

Comprende versione
ebook



F. Porto • G. Lanzalone • I. Lombardo • D. Dell'Aquila

Problemi di Fisica Generale

Elettromagnetismo - Ottica - Relatività

II Edizione



Accedi ai contenuti digitali

Espandi le tue risorse
un libro che **non pesa**
e si **adatta** alle dimensioni
del **tuoi lettore!**



Utilizza il codice personale contenuto nel riquadro per registrarti al sito **edisesuniversita.it** e accedere alla **versione digitale** del testo e al **materiale didattico**.

Scopri il tuo **codice personale** grattando delicatamente la superficie

Il volume NON può essere venduto, né restituito, se il codice personale risulta visibile.
L'accesso al materiale didattico sarà consentito per 18 mesi.

Per attivare i **servizi riservati**, collegati al sito **edisesuniversita.it** e segui queste semplici istruzioni

Se sei registrato al sito

- clicca su *Accedi al materiale didattico*
- inserisci e-mail e password
- inserisci le ultime 4 cifre del codice ISBN, riportato in basso a destra sul retro di copertina
- inserisci il tuo **codice personale** per essere reindirizzato automaticamente all'area riservata

Se non sei già registrato al sito

- clicca su *Accedi al materiale didattico*
- registrati al sito o autenticati tramite facebook
- attendi l'e-mail di conferma per perfezionare la registrazione
- torna sul sito **edisesuniversita.it** e segui la procedura già descritta per *utenti registrati*



Ulteriori materiali e strumenti didattici sono accessibili dalla propria **area riservata** secondo la procedura indicata nel frontespizio.

Dalla sezione **materiali e servizi** della tua area riservata potrai accedere a:

- **Ebook:** versione digitale del testo in formato epub, standard dinamico che organizza il flusso di testo in base al dispositivo sul quale viene visualizzato. Fruibile mediante l'applicazione gratuita Bookshelf, consente una visualizzazione ottimale su lettori e-reader, tablet, smartphone, iphone, desktop, Android, Apple e Kindle Fire.

L'accesso ai contenuti digitali sarà consentito per **18 mesi**

**FRANCESCO PORTO - GAETANO LANZALONE
IVANO LOMBARDO - DANIELE DELL'AQUILA**

PROBLEMI DI FISICA GENERALE

ELETTRONAGNETISMO – OTTICA – RELATIVITÀ

SECONDA EDIZIONE RIVEDUTA ED AMPLIATA



Francesco Porto, Gaetano Lanzalone, Ivano Lombardo, Daniele Dell'Aquila
Problemi di Fisica Generale - II Edizione
Elettromagnetismo - Ottica - Relatività
Copyright © 2021, EdiSES Edizioni S.r.l - Napoli

9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
2024 2023 2022 2021

Le cifre sulla destra indicano il numero e l'anno dell'ultima ristampa effettuata

A norma di legge è vietata la riproduzione, anche parziale, del presente volume o di parte di esso con qualsiasi mezzo.

L'Editore

L'Editore ha effettuato quanto in suo potere per richiedere il permesso di riproduzione del materiale di cui non è titolare del copyright e resta comunque a disposizione di tutti gli eventuali aventi diritto

Stampato presso la: Print Sprint S.r.l. - Napoli

Per conto della:
EdiSES Edizioni S.r.l. – Piazza Dante, 89 – Napoli

www.edisesuniversita.it assistenza.edises.it

ISBN 978 88 3623 062 4

I curatori, l'editore e tutti coloro in qualche modo coinvolti nella preparazione o pubblicazione di quest'opera hanno posto il massimo impegno per garantire che le informazioni ivi contenute siano corrette, compatibilmente con le conoscenze disponibili al momento della stampa; essi, tuttavia, non possono essere ritenuti responsabili dei risultati dell'utilizzo di tali informazioni e restano a disposizione per integrare la citazione delle fonti, qualora incompleta o imprecisa.

