



## SMART GRID



# SMART GRID POTENZIATO CON L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE DL SGWD-AI



### **PERCHÉ LO SMART GRID POTENZIATO CON L'IA?**

Fin dall'inizio del XXI secolo, la possibilità di usufruire dei miglioramenti nella tecnologia di comunicazione elettronica per risolvere le limitazioni e i costi della rete elettrica è risultata evidente.

Le limitazioni tecnologiche nelle misurazioni non costringono più a mediare i prezzi della potenza di picco e a passarli a tutti i consumatori allo stesso modo.

Parallelamente, le crescenti preoccupazioni per i danni ambientali prodotti da centrali elettriche a combustibili fossili hanno portato ad una ricerca per utilizzare grandi quantità di energia da fonti rinnovabili.

Forme dominanti, come l'energia eolica e l'energia solare, sono altamente variabili e, quindi, la necessità di sistemi di controllo più sofisticati divenne evidente, per facilitare il collegamento di queste fonti alla rete. La potenza da celle fotovoltaiche (e, in minor misura, dalle turbine eoliche) ha, inoltre, in modo significativo, rimesso in discussione la assoluta necessità di grandi e centralizzate centrali elettriche.

I costi rapidamente decrescenti indicano un cambiamento significativo dalla topologia della rete centralizzata a una rete altamente distribuita, con la potenza che sia generata e consumata all'interno della rete.

Infine, la crescente preoccupazione per un attacco terroristico in alcuni paesi ha portato a richieste di una rete energetica più robusta e meno dipendente da centrali elettriche centralizzate che vengono percepite come potenziali obiettivi di attacco.



# SMART GRID

L'integrazione del modulo di Intelligenza Artificiale (IA), come **DL AI-MODULE**, svolge un ruolo cruciale. Gli algoritmi IA avanzati possono analizzare grandi quantità di dati da risorse energetiche distribuite, ottimizzando la produzione e il consumo di energia in tempo reale.

Prevedendo modelli di domanda e integrando efficacemente fonti rinnovabili, l'IA può migliorare la stabilità della rete e ridurre la dipendenza dai combustibili fossili.

Inoltre, l'IA può facilitare la manutenzione proattiva e il rilevamento dei guasti, riducendo al minimo i tempi di inattività e garantendo un'infrastruttura energetica più resiliente. Consentirà soluzioni di gestione energetica personalizzate per i consumatori, promuovendo l'efficienza energetica del sistema elettrico.

## **COS'E' UNO SMART GRID?**



Lo Smart Grid è un sistema per una "distribuzione intelligente" dell'elettricità, in grado di conoscere il consumo dei vari utenti e di gestire la generazione e la distribuzione dell'elettricità in funzione della domanda. In parole semplici, se in una certa area abbiamo una potenziale sovrabbondanza di energia, l'energia in eccesso può essere ridistribuita ad altre aree che ne necessitano, sulla base delle reali richieste dagli utenti.

Inoltre, il software che regola lo Smart Grid può monitorare il flusso elettrico del sistema, integrare nella rete l'energia rinnovabile e attivare/sospendere i processi industriali o domestici durante i periodi nei quali l'elettricità costa meno/di più. Lo Smart Grid conosce le nostre necessità di consumo di potenza. Quando la domanda di elettricità è al massimo, lo Smart Grid automaticamente si adatta alla domanda prelevando l'energia in eccesso da molte fonti per evitare problemi di sovraccarico o interruzioni di potenza.

Ha, quindi, la funzione di condividere l'elettricità che viene generata da varie fonti, sia pubbliche che private, tradizionali e rinnovabili, e di garantire che i dispositivi elettrici usino l'elettricità nel modo più efficiente possibile.



