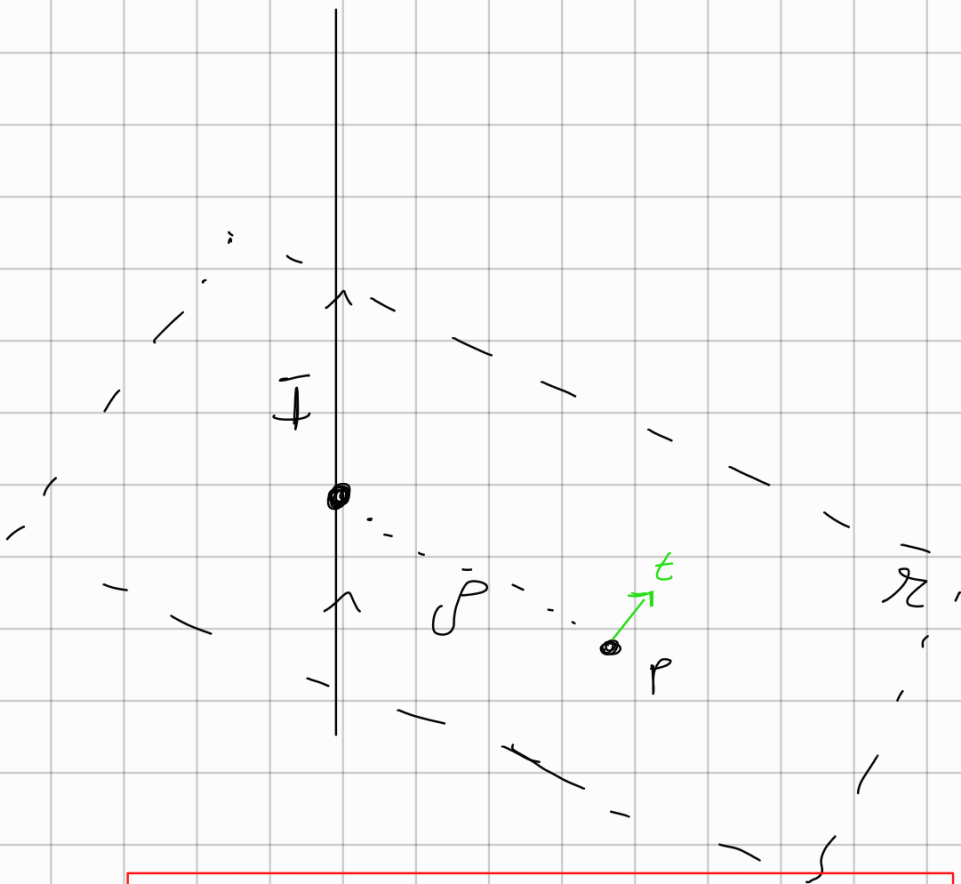


Recap.

Filo rettilineo infinito.

campo magnetico generato, calcoliamo il campo di induzione

piano perpendic. al filo che contiene il punto



$\vec{t}$ perpendicolare al piano che contiene P e I , e tangente ad una circonfer. di raggio r

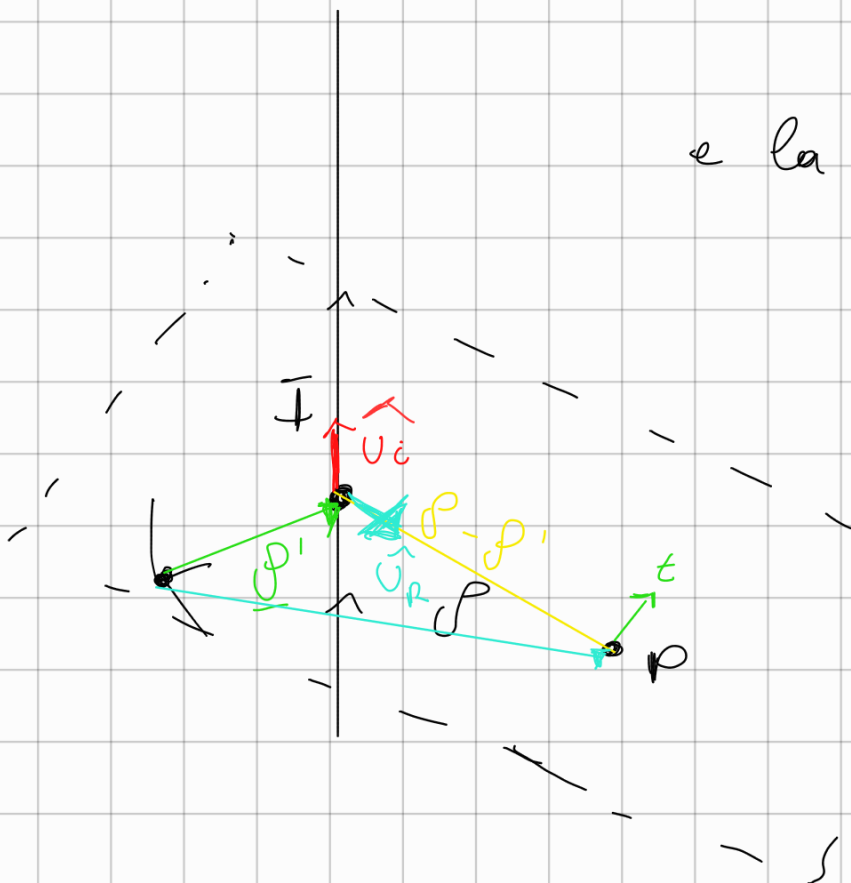
$$\underline{B}(r) = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I}{r} \hat{t}$$

