

# Corso di Fisica Generale II

M. Riccò

<http://www.fis.unipr.it/fisica2ricco/>



## ELETTROMAGNETISMO

### Università degli Studi di Parma

#### Facoltà di Ingegneria

#### Insegnamento di Fisica Generale II

#### Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale

#### Anno Accademico 2019-2020

Docente: Prof. Mauro Riccò (tel. 0521-905217, e-mail: [Mauro.Ricco@unipr.it](mailto:Mauro.Ricco@unipr.it))

Esercitazioni: Prof. Mazzani Marcello (tel. 328-2651386, e-mail: [marcellomazzani@gmail.com](mailto:marcellomazzani@gmail.com))

Tutori: Dr. Daniele Pontiroli (tel. 0521-905236, e-mail: [Daniele.Pontiroli@fis.unipr.it](mailto:Daniele.Pontiroli@fis.unipr.it))

Dr. Giacomo Magnani (tel. 0521-905241, e-mail: [giacomo.magnani@studenti.unipr.it](mailto:giacomo.magnani@studenti.unipr.it))

Dr. Sivio Scaravonati (tel. 0521-905282, e-mail: [silvio.scaravonati@studenti.unipr.it](mailto:silvio.scaravonati@studenti.unipr.it))

AVVISI:

**B**envenuti nel sito dedicato al corso di Fisica II (Elettromagnetismo) del Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale.

Nel sito troverete il programma degli studi, i risultati delle prove scritte, alcuni link interessanti, ecc.

#### Obiettivi del corso

Il corso si occupa principalmente dell'elettromagnetismo, uno dei campi più antichi della fisica, che oltre ad avere una primaria importanza, è alla base di innumerevoli applicazioni nella tecnologia moderna.

Il corso presuppone che gli studenti conoscano gli argomenti trattati nel corso di Fisica I (propedeutico).

L'esame consiste in una prova scritta e una prova orale. Per gli studenti che intendono dare l'esame entro l'anno accademico di frequenza del corso, la prova scritta o, in alcuni casi, entrambi le prove (scritta e orale), possono essere sostituite dalle due prove infra-annum (se di esito positivo) svolte durante il corso. Ogni studente ha un'unica possibilità di sostenere le prove infra annum.

[Home](#)

[Programma](#)

[Regolamento](#)

[Risultati](#)

[Links](#)



## ELETTROMAGNETISMO

### Programma degli Studi

Insegnamento di Fisica Generale II  
Anno Accademico 2019-2020

#### Elettrostatica e correnti

- Legge di Coulomb e campo elettrico
- Legge di Gauss
- Potenziale elettrico
- Conduttori, capacità e dielettrici
- Corrente e resistenza
- Circuiti in corrente continua

#### Magnetismo ed Elettromagnetismo

- Il campo magnetico
- Campo magnetico e correnti
- L'induzione elettromagnetica
- Autoinduzione e mutua induzione
- Campi magnetici nella materia
- Circuiti con corrente transiente
- Cenni sui circuiti in corrente alternata
- Le onde
- Le equazioni di Maxwell
- Onde elettromagnetiche

- **Legge di Coulomb e campo elettrico**
  - Introduzione
  - Carica elettrica e materia
  - Isolanti e conduttori
  - Leggi fondamentali dell'elettrostatica
  - Il campo elettrico e le linee di forza
  - Particelle cariche in un campo elettrico uniforme
- **Legge di Gauss**
  - Flusso
  - Legge di Gauss
  - Deduzione della legge di Gauss dalla legge di Coulomb
  - Determinazione del campo elettrico con la legge di Gauss
  - Proprietà elettrostatiche di un conduttore
- **Potenziale elettrico**
  - Energia potenziale elettrica
  - Potenziale elettrico
  - Differenza di potenziale
  - Relazione tra campo e potenziale elettrico
  - Superfici equipotenziali
  - Proprietà elettrostatiche di un conduttore
- **Conduttori, capacità e dielettrici**
  - Conduttori capacità e condensatori
  - Condensatori in serie e in parallelo
  - Energia elettrostatica
  - Proprietà elettrostatiche dei dielettrici
  - Descrizione molecolare dei dielettrici
  - Elettrostatica nei dielettrici

[Home](#)

[Programma](#)

[Regolamento](#)

[Risultati](#)

[Links](#)

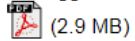
- **Circuiti in corrente continua**
  - Introduzione
  - Forza elettromotrice e resistenza interna di una batteria
  - Energia elettrica e potenza
  - Leggi di Kirchhoff
  - Circuito RC
  
- **Il campo magnetico**
  - Introduzione
  - Il campo magnetico
  - Forza agente su un conduttore percorso da corrente
  - Momento agente su una spira percorsa da corrente
  - Moto delle cariche in presenza di **E** e di **B**
  
- **Campo magnetico e correnti**
  - Introduzione
  - La legge di Biot e Savart
  - La legge di Ampère
  - Applicazioni della legge di Ampère
  - Forza agente tra conduttori percorsi da corrente
  - Il flusso magnetico e la legge di Gauss per i campi magnetici
  - La corrente di spostamento e modifica della legge di Ampère
  
- **L'induzione elettromagnetica**
  - Introduzione
  - La legge di induzione elettromagnetica
  - Forza elettromotrice di movimento
  - Generatori e alternatori
  - Campi elettrici indotti
  
- **L'autoinduzione e mutua induzione**
  - Introduzione
  - F.e.m. autoindotte e induttanza
  - Circuiti LR
  - Energia nei circuiti LR
  - Mutua induttanza
  - I trasformatori
  
- **Campi magnetici nella materia**
  - Introduzione
  - Correnti atomiche e magnetizzazione
  - Il diamagnetismo
  - Il paramagnetismo
  - Il ferromagnetismo
  - Intensità del campo magnetico
  - Il campo magnetico terrestre
  
- **Circuiti in corrente alternata**
  - Introduzione
  - Oscillazioni in circuiti LC
  
- **Le onde**
  - Introduzione
  - Caratterizzazione delle onde
  - Onde progressive
  - Onde armoniche ed equazione delle onde
  - L'equazione delle onde dedotta dalla seconda legge di Newton
  
- **Le equazioni di Maxwell**
  - Introduzione
  - Le equazioni di Maxwell
  - L'equazione d'onda per **E** e **B**
  
- **Onde elettromagnetiche**
  - Introduzione
  - Le onde elettromagnetiche
  - L'intensità delle onde elettromagnetiche
  - La pressione di radiazione
  - Emissione di onde elettromagnetiche
  - Lo spettro elettromagnetico

**Diapositive usate durante le lezioni**

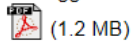
# Diapositive del corso di Fisica II

## Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale Prof. Mauro Riccò

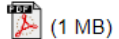
Cap. 1 Legge di Coulomb e Campo Elettrico



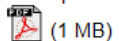
Cap. 2 Legge di Gauss



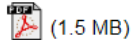
Cap. 3 Potenziale elettrico



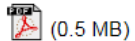
Cap. 4 Capacità e dielettrici



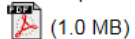
Cap. 5 Corrente e resistenza



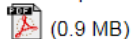
Cap. 6 Circuiti in corrente continua



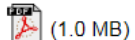
Cap. 7 Campo Magnetico



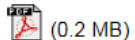
Cap. 8 Campo Magnetico e Correnti



Cap. 9 Induzione Elettromagnetica



Cap. 10 Autoinduzione e Mutua Induzione





## ELETTROMAGNETISMO

### Facoltà di Ingegneria

Insegnamento di Fisica Generale II - Anno Accademico 2019-2020

### Regolamento

#### Orario delle lezioni

- Mercoledì: ore 8:30 ÷ 10:30, aula G
- Venerdì: ore 8:30 ÷ 10:30, aula G (lezione)
- Venerdì: ore 10:30 ÷ 12:30, aula G (esercitazioni).