Realizzare un libro è un'operazione complessa e, nonostante la cura e l'attenzione poste dagli autori e da tutti gli addetti coinvolti nella lavorazione dei testi, l'esperienza ci insegna che è praticamente impossibile pubblicare un volume privo di imprecisioni. Saremo grati ai lettori che vorranno inviarci le loro segnalazioni e/o suggerimenti migliorativi sulla piattaforma assistenza.edises.it

Prefazione alla seconda edizione

Diverse sono le motivazioni che ci hanno portato a stilare una seconda edizione del nostro libro di *Problemi di Fisica*. Innanzitutto, la constatazione che il testo sia stato accolto, negli scorsi sette anni, in modo positivo dai colleghi e dagli studenti impegnati nella preparazione degli esami di Fisica Generale II. In secondo luogo, la necessità di ampliare la tipologia di problemi proposti e renderne possibile una diversificazione in base ad un ordine di difficoltà crescente. Infine, l'occasione di effettuare una profonda revisione critica del testo, a favore di una maggior chiarezza degli svolgimenti proposti. La seconda edizione ci ha permesso anche di rivedere profondamente l'impostazione tipografica del libro, consentendo, a nostro parere, la realizzazione di un formato più facilmente fruibile da parte del lettore.

Lo scopo principale dell'opera rimane quello della prima edizione: fornire agli studenti un supporto che consenta loro di esercitarsi per il superamento di un esame scritto di Fisica Generale II. Per raggiungerlo, abbiamo introdotto diverse novità nel testo. Tenuto conto della vasta platea di studenti cui il libro è indirizzato (allievi *fisici, matematici, chimici, ingegneri*), e del diverso grado di difficoltà degli esercizi d'esame che essi possono incontrare, abbiamo deciso in questa edizione di classificare la difficoltà dei problemi con un sistema di stelle (da una a tre), in ordine di difficoltà crescente. In questo modo lo studente può subito rendersi conto dell'impegno che sarà necessario per la risoluzione del problema. Il numero complessivo di problemi è aumentato (adesso sono oltre quattrocento) ed è stata accresciuta notevolmente anche la percentuale di esercizi più impegnativi presenti in questa raccolta.

Come nell'edizione precedente, i problemi sono completamente svolti, ma è buona norma ricordare agli studenti di provare a risolvere da soli gli esercizi, e solo dopo diversi tentativi consultare la soluzione proposta. Per evitare la tentazione di guardare subito i dettagli della soluzione, abbiamo posto i risultati finali dentro dei riquadri, che ne esaltano la visibilità rispetto al resto dello svolgimento. Questa edizione vede anche la presenza di un nuovo capitolo di problemi di elettromagnetismo relativistico, che può essere di aiuto agli allievi di fisica e matematica. A questa edizione ha contribuito un nuovo autore (D.D.A.), che ha coadiuvato i tre precedenti (F.P., G.L., I.L.) nella revisione dell'opera e nella stesura di nuovi problemi. Gli autori sono grati a tutti i docenti e gli studenti che hanno porto i loro suggerimenti e commenti alla precedente edizione, contribuendo al miglioramento dell'opera. Sono inoltre grati all'Editore per l'interessamento mostrato nella realizzazione di questa nuova edizione.

Catania, settembre 2021

F. Porto, G. Lanzalone
I. Lombardo, D. Dell'Aquila

Dalla prefazione alla prima edizione

Gli esami di Fisica Generale I e II presentano una peculiarità che non tutti gli altri esami del corso di laurea in Fisica e di altri corsi di studio in cui la Fisica viene studiata posseggono: il superamento di un esame scritto, che normalmente consiste nella risoluzione di problemi su alcuni argomenti basilari del corso.

Questa prova risulta particolarmente impegnativa perché lo studente, anche se gli è consentita la consultazione di testi, si viene a trovare solo con sé stesso in una prova in cui deve dimostrare di aver acquisito una padronanza degli argomenti del programma ed una capacità di analisi e di sintesi che gli consentono di individuare i metodi più rapidi per poter risolvere la sequenza dei problemi proposti. Chi ha acquisito una lunga esperienza didattica nel corso specifico di Fisica Generale II, avrà potuto constatare la difficoltà di molti studenti a superare la soglia, ove presente, che consentisse di proseguire l'esame proficuamente. Ciò comportava che un numero non indifferente di esaminandi era costretto a presentarsi più volte per superare questa prova.

