

**Scuola di Ingegneria**



**CORSO DI LAUREA IN  
INGEGNERIA DELL'ENERGIA**

**ELETTROTECNICA**

**matricole pari**

**MASSIMO GUARNIERI**



# Calendario e orario

Calendario: dal 02/03 al 12/06

→ 09/03 al 12/06?

esclusi: 11/04-14/04, 01/05, 1-2/06

Ore di lezione settimanali: 8 in aula

- lunedì 14:30-16:15 RN Vallisneri
- martedì 14:30-16:15 OC Vallisneri
- giovedì 10:30-12:15 M10 DII-V
- venerdì 10:30-12:15 OC Vallisneri

→ 110 ore lorde in aula a calendario → restano 102

per circa 100 ore di corso in aula → c'è capienza comunque

# Propedeuticità

= vincoli per accedere all'esame:

- esami del primo anno per 30 crediti,
- compresa Analisi Matematica 1

Inoltre:

**Prerequisiti** (non sono vincoli, ma competenze raccomandate per affrontare lo studio con adeguata preparazione)

- Fondamenti di algebra lineare e geometria,
- Fisica,
- Fondamenti di analisi matematica 2,
- Elementi di fisica

# Articolazione del corso

Lezioni alla lavagna:

- Reti elettriche: 54 ore
- Elettromagnetismo: 24 ore
- Esercitazioni in aula: 20 ore

Laboratorio: 6 ore

PARTITORE DI CORRENTE

1) RESISTORI IN PARALLELO

2) I TOTALE CHE FLUISCE NEL NODO DEL PARALLELO

$I_g = 5\text{ A}$   
 $R_1 = 2\ \Omega$   
 $R_2 = 2,5\ \Omega$   
 $R_3 = 10\ \Omega$

$G_1 = \frac{1}{R_1} = \frac{1}{2} = 0,5\text{ S}$   
 $G_2 = \frac{1}{R_2} = \frac{1}{2,5} = 0,4\text{ S}$   
 $G_3 = \frac{1}{R_3} = \frac{1}{10} = 0,1\text{ S}$

$G_4 = \frac{1}{R_4} = G_1 + G_2 + G_3 = 0,5 + 0,4 + 0,1 = 1\text{ S}$

$V_1 = V_2 = V_3 = V_g = 5\text{ V}$

$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = V_2 G_2 = 5 \cdot 0,4 = 2\text{ V}$

$I_2 = \frac{I_g}{G_4} G_2 = I_g \frac{G_2}{G_1 + G_2 + G_3}$

$I_x = I_p \frac{G_x}{G_1 + G_2 + G_3}$

PARTITORE DI CORRENTE

Scopo formativo:

- nozioni e concetti rigorosi di elettrotecnica
- metodo di studio e di lavoro
- capacità di affrontare problemi tecnologici
- mentalità da ingegneri: analisi dei problemi e sintesi delle soluzioni

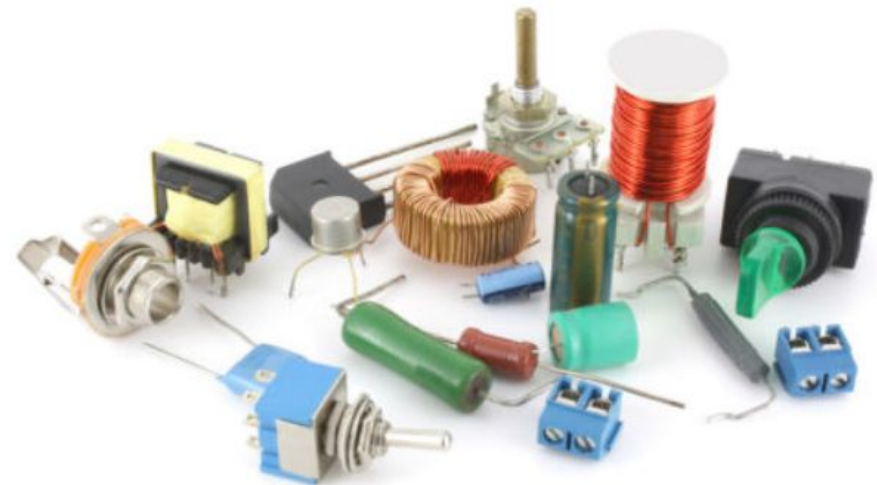
# Contenuti del corso

## Reti elettriche

- Proprietà generali dei componenti e delle reti elettriche
- Reti elettriche in regime stazionario
- Reti elettriche in regime periodico
- Reti elettriche in regime aperiodico

