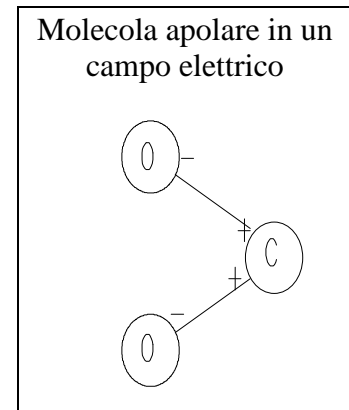
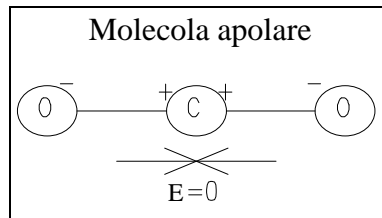
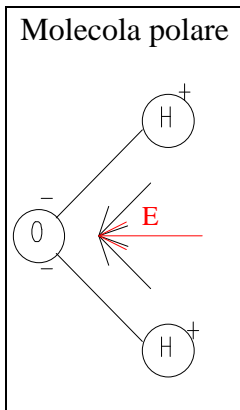


# Polarizzazione del dielettrico in un campo elettrico

## Molecole polari e apolari – momento di dipolo elettrico

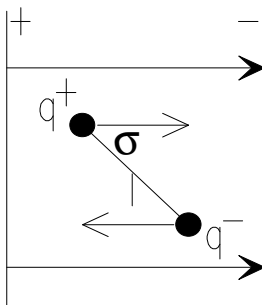
Intendiamo per dielettrico una sostanza isolante, i cui elettroni non sono liberi di muoversi liberamente come nei conduttori, ma solo localmente. Un dielettrico può essere composto da molecole polari o apolari, dipende dalla sua struttura chimica. La caratteristica delle molecole polari è appunto di essere polarizzate e di equivalere quindi ad un dipolo elettrico. Le molecole apolari invece non sono polarizzate, a meno che non vengano inserite in un campo elettrico che “pieghi” i legami delle molecole stesse, facendole disporre in modo da formare dei dipoli.

L’acqua ha molecola polare, poiché i due vettori campo che vanno dagli ioni idrogeno all’ossigeno formano un angolo di circa  $105^\circ$ . Pertanto la somma vettoriale non è nulla; la molecola equivale a



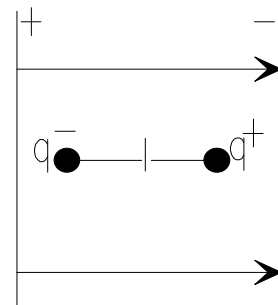
un dipolo elettrico, caratterizzato da una carica  $q$  e da una distanza  $l$  tra le due cariche  $+q$  e  $-q$  ( $p = ql$ ). La molecola dell’anidride carbonica è apolare in quanto la simmetria della disposizione degli ioni fa sì che il campo elettrico totale sia zero. Immessa in un campo elettrico esterno, però subirà una deformazione e il campo elettrico molecolare diverrà non nullo.

Quindi ogni molecola di dielettrico può essere considerata come un dipolo elettrico.



Quando immetto un dipolo elettrico in un campo elettrico, esso è soggetto ad una coppia di forze elettriche, che tende a farlo ruotare fino a disporlo orientato con il polo negativo verso il lato positivo del campo e il polo positivo verso il lato negativo del campo.

Il momento della coppia di forze ha modulo pari al prodotto della forza per il braccio:



$M = Fb$ ,  $M = qEl \sin \sigma$ , dove  $ql = p$  = momento di dipolo elettrico caratterizzante la molecola.

Vettorialmente:  $\vec{M} = \vec{p} \wedge \vec{E}$ .

Definisco  $\vec{P} = \frac{\sum \vec{p}}{Vol}$  = “vettore polarizzazione”, esso è la somma dei momenti di dipolo elettrico nell’unità di volume.

Se  $n$  è il numero dei dipoli nell’unità di volume, posso scrivere:  $P = \sum p = nql$ , questo nel caso si abbia il massimo della polarizzazione, cioè se tutti i dipoli sono orientati parallelamente.

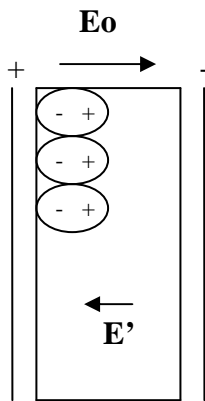
Nel caso generale la somma vettoriale dei dipoli, orientati casualmente, avrà modulo minore della somma dei moduli. Quindi il vettore polarizzazione fornisce la misura dell’orientamento, più o meno intenso, dei campi elettrici molecolari nella direzione del campo esterno.

Superato un valore caratteristico dell’intensità del campo elettrico, il dielettrico può “rompersi” per effetto della coppia di forze che lo “tira”, cioè le molecole si dividono in ioni e il dielettrico diventa conduttore, generando una scarica elettrica.

