

Elettrostatica

Elettrostatica: branca della fisica che studia i fenomeni elettrici

“Già nell’antica Grecia (V secolo a.C.), si era notato che l'ambra strofinata con un panno presentava delle proprietà attrattive verso piccoli corpi (piume, pagliuzze, fili). L’ambra quindi si “elettrizza”

Il termine "elettricità" deriva proprio dalla parola greca "elektron", che significa ambra.

➤ **Esistono due tipi di stati elettrici (o cariche):**

positivo (+), come quello del vetro;

negativo (-), come quello dell'ambra.

➤ **Cariche dello stesso segno si respingono, mentre delle cariche di segno opposto si attraggono.**”

➤ **La carica elettrica è una grandezza fisica scalare dotata di segno** ed è una proprietà fondamentale della materia

➤ **La carica elettrica si conserva in tutte le interazioni**; la conservazione della carica è uno delle leggi fondamentali della fisica nucleare e particellare.

Annichilazione $e^+ + e^- \rightarrow \gamma + \gamma$

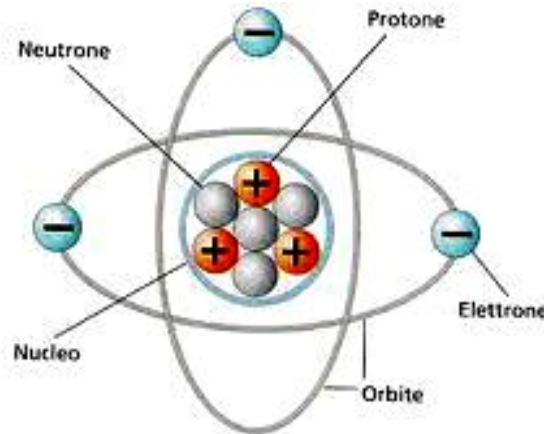
Produzione di coppie e+e- $\gamma \rightarrow e^+ + e^-$

NB: Un oggetto si carica perché elettroni vengono trasferiti (non creati) da un corpo all’altro

Carica Elettrica

La carica elettrica è quantizzata => esiste una carica fondamentale (la carica dell'elettrone) e tutte le altre cariche sono multipli di questa carica.

Un oggetto che risulta elettricamente neutro contiene un enorme numero di elettroni ma **per ogni elettrone è presente un protone carico positivamente per cui la carica netta è nulla.**



L'unità di misura della carica nel sistema SI è il coulomb (C) che corrisponde alla carica prodotta da $6,24 \times 10^{18}$ elettroni .

La carica di un elettrone è quindi:

$$q_{\text{elettrone}} = -e = -\frac{1\text{C}}{6.24 \cdot 10^{18}} = -1.60 \cdot 10^{-19} \text{C}$$

Perché il Coulomb?

Perché 1Coulomb corrisponde alla carica elettrica trasportata in 1s da un flusso di corrente da 1A (unità di misura nel sistema SI della corrente che è una delle grandezze fondamentali)

Serie triboelettrica

Effetto triboelettrico: fenomeno elettrico che consiste nel trasferimento, mediante strofinio, di cariche elettriche tra materiali diversi (di cui almeno uno isolante)

La parola deriva dal greco “tribos”, che significa appunto strofinio

Serie triboelettrica: La tabella mostra una serie di materiali, elencati in base alla polarità e all'intensità della carica acquisita.

Un materiale in cima alla tabella tende a cedere elettroni (e a caricarsi positivamente).

Quelli vicini al fondo tendono ad accettare elettroni (e a caricarsi negativamente).

Massima Carrica Positiva

aria

pelle umana asciutta

amianto

vetro

mica

capelli umani

nylon

lana

pelliccia

piombo

seta

alluminio

carta

cotone

legno

acciaio

ambra

ceralacca

gomma dura

mylar

vetroresina

nichel, rame

ottone, argento

oro, platino

schiuma di polistirene

acrilico

poliestere

celluloide

orlon

schiuma di poliuretano

polietilene

polipropilene

PVC (cloruro di polivinile)

silicio

teflon

Massima Carica Negativa

Isolanti e conduttori

Le cariche possono muoversi all'interno di un oggetto.