Legge di
BIOT-SAVART

ma se abbiamo un sistema di riferimento generico, o più fili, anche paralleli, vale la sovrapposizione degli effetti, il campo di induzione magnetico è la somma VETTORIALE dei singoli campi, ma devo avere un unico sys di riferimento, e quindi:

posso sommarli

$\vec{t}$ possiamo anche calcolarlo così



e la distanza di P dal filo, diventa $|P-P'|$

involubila la direzione su cui mi sto muovendo per arrivare a P, muovendomi lungo il filo

$$U_R = \frac{(P-P')}{|P-P'|}$$

$$\hat{t} = \hat{M}_t \times \hat{M}_R$$

le linee di forza saranno concentriche

diminuisce con la distanza



Perfetta simmetria cilindrica

Esempio di calcolo 6.5

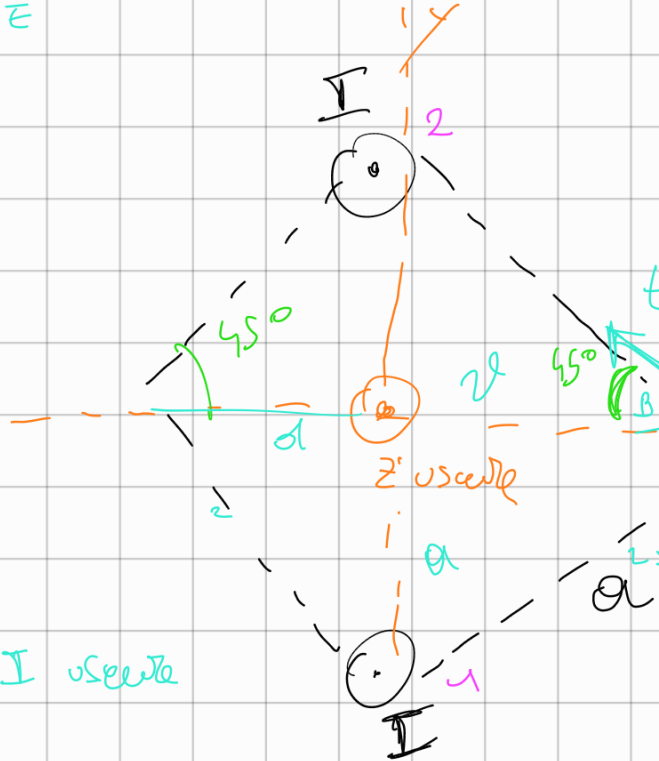
2 fili conduttori infiniti paralleli
paralleli nel vuoto

USO PSE

1 filo $B(r) = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \hat{\varphi}$
 solo quella $= \frac{\mu_0 I}{2\pi (r-r')} \hat{r}_i \times \hat{r}$
 $\hat{r} = \frac{r-r'}{|r-r'|}$

$a = 20 \text{ cm}$

$I = 265,9 \text{ A}$



lavoro sul
X piano del foglio

I uscite

$\hat{r}$ e $\hat{t}_1$ sono PERPENDIC.

modo migliore per la ricerca di rif. in.

$|B| = |B_2|$ con PSE
colloca 2 v. comp. esp.

2 vettori in base rispetto a colloca $\hat{y}$

ora devo esprimere $\hat{t}_1$ e $\hat{t}_2$ rispetto
stesso sys. di rif. versione, modulo
unitario

$\hat{t}_1 = -\cos 45^\circ \hat{x} + \sin 45^\circ \hat{y}$

$= \frac{\sqrt{2}}{2} (-\hat{x} + \hat{y})$

$\hat{t}_2 = \frac{\sqrt{2}}{2} (\hat{x} + \hat{y})$

esprimi stesso
sys di rif.

$$\underline{B}_1(P) = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I}{a} \frac{\sqrt{2}}{2} (-\hat{x} + \hat{y})$$

$$\underline{B}_2(P) = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I}{a} \frac{\sqrt{2}}{2} (\hat{x} + \hat{y})$$

Solo comp. lungo y

$$\underline{B}(P) = \underline{B}_1(P) + \underline{B}_2(P) = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I}{a} \sqrt{2} \hat{y}$$

