

Università di Napoli Federico II – Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea in

Ingegneria Aerospaziale (III anno – II semestre)

Scienza ed Ingegneria dei Materiali (II anno - II semestre)

6 CFU

Elettrotecnica

prof. Giovanni Lupò

Programma preliminare dei Corsi 2018/19

inizio corso 7 marzo 2019

7 marzo 2019

METODOLOGIE DI BASE

CAP. I – DAI CAMPI AI CIRCUITI

CAP. II – RETI ELETTRICHE

**CAP. III – RETI ELETTRICHE IN REGIME QUASI
STAZIONARIO – RETI IN REGIME SINUSOIDALE**

APPLICAZIONI

CAP. IV – TRASFORMAZIONE E CONVERSIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA

CAP. V – FONDAMENTI DI MISURE ELETTRICHE – STRUMENTI DI MISURA (seminario)

CAP. VI - MATERIALI E COMPONENTI (seminario)

CAP. VII – FONDAMENTI DI SISTEMI ELETTRICI PER LA DISTRIBUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA - PROTEZIONE DEGLI IMPIANTI DA SOVRATENSIONI E SOVRACORRENTI - LA FULMINAZIONE (seminario ed approfondimenti)

CAP. VIII - SICUREZZA E PREVENZIONE. LA NORMATIVA ITALIANA ED EUROPEA.

Per il materiale didattico, il calendario esami, l'orario di ricevimento ed in genere tutte le informazioni aggiornate riguardanti il corso consultare l'apposita cartella sul sito del Settore Scientifico Disciplinare SSD ING-IND/31 – Unità di Napoli UNINA e unità collegate

www.elettrotecnica.unina.it

Le informazioni generali compaiono anche sul sito di Ateneo www.docenti.unina.it.

Sussidi didattici : G. Lupò - Appunti dalle lezioni

disponibili ed in corso di aggiornamento sui siti indicati

-

Sussidi didattici ausiliari : Appendici a cura di G. Lupò

disponibili ed in corso di aggiornamento sui siti indicati

Testi consigliati per la consultazione :

M. DE MAGISTRIS – G. MIANO: Circuiti – Springer, ottobre 2007 ed aggiornamenti

S. FALCO- L. VEROLINO – Elementi di Elettrotecnica –Liguori, 2003

L. DE MENNA: Elettrotecnica - ed. Pironti, Napoli 1998

S. BOBBIO, E. GATTI: Elettromagnetismo e Ottica - ed. Boringhieri, Torino, 1991

L.O. CHUA, C. DESOER, E. KUH: Circuiti lineari e non lineari, ed. Jackson, Milano, 1991

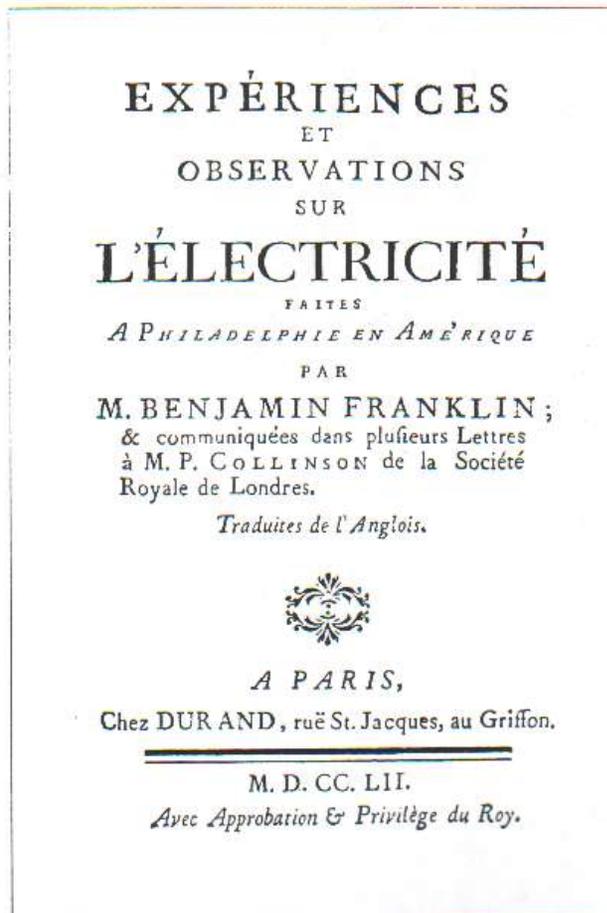
F. BAROZZI, F. GASPARINI: Fondamenti di Elettrotecnica - Elettromagnetismo, ed.UTET, Torino, 1989

S. BOBBIO: Esercizi di Elettrotecnica, ed. CUEN, Napoli, 1995

M. GUARNIERI – A. STELLA: Principi ed applicazioni di Elettrotecnica – Voll. I-II – Ed, Progetto Padova – Terza ed. 2004

INTRODUZIONE ALL'ELETTROTECNICA

dall'Elettrologia alle applicazioni civili e industriali



DÉCOUVERTES

DE M. MARAT,

*Docteur en Médecine & Médecin des Gardes-
du-Corps de MONSEIGNEUR LE
COMTE D'ARTOIS.*

SUR LE FEU, L'ÉLECTRICITÉ ET LA LUMIÈRE,

Constatées par une suite

D'EXPÉRIENCES NOUVELLES

*Qui viennent d'être vérifiées par MM. les Commissaires
de l'Académie des Sciences.*



A PARIS,

DE L'IMPRIMERIE DE CLOUSIER,
RUE SAINT-JACQUES, 3022

M. DCC. LXXIX. (2)

DÉCOUVERTES

DE M. MARAT,

*(Docteur en Médecine & Médecin des Gardes-
du-Corps de MONSEIGNEUR LE
COMTE D'ARTOIS.)*

SUR LA LUMIÈRE;

Constatées par une suite

D'EXPÉRIENCES NOUVELLES

*Qui ont été faites un très-grand nombre de fois sous
les yeux de MM. les Commissaires de l'Académie
des Sciences.*



A LONDRES;