# SMART GRID



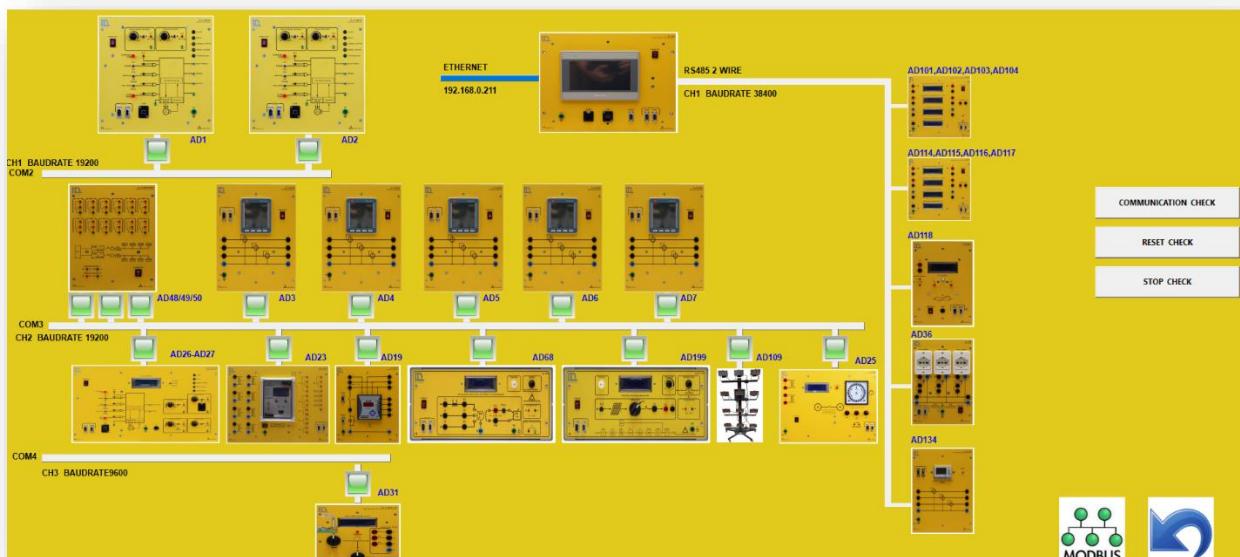
## OPEN SCADA-WEB

Il sistema completo è integrato da un software SCADA (Supervision and Control Data Acquisition) industriale che comunica con tutti i dispositivi attivi nel trainer ed esegue le seguenti azioni:

- acquisizione e misure delle grandezze fisiche del sistema;
- controllo del funzionamento del sistema;
- supervisione visiva del sistema (anche in modalità remota), tramite diagrammi sinottici: stato di funzionamento, allarmi, ecc.

Attraverso il software SCADA, l'operatore può monitorare il flusso elettrico nell'impianto per gestire ed ottimizzare la potenza richiesta in base ai consumi, attraverso l'acquisizione in tempo reale dei dati dai dispositivi di misura e dai relè di protezione ed il controllo degli attuatori per una gestione "intelligente" dell'intero impianto elettrico.

Le diverse sezioni del trainer comunicano tramite bus seriali RS485 dedicati utilizzando protocolli di comunicazione industriali standard come MODBUS RTU.



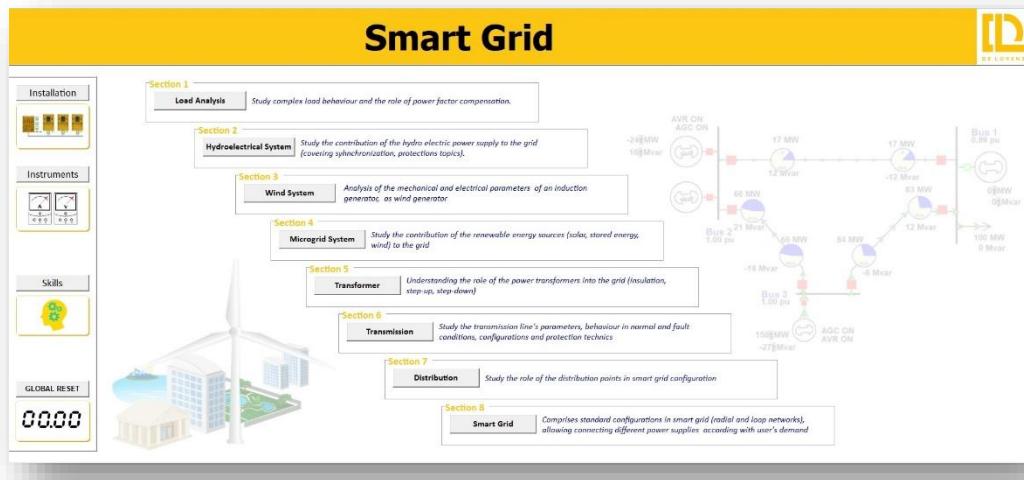
Il progetto SCADA è suddiviso in template, ognuno dei quali corrisponde a un esercizio particolare. La licenza aperta SCADA-WEB fornita con il trainer consente agli insegnanti di personalizzare completamente i template esistenti o di crearne di nuovi che possono essere utilizzati per monitorare il sistema da una postazione di lavoro locale.