posso farlo

$$\underline{B}(x) = 2(B_1(x)) \cos \vartheta \hat{y}$$

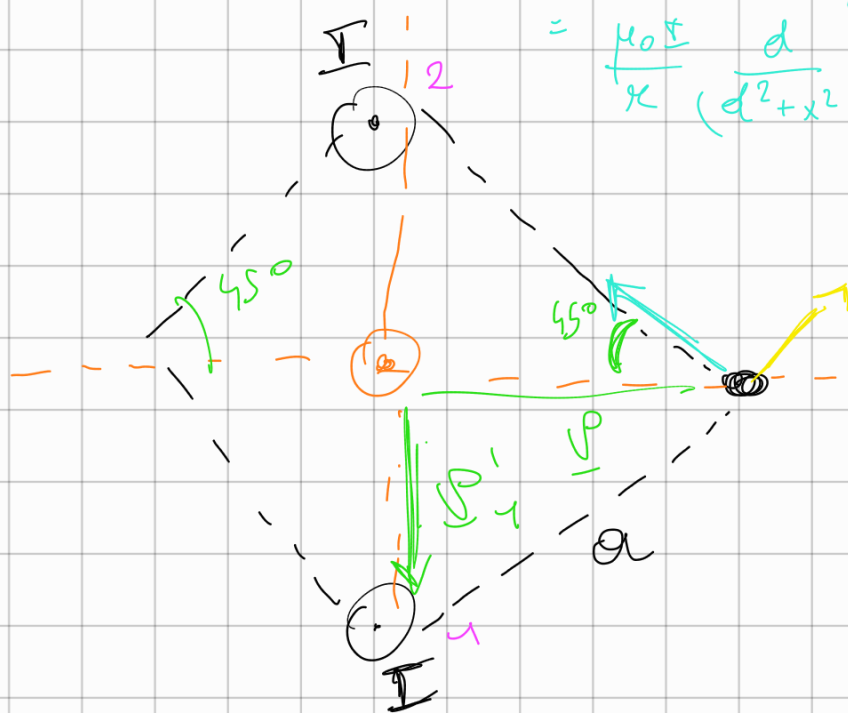
$$(a^2 + x^2) \cos \vartheta = d, \quad \cos \vartheta = \frac{d}{a^2 + x^2}$$

Allora notazione, meno errori ma più life

$$\underline{B}(x) = 2(B_1(x)) \cos \vartheta \hat{y} = \frac{\mu_0 I}{\pi} \frac{d}{(d^2 + x^2)} \hat{y}$$

$$\underline{v}_R = \frac{(\underline{p} - \underline{p}')}{|\underline{p} - \underline{p}'|}$$

$$\underline{B}(P) = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I}{|\underline{p} - \underline{p}'|} \hat{v}_1 \times \hat{v}_R$$



$$\underline{R}_1 = \hat{z}$$

$$\underline{p}_1 = -a \frac{\sqrt{2}}{2} \hat{y}$$

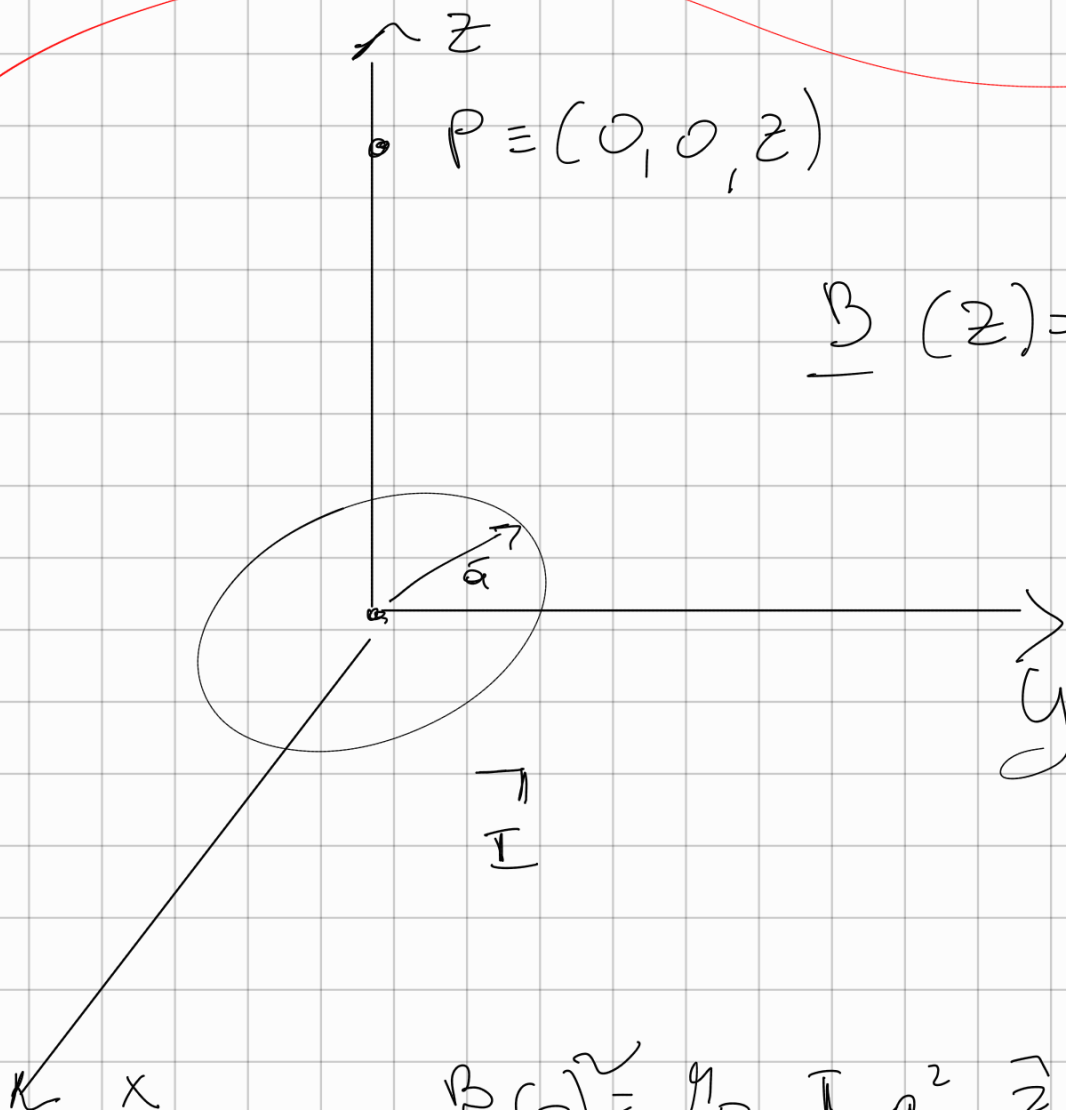
$$\underline{p} = a \frac{\sqrt{2}}{2} \hat{x}$$

