno :

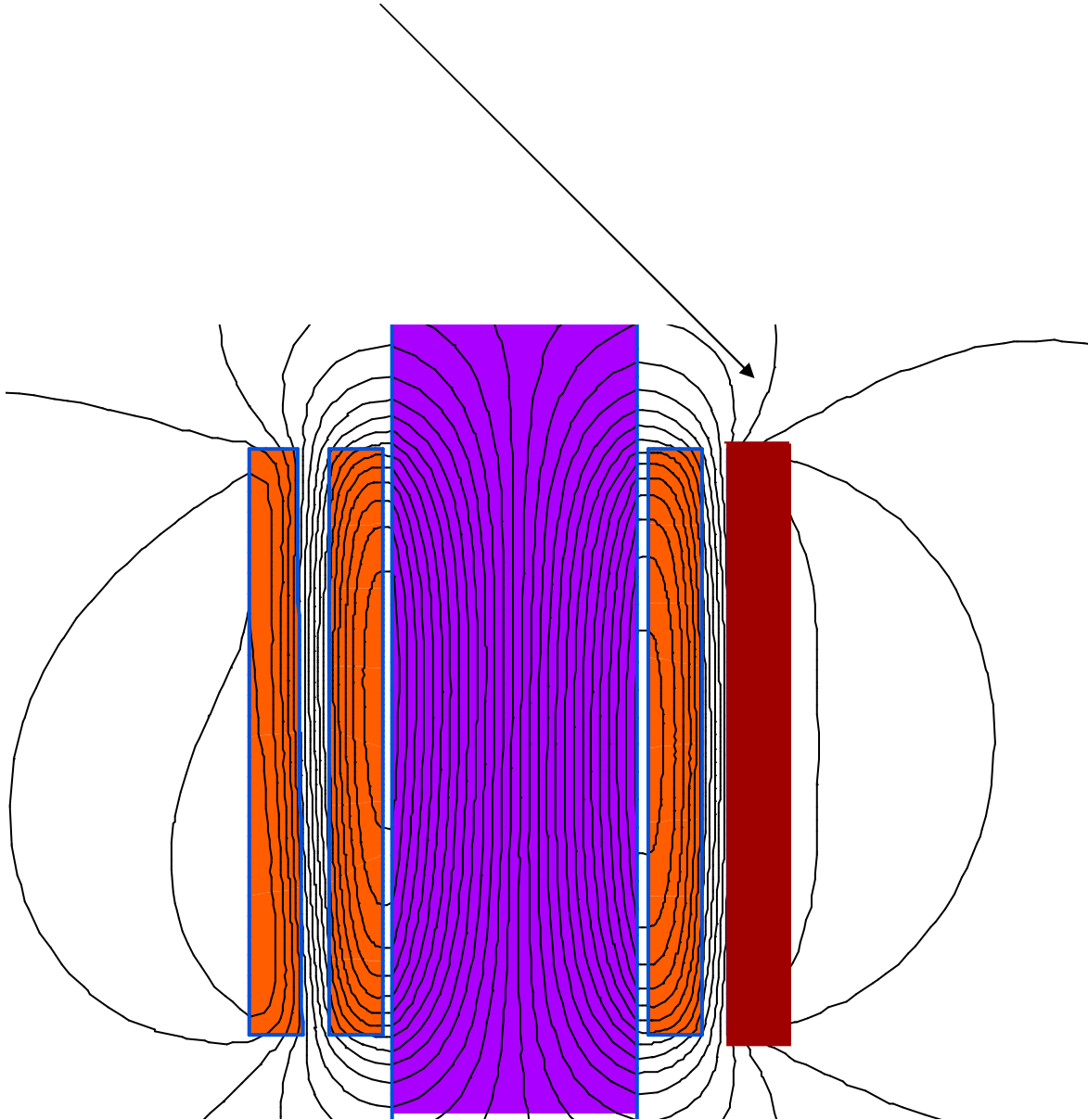


Fig 17

SCHEMATURA MAGNETICA NEI TRASFORMATORI DI GRANDI POTENZE

Grandezze

L (mm)

x (mm)	y (mm)	Nx	Ny	jtotal (A/m ²)	jexternal (A/m ²)	
	jeddies (A/m ²)	Q (W/m ³)	V (V)	B (T)	Bx (T)	By (T)
Bn (T)	Bt (T)	H (A/m)	Hx (A/m)	Hy (A/m)	Hn (A/m)	
Ht (A/m)	W/m ² (S)	W/m ² x (S)	W/m ² y (S)	w (J/m ³)	F (N/m ³)	
Fx (N/m ³)	Fy (N/m ³)	A (Wb/m)	s S/m)	m	T (K)	

Risultati

0.00000

1264.82	1214.06	0.0140830	0.999901	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.0114680	0.0111470	0.00269426
0.00285098	0.0111080	9125.95	8870.52	2144.03	2268.74
8839.45	0.00000	-0.00000	0.00000	52.3283	0.00000
0.00000	0.00000	6.75103e-4	0.00000	1.00000	0.00000

Notasi che in questa fase della rappresentazione si è supposto che i materiali non abbiano conducibilità per mostrare il flusso disperso non disturbato dalla reazione dei metalli .

Ne consegue che sono nulle le correnti indotte ,le perdite e le temperature.

STRAY FLUX e REAZIONE DEI METALLI

Se le correnti fluenti negli avvolgimenti sono in presenza di materiali a conducibilità maggiore di zero vengono indotte correnti in questi metalli che vi generano perdite e quindi riscaldamenti deformando la distribuzione del flusso disperso e quindi gli effetti termici e meccanici derivanti.

Nei metalli conduttori degli stessi avvolgimenti vengono generate perdite supplementari (Perdite addizionali o di Foucault).

L'entità della reazione dei metalli cresce con la frequenza F delle correnti e con il valore della densità magnetica B locale e la distribuzione delle correnti non è uniforme sia negli avvolgimenti che nelle altre parti metalliche investite dai flussi .

La distribuzione delle correnti si accentua sia alla periferia delle piattine percorse da correnti esterne imposte , sia ai bordi degli oggetti metallici non percorsi da correnti esterne ma che sono investiti dai flussi : nucleo , cassa eccetera.

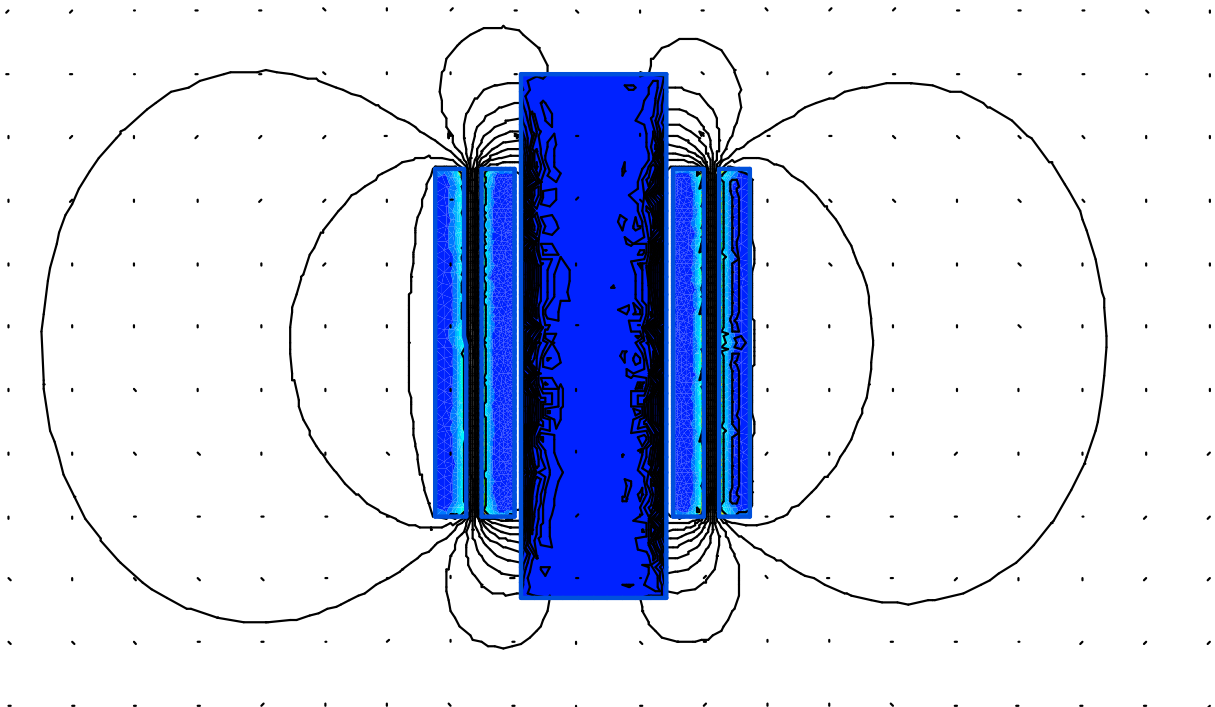


Fig. 18 Stray flux di un trasformatore in presenza della reazione dei metalli presenti : avvolgimenti e nucleo rappresentati come pezzi unici .

Nota : In questa figura gli avvolgimenti sono considerati come blocchi massicci di Rame ed il nucleo come blocco massiccio di ferro magnetico