Da un'analisi di tali risultati si è potuto dedurre che, oltre a pochi casi in cui la difficoltà, mediata su tutti i problemi proposti, poteva risultare più elevata rispetto al corso o alle esercitazioni in esso svolte, due erano i principali fattori che potevano determinare un insuccesso. Uno è la mancata percezione della difficoltà della prova prima di affrontarla per la prima volta, per cui non si era ritenuto di seguire con costanza le esercitazioni, stabilire un contatto assiduo con i docenti, nonché prepararsi specificatamente alla risoluzione di problemi. Secondo fattore, come già accennato, è il venirsi a trovare, e per la prima volta, soli con sé stessi (all'orale c'è comunque il docente con cui si dialoga) davanti ai quesiti del problema che bisogna impegnarsi a risolvere in un tempo limitato, ragionevole, ma non infinito. Per questi motivi abbiamo ritenuto molto utile mettere a disposizione dello studente un'ampia raccolta di problemi di varia tipologia, già proposti agli esami, sulla quale lo studente possa allenarsi e prepararsi ad affrontare la prova d'esame con successo [...] Uno di noi (F.P.) che ha tenuto per 22 anni il corso di Fisica Generale II per fisici al Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Catania, rivolge un sentito ringraziamento non solo ai due coautori [...] ma anche agli altri colleghi (P. Tomasello, C. Tuvè, R. Barbera, F. Cappuzzello, E. La Guidara, P. Russotto, E. Bruno, E. Geraci), che, come loro, gli hanno dato via via la loro collaborazione con dedizione e professionalità in questo lungo lasso di tempo sia nello svolgimento di esercitazioni che nella conduzione degli esami.

L'opera è dedicata agli studenti passati perché possa essere utile agli studenti futuri, a cui auguriamo un proficuo apprendimento della Fisica Generale.

Infine, saremo grati a quanti volessero segnalarci errori e imprecisioni inevitabilmente presenti nel testo.

Catania, agosto 2014

F. Porto, G. Lanzalone, I. Lombardo

Francesco Porto (Udine 1942), dopo la maturità classica, consegue la laurea in Fisica presso l'*Università di Catania* nel 1965 e, dopo alcuni anni di insegnamento nelle scuole superiori, è Professore Incaricato di *Esperimentazione di Fisica I* presso la stessa Università dal 1968. Professore Ordinario dal 1987, è titolare del corso di *Fisica Generale II* per Fisici fino al pensionamento. Per quanto riguarda l'attività di ricerca: è stato responsabile di diverse ricerche nel campo della *Fisica Nucleare* alle energie basse ed intermedie, nell'ambito INFN, anche in importanti collaborazioni internazionali, ha ottenuto una permanenza annuale presso il *Max Planck Institut* di Heidelberg e ha fornito un valido contributo alla realizzazione e allo sviluppo del *Laboratorio Nazionale del Sud* di Catania. Ha ricoperto vari incarichi accademici, fra i quali, per sei anni, la Direzione del *Dipartimento di Fisica e Astronomia* dell'Università di Catania. In quiescenza dal 2013, per il 2017, l'*Istituto Nazionale di Fisica Nucleare* gli ha attribuito un incarico di ricerca quale scienziato emerito.

Gaetano Lanzalone (Catania 1968) dopo il diploma di Laurea in Fisica (Indirizzo *Applicativo Nucleare*) consegue nel 1998 il titolo di *Dottore di Ricerca in Fisica*. Nel 1999, riceve un invito biennale di ricerca presso l'*IPN di Orsay*, Francia. Rientra a Catania nel 2001 con un assegno di ricerca quadriennale. Nel 2005, è *Direttore Fisico* presso la *Commissione Permanente per gli Esperimenti del Materiale da Guerra del Ministero della Difesa*. Dal 2008 al 2017, è stato ricercatore di *fisica sperimentale* presso l'*Università di Enna "Kore"*. Dal 2017, è Professore Associato, e dal 2018 è abilitato come professore ordinario di *fisica sperimentale*. È stato titolare di numerosi insegnamenti di *Fisica*, membro di collegi di *Dottorato di Ricerca* e *Presidente* di corsi di Laurea in *Ingegneria*. In qualità di incaricato di ricerca presso i Laboratori Nazionali del Sud dell'INFN, ha svolto la sua attività di ricerca nel campo della *fisica nucleare* alle energie basse e intermedie, e nel campo dei *plasmi con laser* per esplorare la *fusione e fenomeni astrofisici*.

Ivano Lombardo (San Cataldo, CL, 1983), dopo la maturità scientifica, ha conseguito la laurea Specialistica in *Fisica* presso l'*Università di Catania* nel 2007 e il titolo di *Dottore di Ricerca*, presso lo stesso ateneo, nel 2011. È stato assegnista di ricerca e poi Ricercatore presso il *Dipartimento di Fisica dell'Università di Napoli Federico II* fino al 2017. È attualmente Ricercatore presso la Sezione di Catania dell'*Istituto Nazionale di Fisica Nucleare*. Si è occupato di ricerche sulla *struttura a cluster* e sulla *dinamica dei nuclei atomici*, proponendo numerosi esperimenti presso laboratori di ricerca nazionali ed internazionali. È stato docente di svariati insegnamenti di fisica generale per *Fisici, Chimici e Ingegneri* e fisica nucleare per *Fisici* presso gli atenei di Napoli e Catania, ed è autore di un libro di problemi di *fisica nucleare e subnucleare*.