$$\underline{p} - \underline{p}' = a \frac{\sqrt{2}}{2} (\hat{x} + \hat{y})$$

$$|\underline{p} - \underline{p}'| = a$$

$$\hat{e}_1 = \hat{z} \times \frac{(\underline{p} - \underline{p}_1)}{|\underline{p} - \underline{p}_1|} = \hat{z} \times \frac{\sqrt{2}}{2} (\hat{x} + \hat{y})$$

Spina di corrente circolare e
altre calcolato il campo
sull'asse della spina



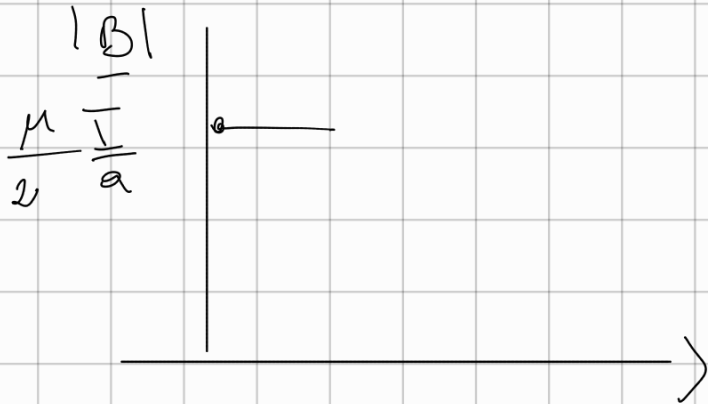
$$\underline{B}(z) = \frac{\mu_0}{2} \frac{I a^2}{(a^2 + z^2)^{3/2}} \hat{z}$$

$$\underline{B}(0) = \frac{\mu_0}{2} \frac{I a^2}{a^3} \hat{z} = \frac{\mu_0}{2} \frac{I}{a} \hat{z}$$

Sia sopra che sotto, il campo indotto
magnetico è orientato nello
stesso modo

$$(-z)^2 = z^2, \text{ car c'est l'unique scalaire}$$

$$\text{Se } a^2 \gg z^2$$

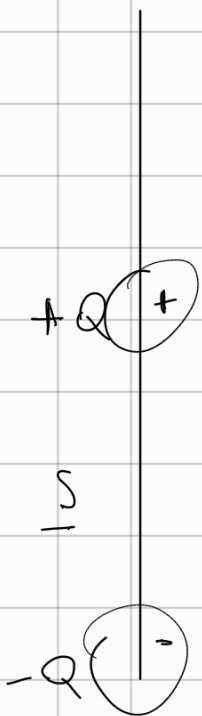


$$\text{Se } z^2 \gg a^2$$

$$B(z) \approx \frac{\mu_0}{2} \frac{\sum a^2 \hat{z}}{z^3}$$

les termes d'ordre 2

analyse dipole el.



$$p = q \delta$$

$$E(r) = k_e \frac{p}{a^3}$$

$$\vec{B}(z) \approx \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{\overset{\text{aumentato di } \pi}{\cancel{\pi}} a^2}{z^3} \hat{z} =$$

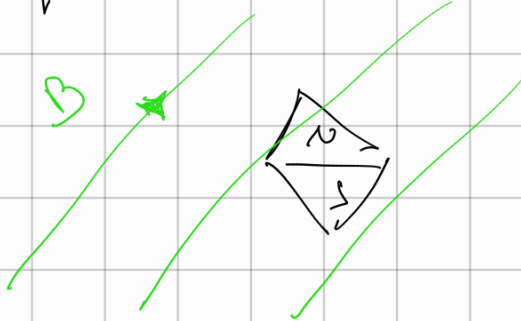
è il momento magnetico

$$\underline{m} = I S \hat{n} = I \pi a^2 \hat{z}$$

la nostra spina è il nostro quello

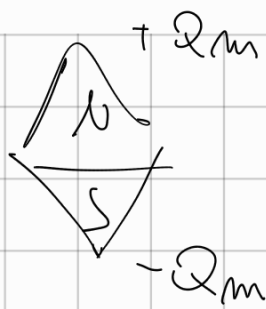
$$= \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{m}{z^3}$$

Se prendo un ago magnetico



le linee di forza si allungano agli estremi come se l'ago fosse assimilabile a un dipolo magnetico con carica positiva e negativa magnetica agli estremi (che non esistono)

Potrei anche introdurre "fittiziamente" il momento di dipolo magnetico, e l'ago si comporta in modo analogo ad un dipolo magnetico in un campo elettrostatico, e si esercita sull'ago una coppia di forze