#### Orario e argomento delle esercitazioni

##### Orario ricevimento studenti

- Lunedì: ore 15:30 ÷ 17:30 studio Prof. Riccò presso Dipartimento di Fisica.

##### Calendario degli esami a.a. 2018-2019

- Esercitazione scritta I (prova infra-annum): 16/11/2018, ore 10:30, Aula G (Programma: Elettrostatica + Elettrodinamica)

Nr.	Data	Ora	Tipo esame
1	29.11.2018	14:00	Scritto
2	03.12.2018	15:30	Orale
3	22.01.2019	10:30	Scritto *
4	24.01.2019	15:30	Orale
5	19.02.2019	10:30	Scritto
6	21.02.2019	15:00	Orale
7	15.04.2019	10:30	Scritto
8	17.04.2019	15:30	Orale
9	25.06.2019	10:30	Scritto
10	27.06.2019	15:00	Orale
11	30.07.2019	10:30	Scritto
12	01.08.2019	15:00	Orale
13	27.08.2019	10:30	Scritto
14	29.08.2019	16:00	Orale
15	13.09.2019	10:30	Scritto
16	16.09.2019	15:00	Orale

\*) Si avvertono gli studenti che sia la seconda esercitazione scritta infra annum che la prova scritta del primo appello della sessione invernale avranno luogo il 22/01/2019 alle ore 10.30 in aula ?. Chi intende sostenere la seconda esercitazione scritta NON deve fare nessuna iscrizione sul web (chi lo avesse erroneamente fatto è pregato di cancellarsi). Al contrario, chi intende invece iscriversi all'appello lo deve fare attraverso il consueto sito di prenotazione delle prove di esame (ESSE3). -->

Home

Programma

Regolamento

Risultati

Links



#### Testo di riferimento

- G. CANTATORE, L. VITALE, W.E. GETTYS., *Fisica 2, Elettromagnetismo, Onde*, McGraw-Hill, Milano, Quarta Edizione, 2011.

#### Altri libri di testo

- W.E. GETTYS, F.J. KELLER, M.J. SKOVE, *Fisica 1*, McGraw-Hill, Milano, 1998.
- D. HALLIDAY, R. RESNICK, K.S. KRANE, *Fisica 2*, IV edizione, Casa Editrice Ambrosiana, Milano, 1994.

### Censimento

#### Istruzioni per la compilazione del questionario sulla didattica

---

##### Norme di comportamento

Le norme di comportamento più generali sono quelle adottate dalla **Facoltà di Ingegneria**. Norme più specifiche, riguardanti l'Insegnamento di Fisica Generale II, sono riportate sotto:

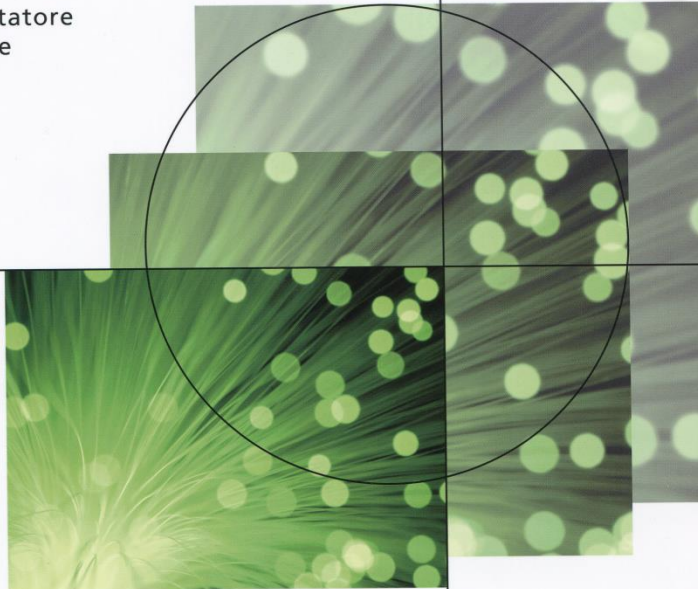
Verranno svolte due prove *infra annum* scritte durante il corso. Se queste risulteranno entrambi sufficienti, chi vorrà sostenere l'esame nelle prime due sessioni d'esame (a gennaio o febbraio) potrà accedere direttamente alla prova orale. Il giudizio finale verrà basato sull'esito di quest'ultima e su quello delle due prove scritte. In alcuni casi, se le prove *infra annum* hanno avuto buon esito, sarà proposto direttamente un voto finale allo studente, esentandolo dalla prova orale.

Sia nell'esame finale che nelle esercitazioni verranno proposti degli esercizi a risposta multipla. La risposta corretta, corredata di argomentazione vale 1 punto, quelle corrette ma senza argomentazione valgono  $\frac{1}{2}$  punto, mentre le risposte errate comportano una penalità di  $\frac{1}{2}$  punto. Non sono disponibili i testi degli esami dati in precedenza.

Per essere ammesso alle prove scritte il candidato si dovrà presentare munito di un documento di riconoscimento. Se, al momento della verbalizzazione dell'esame, obbligatoriamente effettuata entro la chiusura dell'appello, l'esame di Fisica 1 non risultasse verbalizzato, questo comporterebbe l'annullamento dell'intera prova effettuata. Durante la prova scritta, in genere di durata di 90 minuti, non è consentito l'uso di testi o appunti, né di uscire dall'aula. Inoltre non è ammesso l'uso di calcolatrici programmabili, telefoni cellulari e orologi digitali che, nel caso, dovranno essere riposti lontano dalla postazione dello studente; pena, l'annullamento dell'intera prova.

Ogni studente ha un'unica possibilità di superare l'esame attraverso le prove *infra annum*. Lo studente non è necessariamente tenuto a sfruttare questa possibilità durante l'anno di frequenza del corso ma lo può fare anche negli anni successivi compilando l'apposito modulo di censimento presente su questo sito. La prova scritta e quella orale di un appello costituiscono un unico elemento di valutazione e non sono separabili (cioè la prova scritta di un appello non può essere tenuta valida per un appello successivo). In generale, nei casi in cui la commissione lo ritenga opportuno, il candidato può essere esentato dalla prova orale.