*Et se trouve à PARIS,
Chez JOMBERT, Fils aîné, rue Dauphine.*

M. DCC. LXXX.



CENNI STORICI

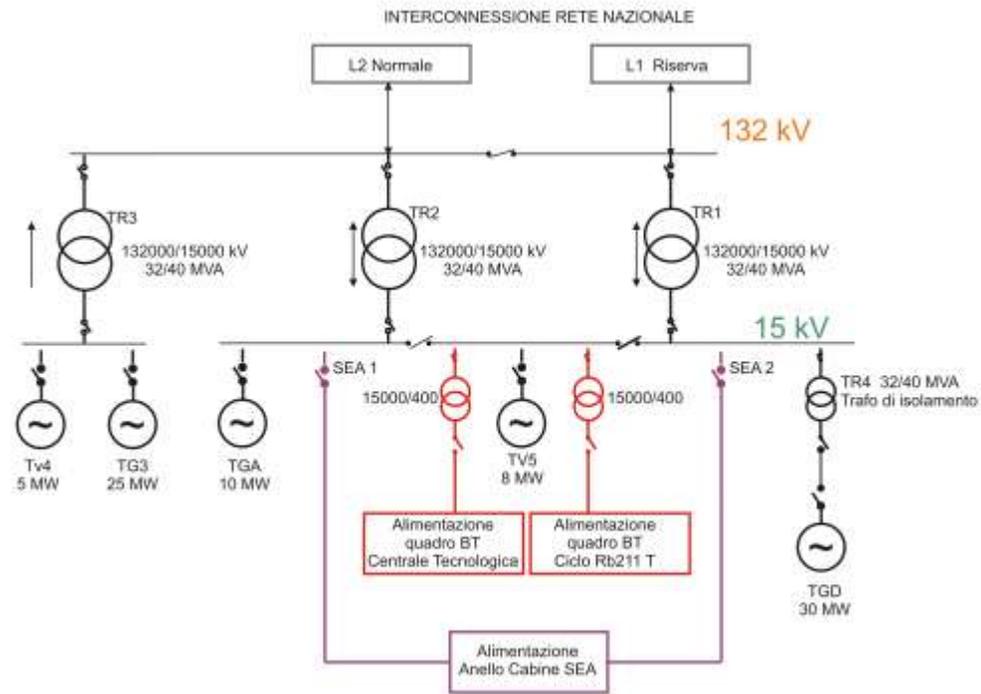
360 a.C.	Platone [Taletè 600 a.C., Plinio il Vecchio 50d.c., Seneca]	-da Timeo « Si spiegano così lo scorrere delle acque, la caduta dei fulmini, e la meravigliosa forza d'attrazione dell'ambra (ἤλεκτρον) e della calamita: in nessuno di tutti questi oggetti vi è la forza attraente, ma poiché il vuoto non c'è, questi corpi si respingono in giro l'uno con l'altro, e separandosi e congiungendosi, cambiano di posto, e vanno ciascuno nella propria sede... »
	WILLIAM GILBERT (1540-1603)	Introdusse il "fluido elettrico"- "De Magnete"
	Otto von Guericke (1602-1686)	Macchine elettrostatiche per strofinio
1729-1740	Stephen Gray Jean Théophile Desaguliers	"materiali isolanti e conduttori"
1752	Franklin, B. Phys.Trans. Roy.Soc. <u>47</u> , 289	fa riferimento all'accumulo di cariche nelle nubi temporalesche, conduce esperimenti a Filadelfia
1752	D'Alibard, T.F. Letter to Acad. des Sciences	Conduce esperimenti simili a quelli di Franklin a Marly (Parigi) usando bottiglie di Leida
1775	Beccaria, G.B. Dell'elettricità terrestre atmosferica a cielo sereno- Turin	studia le variazioni del campo elettrico in condizioni di bel tempo
	Galvani [1791] – Volta [1799]- Oersted [1820] – Ampere, Ohm [1826] – Henry, Faraday [1830] – Kirchhoff [1849] - Ruhmkorff [1851]	

1860	Thomson, W. (Lord Kelvin) Atmospheric electricity Roy. Instn. Lect.	-costruisce elettrometri a grande sensibilità - propone la registrazione fotografica e l'uso di palloni-sonda - esegue misure sulla polarità della pioggia - introduce il concetto di gradiente del potenziale elettrico naturale
	Maxwell [1864], Weber [1873], Hertz [1888]....	
1880	Ernst Werner von Siemens (1816-1892)	Realizzazione dell'ascensore elettrico
1902	Heaviside, O. Thelegraphy. I. Theory Encicl. Brit,33, 213-218 Kennelly, A.E. On the evaluation of the electrically conducting strata of the earth's atmosphere. Electr.World, N.Y.,39,473	- quasi contemporaneamente postulano l'esistenza di strati conduttivi nella parte alta dell'atmosfera per giustificare la trasmissione a lunga distanza delle radioonde
1903	Walter, B. Ann.Phys.,Leipzig 10,393-407	studia la struttura del fulmine con una camera mobile
1916	Wilson, C.T.R. On some determinations... Proc.Roy.Soc,A,92,555-74	- propone un modello di ionizzazione delle particelle d'acqua e di separazione di carica nelle nubi temporalesche
1926	Boys, C.V. Nature, Lond,118 749-750	- progetta una camera rotante (fig.1.1.8-9)
1927	Simpson, G.C. The mechanism of a thunderstorm Proc.Roy.Soc.A,14,376-401	- introduce l'idea della carica positiva localizzata nella parte inferiore della nube