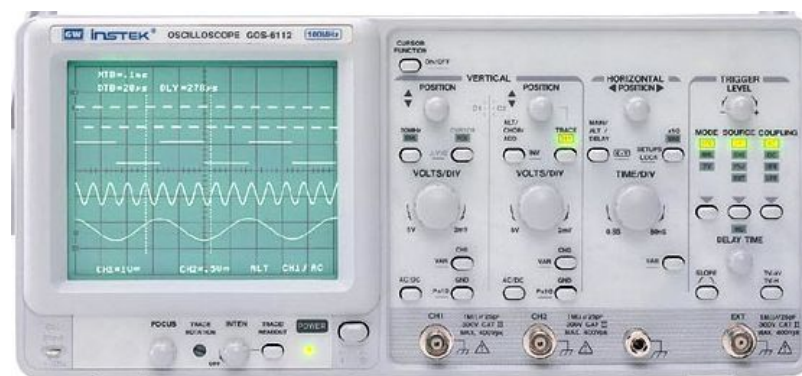
## Elettromagnetismo quasi-stazionario

- Fenomeni di conduzione
- Fenomeni dielettrici
- Fenomeni magnetici
- Conversione elettromeccanica



# Laboratorio

- Tre (due?) esperienze, ciascuna su 2-3 turni di 2 ore al mercoledì:  
15/04, 06/05, 27/05
- Scopo: mettere in pratica l'apprendimento teorico,  
iniziare a conoscere la strumentazione, usare le mani,  
imparare divertendosi



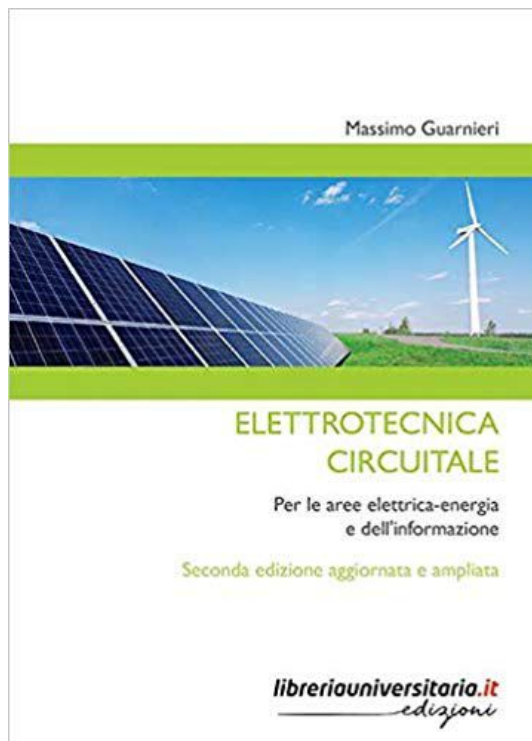
# Supporti didattici

## Teoria

- Guarnieri: “Elettrotecnica circuitale”, [libreriauniversitaria.it](http://libreriauniversitaria.it), 2019
- Guarnieri: “Elementi di elettromagnetismo per l’elettrotecnica”, Esculapio, 2019

## Esercizi

- Bellina et al. “Esercizi di Elettrotecnica”, Progetto, 2005
- Bagatin, et. al. “Esercizi di Elettrotecnica: reti elettriche”, Esculapio, 2013
- Dughiero, Sieni: “Esercitazioni di Elettrotecnica”, Edizioni Progetto, 2014



# Contatti – piattaforme

Ricevimento: in genere **in ogni momento** (salvo impegni di servizio  
→ annunciarsi con una mail)

## Comunicazioni online

- [massimo.guarnieri@unipd.it](mailto:massimo.guarnieri@unipd.it)
- <http://www.dii.unipd.it/> → Dipartimento → Persone → M.G.