Giovanni Cantatore  
Lorenzo Vitale



Gettys

# Fisica 2

Elettromagnetismo • Onde

Quarta edizione

McGraw-Hill

web  
site 



# Consimento Studenti Corso di Fisica II

## Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale Prof. Mauro Riccò

La informiamo, ai sensi dell'art.13 del [decreto legislativo 30 giugno 2003, n. 196](#) recante disposizioni a tutela delle persone e di altri soggetti rispetto al trattamento dei dati personali, che i dati da Lei forniti saranno usati esclusivamente per i fini riguardanti la pianificazione del corso e dei relativi esami.

Tutti i campi, tranne le note, sono obbligatori.

Pochi giorni prima delle prove d'esame ed *infra-annum* si invitano gli studenti a controllare gli avvisi (pagina home del sito), per verificare la presenza di [eventuali comunicazioni urgenti](#).

### Informazioni Personali

Cognome:

Nome:

Nr. Matricola:

E-mail:

### Ordinamento

Studente del:

### Corso di laurea

Iscritto al CdL in Ingegneria:

### Esami sostenuti

Alla data del 01.10.2018 lo studente ha superato:

- L'esame di fisica I.
- La prova di elettrostatica. <sup>(b)</sup>

### Prove scritte

- Intendo partecipare alle due prove scritte da svolgere durante il corso (a novembre e gennaio).

### Varie

- Sono uno studente che segue i corsi di didattica a distanza (Nettuno).

Note: \*

<sup>a)</sup> L'esame dovrà essere sostenuto con il docente di riferimento.

<sup>b)</sup> Solo per gli studenti trasferiti dal vecchio ordinamento.



## Università degli Studi di Parma

Insegnamento di Fisica Generale 2 Ing. Gestionale - Anno Accademico 2017-2018

Risultati della prova scritta appello del 18/09/18

Risultati finali prove infra-annum

### Risultati della prova scritta appello del 18/09/18

**Legenda:** ## = Voto AM = Ammesso NA = Non ammesso  
NP = Non presente RT = Ritirato

#### Voto:

Voto proposto. Da verbalizzare in data 20/09/18 ore 15.00 aula A. Lo studente DEVE prenotarsi per la prova orale sul sito di prenotazione di ESSE3. Se non si accetta il voto proposto, non prenotandosi per la prova orale o non presentandosi alla verbalizzazione, si dovrà sostenere nuovamente la prova d'esame completa. All'atto della verbalizzazione viene richiesta una firma per accettazione.

#### Ammesso:

Ammesso a sostenere la prova orale (che verte su tutto il programma). Convocazione il 20/09/18 ore 15.00 aula A. NB: Lo studente DEVE prenotarsi per la prova orale sul sito di prenotazione di ESSE3. Gli studenti che non si prenotano o non si presentano alla prova orale vedono decadere l'intera prova d'esame.

#### Non Ammesso:

Non ammesso alla prova orale, deve sostenere una prova d'esame completa iscrivendosi agli appelli secondo il calendario pubblicato. La prenotazione dell'esame agli appelli successivi dovrà avvenire attraverso il sito ESSE3.

Matricola	Risultato
231081	NP
233257	25
233604	23
241040	NA
242309	27
242704	NP
247743	NA

Home

Programma

Regolamento

Risultati

Links

## Risultati finali prove infra-annum

**Legenda:** ## = Voto      AM = Ammesso      NA = Non ammesso

### Voto:

Voto proposto. Da verbalizzare in data 27/01/17 ore 15.00 aula A. Lo studente DEVE prenotarsi per la prova orale sul sito di prenotazione di ESSE3. Se non si accetta il voto proposto, non prenotandosi per la prova orale o non presentandosi alla verbalizzazione, si dovrà sostenere la prova d'esame completa.

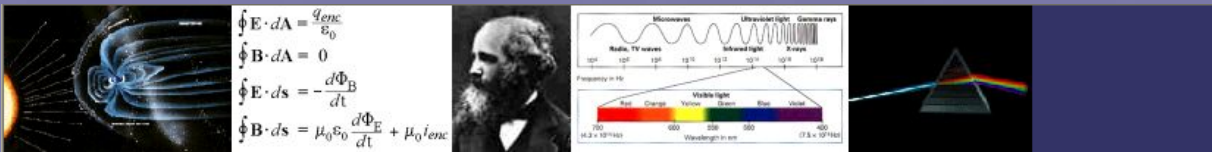
### Ammesso:

Può sostenere direttamente la prova orale (che verte su tutto il programma). Convocazione il 27/01/17 ore 15.00 aula A, in quella sede gli studenti possono optare per sostenere la prova orale al presente appello oppure all'appello successivo in data 24/02/17 ore 15.00 aula ?. Per gli appelli successivi a questi si deve invece sostenere la prova d'esame completa. NB: Lo studente DEVE prenotarsi per la prova orale dell'appello scelto, sul sito di prenotazione di ESSE3. Gli studenti che non si prenotano o non si presentano alla prova orale vedono decadere l'intera prova d'esame.

### Non Ammesso:

Non esentato dalla prova d'esame, deve sostenere una prova d'esame completa iscrivendosi agli appelli secondo il calendario pubblicato. La prenotazione dell'esame agli appelli successivi dovrà avvenire attraverso attraverso il sito ESSE3.

Matricola	Risultato
239475	24
247752	AM
251777	AM
254028	23
257253	NA
264281	21
264377	26
264413	AM
264795	AM
264865	21
264933	24
265219	23
265416	22



## ELETTROMAGNETISMO E OTTICA

### Facoltà di Ingegneria

Insegnamento di Fisica Generale II - Anno Accademico 2010-2011

### Links

I link seguenti servono ad illustrare meglio i concetti trattati nelle lezioni e nelle esercitazioni e ad approfondire alcuni temi che esulano dai comuni piani di studio.

#### ▶ Simulazioni interattive

Eccellenti simulazioni in Java, che comprendono non solo i fondamenti dell'elettromagnetismo, ma illustrano anche alcune nozioni avanzate.

#### ▶ Vita di Maxwell

Un'estesa panoramica delle idee e degli esperimenti chiave che segnarono la nascita dell'elettromagnetismo. Dall'esperimento di Oersted al concetto delle onde elettromagnetiche.

#### ▶ L'elettrone e l'universo

Un intero sito, presso il Museo della Scienza di Londra, dedicato alla più nota particella elementare, scoperta nel 1897 da J.J. Thomson.

#### ▶ L'ottica fisica e geometrica

Un sito molto ricco (parte di quello riportato nel primo link) che tramite numerosi schemi, disegni e simulazioni spiega i principali fenomeni ottici come l'interferenza, la diffrazione, la polarizzazione, la rifrazione, ecc.