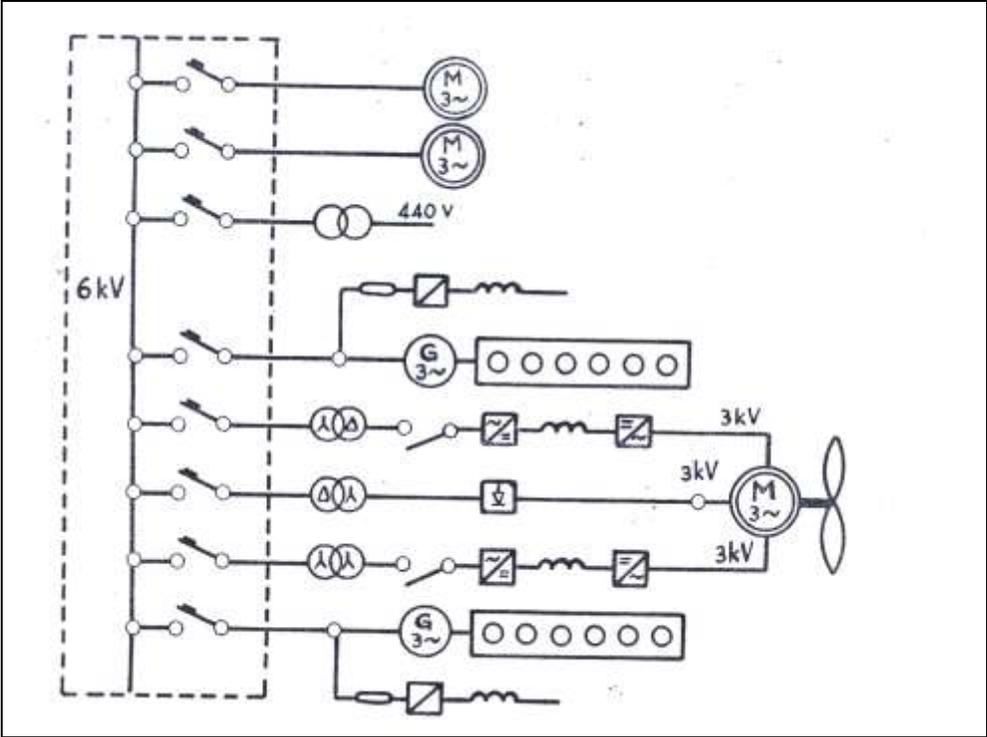
1932	Schonland, B.F.J. Atmospheric electricity Metheun, London	- distingue tra lo strato conduttivo dovuto ai raggi cosmici (elettrosfera) dagli strati di Heaviside di origine solare (ionosfera)
1953	Newman, N.N. Aircraft and lightning - Thunderstorm electricity pp328-334	studia gli effetti dei fulmini sugli aerei con fusoliera metallica
1955		Gli USA pubblicano dati ed esperienze "classificate" condotte su aeroplani durante la II guerra mondiale
1957 1958	Clark, J.F. Airborne measurement of atmospheric potential gradient J.Geophys.Res, 62,617-28	- misurano la conducibilità dell'aria sulla Groenlandia e stimano a 300 kV il potenziale dell'elettrosfera
1980		- programma NASA sui fulmini sia con rilievi, misure e sperimentazione sia a terra che in volo
1990		- primo utilizzo dello Shuttle per lo studio dei fulmini e dei fenomeni atmosferici ad alta quota
Anni recenti	Rilevamento fulmini	CESI – www.fulmini.it EUCLID – www.euclid.org NASA – GHRC - https://lightning.nsstc.nasa.gov/

<p>Anni recenti</p>	<p>Video amatoriali e specializzati su sviluppo fulmini</p> 	
<p>2015-2018</p>	<p>full electric aircraft- Airbus E-Fan</p> 	<p>Hybrid aircraft - Siemens-FlyEco Magnus eFusion</p> 

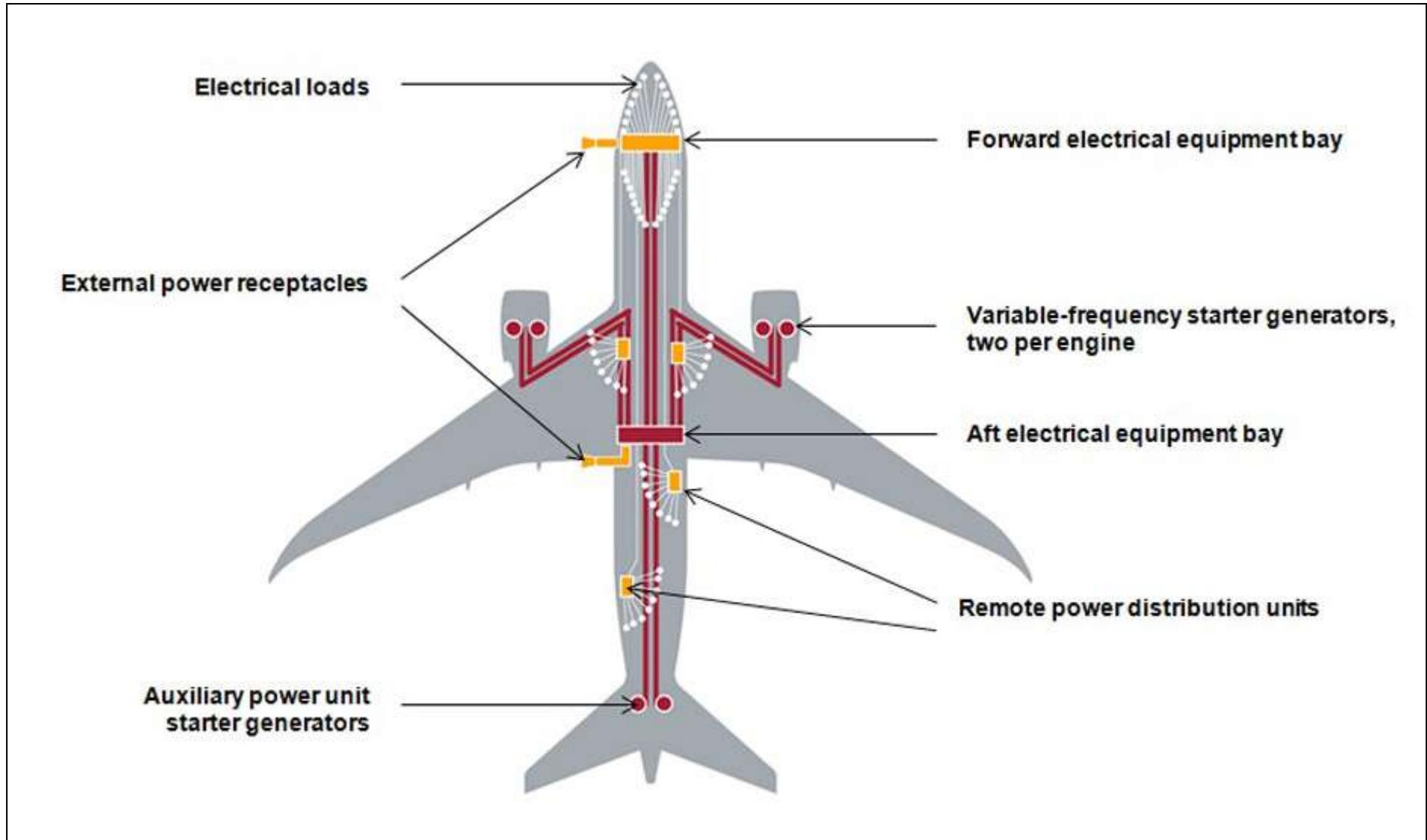
SCHEMI UNIFILARI DI GRANDI RETI ELETTRICHE