Daniele Dell'Aquila (Catania 1990), ha conseguito la laurea Magistrale in *Fisica* presso l'Università degli Studi di Catania nel 2014 e il titolo di *Dottore di Ricerca in Fisica* nel 2018 presso le *Università di Napoli Federico II e Parigi XI (Paris-Saclay)*. È stato ricercatore presso la *Michigan State University* (U.S.A.) dal 2017 al 2019, e presso l'*Institut Ruder Bošković* di Zagabria (Croazia) dal 2019 al 2020. Dal 2020, è ricercatore presso l'*Università degli Studi di Sassari* e docente del corso di *Fisica Generale* per Ingegneri Informatici. Tra gli argomenti di ricerca principali, si occupa dello studio della struttura e della dinamica nucleare in reazioni nucleari alle basse e medie energie e dello sviluppo di algoritmi di intelligenza artificiale in svariati campi di ricerca scientifica, tra i quali *Fisica Nucleare, Fisica delle Onde Gravitazionali e Medicina*.

INDICE

Capitolo 1: Elettrostatica	pag. 9
<i>Forze e campi elettrici per: a) cariche puntiformi, b) cariche distribuite – Legge di Gauss – Moto di cariche in campi elettrici – Potenziale elettrostatico – Energia del campo elettrostatico – Condensatori – Campo elettrico nei dielettrici.</i>	
Capitolo 2: Circuiti in corrente continua	pag. 143
<i>Corrente continua – Resistenza – Leggi di Ohm e di Joule – Circuiti puramente resistivi – passaggio dell'elettricità nei liquidi – Circuiti capacitivi in condizione di regime – Circuiti capacitivi nel transiente.</i>	
Capitolo 3: Magnetostatica	pag. 207
<i>Campi magnetici generati da: a) fili rettilinei percorsi da corrente; b) correnti distribuite; c) cariche in moto; d) spire percorse da corrente; e) solenoidi – Legge di Ampère - Forza di Lorentz – Moto di cariche in campi magnetici – Selettore di velocità – Spettrometro di massa – Ciclotrone – Effetto Hall – Magnetismo nella materia – Circuiti magnetici.</i>	
Capitolo 4: Induzione elettromagnetica	pag. 281
<i>Legge di Faraday-Neumann-Lenz – Induttanza – Circuiti indutti – Energia del campo magnetico – Legge di Ampère-Maxwell – Potenziale vettore – Mutua induzione.</i>	
Capitolo 5: Circuiti in corrente alternata	pag. 353
<i>Circuiti oscillanti – Circuiti in corrente alternata – Metodo dei vettori rotanti – Metodo dei numeri complessi – Trasformatori.</i>	
Capitolo 6: Onde Elettromagnetiche	pag. 387
<i>Equazione e propagazione dell'onda – Vettore di Poynting – Intensità dell'onda – Quantità di moto – Energia – Forza – Pressione di radiazione – Energia termica – Fotoni.</i>	
Capitolo 7: Ottica fisica	pag. 431
<i>Riflessione e rifrazione della luce – Interferenza – Esperienza di Young – Lamine sottili – Diffrazione da fenditure – Criterio di Raleigh – Reticolo di diffrazione – Legge di Bragg – Polarizzazione della luce – Legge di Malus – Angolo di Brewster – Polarimetro – Birifrangenza.</i>	
Capitolo 8: Ottica geometrica	pag. 473
<i>Riflessione e rifrazione della luce – Leggi di Snell-Cartesio – Prismi ottici – Angolo limite – Specchi sferici e piani – Dotti sferici – Lenti sottili convergenti e divergenti – Sistemi di lenti sottili.</i>	
Capitolo 9: Fisica moderna	pag. 509
<i>Effetto photoelettrico – Effetto Compton – Atomo di Bohr – Il nucleo atomico – Energia di legame.</i>	
Capitolo 10: Relatività ed elettromagnetismo	pag. 531
<i>Trasformazioni di Lorentz e loro conseguenze – Dinamica relativistica delle particelle cariche nei campi elettromagnetici – Trasformazioni dei campi elettromagnetici</i>	
Bibliografia	pag. 553
Appendici	pag. 554