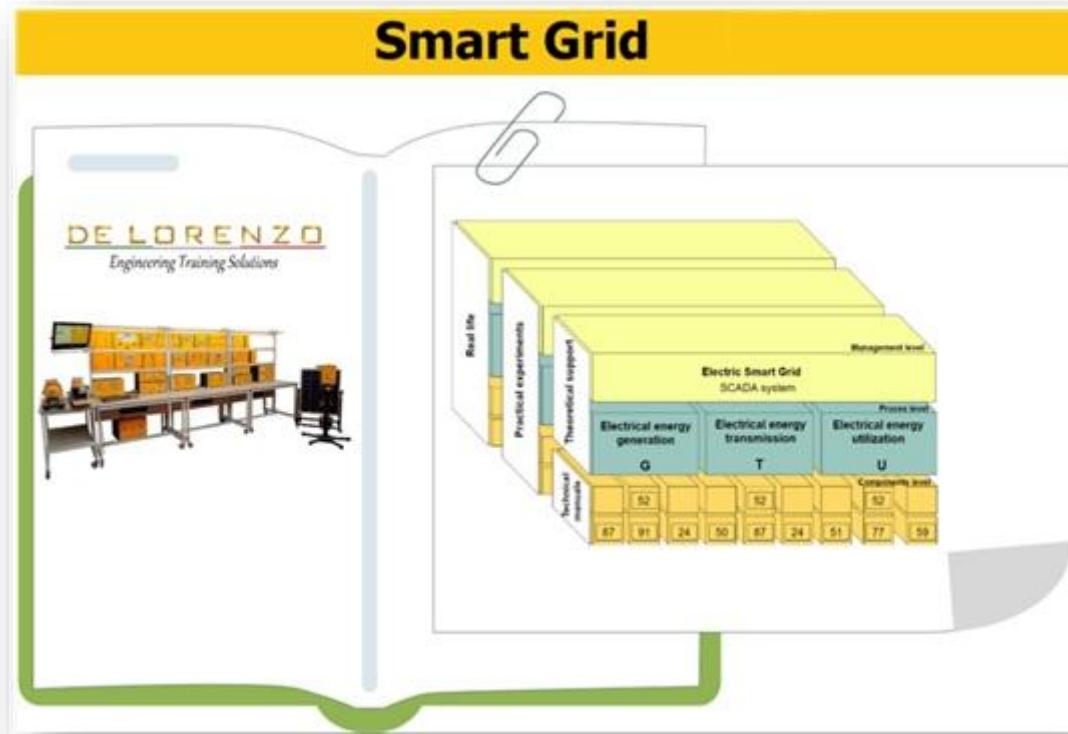
# SMART GRID

## Caratteristiche principali SCADA

Il software è strutturato seguendo un approccio didattico, suddividendo ogni unità di studio in singoli esercizi.



La licenza aperta SCADA-WEB offre agli insegnanti la possibilità di creare i propri progetti e personalizzare completamente gli esperimenti visualizzando i parametri di interesse e controllando gli attuatori per una gestione “intelligente” dell’alimentazione.