Per l’aria il valore del campo che genera la rottura delle molecole è  $E = 3 \cdot 10^6 \frac{V}{m}$ .

## Campo elettrico di un condensatore in presenza di un dielettrico

Se immetto un dielettrico tra le armature di un condensatore, le molecole subiranno l'effetto di polarizzazione prima descritto, orientandosi complessivamente in verso opposto al campo del condensatore; sulle superfici del dielettrico affacciate alle due armature si avrà quindi una densità di carica di segno opposto a quella dell'armatura.



La "densità di carica indotta" è minore di quella del condensatore (in quanto l'induzione non è completa in questo caso).

Il dielettrico genera perciò un campo opposto a quello del condensatore, e quindi il modulo del campo complessivo sarà la differenza dei due campi:

$$E = E_o - E' = \frac{\sigma}{\epsilon_0} - \frac{\sigma'}{\epsilon_0}$$

$\sigma'$  è la densità di carica indotta ed è direttamente proporzionale al campo elettrico, come si può verificare sperimentalmente, quindi si avrà  $\sigma' = \chi_E E$ , dove  $\chi_E$  è detta *suscettività elettrica*, ha la stessa unità di misura di  $\epsilon_0$  ed è tipica di ogni materiale dielettrico.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} - \frac{\chi_E E}{\epsilon_0} \Rightarrow \epsilon_0 E + \chi_E E = \sigma \Rightarrow E = \frac{\sigma}{\epsilon_0 + \chi_E} \Rightarrow E = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \left(1 + \frac{\chi_E}{\epsilon_0}\right)}$$

Il termine  $1 + \frac{\chi_E}{\epsilon_0} = \epsilon_r$  è un numero puro detto "costante dielettrica relativa del mezzo rispetto al vuoto";  $\epsilon_r$  è maggiore di 1 e dipende dal materiale; per l'aria  $\epsilon_r = 1,00059$ .

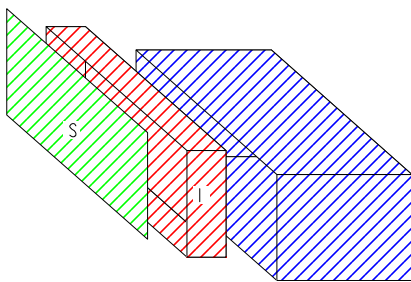
Il campo risultante sarà quindi uguale a  $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$  dove  $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$  è la "costante dielettrica del mezzo", sempre maggiore di quella del vuoto, con le stesse unità di misura di  $\epsilon_0$ .

In conclusione, se viene interposto un dielettrico tra le armature di un condensatore, il campo elettrico diminuisce, di conseguenza diminuisce il potenziale e quindi aumenta la capacità.

### Equazione vettoriale

Riprendiamo l'equazione:  $E = E_o - E' = \frac{\sigma}{\epsilon_0} - \frac{\sigma'}{\epsilon_0}$ . Essa equivale a:  $\epsilon_0 E = \sigma - \sigma'$ .

Trattandosi di campi elettrici, se ne può trovare una espressione vettoriale.



Considero il campo risultante  $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$  da cui  $\sigma = \epsilon E$ ; quindi  $\sigma$  è

il modulo di un vettore; associo a  $\sigma$  il "vettore spostamento elettrico"  $\vec{D} = \epsilon \vec{E}$ . Voglio dimostrare che  $\sigma'$  è modulo del vettore polarizzazione  $P$ , prima definito.

Ipotizzo che i dipoli del dielettrico siano tutti paralleli al campo; considero una "fetta" del dielettrico (quella rossa), di volume  $V$ , esattamente larga  $l$ , cioè quanto la lunghezza dei dipoli; la situazione è come se i dipoli fossero fiammiferi ordinati in una scatola, tutti paralleli tra loro.

Il modulo del vettore polarizzazione è:  $P = nql = \frac{nqlV}{V} = \frac{Nql}{Sl} = \frac{Q}{S} = \sigma'$ , dove ho sostituito

$nV = N =$  numero totale dei dipoli presenti nel volume dato e  $Nq = Q$  (numero di dipoli totale per carica di un dipolo = carica totale),  $V = Sl$  (volume = superficie per larghezza).

Si trova quindi che  $P$  è una densità di carica, ed è proprio quella presente sulla faccia del dielettrico considerato, cioè  $\sigma'$ . Posso dunque scrivere l'equazione vettoriale.

Infatti, dalla relazione tra moduli:  $\epsilon_0 E = \sigma - \sigma'$  segue che  $\epsilon_0 \vec{E} = \vec{D} - \vec{P}$ .

Questa relazione vettoriale descrive il comportamento del campo elettrico in presenza di un dielettrico e avrà una sua analoga per quanto riguarda il campo magnetico in presenza di un materiale magnetico.