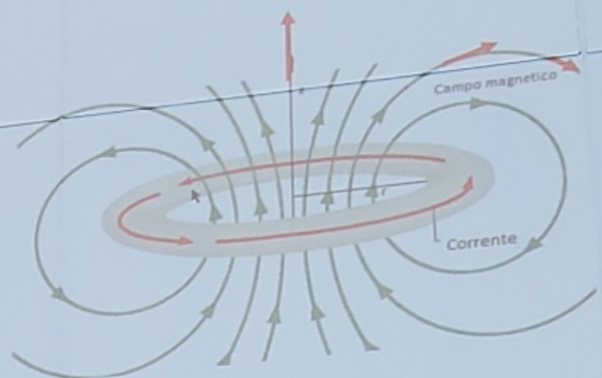
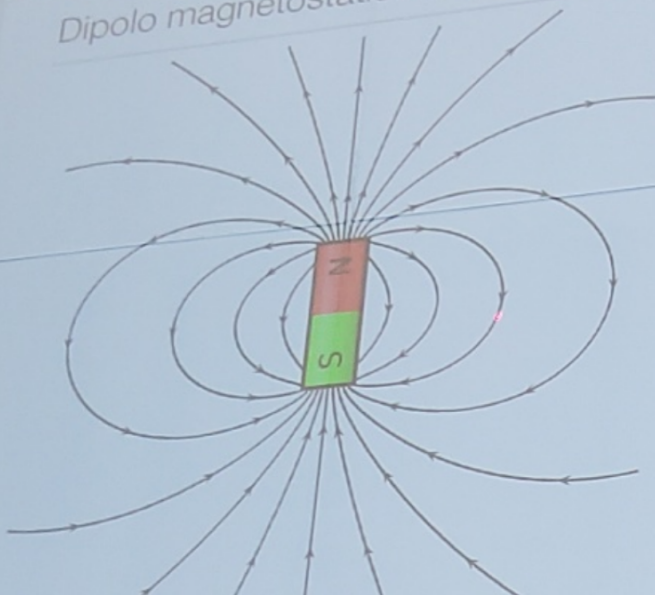
$$\underline{m} = \underline{k} Q_m$$

$$\underline{M} = \underline{m} \times \underline{B}$$

Come per il corpo elettrico $\underline{M} = \underline{p} \times \underline{E}$

C'è una equivalenza duale fra un polo magnetico (che schermerebbe un dipolo magnetico) e una spira di corrente. Si confronta allo stesso modo

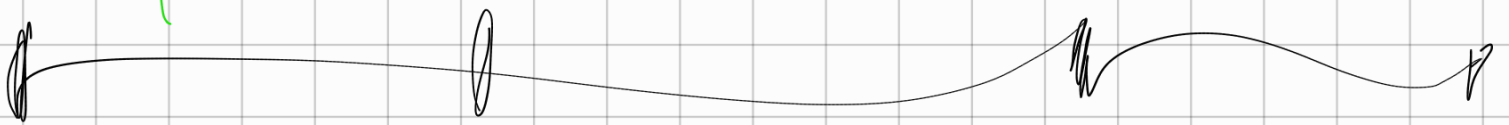
Dipolo magnetostatico e spira di corrente costante



C'è un campo di induzione
magnetica

l'assunto momento magnetico e
le linee di forza del campo
magnetostatico

completa analogia, qui nella
volto genera un dipolo
magnetico, mentre una
spina



CAMPO DI INDUZIONE MAGNETOSTATICA
SULL'ASSE DI UN SOLENOIDE

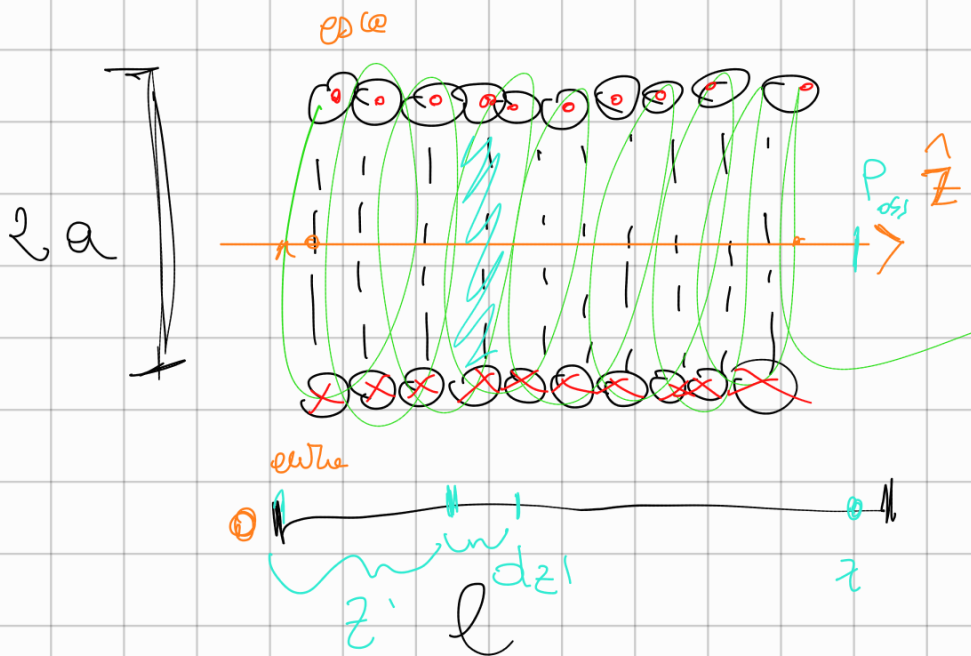
- avvolgimento compatto di n
spine di corrente

ogni anello genera un campo

un filo dritto, una bobina solenoide.