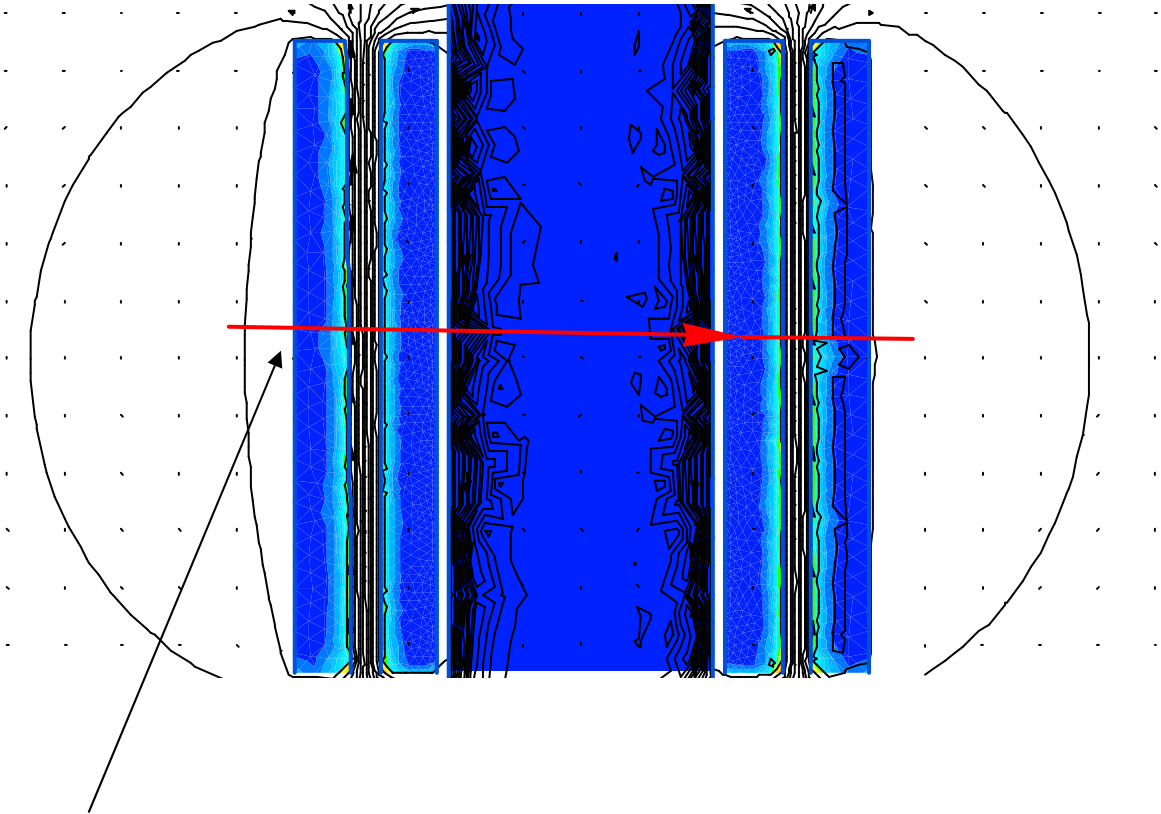


Fig 19 Linea di esame N. 1

Fig 19.1 Distribuzione del Flusso di disperso lungo la linea N.1

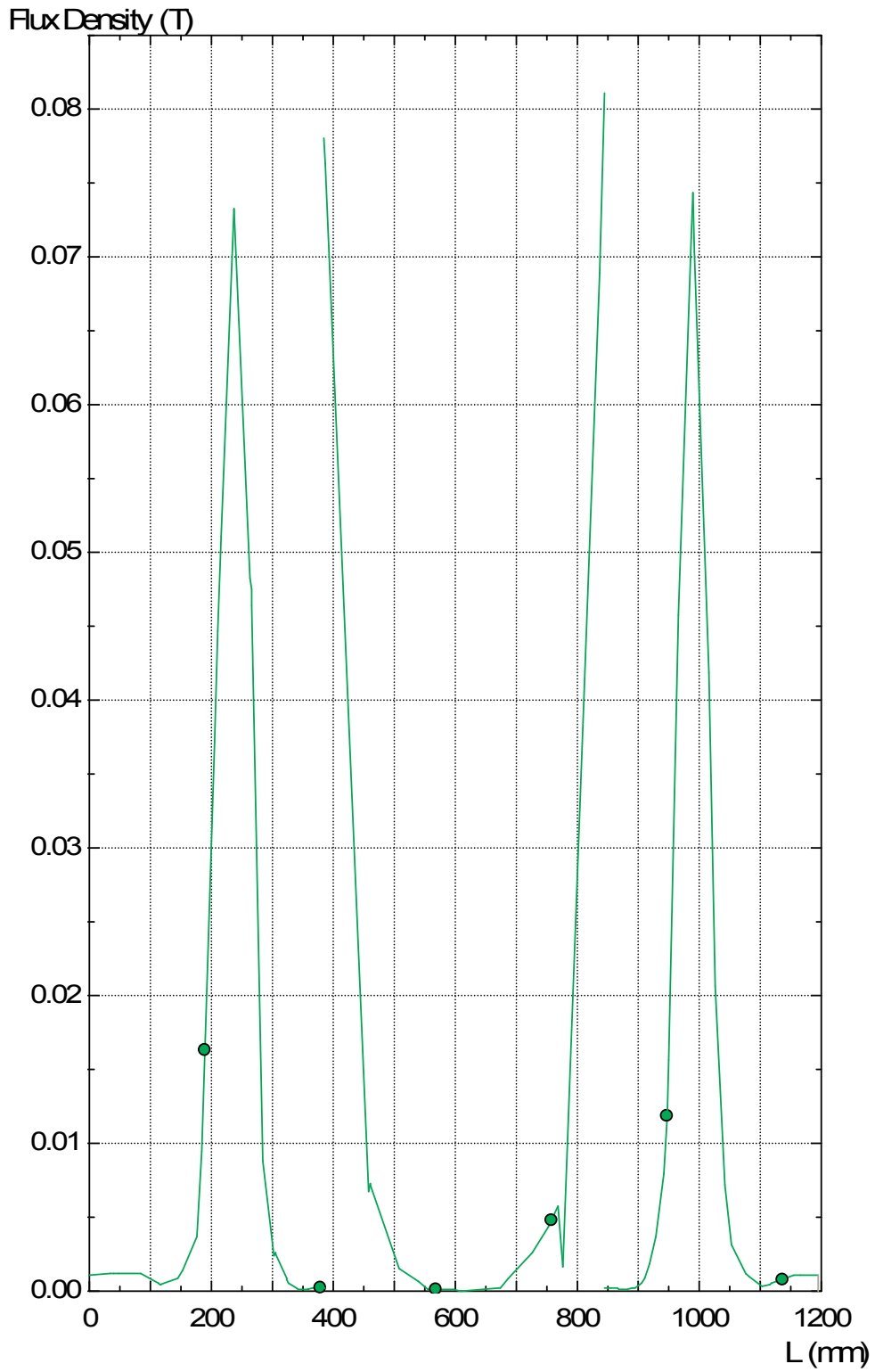


Fig. 19.2 Distribuzione delle correnti nelle diverse parti lungo la linea N1

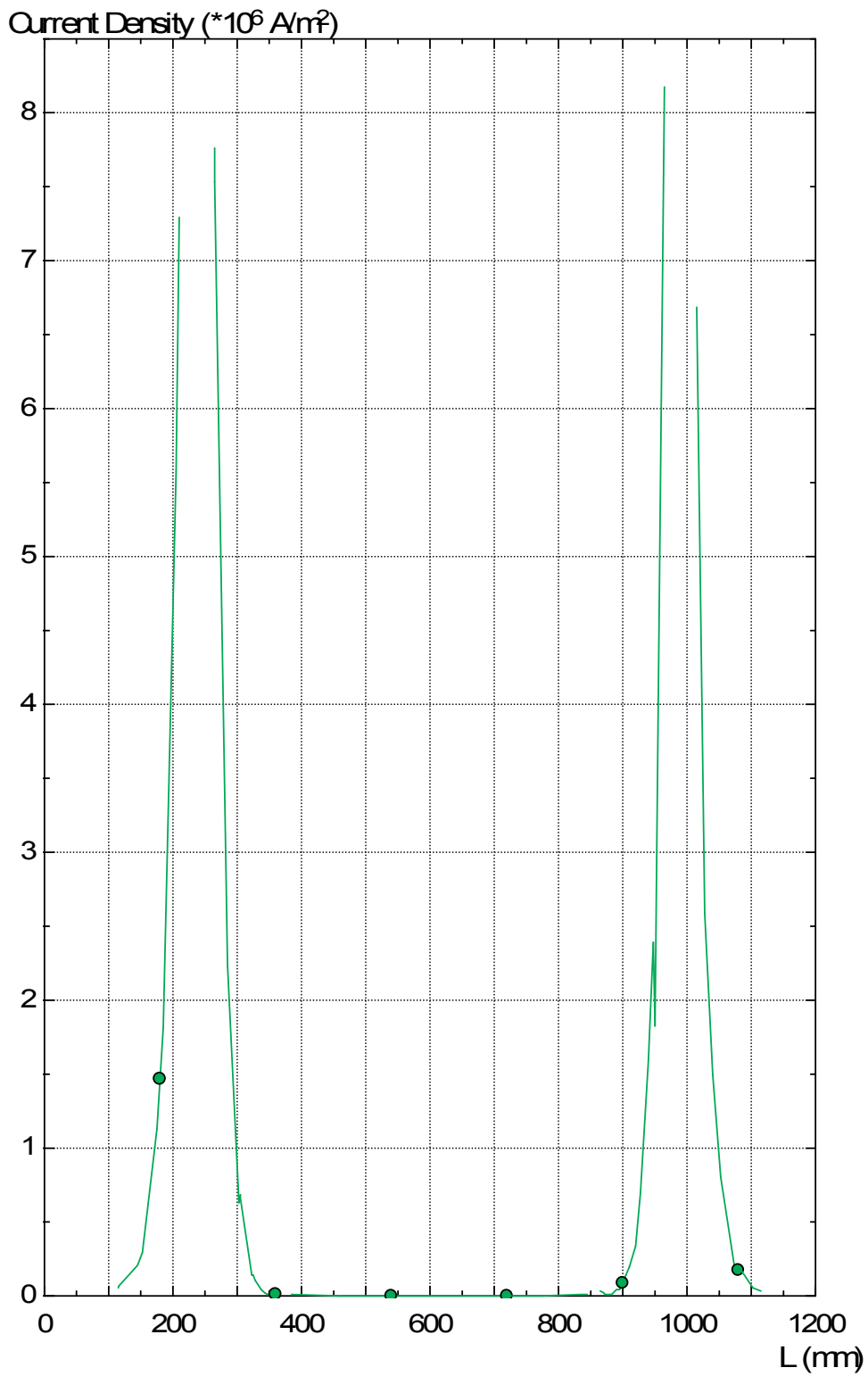
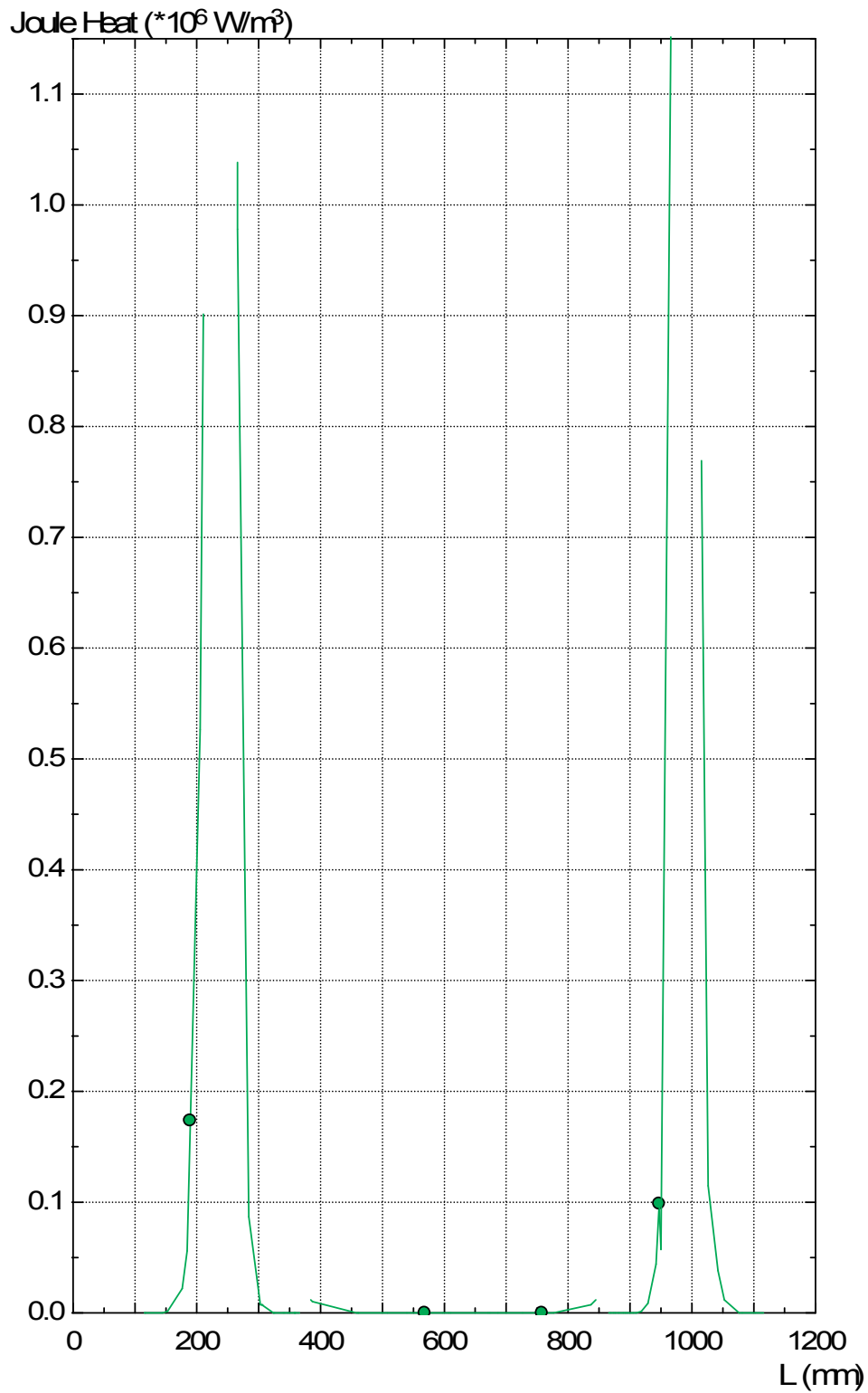


