

## CONDUTTORE IN CONDIZIONI ELETROSTATICHE

- \* LE CARICHE STANNO SOLO SULLA SUPERFICIE ESTERNA
- \* IL CAMPO ELETTRICO È NULLO ALL'INTERNO, MENTRE ALL'ESTERNO  
VICINO ALLA SUPERFICIE È ORTOGONALE ALLA STESSA E PROPORZIONALE  
LE ALLA DENSITÀ LOCALE DI CARICA :  $\vec{E} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \hat{n}$
- \* IL POTENZIALE ASSUME LO STESSO VALORE SU TUTTO IL CONDUTTORE,  
SULLA SUPERFICIE E ALL'INTERNO

$\Rightarrow$  NESSA CARICA SU CONDUTTORE QUANDO, QUESTO VA AD  
UN POTENZIALE DEFINITO (RISPETTO A  $V=0$  A DIST.  $\infty$ )  
CHE È PROPORTIONALE ALLA Q.TÀ DI CARICA

DEFINISCO

$$Q = CV$$

$C \equiv$  CAPACITÀ ELETTRICA

(proprietà intrinseca dell'oggetto)

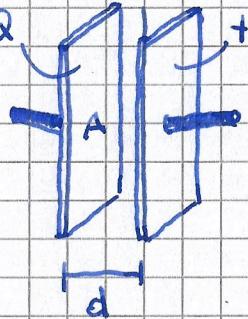
## CONDENSATORE

"INDUZIONE TOTALE": DUE CONDUTTORI IN CONFIGURAZIONE TALE PER CUI TUTTE LE LINEE DI FORZA PARTONO DA UNO E FINISCONO SULL'ALTRO

→ ESEMPIO: CAVO COASSIALE; SUPERFICI MOLTO VICINE; ECC.

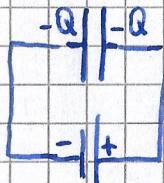
"CONDENSATORE": DUE CONDUTTORI ISOLATI TRA LORO POSTI IN CONFIGURAZIONE PER LUI VI SIA INDUZIONE TOTALE  
CLASSIC: CONDENSATORE PIANO

-Q +Q \* LE DUE "ARMATURE" POSSEGGONO SEMPRE CARICA DI



UGUALE MODULO E SEGNO OPPOSTO

\* POSSO "CARICARE" IL CONDENSATORE CON UNA BATTERIA



\* CHIAMO V LA ΔV TRA LE ARMATURE

\* CHIAMO Q LA CARICA (C'E' +Q E -Q)

## CAPACITÀ DI UN CONDENSATORE

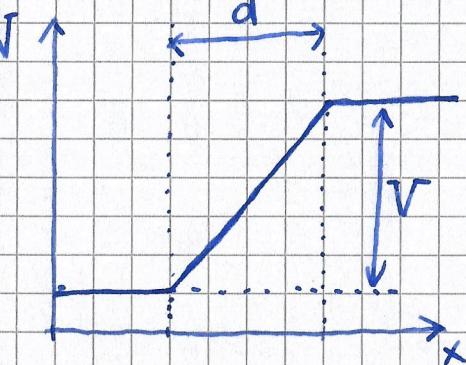
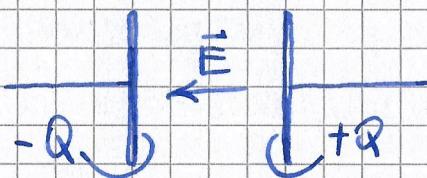
COME PER CONDUTTORE ISOLATO,  $C = \frac{Q}{V}$  (NB tutte q.tà positive)

\* CAPACITÀ GRANDE  $\Leftrightarrow$  CONTIENE PIÙ CARICA A PARITÀ DI  $\Delta V$

\* UNITÀ È IL FARAD:  $1F = 1C/V$

\* TIPICHE CAPACITÀ NEI CIRCUITI  $\sim 1\text{ pF} \div 1\mu\text{F}$

## CONDENSATORI PIANI



ASSUMO  $d \ll A$  AREA DELLE ARREDATURE.