**Moodle** (<https://elearning.dii.unipd.it>):

orari attività, calendario esami, ecc.; sito del corso di Elettrotecnica (matricola pari) → pagina successiva

## Lezioni online

**Uniweb** (<http://www.dii.unipd.it/>): liste di iscrizione a laboratori, accertamento ed esami, esiti, ... → pagina seguente



# Moodle – Elettrotecnica

## matricole pari - 2019-2020 - IN20102562

Iscrizione al corso: obbligatoria/automatica

Materiale informativo:

- Informazioni sul corso, comunicazioni, forum, ...

Materiale didattico:

- Sintesi delle lezioni (slide) 2018-19 e 2019-20
- Materiale di laboratorio (istruzioni esperienze, schede)
- Materiale per esame (regole e quesiti)
- Temi di compiti passati (con i soli risultati)
- Registro delle lezioni (→ svolgimento cronologico del programma)
- **Lezioni in teledidattica audio video e solo audio**

# Uniweb

## **È obbligatorio iscriversi per partecipare:**

- Laboratori (su più turni) – la partecipazione non è obbligatoria
- Accertamento – la partecipazione non è obbligatoria
- Esami scritti e orali (su più turni)  
Questionario: obbligatorio per completare l'iscrizione all'esame

## **Pubblicazioni online:**

- esito prova scritta (prova parziale) → comunicazione online dell'esito dello scritto
- accettazione del voto della prova orale (prova finale)

# Calendario esami

	scritto	orale
Accertamento	17/04	=
Sessione estiva	16/06	dal 25/06
	03/07	dal 10/07
Sessione di recupero	27/08	dal 03/09
Sessione invernale	?	?

n.b.: iscriversi almeno tre giorni prima della data dell'appello

# Esame

Accertamento (facoltativo):

- Dieci quiz di teoria a risposte multiple

Prova scritta (obbligatoria):

- Parte teorica: dieci quiz di teoria a risposte multiple
- Parte applicativa: tre esercizi

Prova orale (obbligatoria):

- Una/due domande di teoria o applicative

# Prova scritta

## Parte teorica (massimo 10 punti, 40 minuti)

- Consiste di 10 quiz a risposte multiple su tutto il programma (una sola risposta è giusta tra le 5 proposte)
- Ogni risposta giusta vale 1 punto e ogni risposta errata vale  $-0,2$  punti
- voto minimo richiesto: 6/10

## Parte applicativa (massimo 15 punti, 2:30 ore)

- Comprende tre esercizi «numerici» (analoghi a quelli proposti nelle esercitazioni in aula durante il corso) posti sui seguenti argomenti:
  - Reti in regime stazionario
  - Reti in regime sinusoidale
  - Reti in regime aperiodico (variabile)
  - Sistemi trifasi simmetrici
  - Circuiti magnetici
- Voto massimo: 5 per esercizio (15 in totale)
- Voto minimo richiesto: 8/15

## Voto complessivo (massimo 25 punti)

- Per superare la prova scritta è necessario raggiungere i voti minimi: 6/10 nei quiz a risposta multipla e 8/15 negli esercizi

# Validità del voto dello scritto

- Una prova scritta superata con esito sufficiente negli appelli a fine corso (giugno/luglio) consente di accedere alla prova orale sia nella sessione di giugno/luglio che in quella di agosto/settembre
- Una prova scritta superata con esito sufficiente negli appelli di recupero (agosto/settembre o gennaio/febbraio) consente di accedere solo alla prova orale dello stesso appello
- È possibile partecipare a tutte le prove scritte, senza limitazioni
- **Appelli di fine corso (luglio e agosto/settembre):** la consegna dell'elaborato completo (teoria ed esercizi) annulla una votazione conseguita in un compito precedente

# Prova orale

## Prova orale (voto massimo 7 punti)

- La prova orale consiste di uno o due quesiti (a discrezione dell'esaminatore) selezionati da una lista di circa 120 domande (disponibile in Moodle) sugli argomenti più importanti del programma
- Lo studente ha circa 10 minuti per organizzare la risposta in forma scritta e poi 10-15 minuti circa per presentarla all'esaminatore
- La valutazione massima dell'orale è di 7 punti
- La seconda domanda è a discrezione dell'esaminatore
- La votazione può anche essere negativa (riduzione del voto dello scritto)
- **Appelli di fine corso (giugno/luglio):** se il voto dello scritto è maggiore di 18/25 e l'esame orale è negativo o se lo studente rifiuta il voto, questi può ripresentarsi ad un secondo orale (a luglio o agosto/settembre) una sola volta, senza dover rifare lo scritto.