Capitolo 3

Magnetostatica

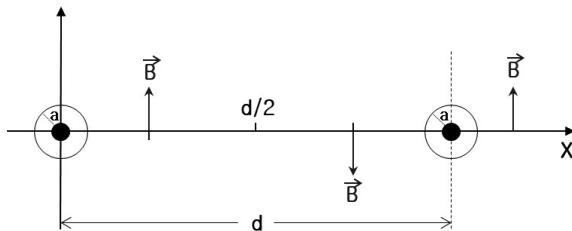
Simbologia Usata

B	<i>induzione magnetica</i>	F	<i>forza</i>
H	<i>campo magnetico</i>	τ	<i>momento meccanico</i>
M	<i>magnetizzazione</i>	n	<i>numero di spire per unità di lunghezza</i>
A	<i>potenziale vettore</i>	N	<i>numero di spire</i>
E	<i>campo elettrico</i>	m	<i>massa</i>
I, i	<i>corrente elettrica</i>	v	<i>velocità</i>
j, J	<i>densità di corrente</i>	v_d	<i>velocità di deriva</i>
μ_0	<i>permeabilità magnetica del vuoto</i>	n	<i>portatori di carica per unità di volume</i>
ϵ_0	<i>costante dielettrica del vuoto</i>	K	<i>energia cinetica</i>
μ_r	<i>permeabilità magnetica relativa</i>	\mathcal{R}	<i>riluttanza</i>
ϵ_r	<i>costante dielettrica relativa</i>	u_m	<i>densità di energia del campo magnetico</i>
k	<i>costante di Coulomb</i>	U_m	<i>energia del campo magnetico</i>
g	<i>accelerazione di gravità</i>	F_E	<i>forza elettrostatica</i>
q, Q	<i>carica elettrica</i>	F_B	<i>forza magnetica</i>
e	<i>carica elettrica elementare</i>	V	<i>differenza di potenziale elettrico</i>
σ	<i>densità superficiale di carica</i>	Φ_B	<i>flusso del campo magnetico</i>
p	<i>pressione</i>	Φ_E	<i>flusso del campo elettrico</i>
ω	<i>pulsazione</i>		
μ	<i>momento magnetico di una spira</i>		
m	<i>momento di dipolo magnetico di una calamita</i>		

Problema 3.1 ☆☆

Due fili di rame paralleli, di raggio $R = a$ e con i loro assi distanti d , sono percorsi dalla stessa corrente in senso concorde. La corrente è distribuita uniformemente nei fili. Assumendo come origine dell'asse \vec{x} la traccia dell'asse di uno dei due fili, e supponendo che entrambi i fili giacciono sull'asse \vec{x} , determinare:

- 1) il modulo del vettore induzione magnetica per $x < a$,
 - 2) il modulo, la direzione e il verso di \vec{B} in funzione di x :
- a) nei punti compresi tra i fili;
 - b) per punti con $x > d + a$.

Soluzione

Si osserva che nei punti dell'asse \vec{x} compresi tra i due fili, le direzioni di \vec{B}_1 e \vec{B}_2 sono ortogonali alla congiungente i due fili e, se la corrente viene assunta essere *uscente* dal foglio, il verso di \vec{B}_1 è rivolto verso l'*alto*, mentre il verso di \vec{B}_2 è rivolto verso il *basso*.

- 1) Per $x < a$, applicando la legge di Ampère $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$ ai due fili (più avanti indicati con i pedici 1 e 2 rispettivamente) ed indicando con $j = \frac{I}{A} = \frac{I}{\pi a^2}$ la densità di corrente, si può scrivere il modulo dell'induzione magnetica dovuta al primo filo:

$$B_1 2\pi x = \mu_0 j \pi x^2$$

$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{\pi a^2} \frac{\pi x^2}{2\pi x} = \frac{\mu_0 I x}{2\pi a^2}$$

mentre applicando la legge di Biot-Savart al secondo filo, si ottiene subito che:

$$B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi(d-x)}$$

Tenuto conto dei versi dei campi magnetici, si ottiene che il modulo della loro risultante è pari a:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \left[\frac{x}{a^2} - \frac{1}{d-x} \right]$$

2a) In questo caso, applicando la *legge di Biot-Savart* a entrambi i fili, si avrà:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi x} - \frac{\mu_0 I}{2\pi(d-x)} = \boxed{\frac{\mu_0 I}{2\pi} \left[\frac{1}{x} - \frac{1}{d-x} \right]}$$

\vec{B} sarà diretto verso l'alto per $x < d/2$ e verso il basso per $\frac{d}{2} < x < (d-R)$.