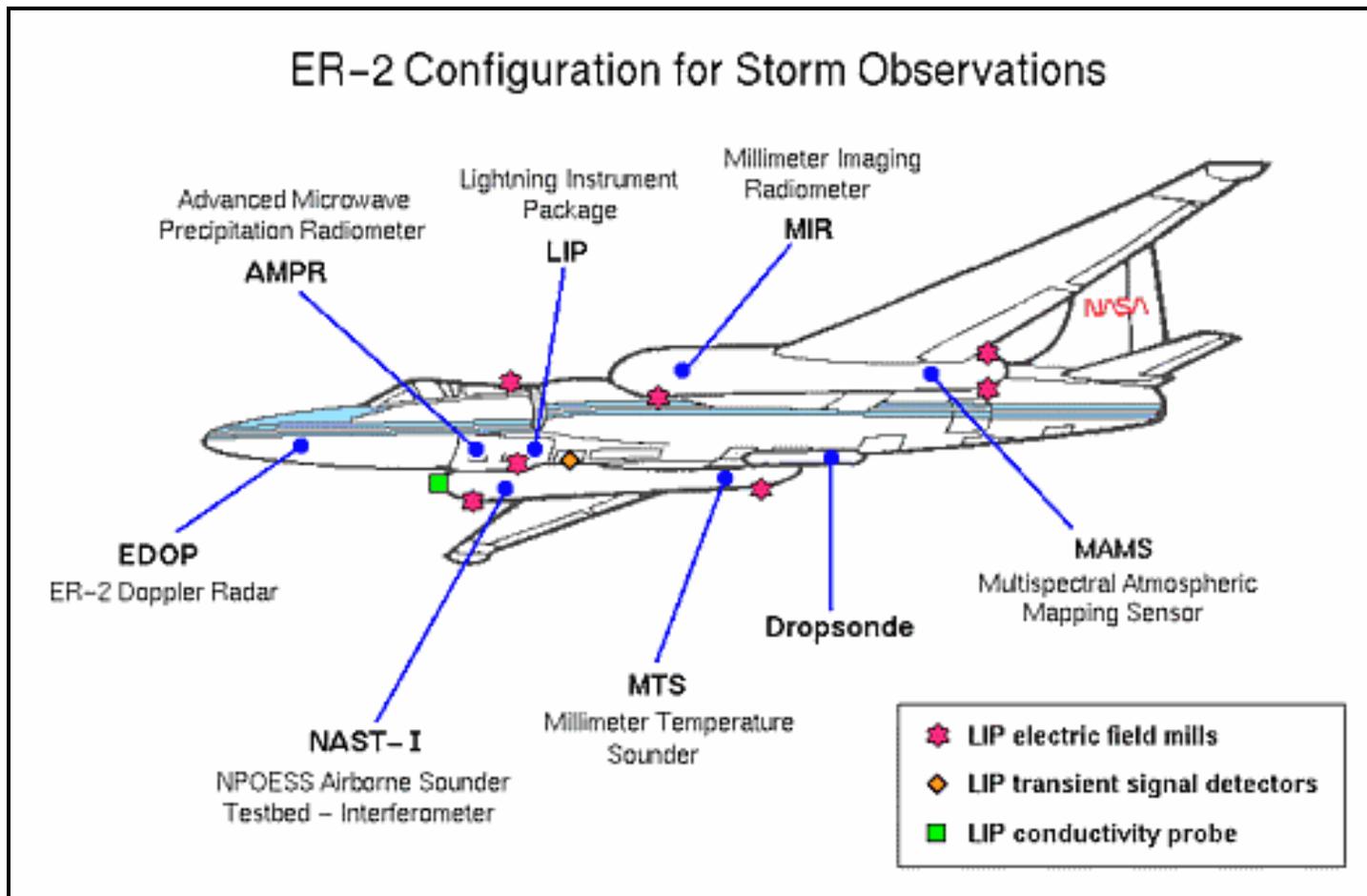
PROPULSIONE ELETTRICA NAVALE TIPICO SCHEMA UNIFILARE



CONFIGURAZIONE TIPICA IMPIANTO ELETTRICO DI AEROPLANI



SENSORISTICA ELETTROMAGNETICA PER MISURAZIONI IN QUOTA



PROPRIETA' FONDAMENTALI DEI CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI

Le equazioni di J. C. Maxwell (1861) in forma integrale

$$\oint_{\gamma} \mathbf{E} \cdot \mathbf{t} \, dl = - \frac{d}{dt} \iint_{S_{\gamma}} \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} \, dS_{\gamma} \quad (\text{legge dell'induzione elettromagnetica di Faraday-Neumann})$$

$$\oiint_{\Sigma} \mathbf{E} \cdot \mathbf{n} \, d\Sigma = \frac{Q}{\epsilon_0} \quad (\text{legge di Gauss})$$

$$\oiint_{\Sigma} \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} \, d\Sigma = 0 \quad (\text{legge di conservazione del flusso})$$

$$\oint_{\gamma} \mathbf{B} \cdot \mathbf{t} \, dl = \mu_0 \iint_{S_{\gamma}} \left(\mathbf{J} + \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \right) \cdot \mathbf{n} \, dS_{\gamma} \quad (\text{legge di Ampère-Maxwell})$$

EQUAZIONI DI MAXWELL IN FORMA LOCALE

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \left(\mathbf{J} + \varepsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \right)$$

Per integrare queste equazioni nello spazio occorre conoscere le “condizioni al contorno” (all’infinito o al finito) e le “condizioni iniziali”.