Home

Programma

Regolamento

Risultati

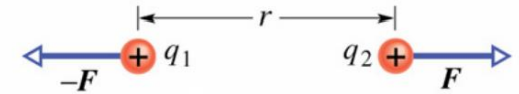
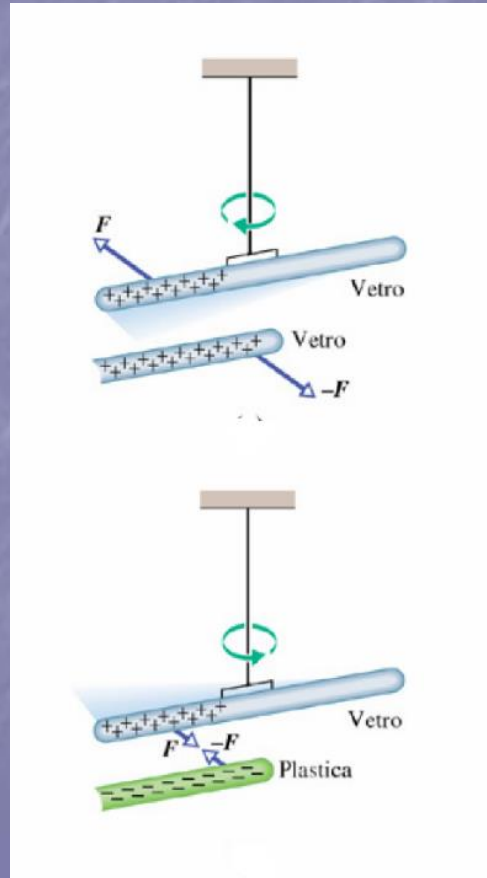
Links

# L. di Coulomb e Campo Elettrico

- Carica elettrica
- Isolanti e conduttori
- Leggi dell'elettrostatica
- Campo elettrico
- Moto di cariche in un campo elettrico



# Carica elettrica



Repulsione

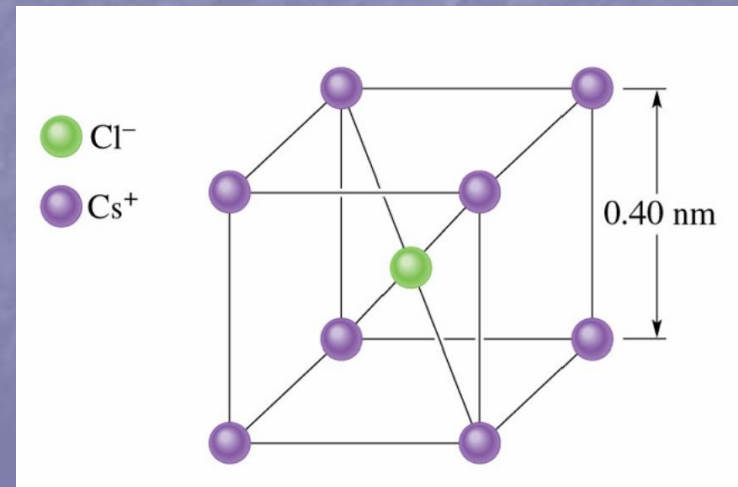
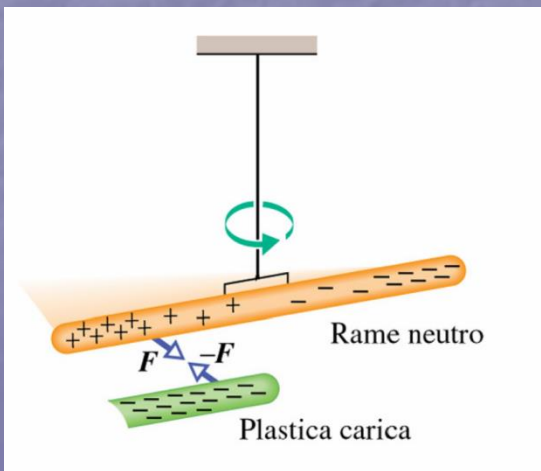
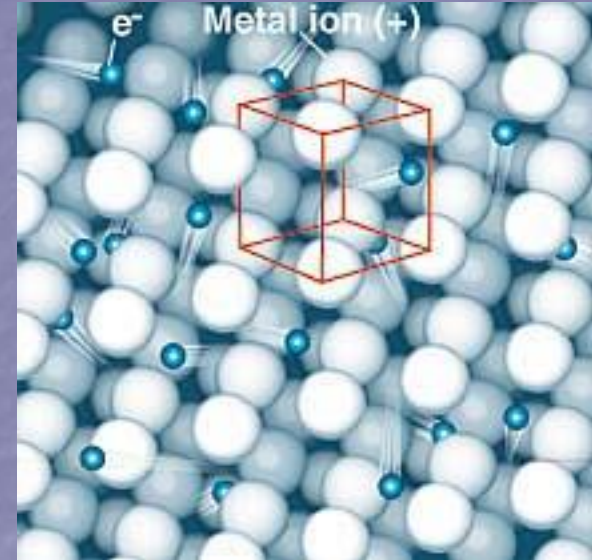
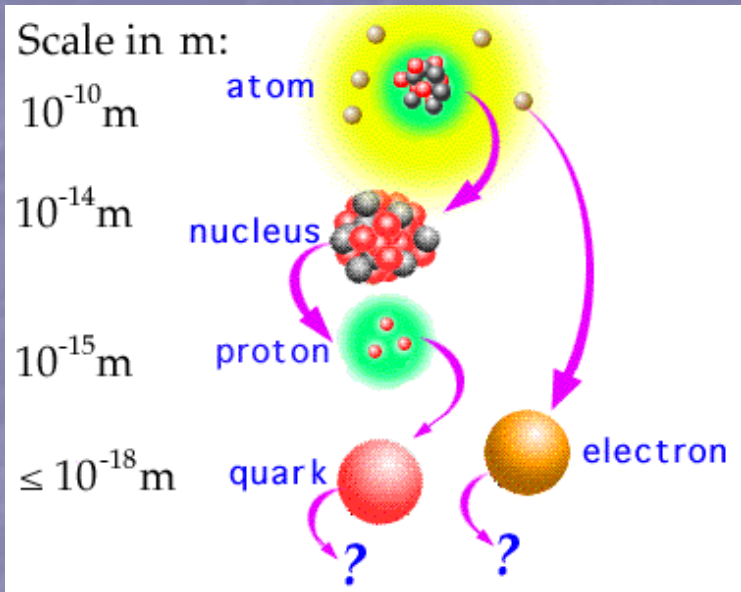