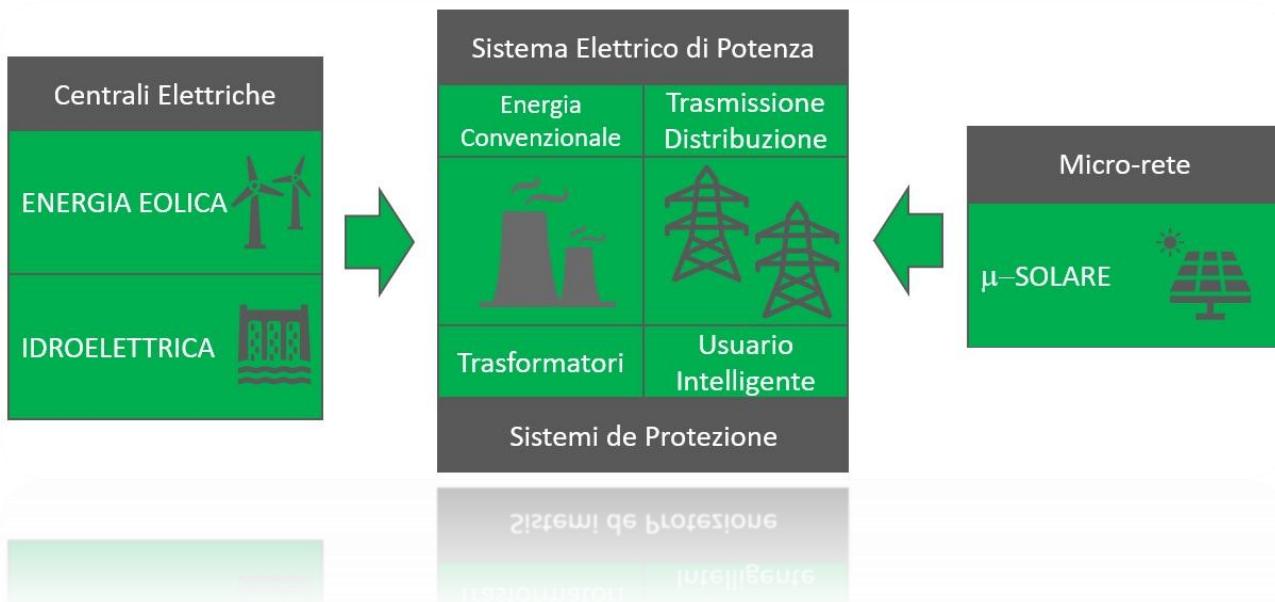




# SMART GRID



## LA SOLUZIONE DE LORENZO



Il sistema di rete intelligente sviluppata dalla De Lorenzo può essere organizzato in otto sottosistemi, ciascuno composto da diversi moduli. I primi quattro sottosistemi sono simulazioni di fonti di energia; il primo è l'alimentazione principale della rete con una unità di alimentazione trifase che rappresenta una centrale a carbone. Gli altri tre sottosistemi corrispondono a fonti alternative di energia: eolica, idroelettrica e solare. La simulazione dell'impianto eolico è realizzata con un motore asincrono trifase che opera da generatore mentre la simulazione dell'impianto idroelettrico è realizzata con una macchina sincrona trifase e con un modulo relè di sincronizzazione del generatore per rendere possibile il collegamento alla rete. Infine, l'energia solare viene generata con un pannello solare e dodici lampade con dimmer per simulare il sole, collegato ad un modulo inverter che permette che l'energia generata venga trasferita alla rete.

Un quinto sottosistema nella rete intelligente è composto da moduli per protezione dai guasti; i moduli sono un feeder manager relè che misura in tempo reale le tensioni e le correnti per rilevare i guasti nella rete e quattro interruttori di potenza controllati dal modulo precedente per scollegare linee difettose.

Il sesto sottosistema si riferisce ai moduli di misura; ci sono tre misuratori di massima domanda che misurano tensioni in CA, correnti, frequenze, potenza attiva, potenza reattiva, potenza apparente, fattore di potenza e THD per ciascuna delle tre fasi disponibili nella rete e due unità di misura digitale dell'energia elettrica che, oltre a misurare gli stessi parametri del modulo precedente, eseguono misure di tensione in CC, corrente, potenza ed energia.

Il settimo sottosistema è per il controllo del fattore di potenza con 2 moduli, il primo è una batteria commutabile di condensatori con quattro diversi valori di capacità e il secondo è un regolatore di potenza reattiva che attiva i condensatori del modulo precedente per effettuare una correzione del fattore di potenza.

L'ultimo sottosistema è composto da elementi passivi; tre moduli con diversi tipi di carichi (capacitivo, induttivo, resistivo) che simulano i carichi in una casa o in una fabbrica e due moduli con impedenze che simulano le perdite generate nelle linee di trasmissione, in particolare nelle linee da 10 e da 100 km di lunghezza.