Sovrapposizione di campi

verso $\hat{z}$ ved
corrente per
in tutto cilindro



$n = \#$ spine per

$a =$ raggio cilindro

$l =$ lunghezza solenoide

no $m \times l$ spine

per ogni punto z
sulla

$$B(z) = \frac{\mu_0}{2} \frac{I a^2}{(\sqrt{a^2 + z^2})^3} \hat{z}$$

Voglio calcolare il campo in un punto
a caso dell'asse z .

introduco numero di spine per

$$N = \frac{n}{l} \quad \text{numero di spine per unit\`a di lunghezza}$$

Considero un poco di spira resistiva nel punto
 z' , e la sua lunghezza sia dz'

Quanto vale il contributo di dz' ?

• posso considerarla come unica spira di $N dz'$ spine
e con corrente $N dz' I$ sempre

obtiens l'expression $B(z) = \frac{\mu_0}{2} \frac{I a^2}{(a^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} \hat{z}$

$$d\mathcal{B}(z) = \frac{\mu_0}{2} \frac{I a^2 N dz'}{[a^2 + (z - z')^2]^{\frac{3}{2}}}$$

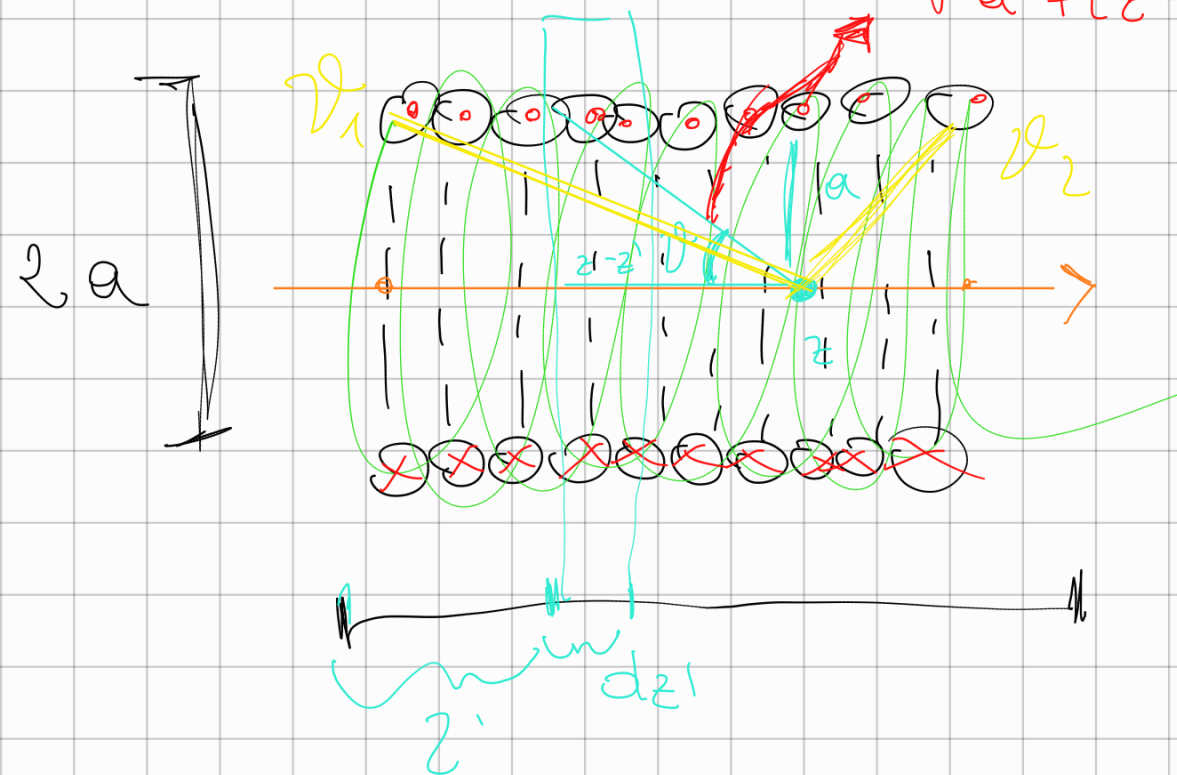
dist. den dove
mi sawo
posit.

$$= \int \frac{B(z)}{z} = \int_0^{\infty} \frac{\mu_0}{2} \frac{N dz' I a^2}{[a^2 + (z - z')^2]^{\frac{3}{2}}}$$