Fig. 19.3 Distribuzione delle perdite nelle diverse parti lungo linea N.1



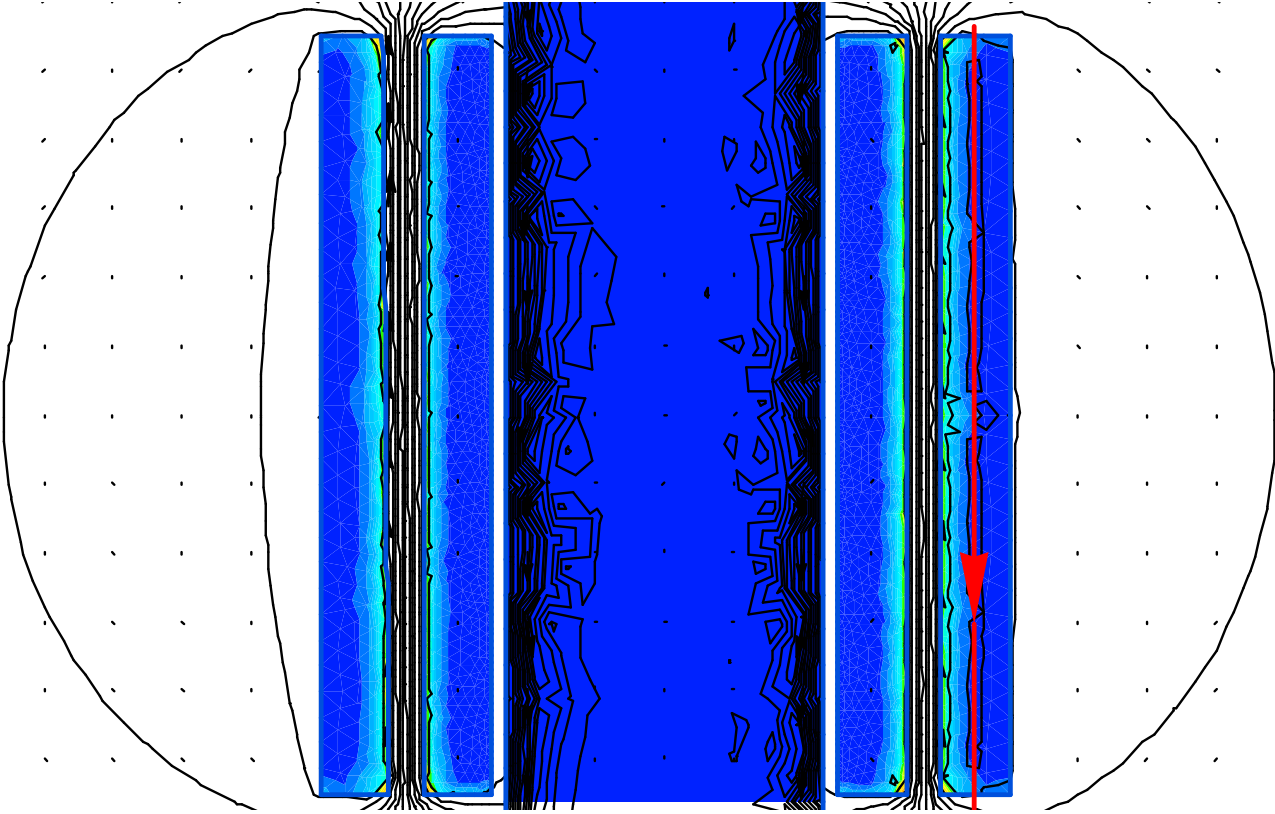


Fig 20 Linea di esame N. 2 Avvolgimento esterno

Fig. 20.1 Distribuzione media del flusso disperso lungo l'avvolgimento esterno
Linea N 2

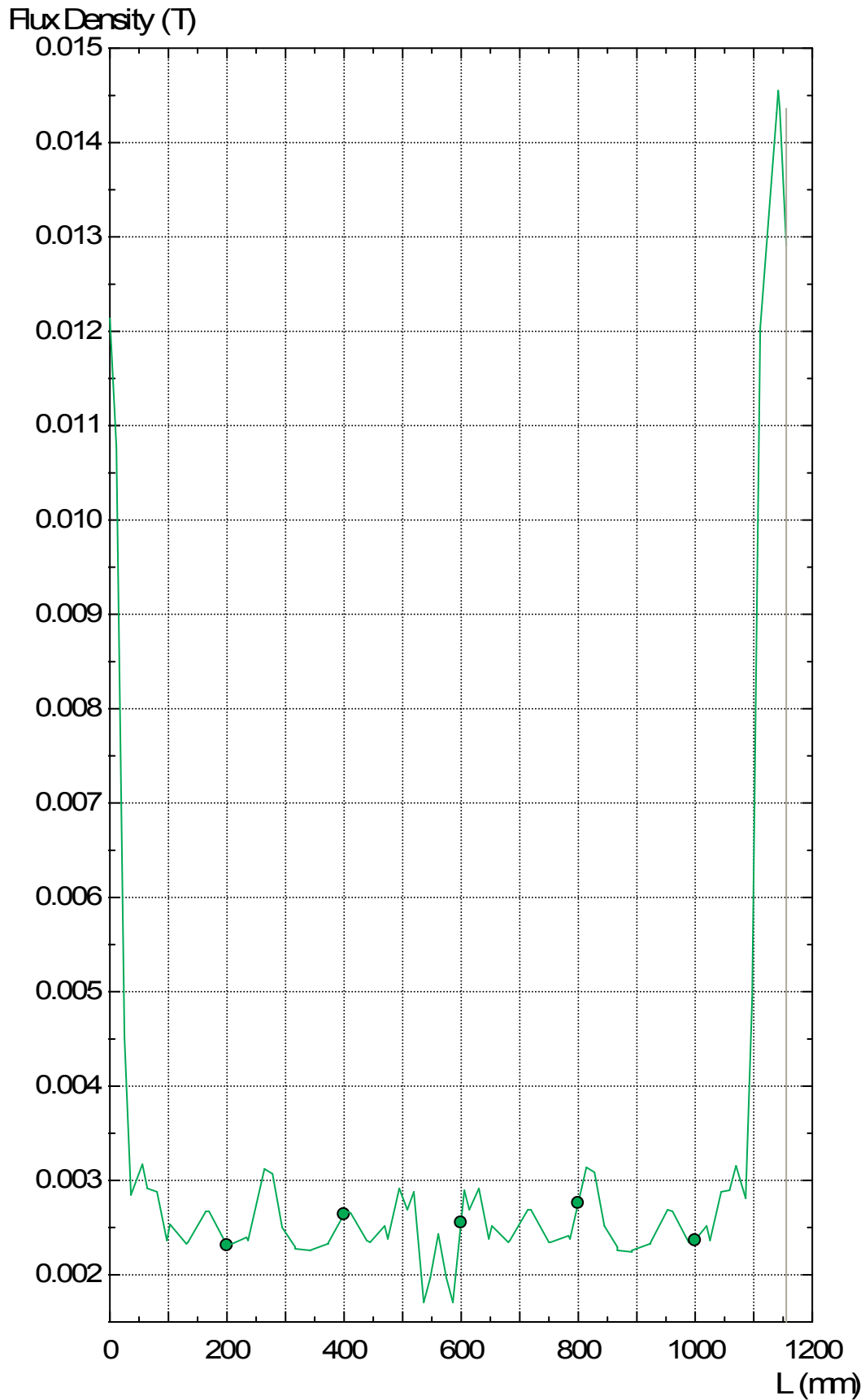


Fig. 20.2 Distribuzione media delle correnti nell'avvolgimento esterno
Lungo la linea N 2