Repulsione

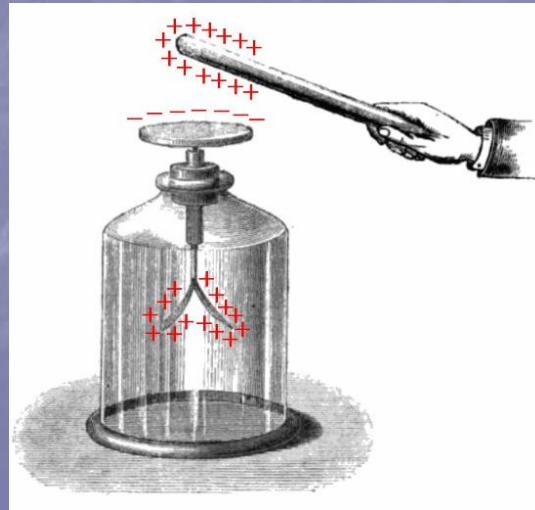
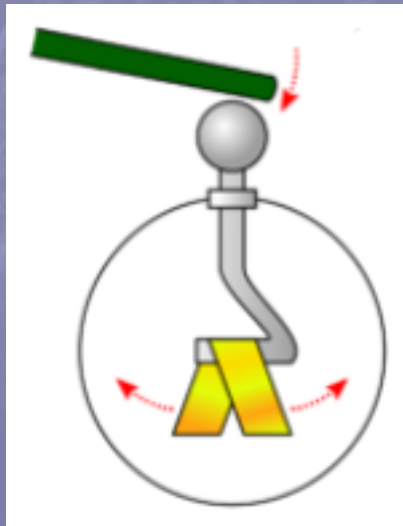
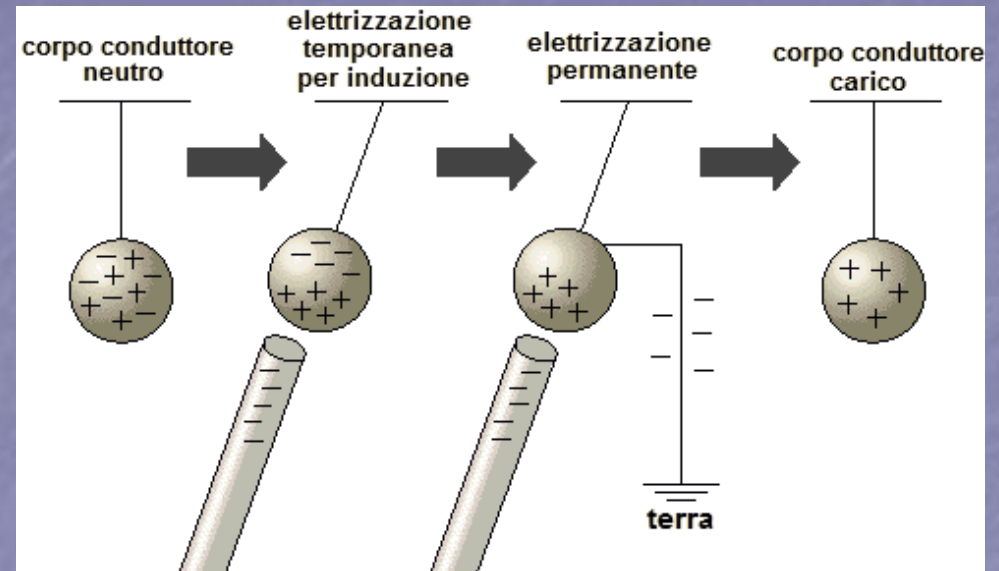
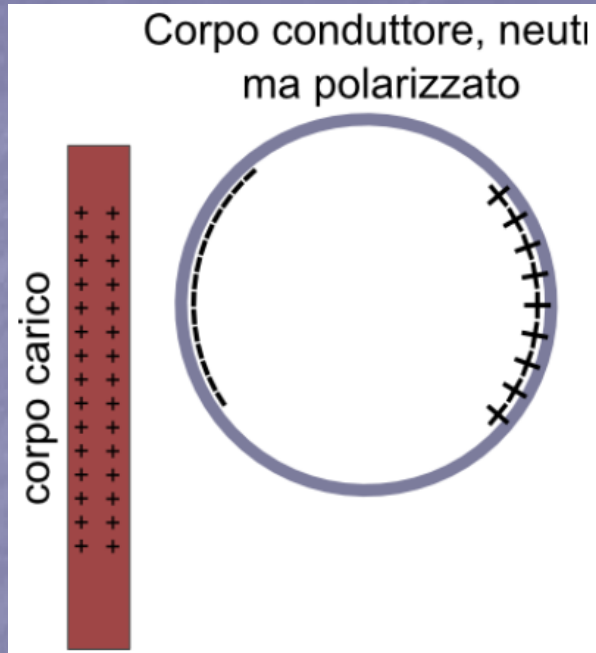


Attrazione

# Isolanti ↔ Conduttori

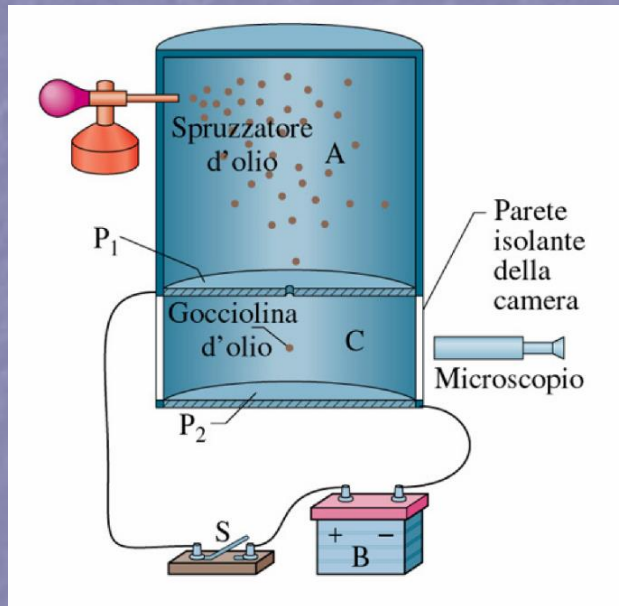


# Induzione



# Leggi dell'elettrostatica

1-Quantizzazione della carica  $e = 1.602 \cdot 10^{-19} C$



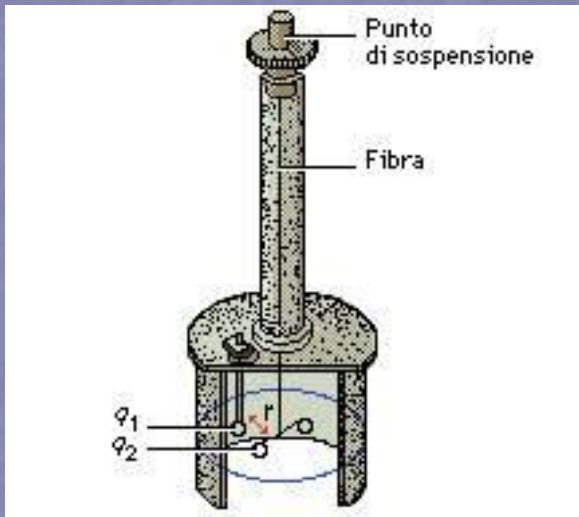
Esp. di Millikan

2-Conservazione della carica



# Leggi dell'elettrostatica

## 3-Legge di Coulomb



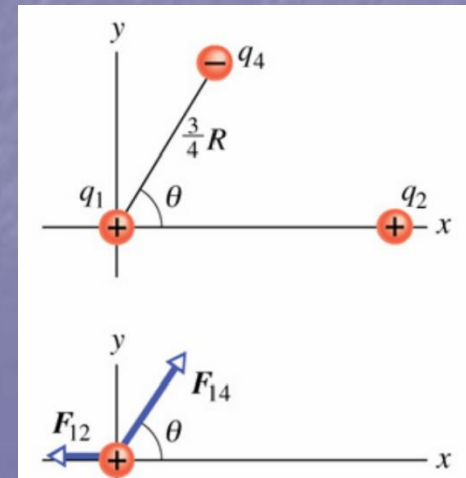
$$\vec{F}_{ab} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_a q_b}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