↳ contributo d'uscita 2, piccolo

Nolte spine c $z - z'$ e la linea

$$\sqrt{a^2 + (z - z')^2}$$



$$\sqrt{a^2 + (z - z')^2} \cos \vartheta = z - z'$$

$$\sqrt{a^2 + (z - z')^2} \sin \vartheta = a$$

divisibile

$$\frac{a}{(z - z')} = \tan \vartheta$$

$$(z - z') = \frac{a}{\tan \vartheta}$$

$$dz' = \frac{a}{\sin^2 \vartheta} d\vartheta$$

$$R^3 = \frac{a}{\sin^3 \vartheta}$$

$$\Rightarrow d\mathcal{B}(z) = \frac{\mu_0}{2} \frac{I a^2}{a^3} N \left(\frac{a}{\sin^2 \vartheta} \sin^3 \vartheta d\vartheta \right) \hat{z}$$

$$= \int_0^l \frac{\mu_0}{2} \frac{N dz' I a^2}{(a^2 + (z - z')^2)^{3/2}} \hat{z} = \int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} \frac{\mu_0}{2} I N \sin \vartheta d\vartheta \hat{z}$$

Corpo su asse del solenoide

$$\Rightarrow \underline{B}(z) = \frac{\mu_0}{2} I N \left[-\cos \vartheta \right]_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} \hat{z} =$$

$$\underline{B}(z) = \frac{\mu_0}{2} I N \left[\cos \vartheta_1 - \cos \vartheta_2 \right] \hat{z}$$

calcolo esplicitamente

esprimere
corpo spiro
in un punto z
quello di

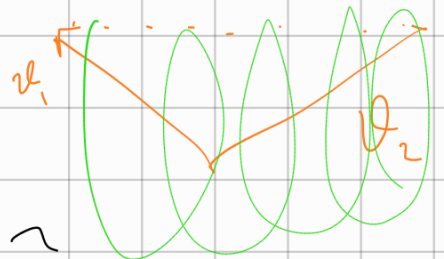
Cambio variabile
da dz' a $d\vartheta$

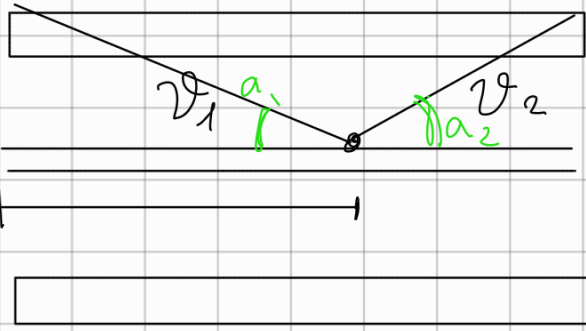
con ϑ posso scandire
tutta l'elica, tutto il
solenoide

invece di z'

dz'

$\hat{z}$





$$\alpha_1 = 180 - \theta_2$$

$$\cos \alpha_2 = \cos(180 - \theta_2) = -\cos \theta_2$$

$$\Rightarrow \cos \alpha_2 = -\cos \theta_2 = \frac{(l-z)}{\sqrt{a^2 + (l-z)^2}}$$

$$\sqrt{a^2 + z^2} \cos \theta_1 = z$$

$$\cos \theta_1 = \frac{z}{\sqrt{a^2 + z^2}}$$

$$= \sqrt{a^2 + (l-z)^2} \cos \alpha_2 = l-z$$

$$\sqrt{a^2 + (z-z')^2} \cos \theta = (z-z')$$

$$\cos \theta = \frac{z-z'}{\sqrt{a^2 + (z-z')^2}}$$

$$z' = 0$$

$$\hookrightarrow \cos \theta = \frac{z}{\sqrt{a^2 + z^2}}$$

$$\sqrt{a^2 + z^2}$$

$$z' = L, \cos \theta = \frac{z-L}{\sqrt{a^2 + (z-L)^2}}$$

$$\frac{\mu_0}{2} I N \left\{ \frac{z}{\sqrt{a^2 + z^2}} - \frac{(z-l)}{\sqrt{a^2 + (z-l)^2}} \right\}$$

$$z = l/2 \quad B\left(\frac{l}{2}\right) = \frac{\mu_0}{2} I N \left(\frac{l}{\sqrt{a^2 + \frac{l^2}{4}}} \right)$$