2b) Per punti con coordinata $x > d+a$, si avrà infine:

$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi x}$$

e

$$B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi(x-d)}$$

per cui, risulta:

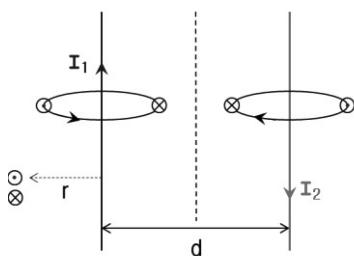
$$B = B_1 + B_2 = \boxed{\frac{\mu_0 I}{2\pi} \left[\frac{1}{x} + \frac{1}{d-x} \right]}$$

La direzione di \vec{B} è ortogonale alla congiungente i due fili e \vec{B} è diretto verso l'alto.

Nota: se si considera una corrente entrante nel foglio, i versi di \vec{B} saranno opposti in tutti i casi.

Problema 3.2 ☆☆

Due conduttori rettilinei paralleli, 1 e 2, distanti fra loro 10 cm e giacenti in un piano orizzontale, sono percorsi da correnti in verso opposto, rispettivamente di 5 A e 15 A . A quale distanza dal conduttore 1 si trovano i punti in cui il campo magnetico risultante è nullo? Determinare anche modulo, direzione e verso di \vec{B} nei punti equidistanti dai due conduttori e giacenti nello stesso piano dei due fili.

Soluzione

I due campi magnetici generati dai due fili hanno linee di forza circolari, giacenti su piani ortogonali ai fili, ad essi concentriche e con verso di rotazione opposto. Nella regione compresa tra i due fili, essi sono entrambi entranti nel foglio e ⊕ il modulo del campo risultante è $B = B_1 + B_2$, e per i punti equidistanti dai fili:

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi d/2} (I_1 + I_2) = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{\pi \cdot 10^{-1}} 20 = [8.0 \cdot 10^{-5} \text{ T}]$$

Il campo invece si può annullare nei punti del piano orizzontale all'esterno dei due fili, dove in ogni punto i moduli dei due campi si *sottraggono*. Dati i valori delle correnti che percorrono i fili, il campo magnetico si annulla in punti distanti r alla sinistra del filo 1 e $(r + d)$ alla sinistra del filo 2:

$$B = B_1 - B_2 = 0$$

quindi:

$$\frac{\mu_0 I_1}{2\pi r} - \frac{\mu_0 I_2}{2\pi(r+d)} = 0$$

$$I_1(r+d) - I_2 r = 0$$

$$(I_1 - I_2)r = -I_1 d$$

da cui si ricava:

$$r = \frac{I_1}{I_2 - I_1} \cdot d = [5 \text{ cm}]$$

Nota per il lettore: cosa sarebbe successo se avessimo ragionato ponendoci alla destra del filo 2?

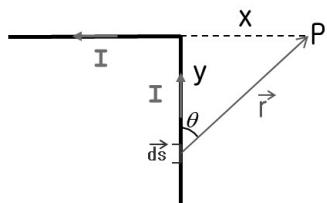
Problema 3.3 ★★

Determinare modulo, direzione e verso del vettore induzione magnetica \vec{B} in un punto P alla distanza x da un filo infinito, percorso dalla corrente I , piegato a ad angolo retto come mostrato in figura.

Soluzione

Per la *I formula di Laplace*, un elemento di filo percorso da una corrente I genera in un punto P , distante r dal filo un vettore induzione magnetica infinitesima $d\vec{B}$, il cui modulo è dato da:

$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{|d\vec{s} \times \hat{r}|}{r^2}$$



Nel caso in esame il tratto di filo *orizzontale* non genera campo in P perché in quel tratto di filo per ogni elemento è $d\vec{s}/\hat{r}$, per cui il prodotto vettoriale è nullo. Diverso è il caso del tratto verticale; per esso si ponga $ds = dy$ ed essendo $|d\vec{s} \times \hat{r}| = dy \sin \theta$, si può scrivere:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_0^{\pi/2} \frac{\sin \theta \, dy}{r^2}$$