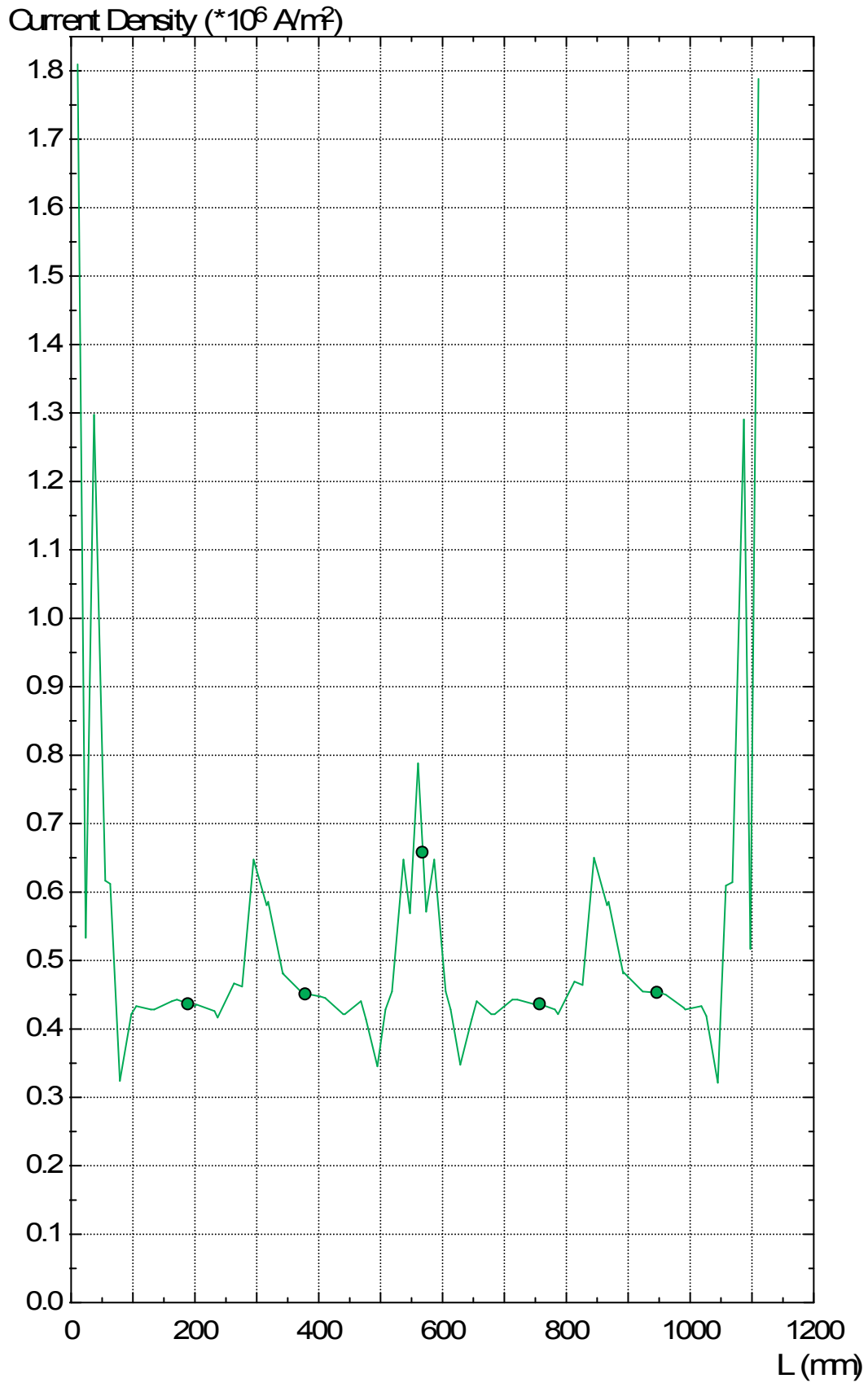


Fig. 20.3 Distribuzione degli sforzi lungo l'avvolgimento esterno linea N.2

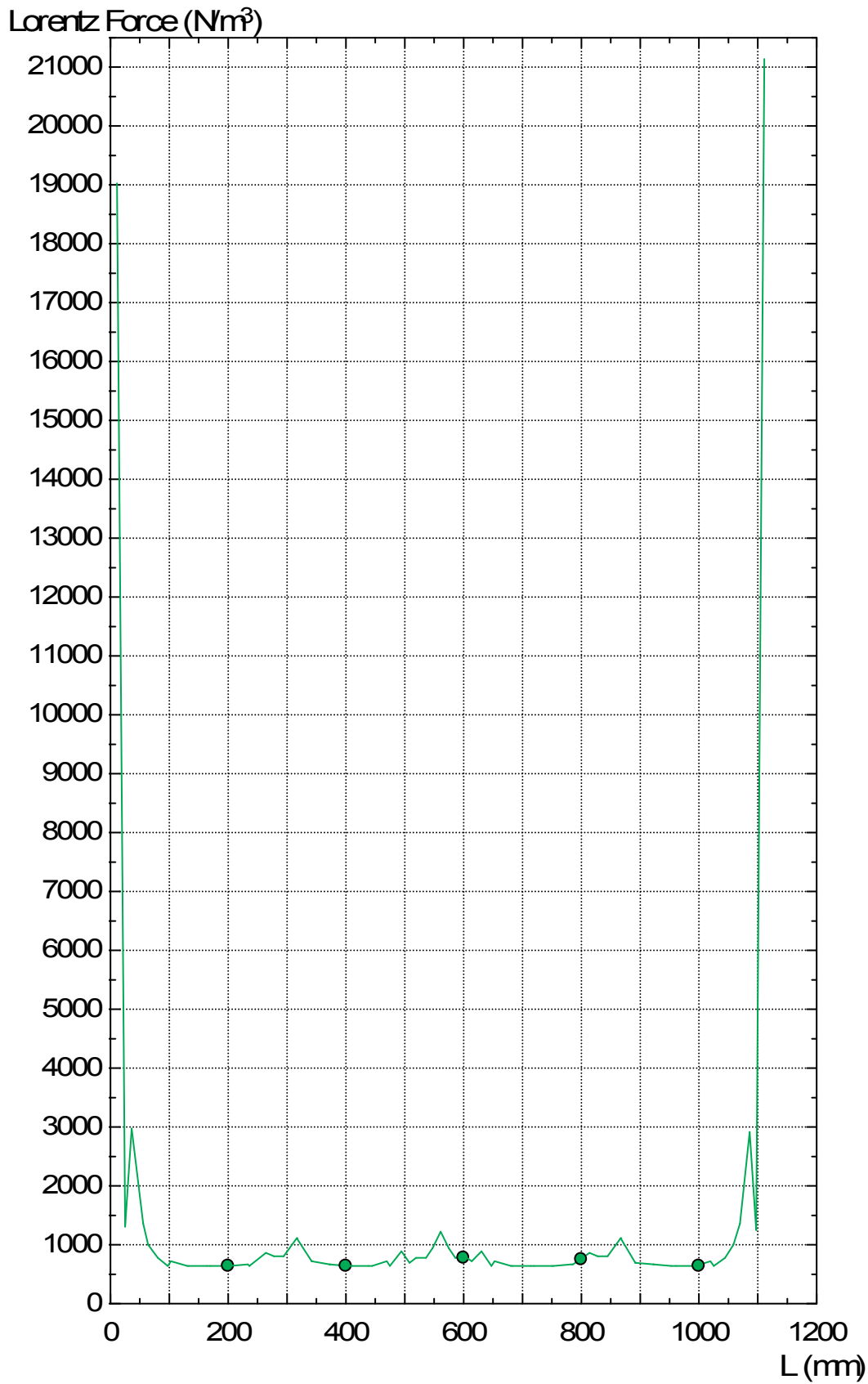


Fig. 20.4 Distribuzione delle perdite lungo l'avvolgimento esterno la linea N2

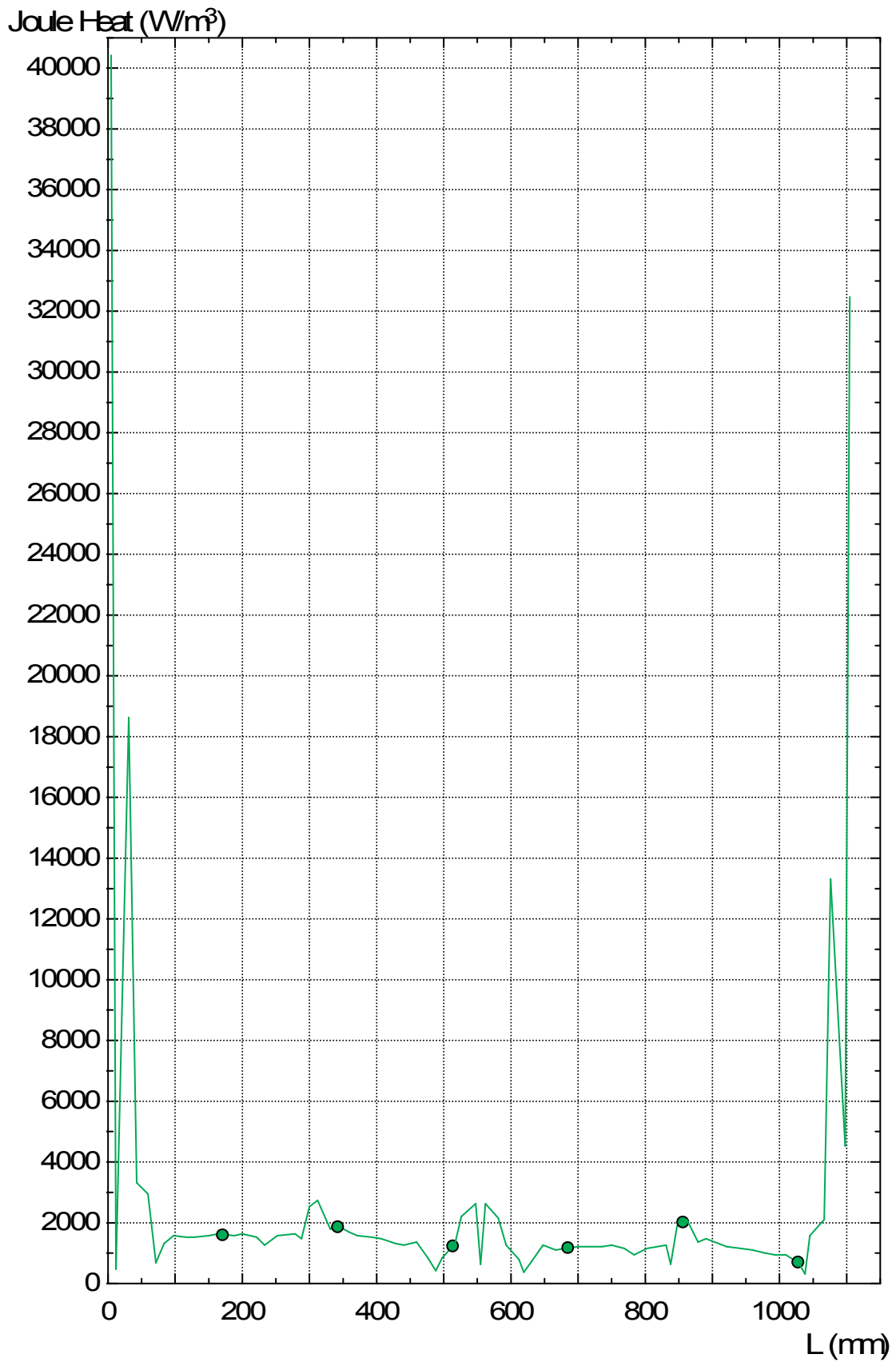
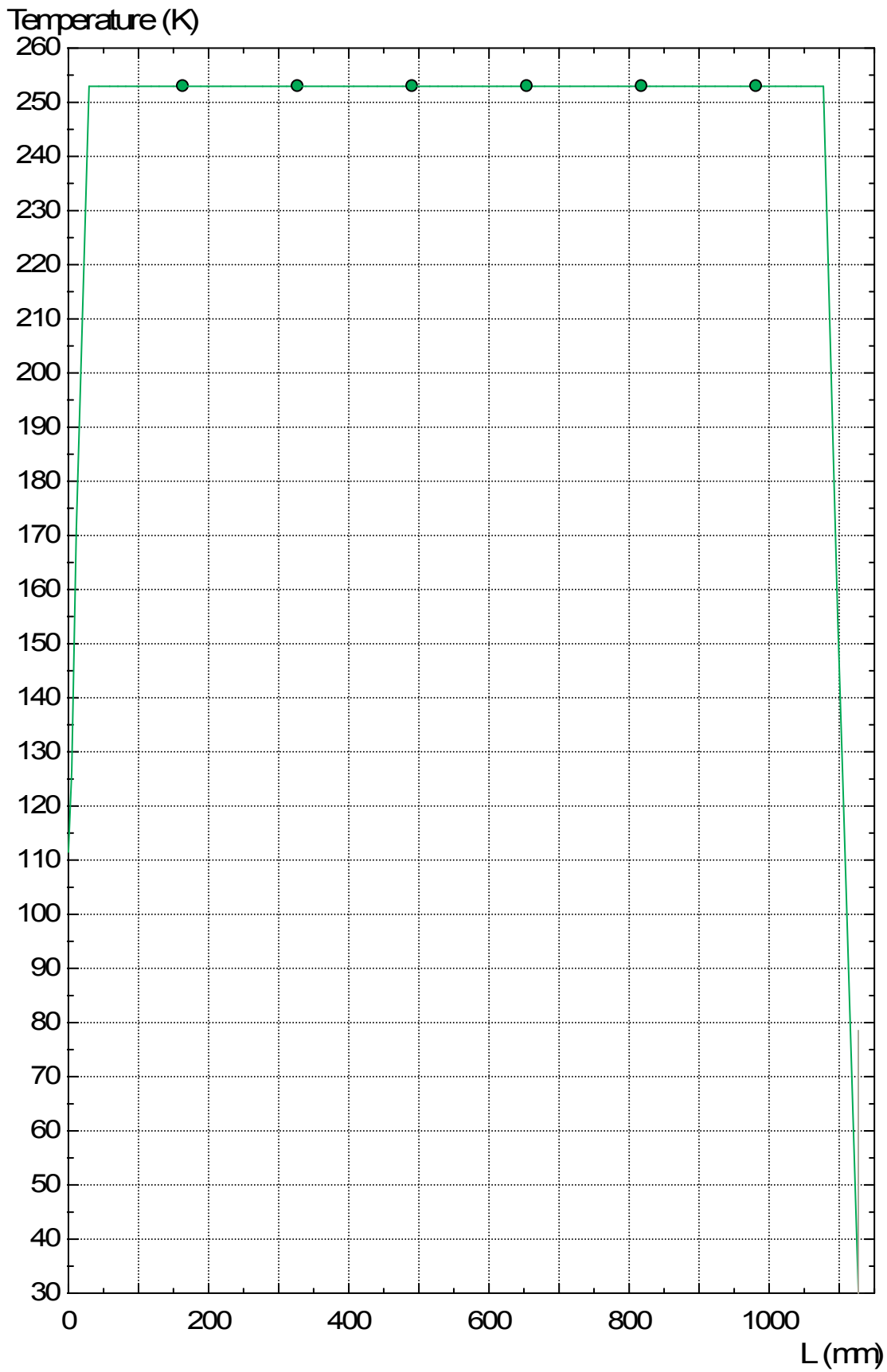


Fig. 20.5 Distribuzione delle temperature assolute lungo l'avvolgimento esterno
Linea N.2



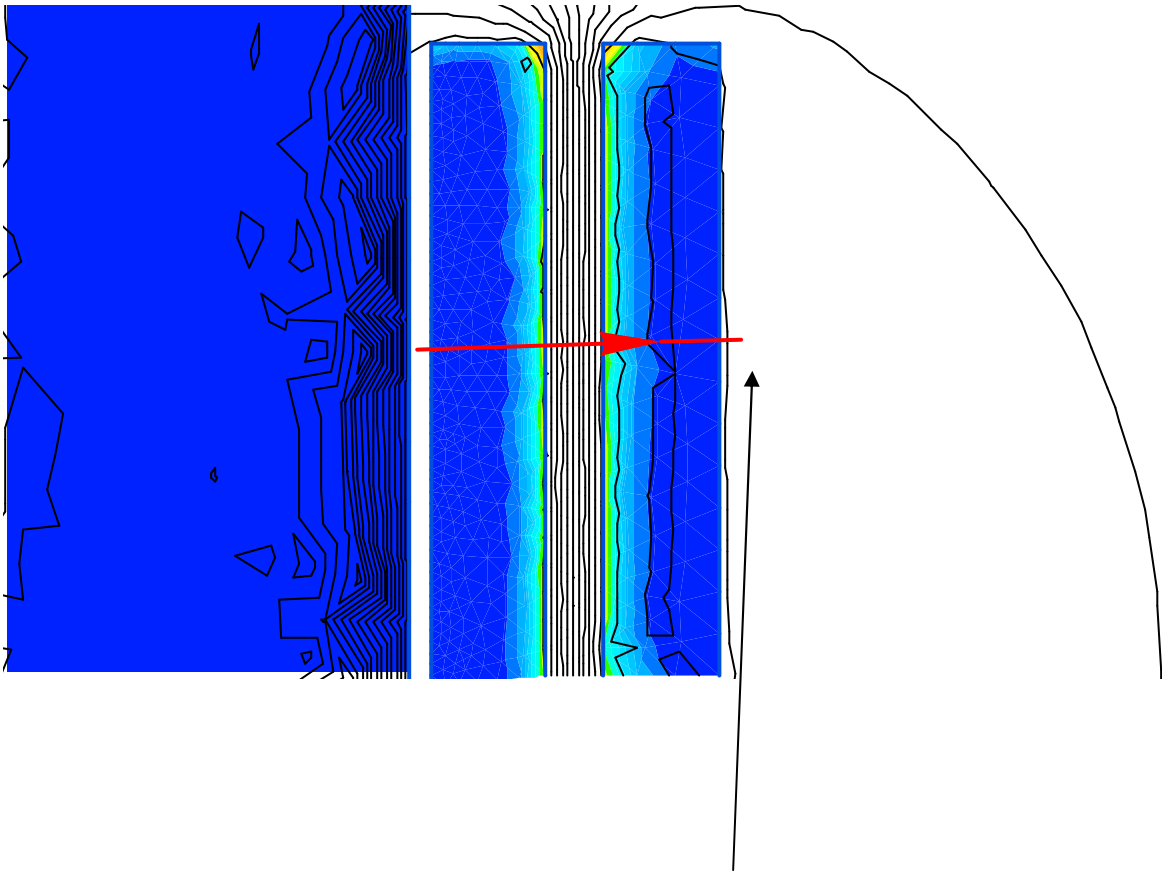


Fig 21 Linea di esame N. 3 Mezzeria Avvolgimenti

Fig. 21.1 Distribuzione della densità di flusso lungo la mezzeria degli avvolgimenti Linea N.3