# Voti

Il voto finale è dato dalla somma dei punteggi dello scritto e dell'orale

parte	voto minimo	voto massimo
teoria	6	10
esercizi	8	15
orale	*	7

\*può essere negativo (senza limiti inferiori)

Incremento per laboratori: 1 punto (non scade mai)

Incrementi per accertamento, solo per orali da giugno a settembre nello stesso a.a. dell'accertamento

voto accertamento	incremento
<6.5	0
6.5-8.5	1
>8.5	1,5



# Compitino e Compito

Esempio  
da seguire →

COMPITO DI ELETTROTECNICA 10-07-2015		A
COGNOME E NOME	PINCO PALLINO	
MATRICOLA	1234567	POSTO 16
CORSO DI LAUREA		
GUARNIERI <input checked="" type="checkbox"/>	MASCHIO <input type="checkbox"/>	

## 10 DOMANDE A RISPOSTA MULTIPLA

Si consiglia di leggere con attenzione la domanda e tutte le risposte prima di rispondere  
Rispondere ad ogni domanda contrassegnando l'unica risposta corretta  
Per annullare una risposta, scrivere "No" a sinistra della casella contrassegnata per errore

### Domanda N. 1

Il teorema del massimo trasferimento di potenza:

- si applica solo a generatori ideali ma non a generatori equivalenti
- afferma che un generatore affine eroga potenza massima quando è in cortocircuito
- afferma che un generatore affine eroga corrente massima se ha resistenza interna uguale a quella del carico
- afferma che la potenza massima erogabile da un generatore affine è uguale al quadrato della tensione a vuoto diviso per il doppio della resistenza interna
- nessuna delle precedenti affermazioni è corretta.

### Domanda N. 2

Quante sono e come si determinano le  $k$  costanti di integrazione di un'uscita in regime variabile che contiene 3 bipoli dinamici (2 induttori e 1 condensatore)?

- $k > 1$ , e vengono determinate imponendo che l'integrale particolare soddisfi le condizioni iniziali
- $k = 2$ , e vengono determinate imponendo che l'integrale dell'omogenea soddisfi le condizioni iniziali
- $k \leq 3$ , e vengono determinate imponendo che la risposta completa soddisfi le condizioni iniziali
- $k = 3$ , e vengono determinate imponendo che l'integrale particolare soddisfi le condizioni iniziali
- nessuna delle precedenti affermazioni è giusta.

### Domanda N. 3

Nella dimostrazione del teorema di Thévenin si fa uso di:

- sovrapposizione degli effetti
- teorema di non amplificazione
- teorema di reciprocità
- teorema di Tellegen
- nessuna delle precedenti affermazioni è giusta.

### Domanda N. 4

In regime variabile, ad una radice reale nulla dell'equazione caratteristica corrisponde un modo normale naturale:

- oscillatorio smorzato
- costante
- esponenziale smorzato
- oscillatorio non smorzato
- nessuna delle precedenti affermazioni è corretta.

### Domanda N. 5

Il teorema di non amplificazione delle tensioni:

- si può applicare a reti di bipoli e m-bipoli lineari
- non si può applicare a reti di bipoli generici
- si può applicare solo in regime stazionario
- si può applicare anche in regime sinusoidale, ma solo ai valori istantanei e non ai fasori
- nessuna delle precedenti affermazioni è corretta.