Tale moto è detto **Conduzione elettrica**, e la facilità con cui le cariche possono muoversi in un materiale dipende dal materiale stesso.

Classificazione dei materiali in funzione della “facilità” con cui le cariche si muovono al loro interno:

Conduttori: materiali nei quali le cariche elettriche negative possono muoversi con una certa facilità (in generale tutti i metalli sono più o meno buoni conduttori)

Quando tali materiali si caricano in una certa zona, anche con una carica piccolissima, essa si distribuisce rapidamente su tutta la superficie del materiale



Isolanti: sostanze nelle quali nessuna carica elettrica può muoversi

(esempi di isolante sono la bachelite, la ceramica, il vetro, la plastica)

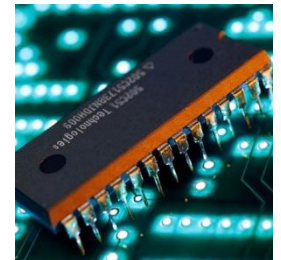
Quando gli isolanti si caricano elettricamente (ad esempio per strofinio)

la carica rimane localizzata in una zona ristretta e non si muove verso le altre zone del materiale



Semiconduttori: sostanze a metà strada tra conduttori ed isolanti (Silicio e Germanio)

In questi materiali la carica si può muovere quasi liberamente sotto determinate condizioni (superamento di un “gap di energia”)



Conduttori: Carica per induzione

(a)

Prendiamo una **sfera conduttrice isolata da terra elettricamente neutra**

(b)

Avvicinando alla sfera una **bacchetta di bachelite(isolante) caricata negativamente** gli elettroni più vicini alla bacchetta verranno respinti verso la regione più lontana della sfera (a causa della repulsione tra cariche di segno uguale)



La zona più vicina alla bacchetta avrà un eccesso di cariche positive, la zona più lontana un eccesso di cariche negative

(c)

Mettendo in collegamento la sfera conduttrice (dalla parte dell'eccesso di elettroni) con la terra mediante un filo conduttore, una parte degli elettroni, liberi di muoversi nel filo, migreranno verso terra e lasceranno la sfera

(d)

Rimuovendo il filo conduttore, la sfera è di nuovo isolata.



Nella sfera si avrà un eccesso di cariche positive *indotta*.

(e)

Allontanando la bacchetta, la carica elettrica positiva si distribuisce uniformemente su tutta la sfera



La sfera risulterà carica positivamente

NB: Per caricare un oggetto per induzione non è necessario alcun contatto con l'oggetto che induce la carica

Isolanti: Polarizzazione

La Polarizzazione è un processo che avviene negli isolanti simile all'induzione per i conduttori .

La polarizzazione è dovuta ad una “deformazione “ elettrica degli atomi dell'isolante quando vengono messi in prossimità di un oggetto carico (o più precisamente di un campo elettrico come vedremo in seguito)

Molecole e atomi hanno carica netta nulla poiché sono composti da uno stesso numero di cariche positive e negative.

Avviciniamo un palloncino caricato positivamente ad un isolante (per esempio una parete)