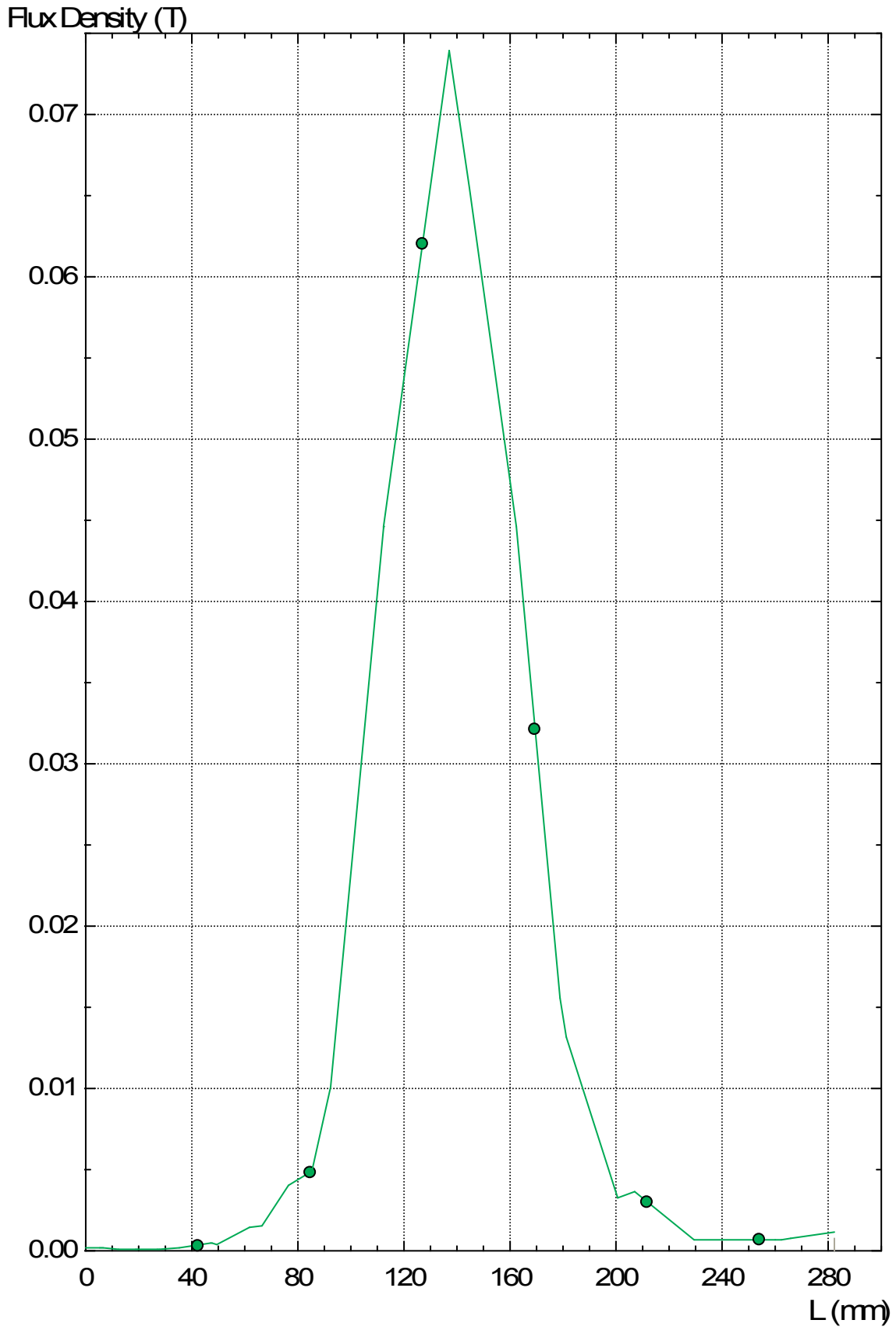


Fig. 21.2 Distribuzione della densità di correnti lungo la mezzeria degli avvolgimenti Linea N.3

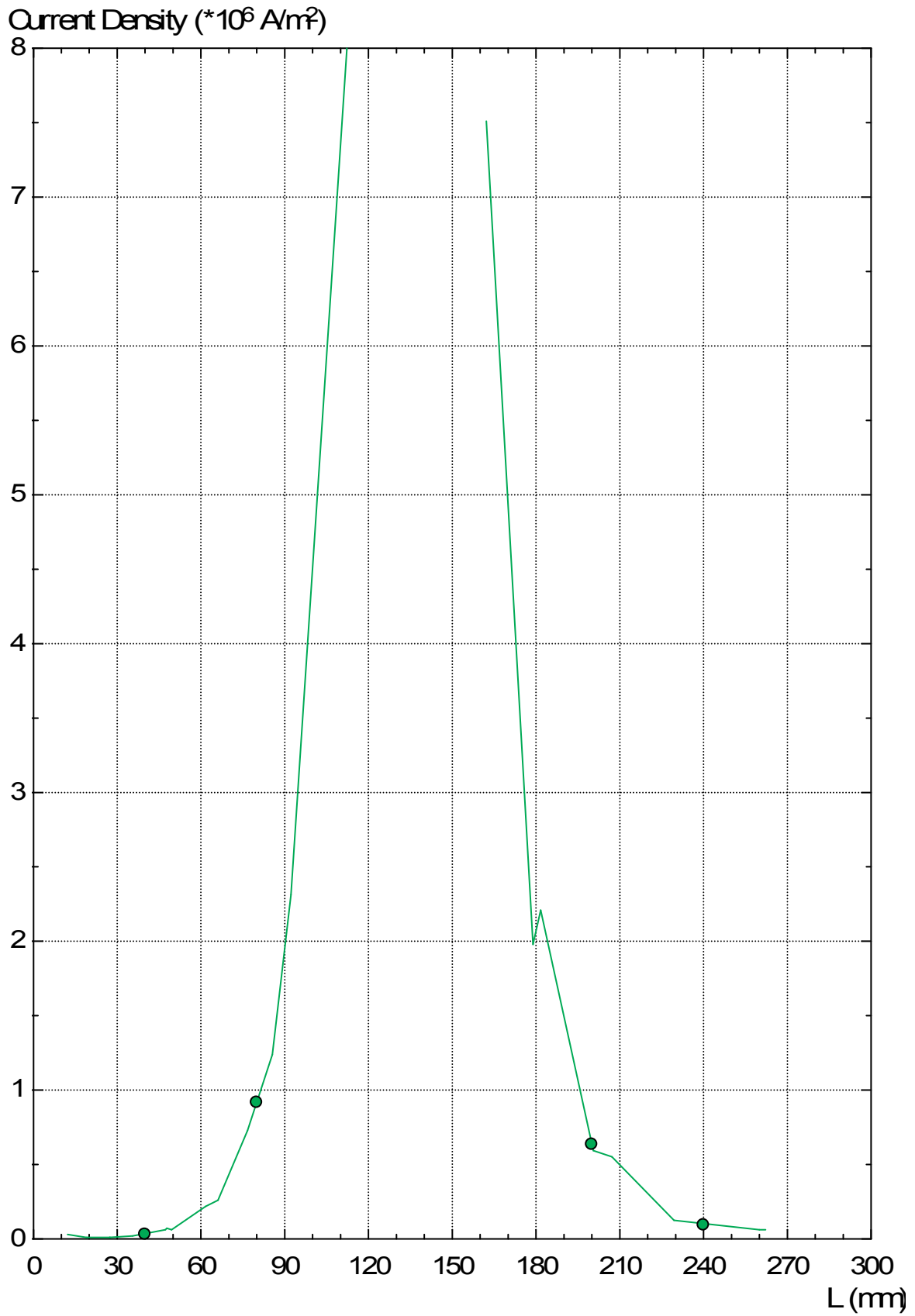


Fig. 21.3 Distribuzione delle forze lungo la mezzeria degli avvolgimenti Linea N.3

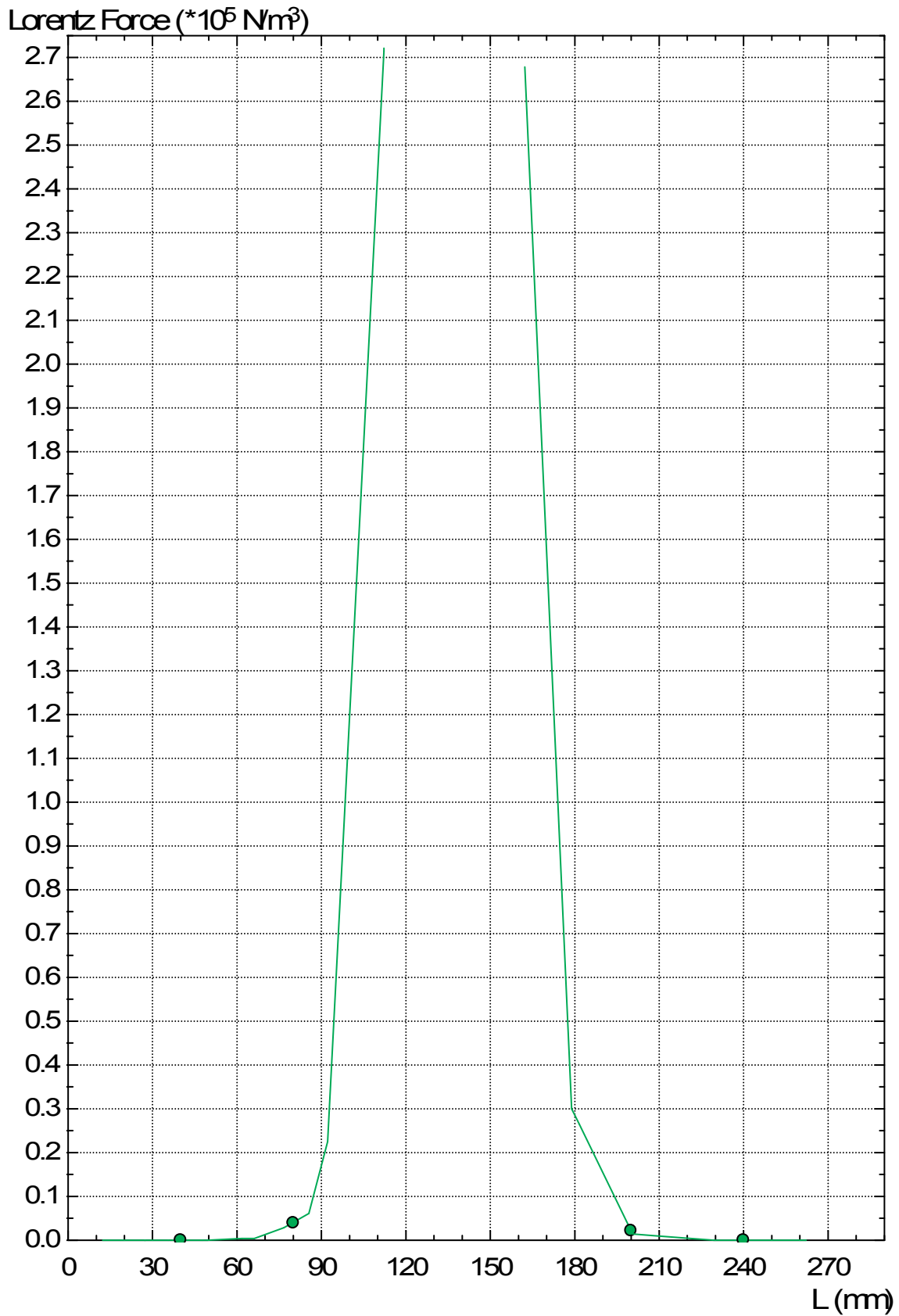


Fig. 21.4 Distribuzione delle perdite lungo la mezzeria degli avvolgimenti Linea N.3