# Compito

Esempio da seguire →

Calcolo quindi  $\vec{I}_e$ , quindi  $\vec{A}_e$  da cui ricavare  $P_e$ .

$$\vec{I}_e = \frac{\vec{E}}{R_3} = \frac{200j}{4} = 50j \quad \checkmark$$

$$\vec{A}_e = \vec{E} \vec{I}_e^* = 200j(-50j) = 10000$$

$$P_e = \text{Re}[\vec{A}_e] = 10000 \text{ W} \quad \checkmark$$

Conoscendo  $\vec{I}_e$  posso calcolare anche  $\vec{V}_{C3}$

$$\vec{V}_{C3} = jX_{C3} \vec{I}_e = 50j(-32j) = 1600 \quad \checkmark$$

$$v_{C3}(t) = \sqrt{2} 1600 \sin(125t + 0) \quad \checkmark$$

Adesso mi concentro sulla parte sinistra della rete. Calcolo  $\vec{V}_j$  per poi calcolare  $\vec{A}_j$  e ricavare  $Q_j$ .  
Inizio calcolando  $\vec{Z}_p$  del parallelo tra  $R_1 + X_{C1}$  e  $X_{L2}$ .

$$\vec{Z}_p = \frac{(R_1 + jX_{C1}) X_{L2}}{R_1 + jX_{C1} + X_{L2}} = \frac{(20 - j20)j20}{20 + j30 - j20} = 20 + 20j$$

$$\vec{V}_j = \frac{\vec{V}_3}{R_2 + \vec{Z}_p} \rightarrow \vec{V}_j = \frac{V_3}{R_2 + \vec{Z}_p} = \frac{40(20 + 20j)}{40 + 20 + 20j} = \frac{40(40 + 20j)}{60 + 20j} = 2400 + 800j \quad \checkmark$$

$$\vec{A}_j = \vec{V}_j \vec{J}^* = (2400 + 800j)(40) = 96000 + j32000$$

$$Q_j = \text{Im}[\vec{A}_j] = 32000 \text{ VAR} \quad \checkmark$$

Per calcolare  $\vec{I}_{L2}$  inizio calcolando la tensione ai capi del parallelo tra  $L_2$  e  $C_3$  questa è data dalla somma tra la tensione su  $L_2$  e quella su  $C_3$  secondo i riferimenti nella figura sottostante.

$$\vec{V}_{L2} = \vec{V}_p$$

$$\vec{V}_p = \vec{J} \vec{Z}_p = 40(20 + 20j) = 800 + 800j \quad \checkmark$$

$$\vec{V}_{L2} = \vec{V}_{AB} = \vec{V}_p + \vec{V}_{C3}$$

ma noi conosciamo già  $\vec{V}_{C3}$  con i riferimenti fatti apposta, quindi

$$\vec{V}_{C3} = -V_{C3}$$

$$\vec{V}_{L2} = \vec{V}_p - \vec{V}_{C3} = 800 + 800j - 1600 = -800 + 800j = 800(-1 + j) \quad \checkmark$$

Per calcolare  $\vec{I}_{L2}$  ora uso la relazione lineare tra corrente e tensione nel bipolo induttivo

$$\vec{I}_{L2} = \frac{\vec{V}_{L2}}{jX_{L2}} = \frac{800(-1 + j)}{j16} = \frac{50(-1 + j)}{j} = -50j(-1 + j) = 50 + 50j = 50(1 + j) = 50\sqrt{2} e^{j\pi/4}$$

$$i_{L2}(t) = 50\sqrt{2} \cdot \sqrt{2} \sin(125t + \pi/4) = 100 \sin(125t + \pi/4) \quad \checkmark$$


---

~ ESERCIZIO DI REGIME VARIABILE

DATI:

$$J_1 = 6 \text{ A} \quad J_2 = 2 \text{ A}$$

$$R_1 = 60 \Omega \quad R_2 = 30 \Omega \quad R_3 = 20 \Omega$$

$$L = 400 \text{ mH} \quad C_1 = 20 \mu\text{F} \quad C_2 = 40 \mu\text{F}$$

Determino le condizioni iniziali di  $C_1$ ,  $C_2$  e  $L$  per  $t < 0$  con il deviatore in posizione A e  $t$  chiuso. Il regime di funzionamento imposto dai generatori ideali di corrente è ~~transiente~~ stazionario.  $\checkmark$

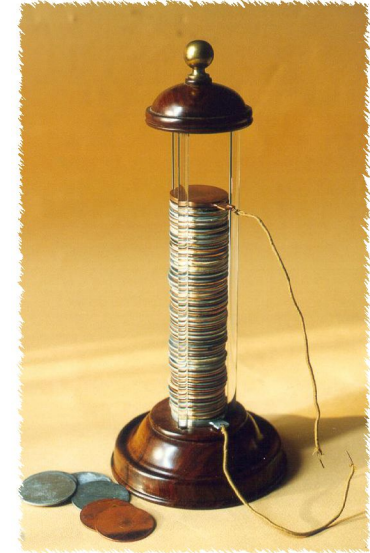
# **Contenuti del corso**

## **Cosa è l'Elettrotecnica?**



**Lightning storm in Grand Canyon:  
This is physics!**

# Elettrotecnica



in origine (dal 1800):