Allora i)  $|σ| = Q/A$  UNIFORME

$$\text{ii)} E = |σ|/\epsilon_0 = Q/\epsilon_0 A$$

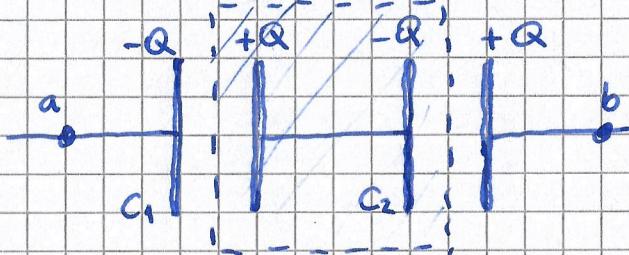
iii)  $V$  lineare in  $x$  (vedi figura)

$$\Rightarrow V = Ed = \frac{Qd}{\epsilon_0 A}$$

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q\epsilon_0 A}{Qd} \Rightarrow$$

$$\boxed{C = \frac{\epsilon_0 A}{d}}$$

## CONDENSATORI IN SERIE



Troviamo la capacità.

EQUIVALENTE DEL SISTEMA

DI DUE CONDENSATORI :

$$\left\{ \begin{array}{l} C = \frac{Q}{V} \\ V_1 = \frac{Q}{C_1} \end{array} \right.$$

$\Rightarrow$

$$\frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

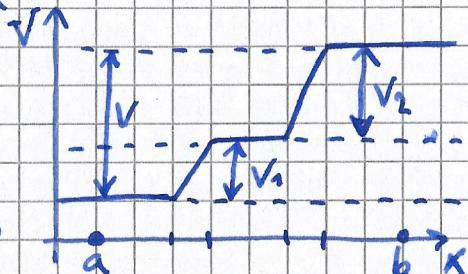
$$V_2 = \frac{Q}{C_2}$$

$$V_1 + V_2 = V$$

\*  $V = V_b - V_a = V_1 + V_2$

\* TUTTI HANNO LA STESSA CARICA  
(IMMAGINA DI PARTEIRE CON  
 $Q=0$ , E VEDI PARTE RACCHIUSA)

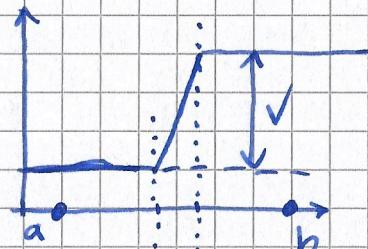
$$Q_1 = Q_2 = Q$$



IN GENERALE,

$$\frac{1}{C_{eq}} = \sum_i \frac{1}{C_i}$$

## CONDENSATORI IN PARALLELO



LA DIFFERENZA DI POTENZIALE AI CAPI DEI  
DUE CONDENSATORI È LA STESSA.  
LA CAPACITÀ EQUIVALENTE:

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q_1 + Q_2}{V} = \frac{Q_1}{V} + \frac{Q_2}{V}$$

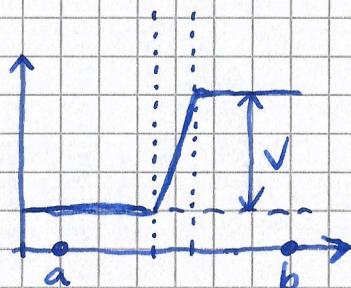
MA  $C_1 = \frac{Q_1}{V}$  E  $C_2 = \frac{Q_2}{V}$