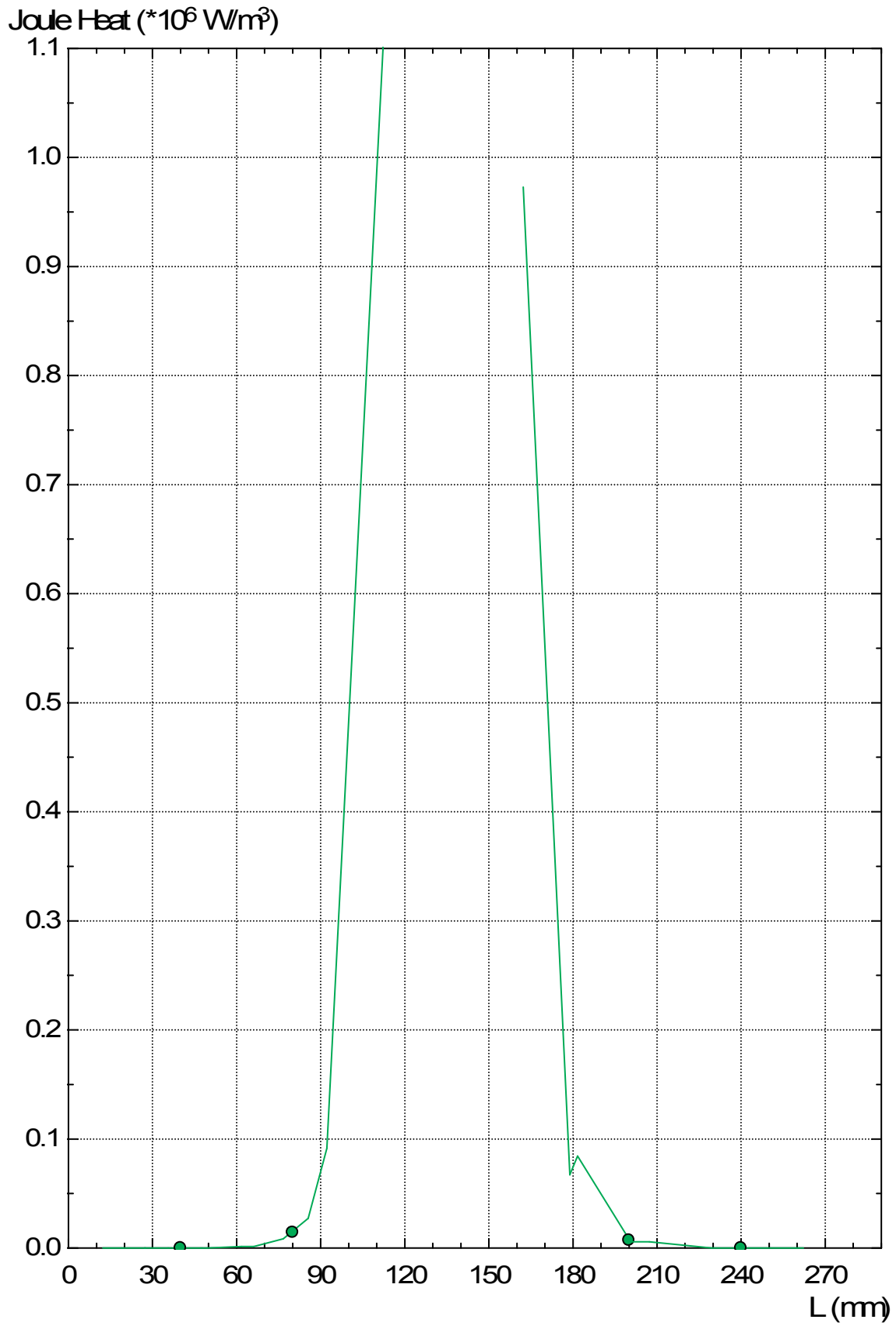
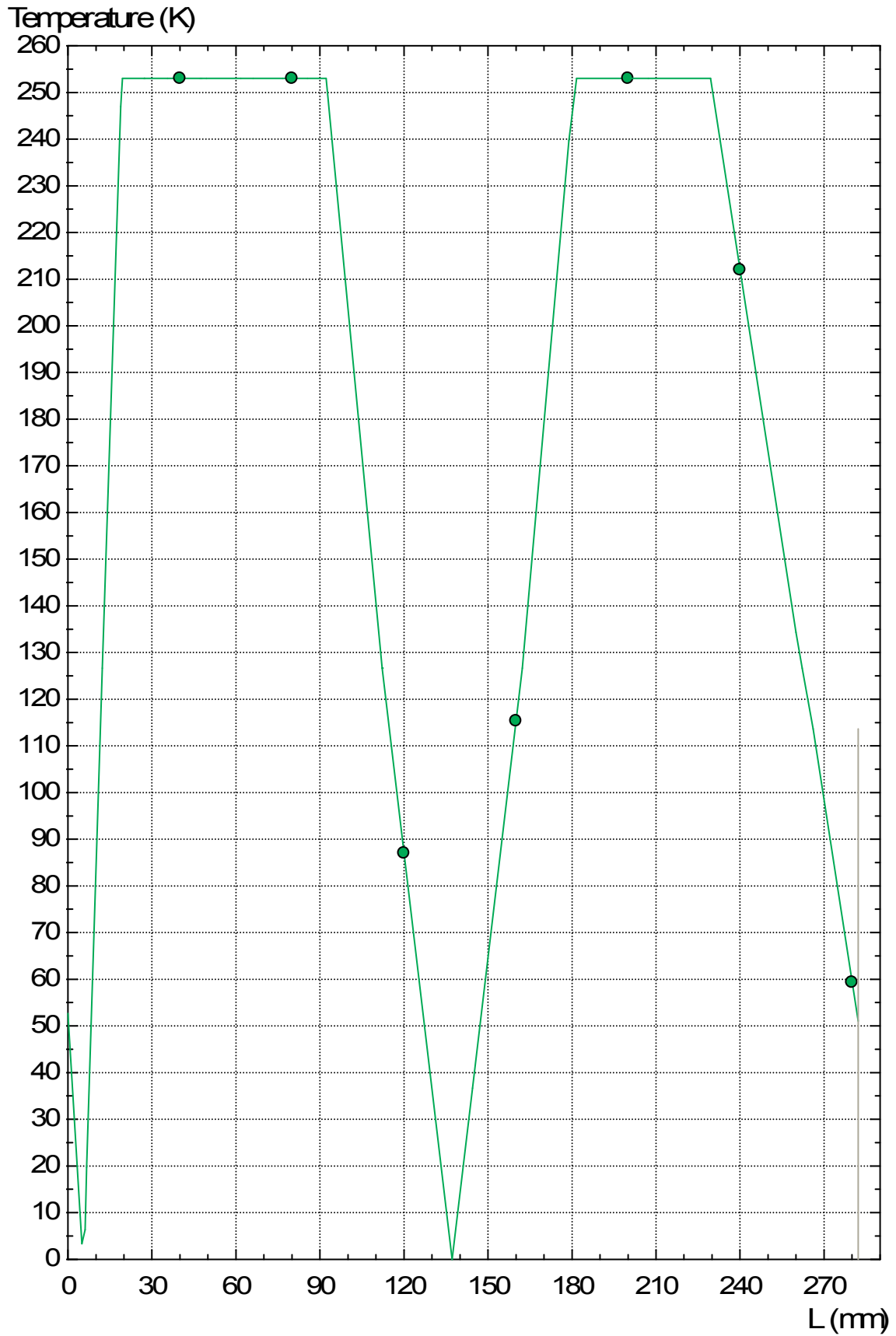


Fig. 21.5 Distribuzione delle temperature lungo la mezziera degli avvolgimenti Linea N.3



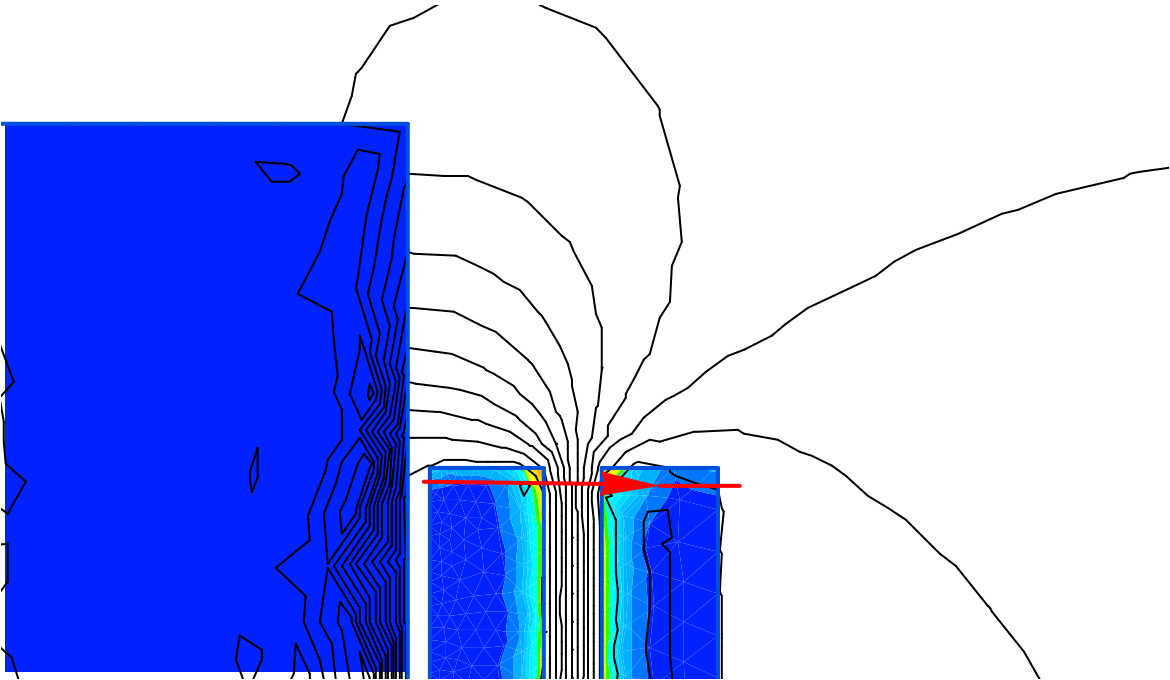


Fig. 22 Linea esame N. 4 Testate avvolgimenti

Fig. 22.1 Distribuzione della densità magnetica lungo le testate avvolgimenti
Linea N.4