FORZA DI LORENTZ

Su ogni carica q dotata di velocità \mathbf{v} , in presenza di campo elettromagnetico, agisce una forza

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

- Obiettivo 1: Determinazione alla *sollecitazione elettrica* (**stress**) agente sulle singole particelle o potenzialmente ad esse applicabile. Ciò ci permetterà di valutare il margine rispetto alle prestazioni nominali ossia alle sollecitazioni massime accettabili in condizioni di sicurezza (**strength**), oppure le condizioni di progressivo *collasso del materiale* stesso ed i tempi tipici del collasso: un opportuno controllo delle condizioni di lavoro del materiale ne consente una gestione efficace e previene guasti e danni diretti ed indiretti spesso di notevole entità.
- Obiettivo 2: Sviluppo di diagnostiche non distruttive, on-line ed off-line, per consentire una ragionevole *previsione di vita* del materiale e dei componenti di un sistema elettrico.

SORGENTI DEL CAMPO ELETTROMAGNETICO

$$\nabla \times \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \left(\mathbf{J} + \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \right)$$

Tali equazioni vengono impropriamente chiamate “equazioni di Maxwell nel vuoto”. In generale, esse sono applicabili anche ai domini in cui siano presenti mezzi materiali, descritti da opportune densità di *carica “vincolata”* ai dipoli elementari nei fenomeni di “spostamento” elettrico e da opportune densità di *corrente “vincolate”* al moto degli elettroni intorno agli atomi e responsabili dei fenomeni di diamagnetismo, paramagnetismo e ferromagnetismo. Queste sorgenti “vincolate” determinano degli “effetti” che si andranno a sommare a quelli delle cariche libere e delle correnti libere e di spostamento.

CAMPI AUSILIARI

Si introducono due campi vettoriali ausiliari:

- il *vettore spostamento elettrico*, formalmente legato, nel vuoto, al campo elettrico dalla relazione $\mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E}$; si riconosce immediatamente che il vettore spostamento è omogeneo con una densità superficiale di carica e corrisponde alla densità di carica superficiale sull'elettrodo; il flusso dei tubi di \mathbf{D} è pari alla carica intercettata sull'elettrodo;
- il *vettore (intensità del) campo magnetico* ⁽¹⁾ $\mathbf{H} = \mathbf{B} / \mu_0$; si riconosce immediatamente che tale vettore è omogeneo con una densità lineare di corrente e quindi la sua circuitazione definisce una intensità di corrente "concatenata libera" (di conduzione e/o di spostamento).

In presenza di mezzi materiali si distinguono le *sorgenti vincolate* dalle sorgenti libere.

I fenomeni di **polarizzazione elettrica** (dovuto alle cariche "vincolate") possono essere descritti attraverso il vettore polarizzazione \mathbf{P} , inteso come momento risultante per unità di volume dei momenti dei dipoli elettrici intorno al punto in esame. Il vettore polarizzazione, anch'esso omogeneo con una densità superficiale di carica, è quindi legato alla deformazione della materia per effetto delle sorgenti libere. Il campo all'interno della materia risulterà pertanto pari a

¹ \mathbf{B} viene chiamato (*densità di flusso di*) *induzione magnetica*.

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{D} - \mathbf{P}}{\varepsilon_0}$$

Nel caso dei mezzi lineari

$$\mathbf{P} = \chi \mathbf{E} \Rightarrow \mathbf{D} = (\varepsilon_0 + \chi) \mathbf{E} = \varepsilon \mathbf{E} = \varepsilon_r \varepsilon_0 \mathbf{E}$$

dove si introduce la *permettività del mezzo* ε_r .

Il contributo ai fenomeni di **magnetizzazione della materia** (dovuti alle correnti “vincolate”) può essere considerato un contributo al campo d’induzione magnetico aggiuntivo a quello delle correnti “libere” e può essere descritto attraverso il *momento magnetico per unità di volume* dei dipoli magnetici intorno al punto in esame (**vettore magnetizzazione M**)

$$\mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M})$$

Nel caso dei mezzi lineari

$$\mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \zeta_r \mathbf{H}) = \mu_0 \mu_r \mathbf{H}$$

dove si introduce la *permeabilità relativa* μ_r .

Le equazioni integrali di Maxwell possono essere riscritte nel seguente modo

$$\oint_{\gamma} \mathbf{E} \cdot \mathbf{t} \, dl = - \frac{d}{dt} \iint_{S_{\gamma}} \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} \, dS_{\gamma}$$

(legge dell'induzione elettromagnetica di Faraday-Neumann)

$$\oiint_{\Sigma} \mathbf{D} \cdot \mathbf{n} \, d\Sigma = Q_{libera}$$

(legge di Gauss)

$$\oiint_{\Sigma} \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} \, d\Sigma = 0$$

(legge di conservazione del flusso)

$$\oint_{\gamma} \mathbf{H} \cdot \mathbf{t} \, dl = \iint_{S_{\gamma}} \left(\mathbf{J}_{libera} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \right) \cdot \mathbf{n} \, dS_{\gamma}$$

Le equazioni locali di Maxwell possono essere riscritte nel seguente modo

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_{libera}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J}_{libera}$$

DOMINI DI INDAGINE

Domini illimitati o semillimitati (con condizione di regolarità all'infinito²):