QUINDI

$$C = C_1 + C_2$$

IN GENERALE,

$$C_{eq.} = \sum_j C_j$$



## ENERGIA IN UN CONDENSATORE

SE IN UN CERTO ISTANTE IL CONDENSATORE E' AL POTENZIALE  $V'$   
E LO AGGIUNGO CARICA  $dQ'$ , L'ENERGIA POTENZIALE AUMENTA

$$dU' = V' dQ'$$

QUINDI PER METTERE UNA CARICA  $Q$  PARTENDO DA SCARICO

$$U = \int_0^Q V' dQ' \quad \text{MA} \quad V' = \frac{Q'}{C} \Rightarrow U = \int_0^Q \frac{Q'}{C} dQ' = \frac{1}{C} \int_0^Q Q' dQ'$$

$$\text{QUINDI} \quad U = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

O IN ALTERNATIVA POSSO RISCRIVERE

$$U = \frac{Q^2}{2C} \quad U = \frac{1}{2} CV^2 \quad U = \frac{QV}{2}$$

## DENSITÀ DI ENERGIA DEL CAMPO ELETTRICO

PUNTO DI VISTA: L'ENERGIA TROVATA PRIMA È NEL CAMPO ELETTRICO PRESENTE TRA LE ARMATURE.  $E = V/d$

QUANDO  $C = \frac{\epsilon_0 A}{d} \Rightarrow U = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \left( \frac{\epsilon_0 A}{d} \right) (Ed)^2$

QUINDI  $U = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 (Ad)$

MA  $(Ad)$  È IL VOLUME TRA LE PIASTRE. A LORO DENSITÀ DI ENERGIA (ENERGIA PER UNITÀ DI VOLUME) È MINUSCOLO:

$$u = \frac{U}{Ad} = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$$

HA VALIDITÀ GENERALE! OVUNQUE NELLO SPAZIO SIA PRESENTE CAMPO ELETTRICO DI MODULO  $E$ , C'È DENSITÀ DI ENERGIA

$$u = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$$

## PROPRIETÀ DEI DIELETTRICI

SE INSERISCO UN MATERIALE (ISOLANTE) TRA LE ARMATURE DI UN CONDENSATORE CARICO, OSSERO UNA DIMINUZIONE DELLA DIFFERENZA DI POTENZIALE TRA LE ARMATURE  $\Rightarrow$  LA CAPACITÀ È AUMENTATA. DEFINISCO

$$\epsilon_r = \frac{V_0}{V} > 1$$

COSTANTE DIELETTRICA RELATIVA  $\left( \begin{array}{l} V_0 \text{ CON VUOTO} \\ V \text{ CON MATERIALE} \end{array} \right)$

$\epsilon_r$  ARMA  $\approx 1$ ;  $\epsilon_r$  ACQUA  $\approx 80$ ;  $\epsilon_r$  NYLON/CANTO/VETRO  $\approx 3 \div 5$

DATO CHE  $V = E_d$  E  $V_0 = E_0 d$ ,  $\epsilon_r = \frac{E_0}{E}$  ANCHE OSSIDO DI TITANIO  
 $\epsilon_r \approx 100!$

INOLTRE  $V = Q/C$  E  $V_0 = Q/C_0$ ,  $C = \epsilon_r C_0$

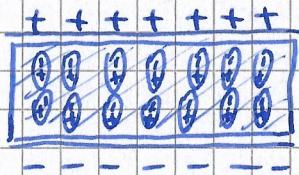
CON GENERATORE COLLEGATO,  $V$  RESTA LA STESSA CON O SENZA MATERIALE.

DATO CHE CON MATERIALE  $C$  È MAGGIORÉ, ALLORA  $Q$  È MAGGIORÉ

$\rightarrow$  MOLECOLE POLARI, O POLARIZZATE, DEL DIELETTRICO SI ORIENTANO E CREANO CAMPO OPPOSTO A QUELLO CREATO DALLE ARMATURE.

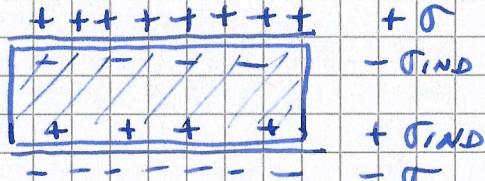
VEDI IMMAGINI PROSSIME SLIDE.