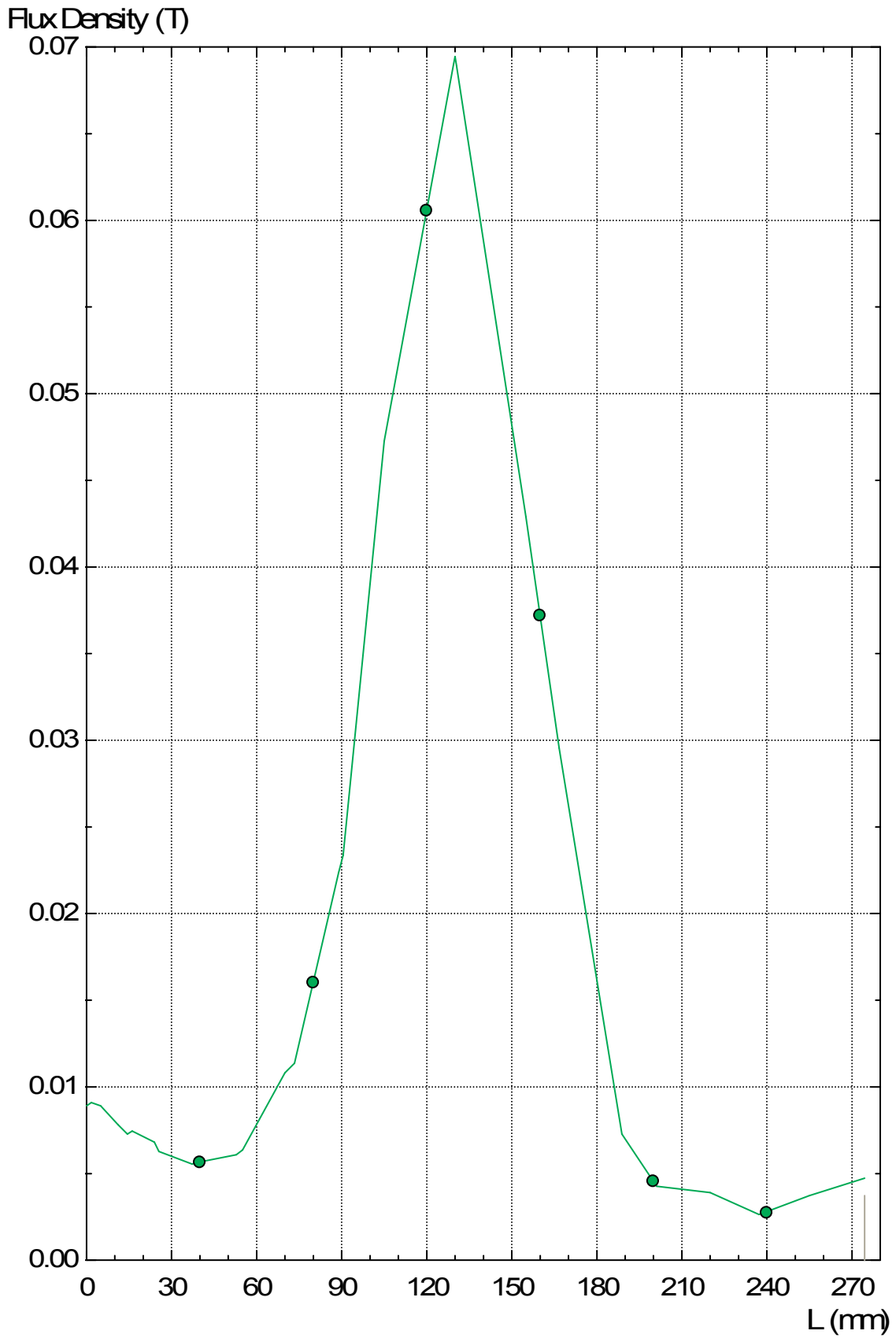


Fig. 22.2 Distribuzione della densità di corrente lungo le testate avvolgimenti
Linea N.4