mi aspetto che il campo sia

più forte nel mezzo che vicino

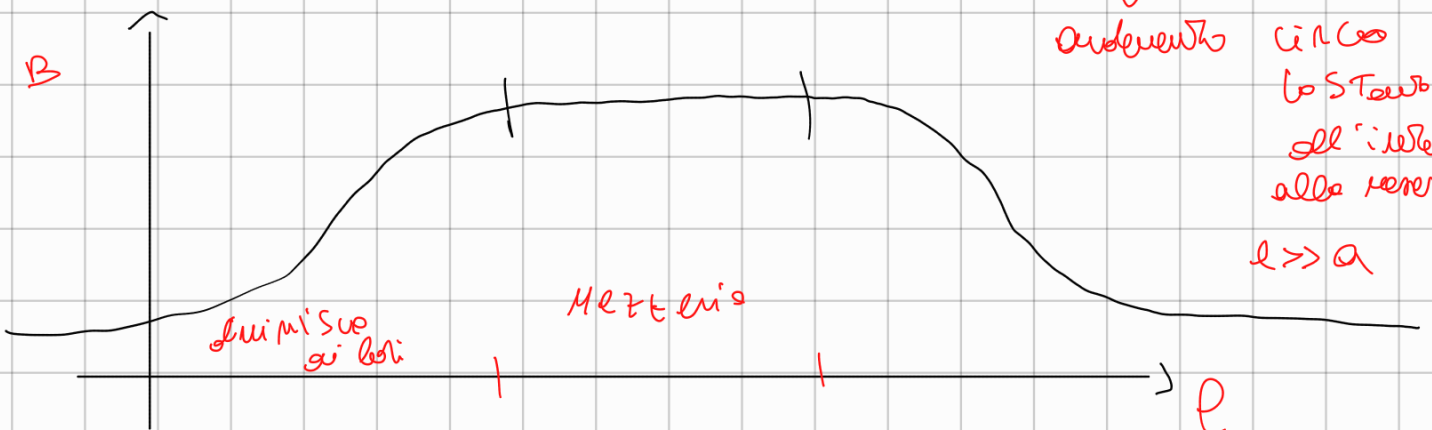
ai lati

$$B(z) = \mu_0 I N \hat{z}$$

Soluzione
INFIN

Corpo
infinito
come z
Soluzione INF

• andamento di B lungo l'asse z



andamento
limite
lo stesso
all'interno
alla periferia

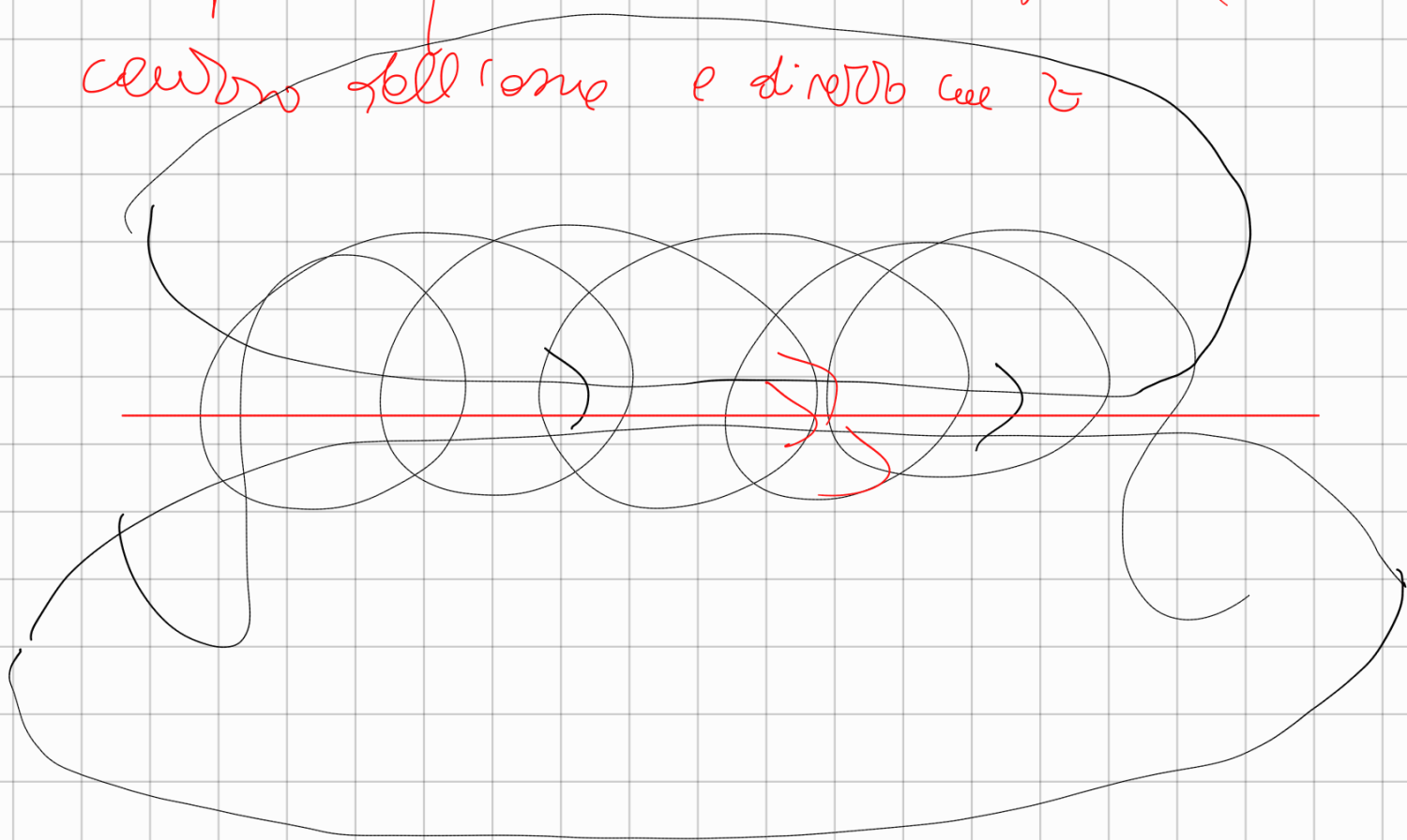
$$l \gg a$$

se a è piccolo e l è lungo rispetto
ad a , il campo interno è
più o meno costante

Se filo infinito $\mathcal{V}_1 = \pi$ $\mathcal{V}_2 = 0$

$$\underline{B}(z) \approx \mu_0 I N \hat{z} \quad \text{Solenoide
infinito}$$

Campo più o meno uniforme
entro il solenoide e diverso qui



linee di forza del campo magnetico
è sempre una linea chiusa

OSU qualcuno o tu se son