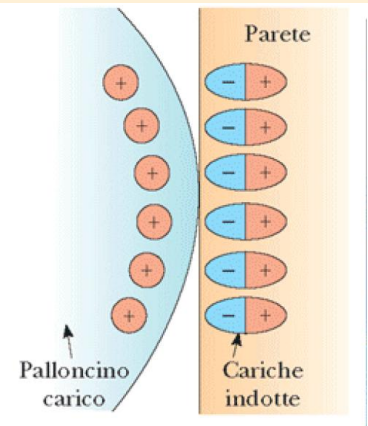
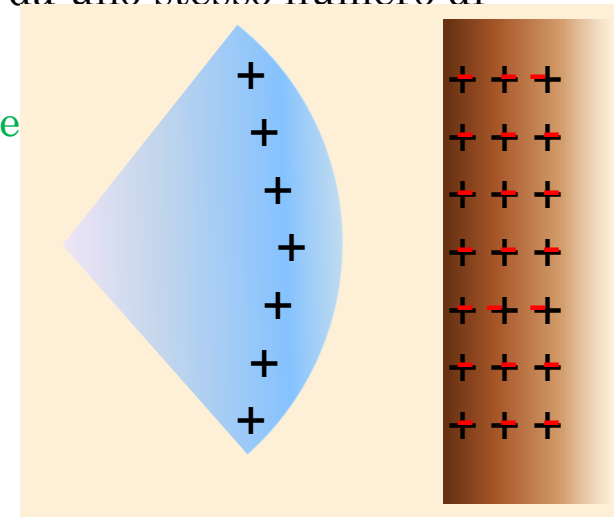
Le molecole dell'isolante si “deformano” a causa della repulsione tra cariche dello stesso segno,



Le molecole si trasformano in dipoli con il polo positivo nella zona più lontana dal palloncino



La polarizzazione genera uno strato di carica negativa sulla superficie del materiale isolante.



(a)

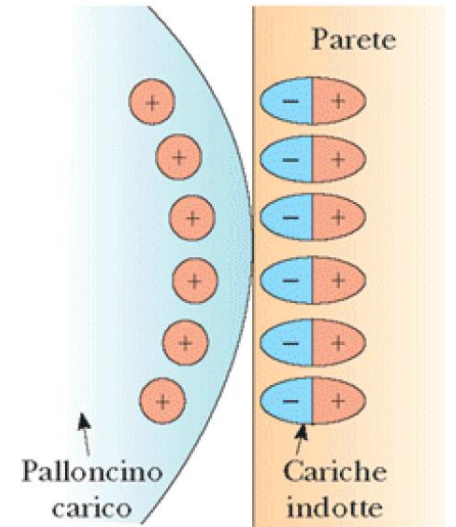
lo strato di cariche negative è più vicino all'oggetto carico positivamente delle cariche all'altro estremo delle molecole,



la forza attrattiva sarà maggiore della forza repulsiva (a causa della differente distanza tra le cariche in gioco).



La forza risultante sarà una forza attrattiva fra l'oggetto carico positivamente e l'isolante



(a)



Legge di Coulomb

- Le forze elettriche sono alla base della nostra esistenza e della materia di cui siamo composti e che ci circonda
- Le forze elettriche vincolano gli elettroni a rimanere negli atomi, gli atomi a formare le molecole
- Gli opposti si attraggono ... e lo stesso discorso vale per le cariche..
Cariche di segno opposto si attraggono, cariche dello stesso segno si respingono.

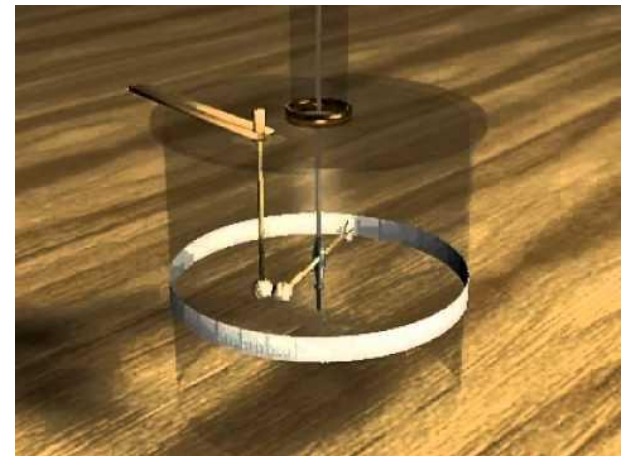
Esempi:

- Gli spermatozoi hanno carica positiva ... gli ovuli negativa ... ma non appena uno degli spermatozoi “raggiunge la meta”... l’ovulo inverte la sua polarità (spostando ioni di sodi Na^+ sulla superficie della membrana esterna) per creare una barriera per gli altri spermatozoi ed impedire la polispermia
- I globuli rossi che trasportano ossigeno dai polmoni alle cellule del nostro corpo hanno la loro superficie che presenta una carica netta negativa, ciò contribuisce ad evitare che possano aggregarsi