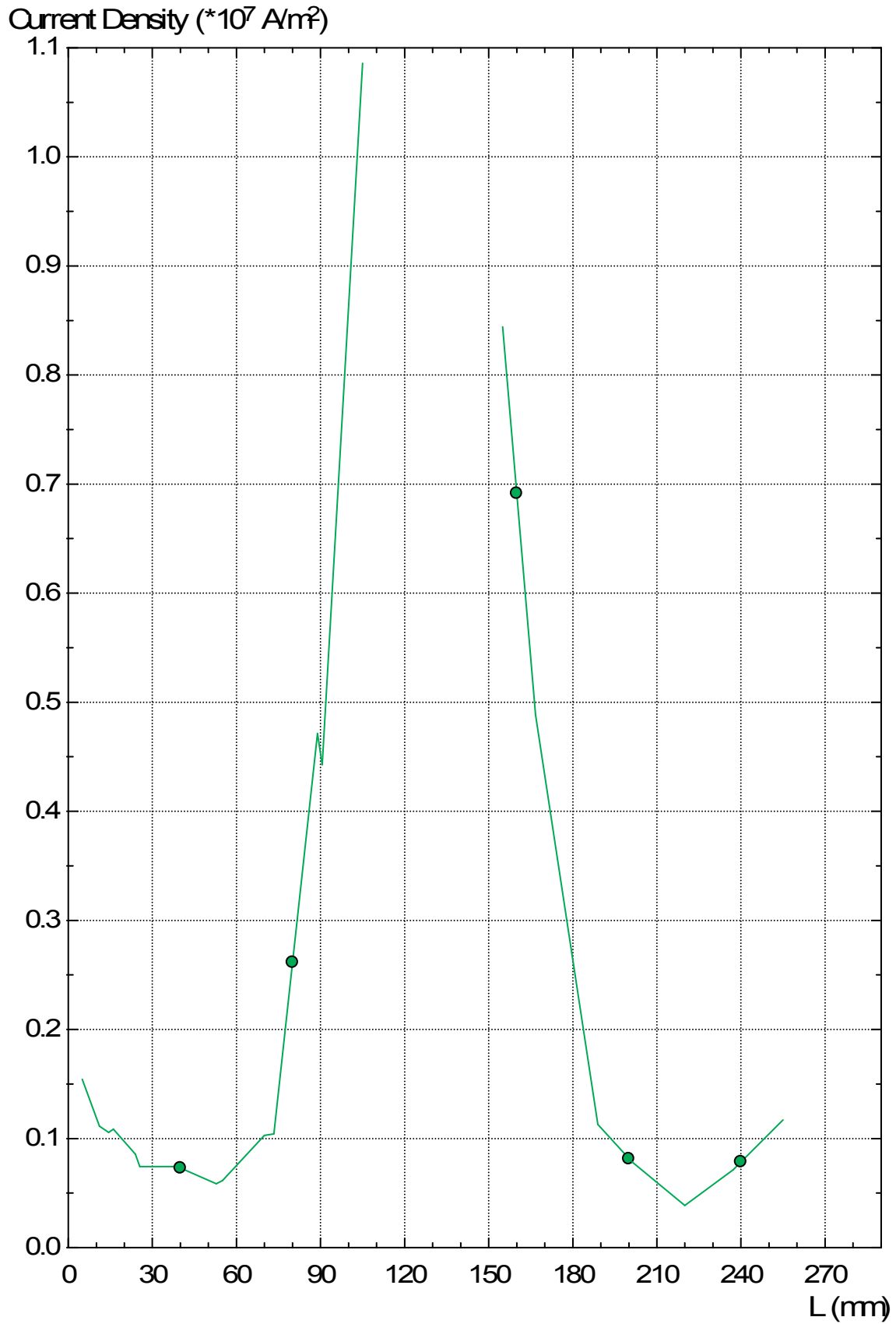


Fig. 22.3 Distribuzione delle forze lungo le testate avvolgimenti Linea N.4

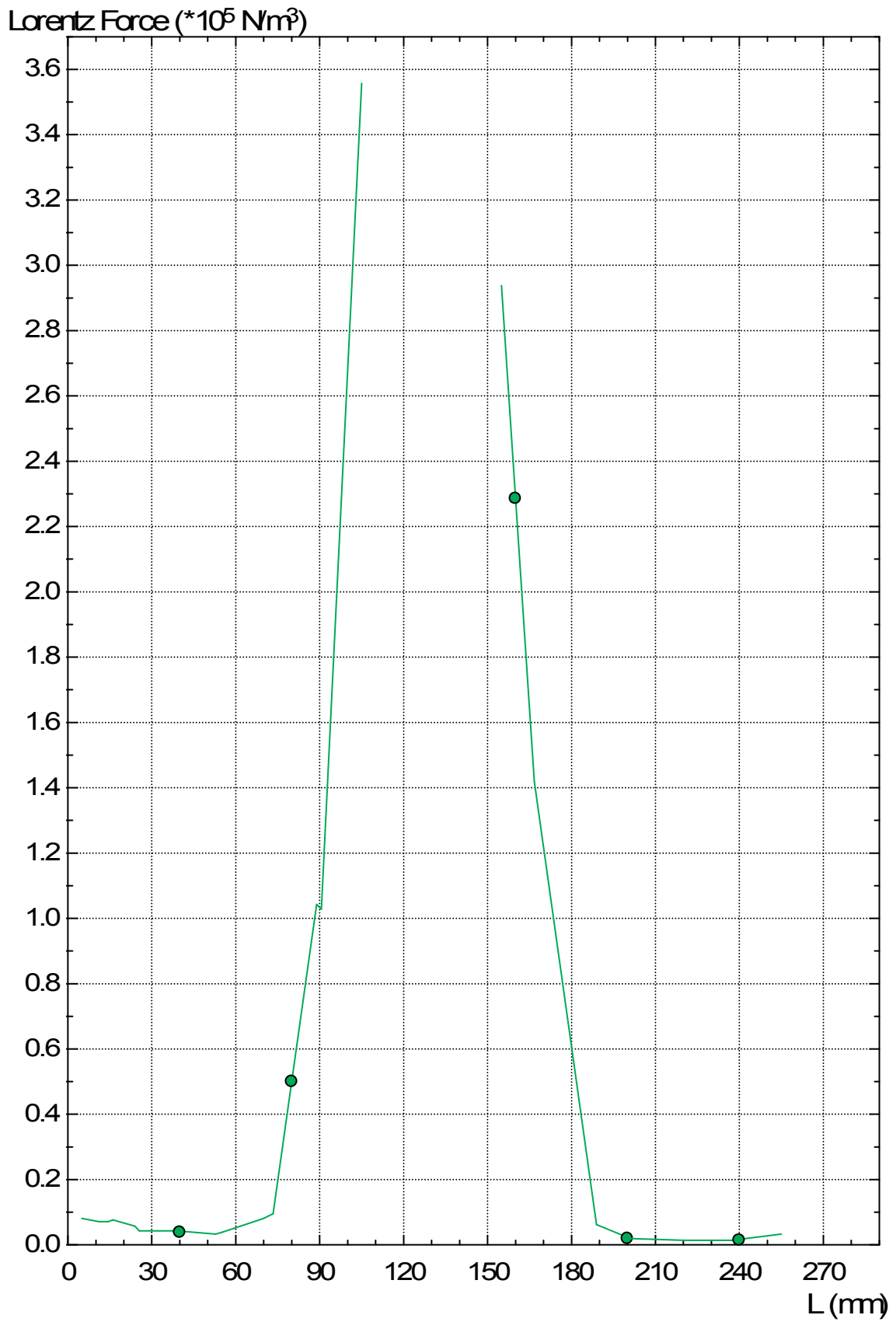


Fig. 22.4 Distribuzione delle perdite lungo le testate avvolgimenti Linea N.4

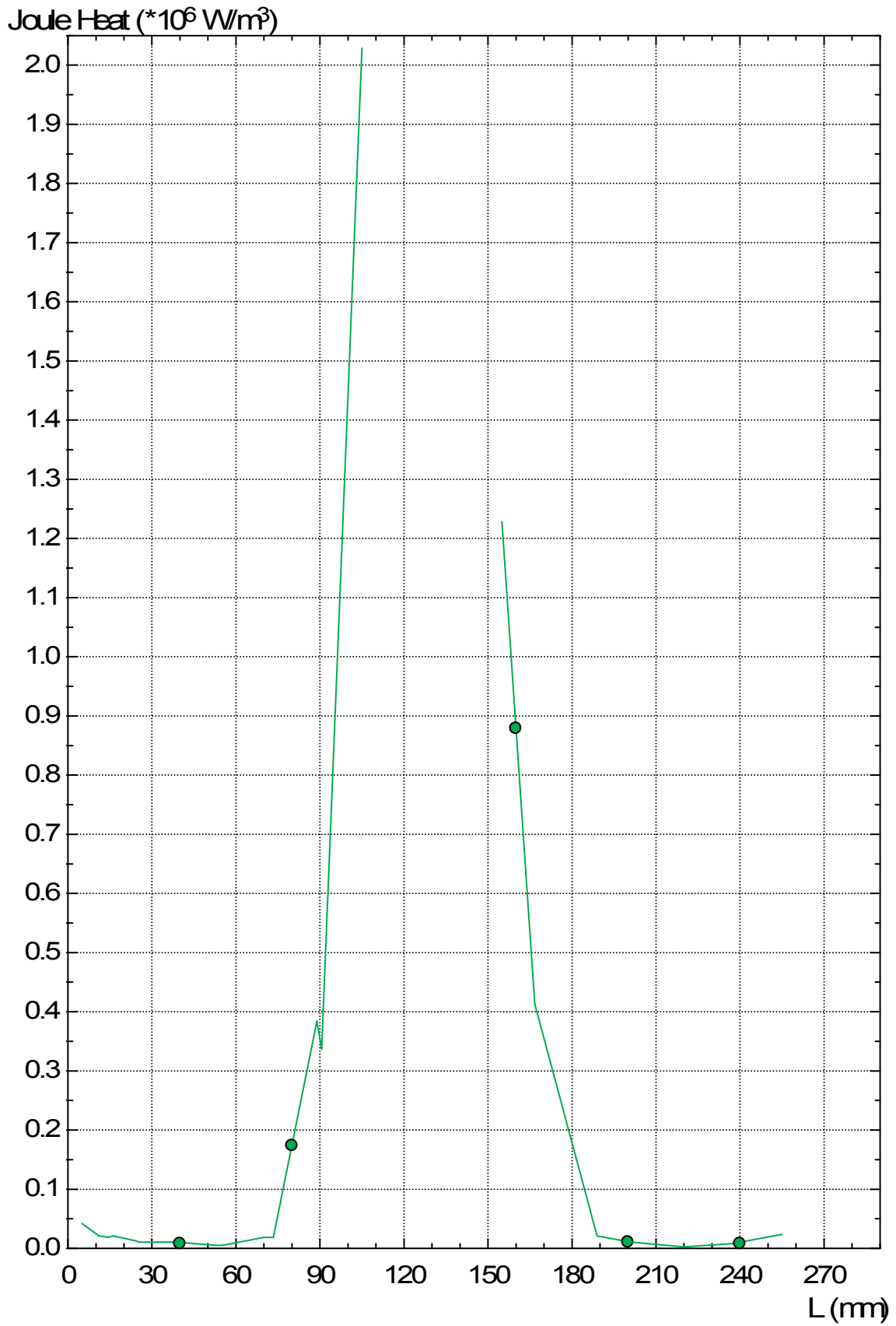
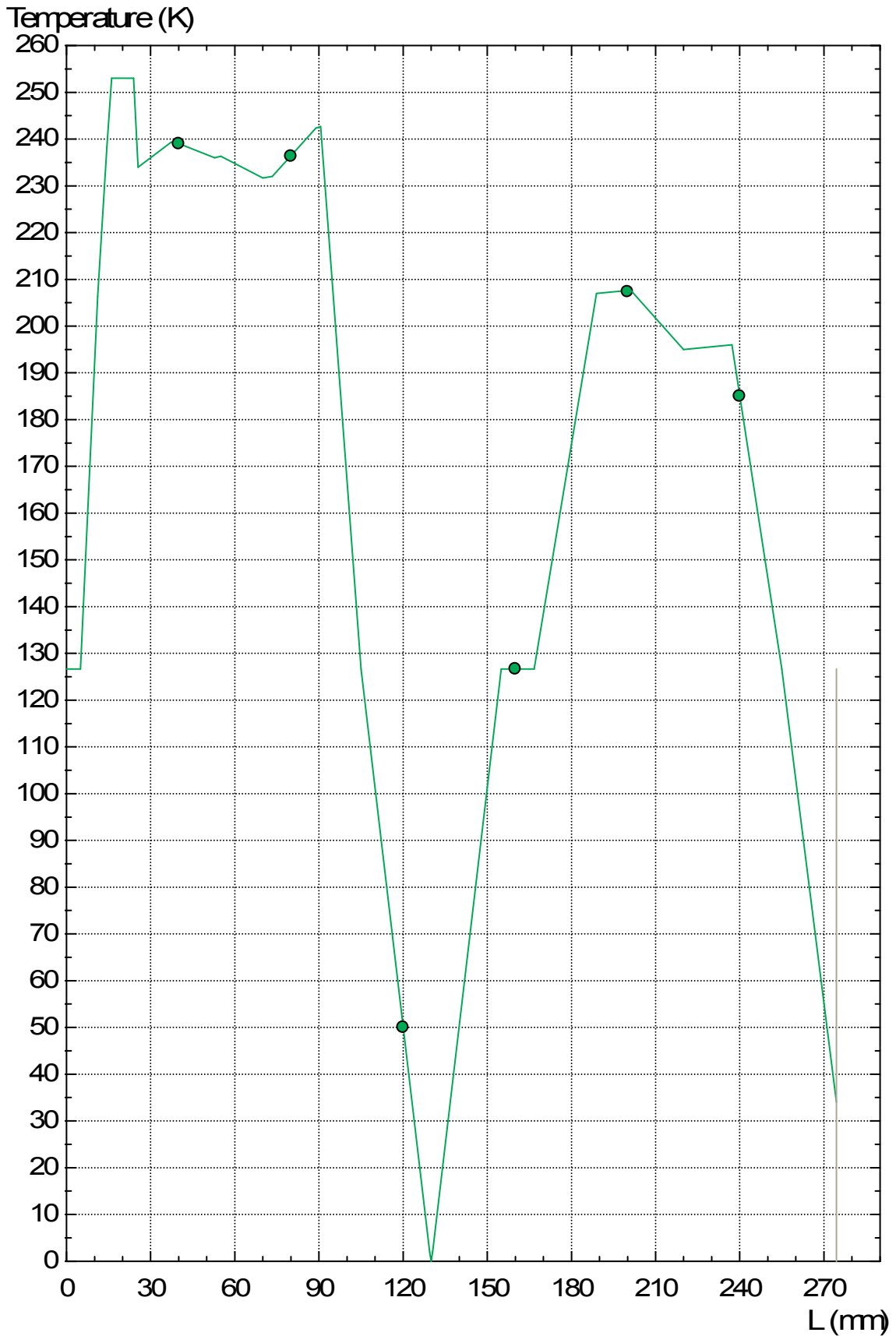


Fig. 22.5 Distribuzione delle temperature lungo le testate avvolgimenti Linea N.4

Nota: nei rame il calore si propaga uguagliando così I temperature nei corpi



CONTORNO AVVOLGIMENTO ESTERNO

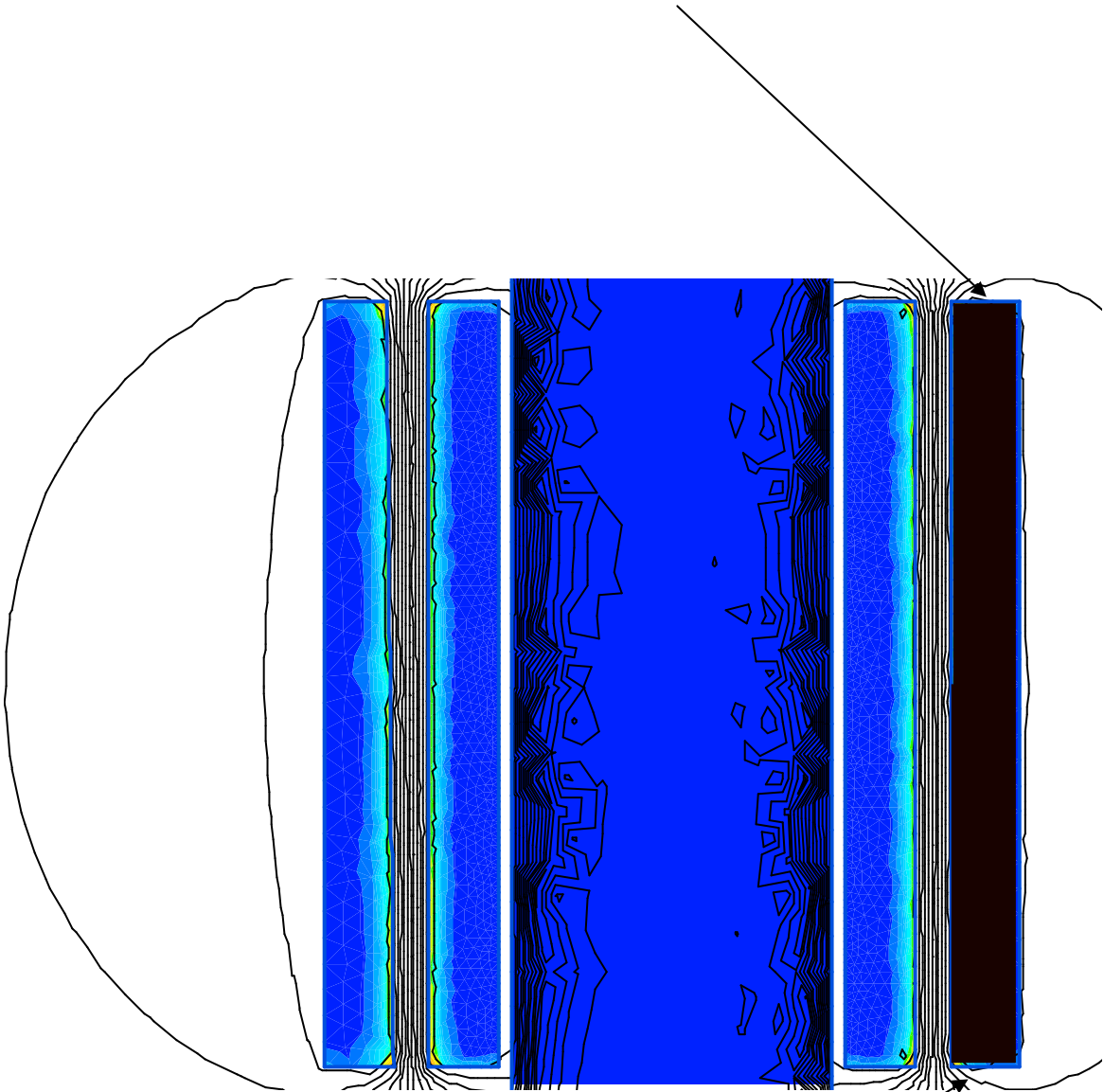


Fig . 23 Contorno avvolgimento esterno Linea N.5

IMPORTANTE PER LA PROGETTAZIONE

Usando l'integrazione lungo l'intero contorno chiuso, si hanno informazioni relative alle grandezze fisiche globali riguardanti l'avvolgimento referite ad 1 metro della sua lunghezza :

Per l'avvolgimento esterno si ha ;

Geometric Quantities :

Cross section area Sc = 109930 mm²
 Volume V= 1.0993e+8 mm³

Physical Quantities:

Power flow Average Value PS = -3602.1 W
 Maxwell force Average Value f = 774.64 N
 Eddy current I = 2347800 A
 Joule heat Average Value P = 6346.5 W
 Lorentz force Average Value f = 2033.4 N

Flux linkage per one turn Y = 0.0012685 Wb
 Average volume potential Av= 0.0012685 Wb/m
 Number of Turn N trn= 1

Inductance Wizard :

From Flux Linkage Flux Linkage: F = 0.0012639 (Wb)
 Current: I = 100000 (A)

Inductance = L 1.264e-8 (H)

Impedance Wizard

Impedance: Z 3.9817e-6 (Homs)

Per l'Avvolgimento Interno si ha

Number of Turn N trn= 1
 Inductance Wizard From Flux Linkage: F = 0.0045886 (Wb)
 Current: I = 100000 (A)

Inductance: L = 4.589e-8 (H)

Impedance Wizard

Impedance: Z = 1.4447e-5 (Ohm)

Per la coppia avvolgimenti Esterno Interno

Flux Linkage: $F = 0.0033438$ (Wb)
Impedance: $Z = 1.4447e-5$ (Ohm)

Number of Turn $N_{trn} = 1$
Inductance Wizard

From Flux Linkage $F = 0.0045886 - 0.0012639 = 0.0033438$ (Wb)
Current: $I = 100000$ (A)

Inductance Wizard $L = F/I = 0.0033438/100000 = 3.3434 \cdot 10^{-8}$

Impedenza Wizard $= 2 \cdot 3.14 \cdot \text{Freq} \cdot L = 2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 3.3434 \cdot 10^{-8} = 3.3434 \cdot 10^{-5}$ Ohm

IMPEDEENZA di corto circuito =

= Impedenza Wizard della coppia * la circonferenza media della stessa coppia

CONCLUSIONI

La reazione delle parti metalliche investite dal flusso disperso apporta non solo variazioni della distribuzione di questo, ma anche perdite addizionali con pericolo di bruciature e di scoppio per scariche nell'olio.

Questo fenomeno è tanto importante quanto è la potenza del trasformatore e la Impedenza i corto circuito dello stesso.

Importante è trovare il mezzo per neutralizzare gli effetti del flusso disperso usando opportuna schermatura magnetica od elettrodinamica.

Questo farà oggetto della seconda parte della presente presentazione.

Firma Dr. Ing. Giovanni Lanciano