$$\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{Nm}^2$$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cong 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2$$

## 4-Principio di sovrapposizione

$$\vec{\mathbf{F}} = \vec{\mathbf{F}}_1 + \vec{\mathbf{F}}_2 + \vec{\mathbf{F}}_3 + \vec{\mathbf{F}}_4 + \dots$$



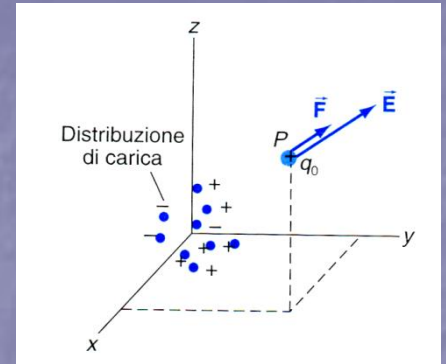


# Campo elettrico

$$\vec{\mathbf{E}} = \frac{\vec{\mathbf{F}}}{q_0} \quad q_0 \text{ piccola}$$

$$\vec{\mathbf{F}} = \sum_i \vec{\mathbf{F}}_i$$

$$\vec{\mathbf{E}} = \frac{\vec{\mathbf{F}}}{q_0}$$



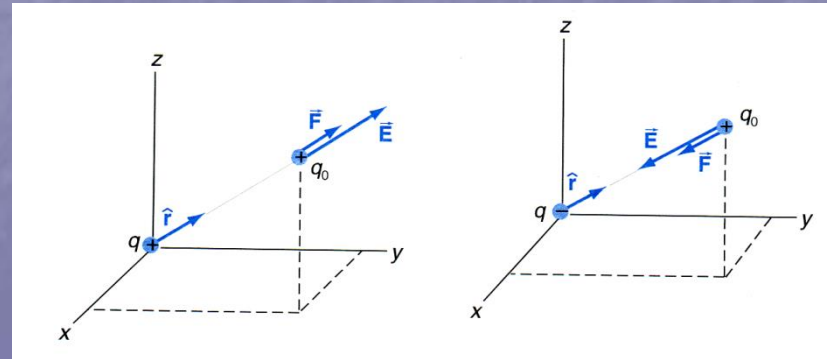
Cariche puntiformi:

$$\vec{\mathbf{F}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q q_0}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

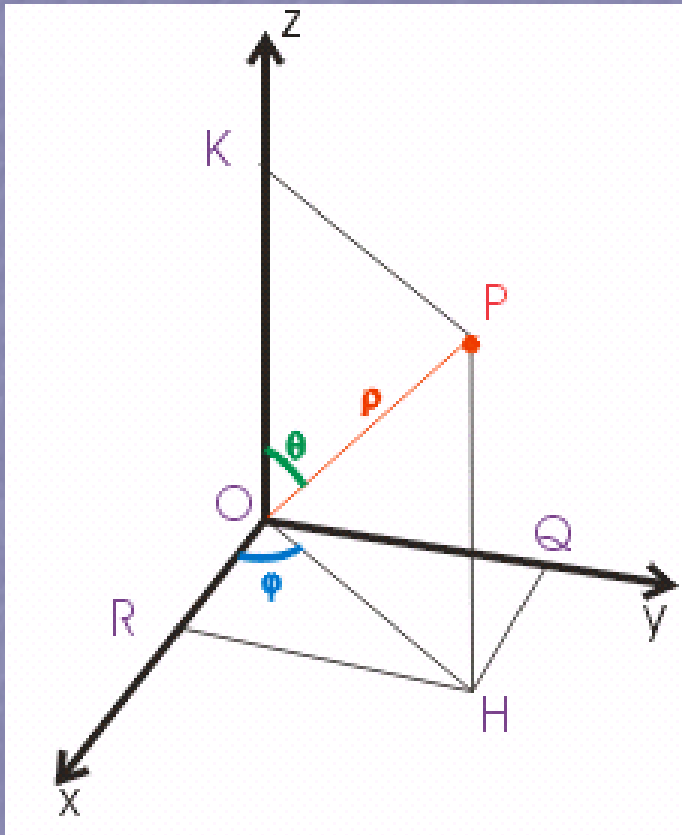


$$\vec{\mathbf{E}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

$$\vec{\mathbf{E}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_i \frac{q_i}{r_i^2} \hat{\mathbf{r}}_i$$



# Sistemi di coordinate



$$\begin{aligned}x &= \rho \sin \theta \cos \varphi \\y &= \rho \sin \theta \sin \varphi \\z &= \rho \cos \theta\end{aligned}$$

$$\rho = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$$\varphi = \operatorname{arctg}\left(\frac{y}{x}\right)$$

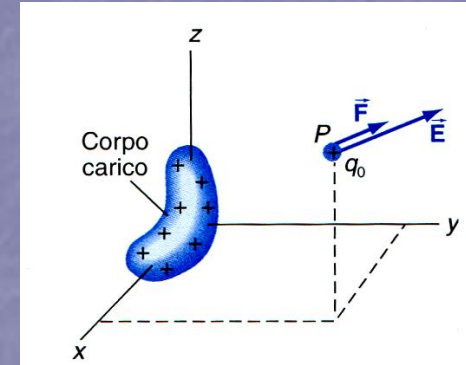
$$\theta = \operatorname{arccos}\left(\frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}\right)$$

# Campo elettrico

Distribuzioni continue di carica:

$$d\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

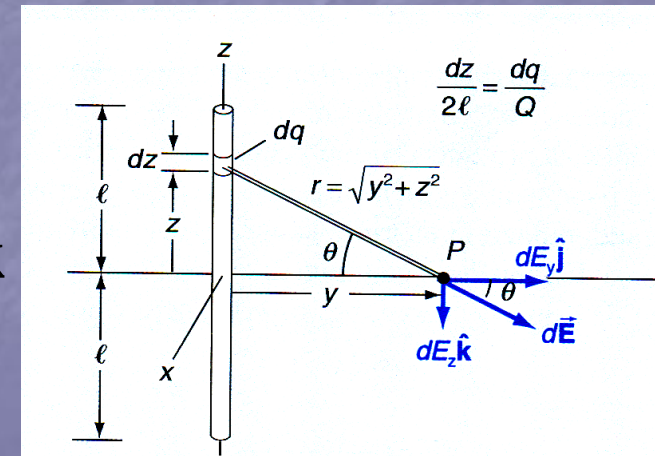
$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{\text{distribuzione di carica}} \frac{dq}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$