Dalla figura, risulta inoltre:

$$r = \frac{x}{\sin \theta} \quad \rightarrow \quad r^2 = \frac{x^2}{\sin^2 \theta}$$

$$y = \frac{x}{\tan \theta} = x \cot \theta \quad \rightarrow \quad dy = \frac{xd\theta}{\sin^2 \theta}$$

per cui, applicando la *I formula di Laplace* al tratto verticale si ottiene:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_0^{\pi/2} \sin \theta \frac{\sin^2 \theta}{x^2} \frac{xd\theta}{\sin^2 \theta}$$

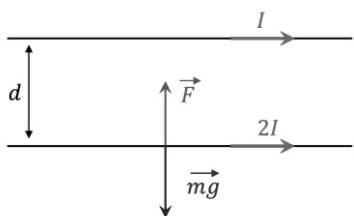
$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi x} \int_0^{\pi/2} \sin \theta \, d\theta = \frac{\mu_0 I}{4\pi x} [-\cos \theta]_0^{\pi/2}$$

$$B = \frac{1}{2} \cdot \frac{\mu_0 I}{2\pi x}$$

Esso è pari alla metà del valore che B avrebbe in P se il filo fosse rettilineo. La direzione di \vec{B} è ortogonale al piano del foglio e il verso è entrante.

Problema 3.4 ☆

Un filo conduttore di lunghezza infinita, vincolato a stare in posizione orizzontale su un piano verticale, è percorso da una corrente $I = 20\text{ A}$. Un secondo filo, di lunghezza infinita, percorso da una corrente doppia nello stesso verso, è posto inferiormente e parallelamente al primo, ed è libero di muoversi. Determinare la distanza d tra i fili affinché quello inferiore stia in equilibrio, se la sua massa per unità di lunghezza è $m/l = \lambda_m = 2\text{ g/m}$.

Soluzione

Poiché la corrente nei due fili ha verso concorde, la forza magnetica che si esercita fra di loro è attrattiva e quindi contrasta la forza di gravità che agisce liberamente sul secondo filo. La forza magnetica sarà data da $\vec{F} = 2Il \times \vec{B}$ ed avrà un modulo per unità di lunghezza:

$$\frac{F}{l} = 2IB$$

\vec{B} è l'induzione magnetica generata dal filo superiore ed ha modulo $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d}$, quindi $\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 I^2}{\pi d}$. La forza peso per unità di lunghezza è $\frac{mg}{l} = \lambda_m g$ e affinché ci sia equilibrio dovrà essere $\frac{F}{l} = \lambda_m g$ ovvero $\frac{\mu_0 I^2}{\pi d} = \lambda_m g$, da cui si ricava numericamente:

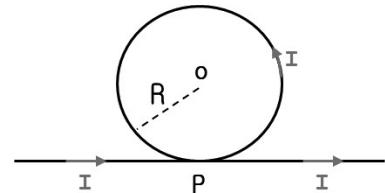
$$d = \frac{\mu_0 I^2}{\pi \lambda_m g} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 4 \cdot 10^2}{\pi \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 9.8} = [8.16 \cdot 10^{-3} \text{ m}]$$

Problema 3.5 ☆☆

Un lungo filo percorso dalla corrente I , è piegato come in figura, senza nodi in P . Determinare modulo, direzione e verso del vettore \vec{B} , generato nel centro O della parte circolare:

a) nel caso presentato in figura;

b) quando la parte circolare è ruotata di 90° attorno al suo diametro, ponendosi con la normale parallela al tratto rettilineo del filo.

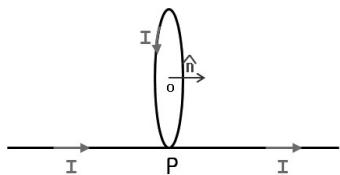
**Soluzione**

\vec{B}_0 è dato dalla somma vettoriale dell'induzione magnetica \vec{B}_{filo} generata in O dal filo percorso da corrente e dall'induzione magnetica \vec{B}_{spira} generata dalla spira nel suo centro:

$$\vec{B}_0 = \vec{B}_{filo} + \vec{B}_{spira}$$

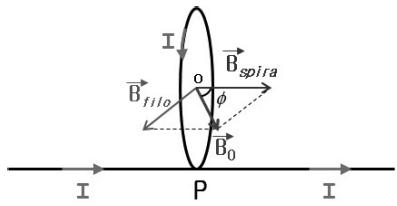
Nel caso (a), entrambi hanno uguale direzione e verso uscente, pertanto, il modulo del campo risultante vale:

$$B_0 = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} + \frac{\mu_0 I}{2R} = \boxed{\frac{\mu_0 I}{2R} \left(1 + \frac{1}{\pi}\right)}$$