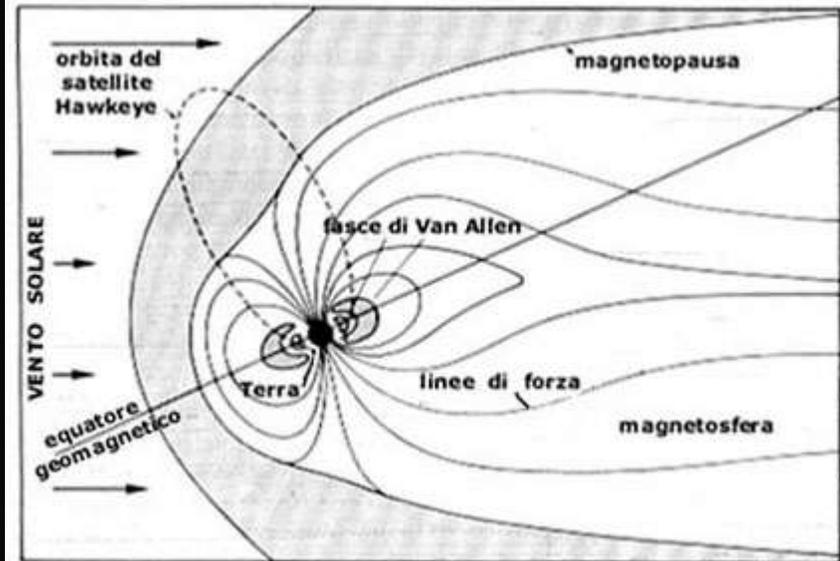
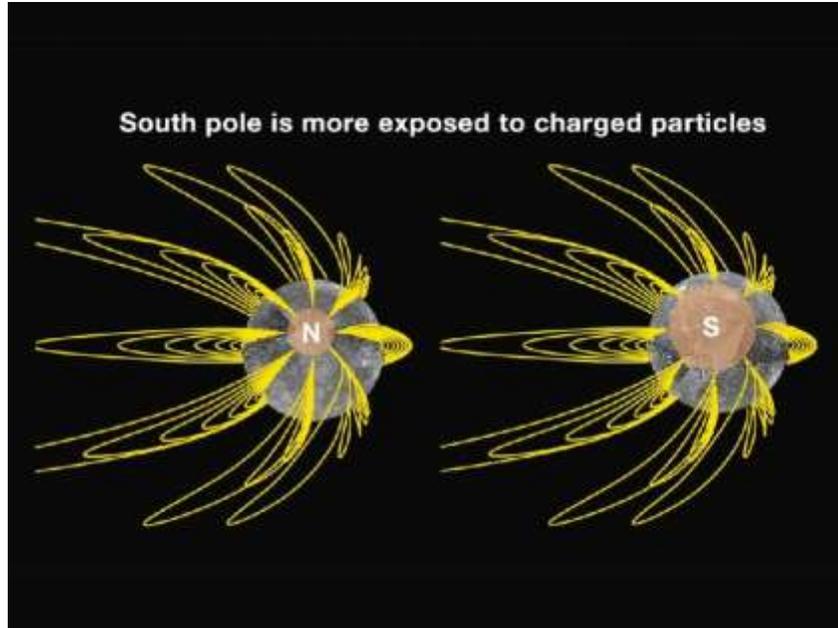
- 1) spazio libero e sorgenti distribuite (plasmi quiescenti, elettrosfera e magnetosfera, aurore boreali, force-free fields)
- 2) spazio libero e sorgenti "concentrate" (es. cariche "quasi puntiformi" o cariche superficiali su elettrodi sferici o cilindrici isolati)

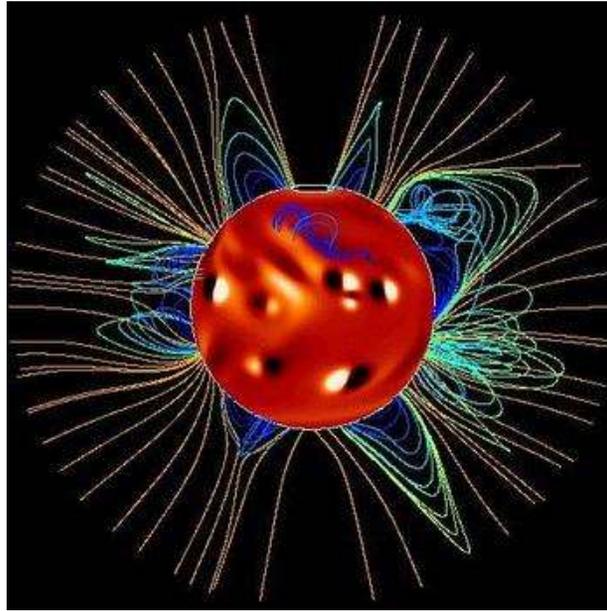
Domini o sottodomini limitati: (condizioni di continuità e/o di raccordo sui valori dei campi):

- 1) elettrodi o terminali di dispositivi elettrici
- 2) materiali non omogenei, interfacce

² Il campo elettrico e quello magnetico, e le corrispondenti densità di energia, devono tendere a zero all'infinito (come $1/r$ o $1/r^2$)

ESEMPI DI DOMINI ILLIMITATI





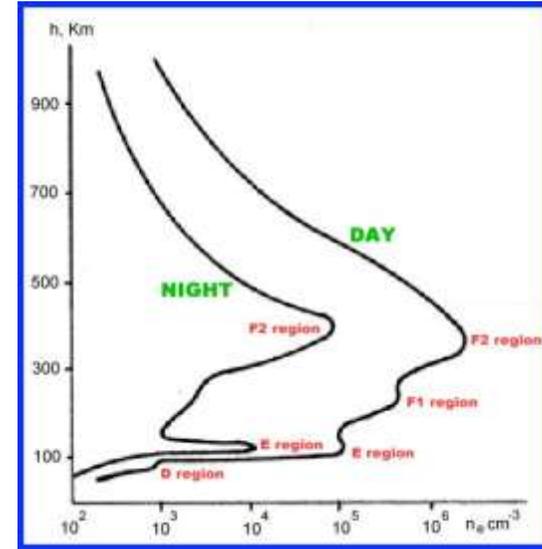
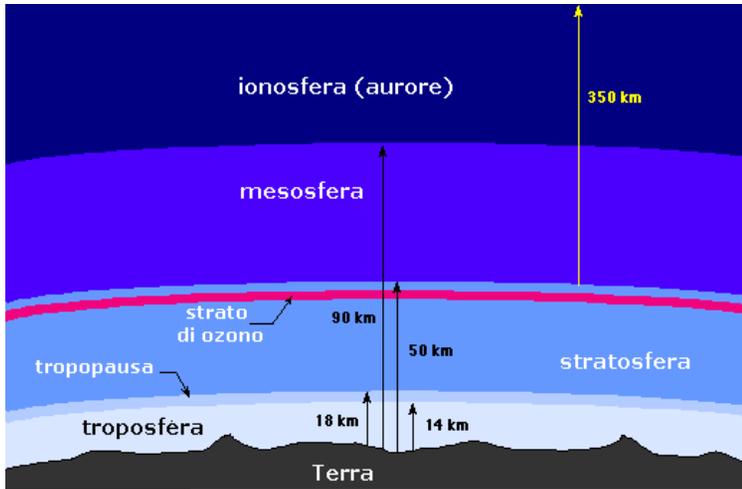
simulazione di **force-free fields** sul Sole

$$\mathbf{F} \approx (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \equiv (\mathbf{J} \times \mathbf{B}) = 0$$