Distribuzione lineare:

$$d\vec{E} = dE_y \hat{\mathbf{j}} - dE_z \hat{\mathbf{k}} = (dE \cos\theta) \hat{\mathbf{j}} - (dE \sin\theta) \hat{\mathbf{k}}$$

$$d\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\lambda dz}{(y^2 + z^2)} \hat{\mathbf{r}}$$



# Campo elettrico

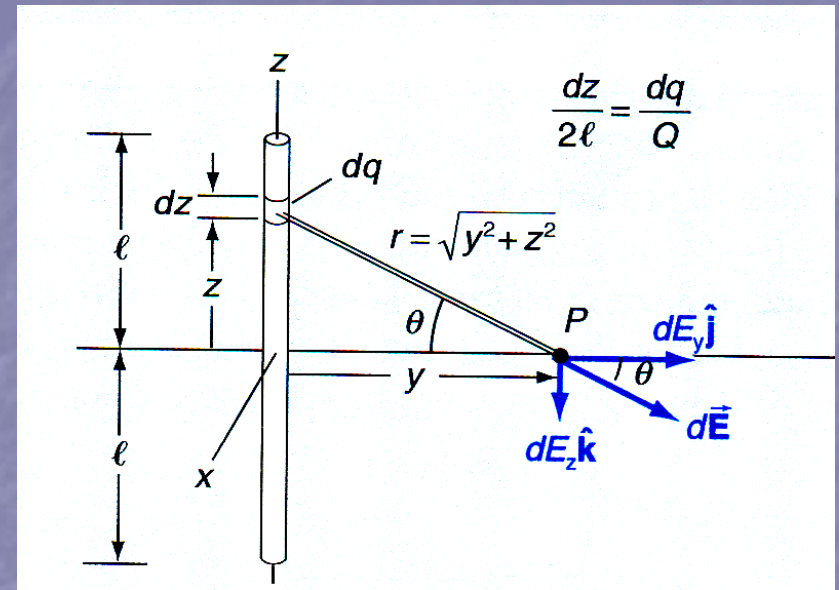
$$d\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\lambda dz}{(y^2 + z^2)} \hat{r}$$

$$E_y = \int dE_y = \frac{\lambda y}{4\pi\epsilon_0} \int_{-l}^l \frac{dz}{(y^2 + z^2)^{3/2}}$$

$$\int_{-l}^l \frac{dz}{(y^2 + z^2)^{3/2}} = \frac{z}{y^2 \sqrt{y^2 + z^2}} \Big|_{-l}^{+l} = \frac{2l}{y^2 \sqrt{y^2 + l^2}}$$

$$E_y = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{\lambda}{y} \frac{l}{\sqrt{l^2 + y^2}} \quad \text{se } l \gg y \text{ (R)}$$

$$E \approx \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{\lambda}{R}$$



# Dipolo elettrico

$$\vec{p} = (2aq)\hat{k}$$

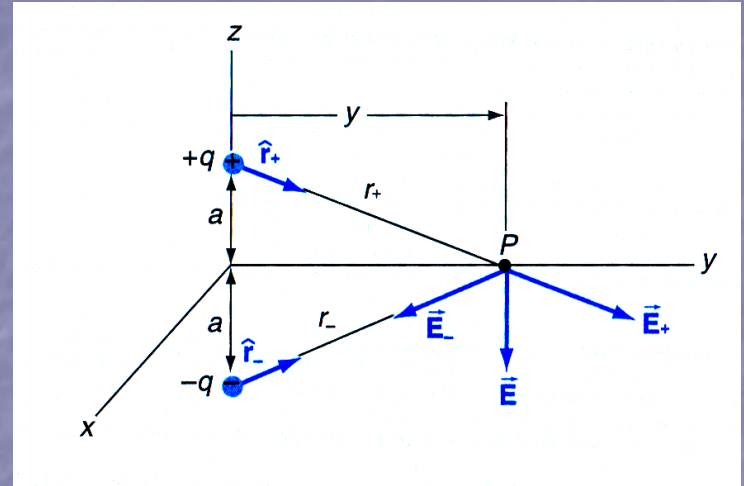
Momento di  
dipolo elettrico

$$E_+ = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r_+^2} \hat{r}_+ \quad E_- = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{-q}{r_-^2} \hat{r}_-$$

$$\hat{r}_+ = \frac{(y\hat{j} - a\hat{k})}{r} \quad \hat{r}_- = \frac{(y\hat{j} + a\hat{k})}{r}$$

$$r_+ = r_- = r = \sqrt{y^2 + a^2}$$

$$\vec{E} = \vec{E}_- + \vec{E}_+ = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{-2aq}{r^3} \hat{k} \quad \text{se... } y \gg a \quad \vec{E} \approx \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{-\vec{p}}{R^3}$$





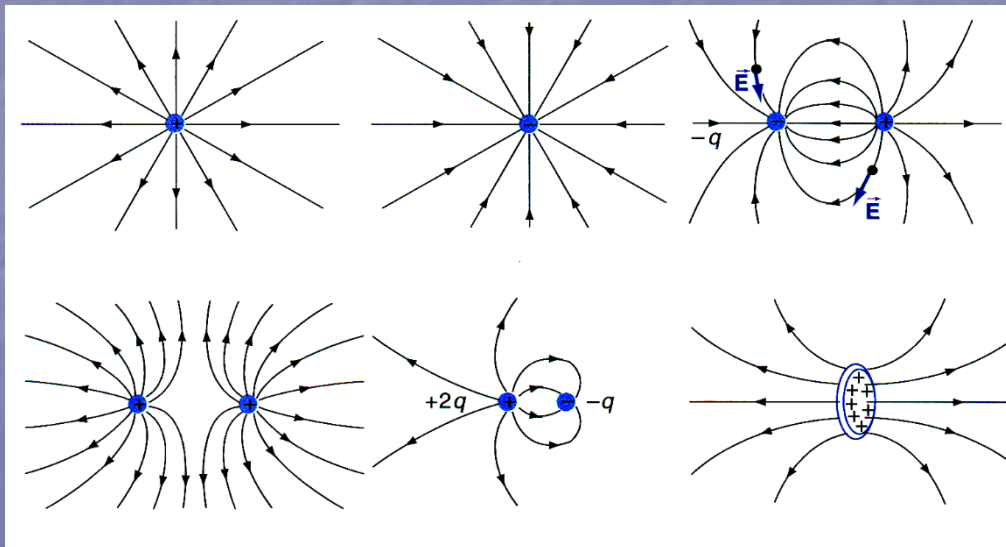
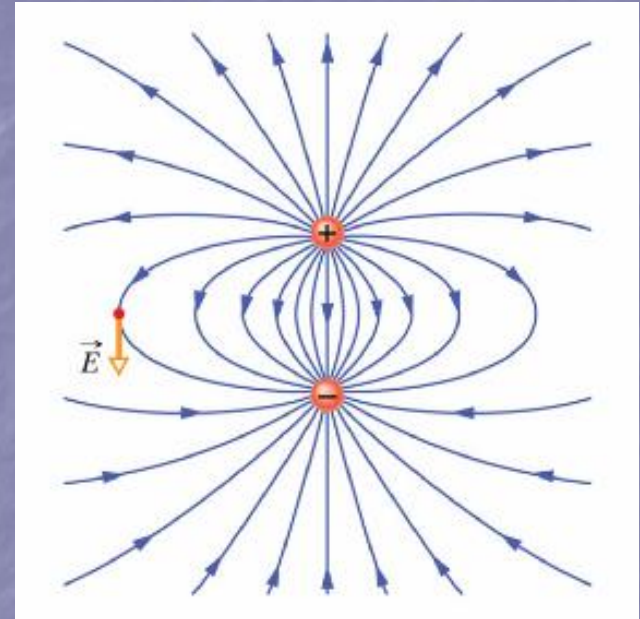
# Dipolo elettrico