Nel caso (b), \vec{B}_{filo} e \vec{B}_{spira} formano un angolo di 90° in quanto \vec{B}_{spira} risulta parallelo al filo e quindi il modulo di \vec{B}_0 risultante sarà:

$$B_0 = \sqrt{B_{filo}^2 + B_{spira}^2} = \sqrt{\left(\frac{\mu_0 I}{2\pi R}\right)^2 + \left(\frac{\mu_0 I}{2R}\right)^2} = \boxed{\frac{\mu_0 I}{2\pi R} \sqrt{1 + \pi^2}}$$



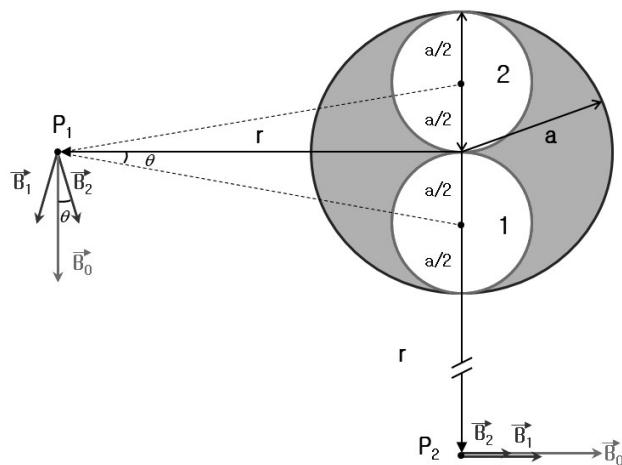
Dalla figura si ricava inoltre che la tangente dell'angolo formato da \vec{B}_0 con la direzione del filo (e della normale alla superficie della spira) vale:

$$\tan \phi = \frac{B_{filo}}{B_{spira}} = \frac{\frac{\mu_0 I}{2\pi R}}{\frac{\mu_0 I}{2R}} = \frac{1}{\pi} = 0.318$$

da cui segue che $\phi = 17.6^\circ$.

Problema 3.6 ★★☆

Un cavo conduttore cilindrico entro cui scorre una corrente I , uscente e distribuita uniformemente, presenta una sezione con due cavità come riportato in figura. Calcolare il vettore induzione magnetica nei punti P_1 e P_2 , distanti entrambi r dall'asse del cavo.

Soluzione

Per risolvere questo problema si può applicare il *principio di sovrapposizione*.

- (1) Prima si calcola l'induzione magnetica \vec{B}_0 dovuta a una corrente fittizia circolante in un cavo di raggio a con la stessa densità della corrente effettiva.
- (2) Quindi si calcolano i campi generati da una corrente fittizia che circola in cavi di raggio $a/2$, con la stessa densità di prima (\vec{B}_1 e \vec{B}_2).
- (3) Il campo generato dal cavo reale equivale a quello generato dal cavo intero \vec{B}_0 cui vanno *sottratti vettorialmente* i campi \vec{B}_1 e \vec{B}_2 generati da due cavi di raggio $a/2$, posti nella posizione indicata nella figura.

La sezione del cavo in cui scorre la corrente è data da:

$$A = \pi a^2 - \pi \frac{a^2}{4} - \pi \frac{a^2}{4} = \frac{\pi a^2}{2} = \frac{A'}{2}$$

dove A' è la sezione dell'intero cavo e la densità di corrente è $J = \frac{I}{A} = \frac{2I}{\pi a^2}$. Quindi, la corrente di cui si tratta al punto (1) sarà $I(a) = J\pi a^2 = \frac{2I}{\pi a^2} \pi a^2 = 2I$, mentre la corrente di cui si tratta al punto (2) sarà $I(a/2) = J \frac{\pi a^2}{4} = \frac{2I}{\pi a^2} \frac{\pi a^2}{4} = \frac{I}{2}$.

F. Porto • G. Lanzalone • I. Lombardo • D. Dell'Aquila

Problemi di Fisica Generale

Elettromagnetismo - Ottica - Relatività

Accedi ai contenuti digitali ➤ Espandi le tue risorse ➤ con un libro che **non pesa** e si **adatta** alle dimensioni del tuo **lettore**



All'interno del volume il **codice personale** e le istruzioni per accedere ai **contenuti digitali**.
L'accesso alle risorse digitali è **gratuito** ma limitato a **18 mesi dalla attivazione del servizio**.



€ 26,00