- sfruttamento tecnico (a fini pratici) dei fenomeni elettrici

col tempo:

- fondamenti metodologici per lo studio delle applicazioni tecniche dell'elettricità, sempre più specializzate

Insegnamento attuale: fondamenti di ingegneria elettrica

- reti elettriche
  - elettromagnetismo quasi-stazionario
- molta matematica superiore

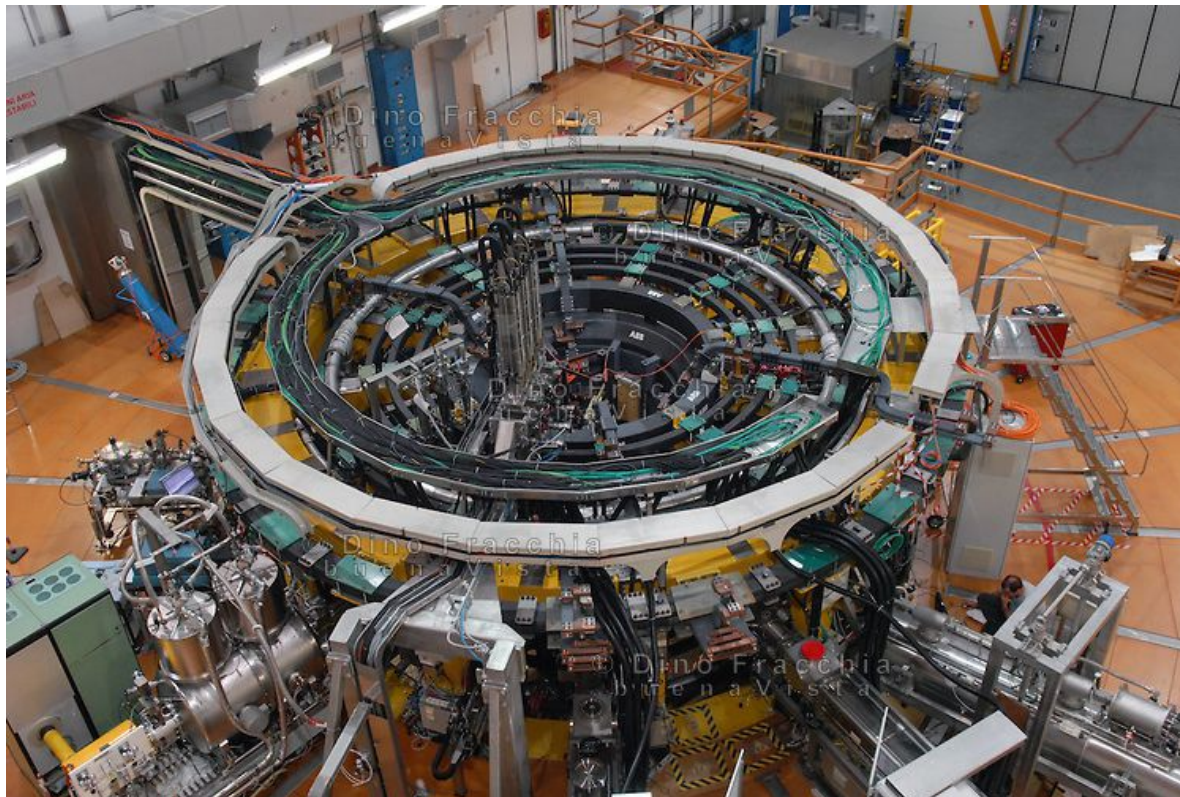
# **Perché ve la insegno io**

**Docenti universitari:  
Insegnano e fanno ricerca**

# Esperimento RFX su plasmi fusionistici



Corrente di plasma: 2 MA



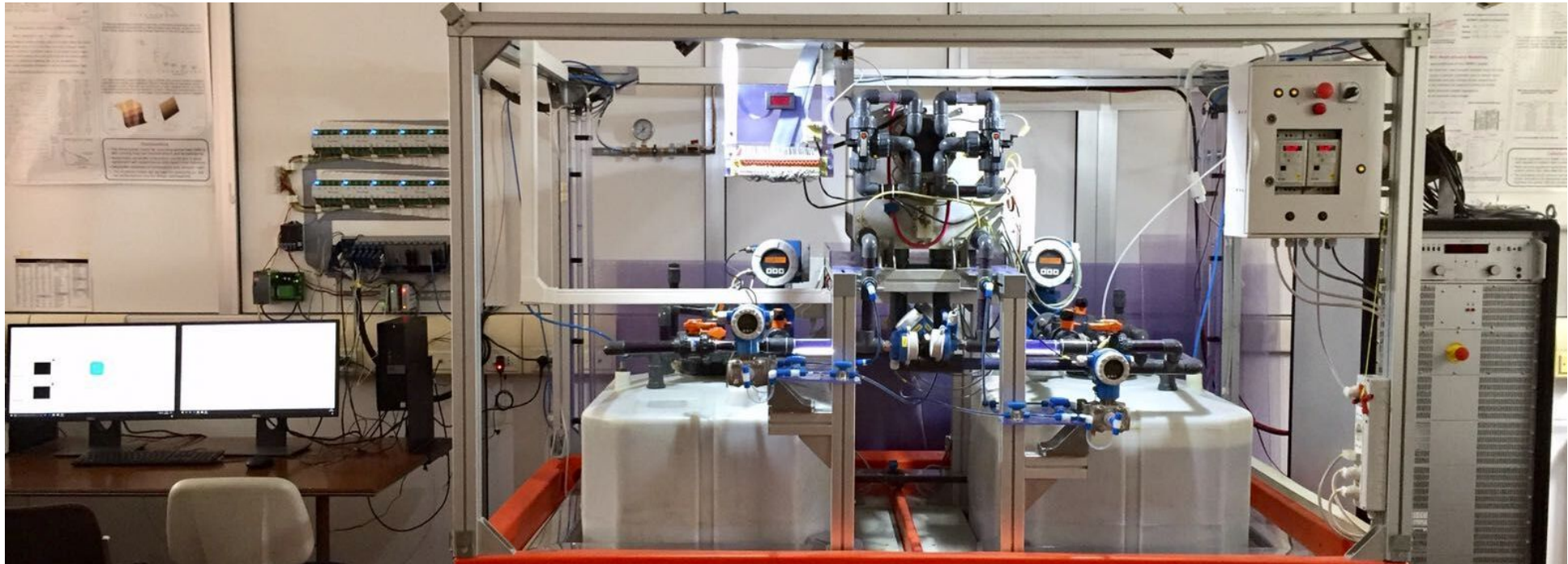
Tensione  $V=200$  kV

Corrente  $I = 50$  kA

Potenza  $P=10$  GW

in circa  $300$  m<sup>3</sup>

# Batterie a flusso redox al DII-UNIPD



- power: 9 kW
- energy: 26 kWh (in 2x550 L tanks)
- fully controlled bidirectional power converter (PMS)
- fully instrumented:  $V_i$ ,  $I$ ,  $T$ ,  $p$ , ...,  $P_{in}/P_{out}$ ,  $P_{aux}$
- BMS: Work Station + National Instruments compact DAQ  
for data monitoring and experiment control  
→ in-house experiment design, supervision and data processing (Labview)



# Le 4 vie della saggezza

## 1) Frequenza assidua

I compiti sono pericolosi! ... specialmente quelli degli altri corsi

## 2) Metodo: studiare a casa giorno per giorno

Statisticamente: 2 ore a casa per ogni ora in aula

## 3) Umiltà: siate socratici:

Ripetetevi «io so solo di non sapere niente»

Servono poco l'Elettrotecnica degli istituti e i circuiti di Elementi di Fisica

## 4) Passione: è la polvere magica per ogni successo!

→ Cercate il divertimento nell'apprendimento! Nutrite lo spirito!  
«*Be foolish, be hungry*»

→ così superare l'esame a fine corso con piena soddisfazione  
diviene molto probabile!