In generale per  $r \gg a$ :

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p}{r^3} [3(\hat{r} \cdot \hat{p})\hat{r} - \hat{p}]$$

dove  $\vec{p} = dq\hat{k}$

Linee di forza:



# Cariche in un campo uniforme

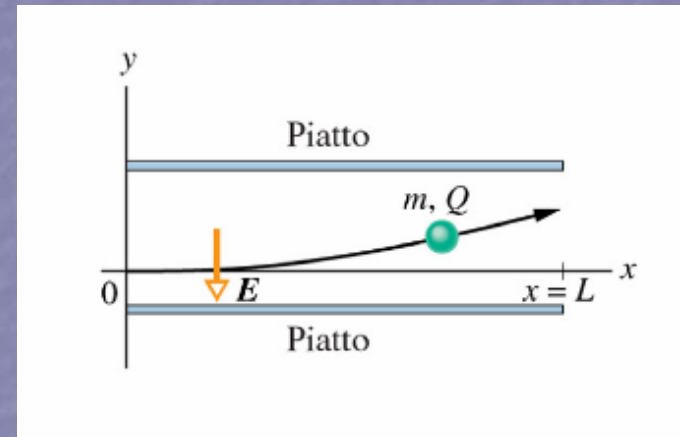
$$q\vec{E} = m\vec{a}$$

Se inizialmente in quiete:

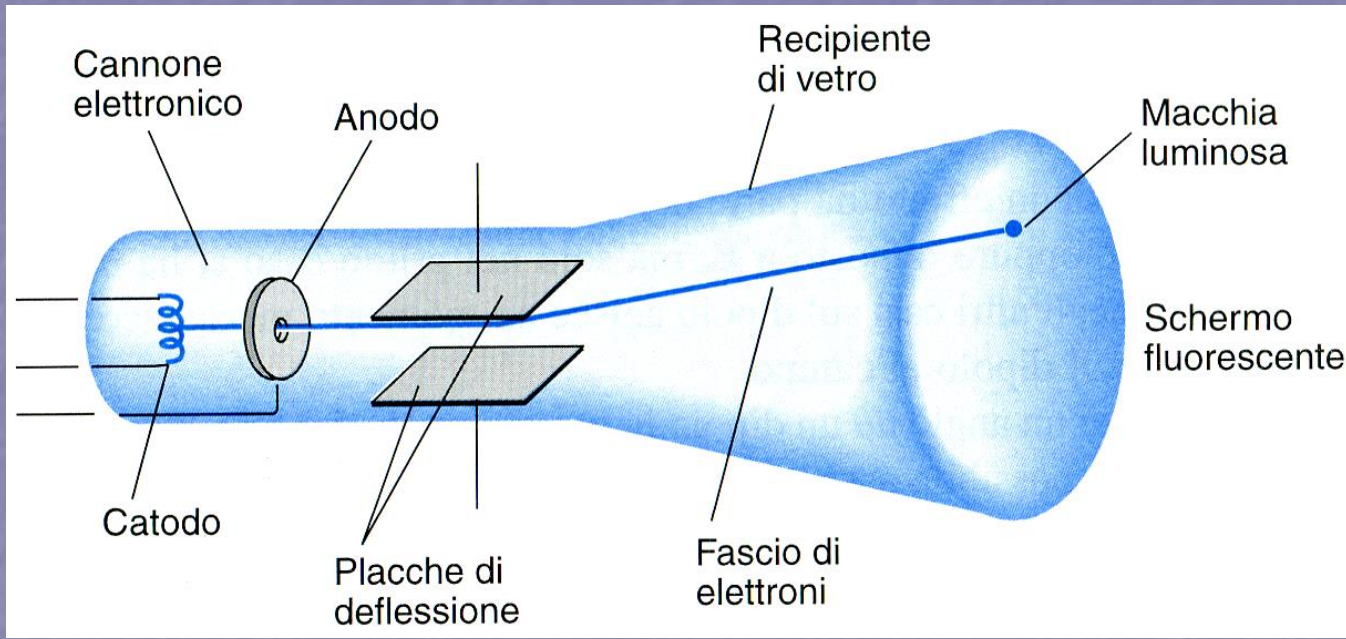
$$y = \frac{1}{2} \frac{qE}{m} t^2$$

Velocità iniziale  $v_0$  lungo x:

$$y = \frac{1}{2} \frac{qE}{m} t^2 \quad x = v_0 t \quad \Rightarrow \quad y = \frac{1}{2} \frac{qE}{m v_0^2} x^2 \quad \text{Traiettoria parabolica}$$



# Cariche in un campo uniforme



Tubo a raggi catodici

Oscilloscopio



# Cariche in un campo uniforme

Dipolo elettrico in un campo uniforme

$$\vec{\tau} = \vec{r}_+ \times \vec{F}_+ + \vec{r}_- \times \vec{F}_- = \vec{r}_+ \times (+q)\vec{E} + \vec{r}_- \times (-q)\vec{E} = q(\vec{r}_+ - \vec{r}_-) \times \vec{E}$$

$$\vec{r}_+ - \vec{r}_- = d \quad \vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$$

$$dL = \tau d\theta$$

$$L = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \tau d\theta = \int_{\theta_1}^{\theta_2} pE \sin\theta d\theta =$$

$$= -pE \cos\theta_2 - (-pE \cos\theta_1) = \Delta U$$

$$U = -\vec{p} \cdot \vec{E}$$