## CONDENSATORI E DIELETTRICI



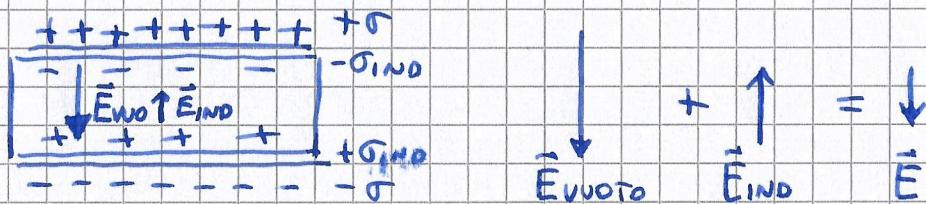
MOLECOLE POLARIZZATE

EQUIVALENTE A



DENSITÀ DI CARICA INDotta  
(OPPOSTA) ALLA SUPERFICIE ARROTOND.

QUINDI IL CAMPO ELETTRICO ALL'INTERNO DIVINISCE:



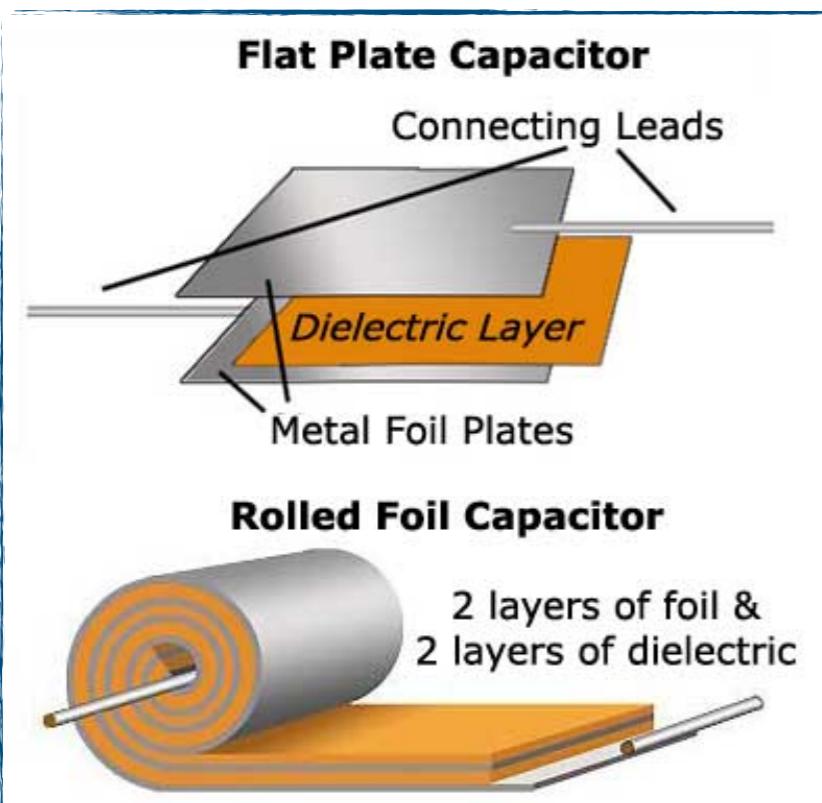
$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} - \frac{\sigma_{IND}}{\epsilon_0} = E_{VUOTO} \left( 1 - \frac{\sigma_{IND}}{\sigma} \right) \stackrel{\text{DEF}}{=} \frac{E_{VUOTO}}{\epsilon_r}$$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon_r} \quad C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} \quad \sigma_{IND} = \sigma \left( 1 - \frac{1}{\epsilon_r} \right)$$