- Coulomb misurò per la prima volta le forze elettriche mediante una bilancia a torsione

$$F \propto \frac{1}{r^2}$$

r = distanza tra le due palline di sambuco



Legge di Coulomb

La forza elettrostatica tra due cariche è descritta dalla legge di Coulomb:

Siano q_1 e q_2 due cariche poste a distanza r l'una dall'altra. La forza elettrostatica tra queste due cariche ha modulo dato da:

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

Dove k è la costante di Coulomb ed F è espressa in N

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8.99 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$

$$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 / (\text{N} \cdot \text{m})$$

ϵ_0 è la costante dielettrica del vuoto

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$



$$F \propto \frac{1}{r^2}$$

La forza elettrostatica è inversamente proporzionale al quadrato della distanza fra le due cariche

Forza di Coulomb

le forze sono grandezze vettoriali e la forza coulombiana in particolare è una forza centrale.

La forma vettoriale della forza di Coulomb, cioè della forza esercitata dalla carica q_1 sulla carica q_2 è:

Forza esercitata dalla carica q_1 sulla carica q_2

$$\vec{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r}_{12}$$

\hat{r}_{12} = il versore che va da q_1 a q_2

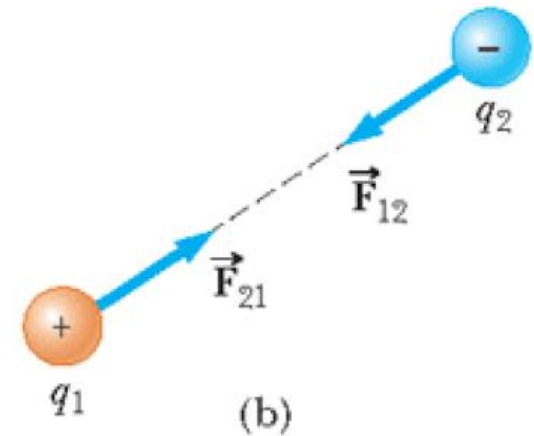
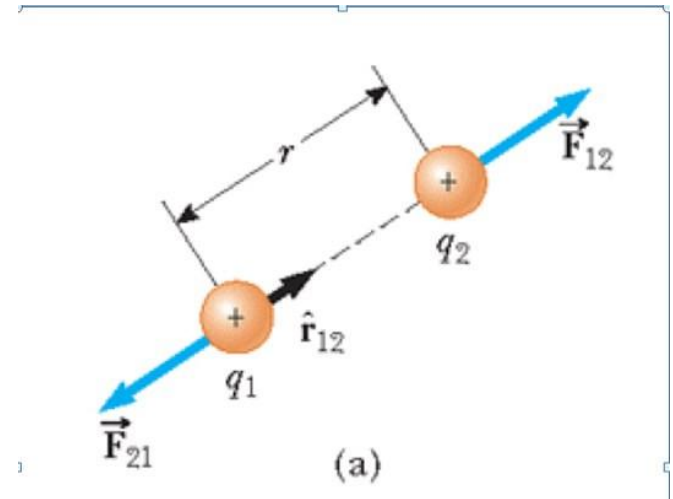
Se q_1 e q_2 hanno stesso segno \vec{F}_{12} ha lo stesso verso di $\hat{r}_{12} \Rightarrow \vec{F}_{12}$ allontana q_2 da q_1 .

Se q_1 e q_2 hanno segno opposto \vec{F}_{12} ha verso opposto di $\hat{r}_{12} \Rightarrow \vec{F}_{12}$ attira q_2 verso q_1 .