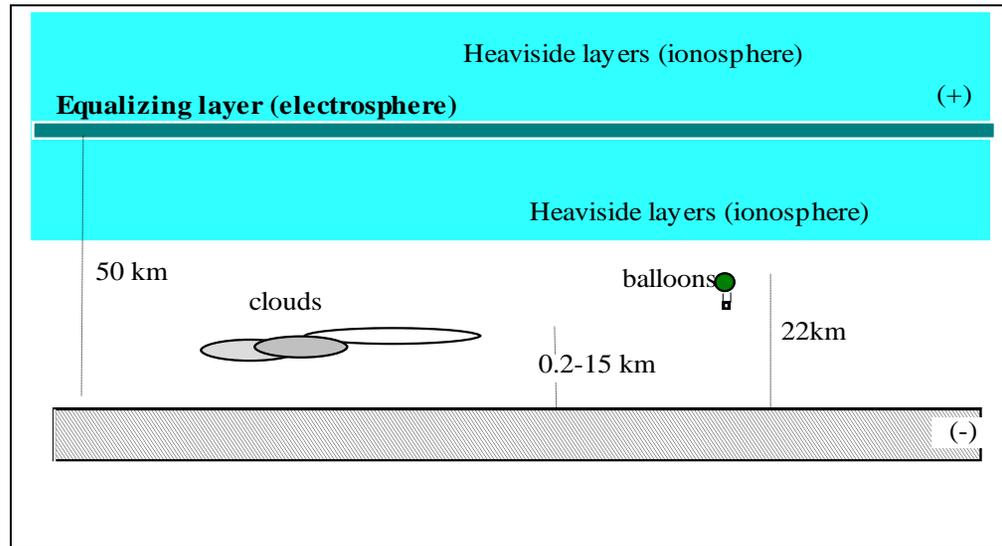
$$\text{quindi } \nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} = \alpha \mathbf{B}$$

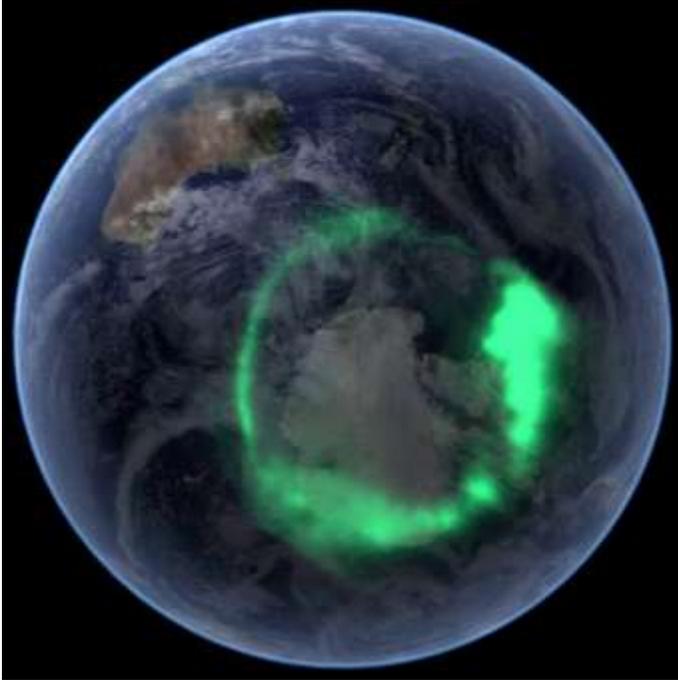
$$\Rightarrow \nabla \cdot \nabla \times \mathbf{B} = 0 = \nabla \cdot (\alpha \mathbf{B}) = \mathbf{B} \cdot \nabla \alpha$$

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{B} = -\nabla^2 \mathbf{B} = \nabla \times (\alpha \mathbf{B})$$



ELETTROSFERA





AURORA AUSTRALE
Immagine NASA – Satellite Image (2005)



AURORA BOREALE (Norvegia, 2011)