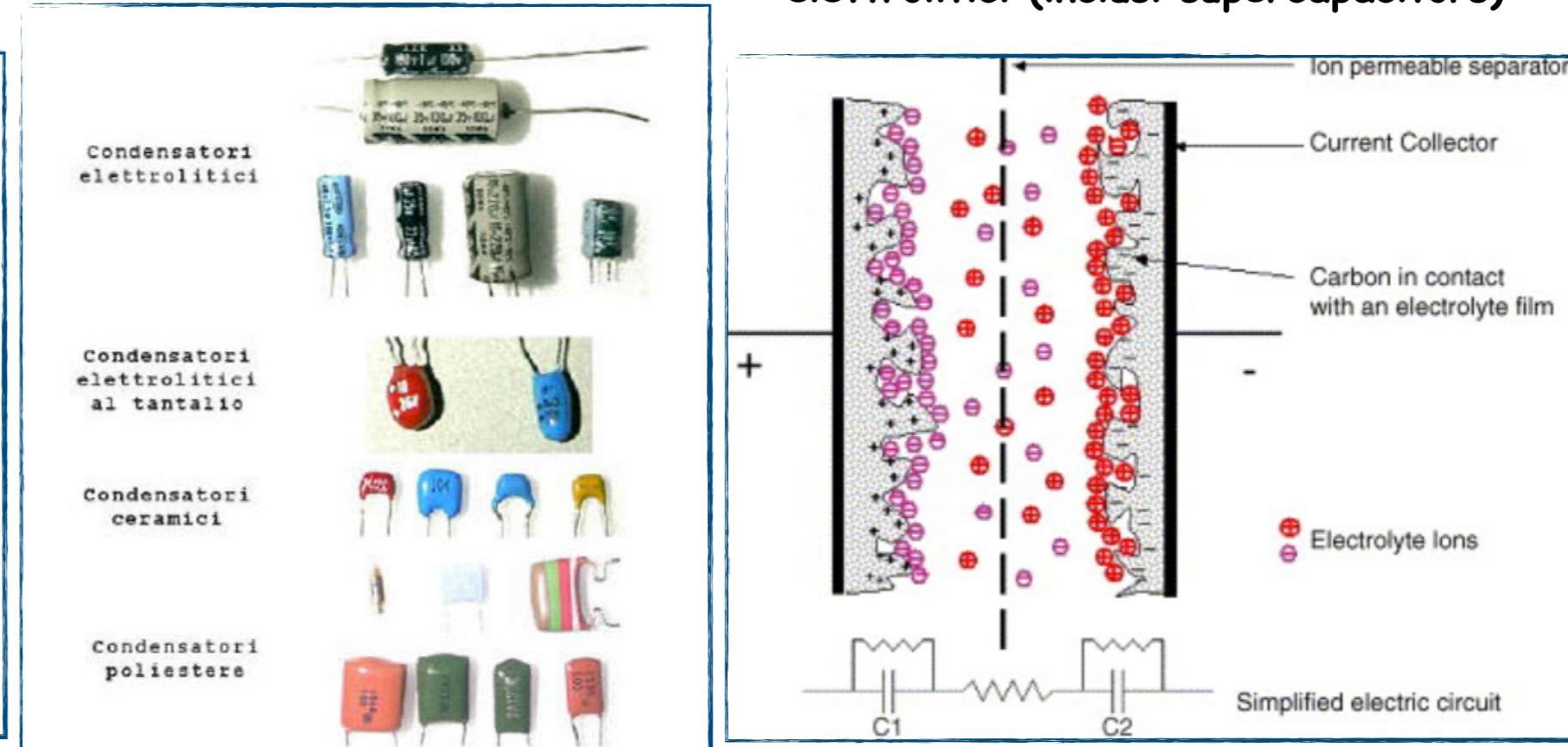
$$U = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r E^2}{2}$$

# Struttura dei condensatori

elettrostatici



elettrolitici (inclusi supercapacitors)



Condensatori elettrolitici: <https://www.youtube.com/watch?v=uoa3OB74SmM>

Supercapacitors o ultra-capacitors: <https://www.youtube.com/watch?v=EoWMF3Vki6U>

Batteries vs Supercapacitors: <https://www.youtube.com/watch?v=XjX3deXDtnQ>

Tantalum, the conflict metal: [https://www.youtube.com/watch?v=7tsiT\\_zdFew](https://www.youtube.com/watch?v=7tsiT_zdFew)  
<https://www.bbc.co.uk/programmes/p03l7k6p>

# Confronto tra i vari sistemi di accumulo e rilascio energia