La forza esercitata da q_2 su q_1 si ricava direttamente dal **terzo principio della dinamica**:

Se un corpo esercita una forza \vec{F}_{12} su un altro corpo, l'altro corpo eserciterà su di esso una forza \vec{F}_{21} uguale in modulo ma di verso opposto:

$$\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12} = -k \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r}_{21}$$



NB: la forza di Coulomb è valida esattamente solo per cariche puntiformi

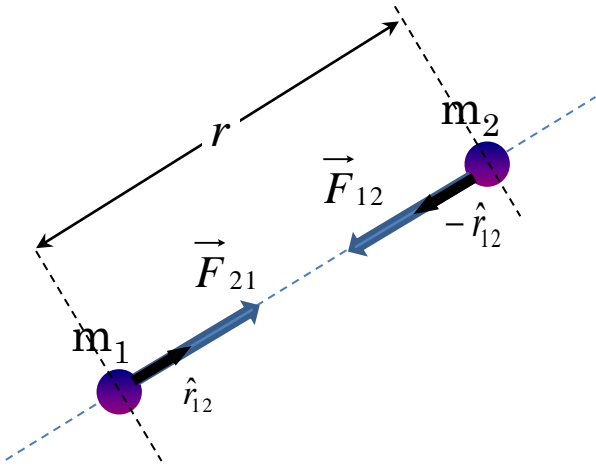
Analogia con la forza gravitazionale

Forza gravitazionale

$$\vec{F}_{12} = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \hat{r}_{12}$$

$$G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$$

$m_1 > 0, m_2 > 0$ sempre



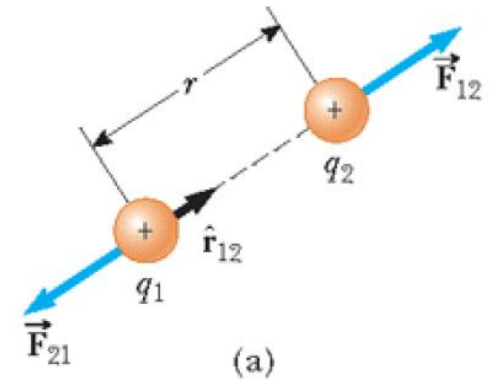
Forza elettrostatica

$$\vec{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r}_{12}$$

$$k = 8.99 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$

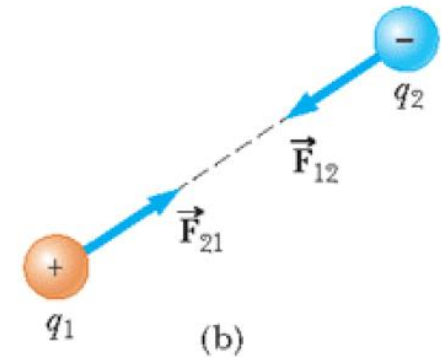
se $q_1 q_2 > 0$

$$\vec{F}_{12} = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2} \hat{r}_{12}$$



se $q_1 q_2 < 0$

$$\vec{F}_{12} = -k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2} \hat{r}_{12}$$



Forza di Coulomb di un sistema di particelle

Quando sono presenti più cariche la forza di Coulomb agisce a coppie e la forza risultante su ciascuna particella è data dalla somma vettoriale delle forze dovute a tutte le altre particelle

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{31} + \vec{F}_{41} + \dots + \vec{F}_{n1}$$

Principio di sovrapposizione. Data una distribuzione di n cariche puntiformi, la forza risultante su ognuna di esse è pari alla somma vettoriale delle forze dovute alle singole cariche.

Esempio:

Consideriamo tre particelle cariche posizionate come mostrato in figura.

Calcolare la forza elettrostatica netta $F_{1,net}$ agente sulla carica 1 per opera delle altre 2

$$q_1 = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$q_2 = 3.2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$q_3 = -3.2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$R = 0.0200 \text{ m}$$

$$\vec{F}_{1,net} = \vec{F}_1 = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{31}$$

$$\vec{F}_{21} = F_{21} \cdot \hat{r}_{21} = F_{21} \cdot (-\hat{j})$$

$$F_{21} = k \frac{q_1 q_2}{R^2} = \underbrace{8.99 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2}_k \cdot \frac{5.12 \cdot 10^{-38} \text{ C}^2}{4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 1.15 \cdot 10^{-24} \text{ N}$$