7 marzo 2019

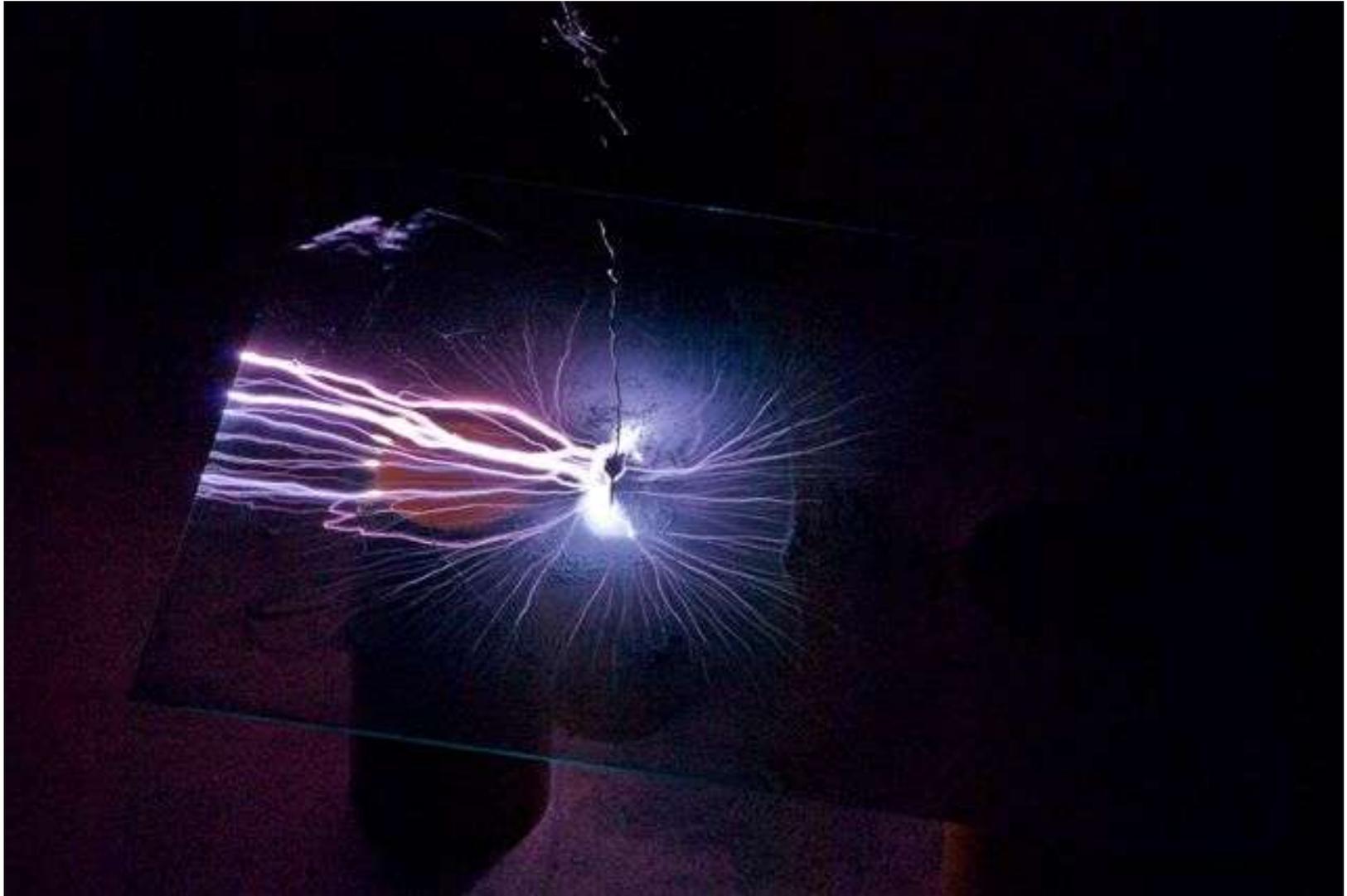


Rilievi sperimentali (Boys, 1927)

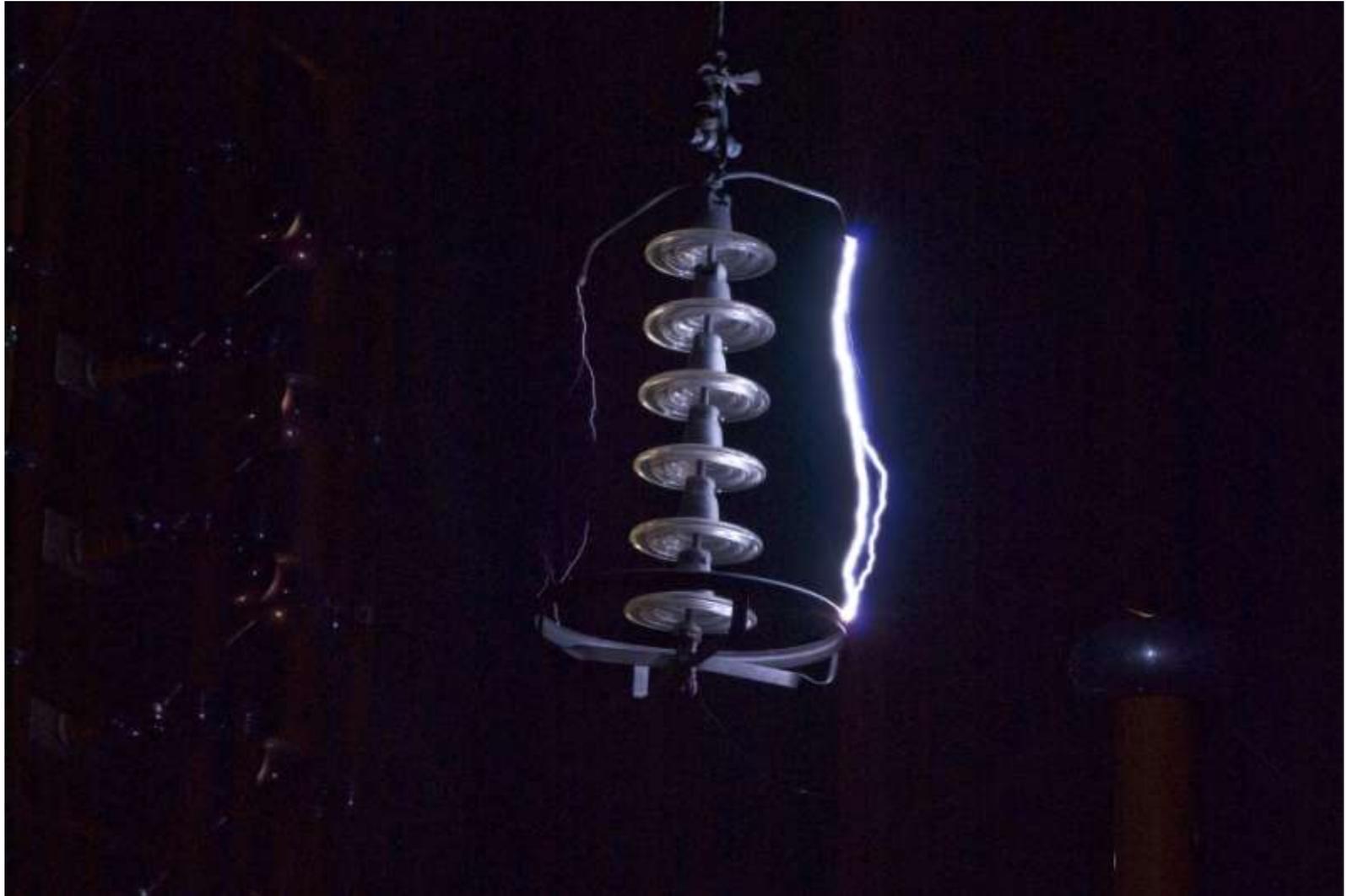
DIDATTICA (DIETI UNINA - SALA ALTA TENSIONE - 2016)



7 marzo 2019



7 marzo 2019



7 marzo 2019