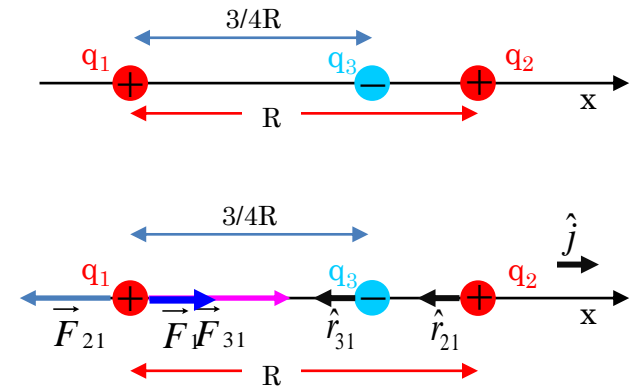
$$\vec{F}_{21} = -(1.15 \cdot 10^{-24} \text{ N}) \hat{j}$$

$$\vec{F}_{31} = -F_{31} \cdot \hat{r}_{31} = F_{31} \hat{j}$$

$$F_{31} = k \frac{|q_1| |q_3|}{(3/4 R)^2} = 8.99 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2 \cdot \frac{5.12 \cdot 10^{-38} \text{ C}^2}{2.25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 2.05 \cdot 10^{-24} \text{ N}$$

$$\vec{F}_{31} = (2.05 \cdot 10^{-24} \text{ N}) \hat{j}$$

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{31} = -(1.15 \cdot 10^{-24} \text{ N}) \hat{j} + (2.05 \cdot 10^{-24} \text{ N}) \hat{j} = (9.00 \cdot 10^{-25} \text{ N}) \hat{j}$$



Concetto di campo di forza

➤ La maggior parte delle forze di cui abbiamo esperienza quotidiana si manifestano solo quando due oggetti entrano in contatto tra loro.

Tuttavia alcune forze, come la forza gravitazionale, la forza elettrica e la forza magnetica agiscono a distanza (il sole attrae la Terra senza toccarla, una carica attrae un'altra carica senza toccarla).

➤ Nella concezione Newtoniana le forze sono azioni a distanza che si propagano senza un supporto materiale

➤ Per descrivere l'azione a distanza delle forze conviene introdurre il concetto di CAMPO, cioè una regione di spazio in cui è definita una certa grandezza fisica.



➤ Una massa o una carica elettrica o altre entità fisiche provocano nello spazio circostante delle perturbazioni che si rendono manifeste quando in tale spazio vengono introdotte altre entità fisiche che siano in grado di recepirle.

Una regione dello spazio, che sia sede di perturbazioni viene detta *campo*; si parla quindi di *campi gravitazionali*, *campi elettrici*, ecc.

NB: Con il concetto di Campo l'interazione tra entità fisiche prende un significato più generale. La perturbazione portata dalla presenza dell'entità fisica (per esempio una carica) esiste anche in assenza di una seconda entità che la possa recepire.

Per spiegare il concetto di campo, prenderemo come esempio l'azione della forza elettrica.

Campo elettrico

➤ È sempre possibile definire in ogni punto dello spazio una quantità che descriva l'azione da parte di una carica Q (o distribuzione di carica) che una particella dotata di carica q subirà in quel punto.

➤ La carica q “di prova”, sarà soggetta ad una forza \vec{F}_e misurabile.

➤ Possiamo dividere questa forza per la carica di prova q , immaginata sufficientemente piccola da non perturbare la distribuzione originale delle cariche



➤ Si ottiene una quantità vettoriale, diretta come la forza:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q}$$

Campo elettrico

➤ Questa quantità, detta **Campo della forza F** (campo elettrico generato da Q), **non dipende dalla carica di prova usata e descrive solo lo spazio intorno alla carica Q**

➤ Il campo elettrico \vec{E} in un punto dello spazio è definito come la forza elettrica agente su una carica di prova posta in quel punto diviso la carica q della particella di prova