## SMART GRID



Un software **SCADA** esegue l'acquisizione e la memorizzazione dei dati provenienti dagli strumenti di misura e il controllo degli attuatori per una gestione "intelligente" dell'intero sistema elettrico. Il software SCADA può anche essere fornito su richiesta in versione aperta, in modo che il docente può attuare il suo progetto e selezionare le modalità e la procedura per la visualizzazione dei parametri e il controllo degli attuatori.

L'**intelligenza artificiale** svolge un ruolo cruciale, influenzando varie tecniche per migliorare l'efficienza e l'affidabilità della rete elettrica. Applicando l'apprendimento supervisionato, l'apprendimento per rinforzo e il rilevamento delle anomalie, questi esperimenti ottimizzano il consumo di energia, prevedono la generazione di energia rinnovabile e migliorano la stabilità della rete. L'**IA** consente il rilevamento dei guasti, la manutenzione proattiva e il controllo intelligente del carico, riducendo i tempi di inattività e migliorando la resilienza. Alla fine della sezione **Esperimenti**, troverai descrizioni dettagliate di ciascun esperimento, inclusa la loro area di **IA** e la categoria di Machine Learning.

Il sistema sopra descritto rappresenta la configurazione di base del nostro laboratorio (**DL SGWD-AI**).

**Facoltativamente**, è anche possibile aggiungere un ulteriore sistema di generazione di energia eolica su piccola scala, con una vera turbina eolica collegata a un modulo inverter per effettuare la connessione alla rete (**DL SGWD-W-AI**).



# SMART GRID

## OBIETTIVI FORMATIVI



*Configurazione speciale preparata per una Fiera*

Il sistema didattico per lo studio dello Smart Grid può essere considerato un **laboratorio multidisciplinare**, perché permette lo studio e la realizzazione di esperienze su diverse materie tecniche, che vengono poi integrate in una configurazione completa del sistema Smart Grid.

In realtà, sistema didattico Smart Grid è un laboratorio integrato che può essere utile per un gran numero di corsi di laurea in ingegneria. L'attrezzatura di laboratorio può essere configurata per creare diversi tipi di esercizi, che rafforzano i concetti di base e avanzati nel settore dell'energia elettrica. Le apparecchiature possono essere interconnesse per formare **un sistema completo di rete intelligente**. Tuttavia, come si può vedere dalla lista degli esperimenti nel prossimo paragrafo, temi tradizionali, come le macchine elettriche, sistemi di distribuzione e così via possono essere coperti dal sistema didattico Smart Grid; questo laboratorio innovativo può comprendere dimostrazioni di classe ed esperimenti di laboratorio.

Ci sono temi fondamentali che sono necessari per la comprensione del concetto di Smart Grid e che devono essere collegati a situazioni di vita reale, ma altri argomenti potrebbero essere aggiunti per creare corsi di studio speciali. I **temi principali** sono: circuiti elettrici, macchine elettriche, energia idroelettrica, energia eolica, energia solare fotovoltaica, energie rinnovabili, trasmissione di potenza, distribuzione di energia.

Inoltre, **altri corsi di studio** possono beneficiare del sistema didattico Smart Grid, come, ad esempio: ingegneria e analisi dei sistemi di potenza, macchine elettriche, sistemi di controllo lineari, ingegneria della distribuzione elettrica e automazione delle reti intelligenti, funzionamento e controllo della generazione di potenza, elettronica di potenza, costificazione e costruzione di sistemi di alimentazione, stabilità dei sistemi di potenza, metodi di ottimizzazione, processi stocastici, sistemi embedded.

Il sistema di rete intelligente può essere utilizzato da studenti di ingegneria meccanica ed elettrica come un progetto di lunga durata in quanto comprende elementi sufficienti per coprire la maggior parte degli argomenti di cui sopra.



## SMART GRID



Argomenti specifici sui circuiti elettrici possono essere studiati attraverso i moduli di carico, permettendo la piena comprensione dei carichi resistivi, capacitivi e induttivi, alimentati in CA o CC. Un'apparecchiatura protetta consente l'applicazione di grandezze elettriche nominali domestiche e industriali e la loro strumentazione. Effetti particolari di carichi induttivi e di correzione del fattore di potenza sono altre questioni che possono essere affrontate.

Lo studio delle apparecchiature elettriche in CA può anche essere integrato con l'esperienza pratica fornita dai generatori ad induzione e sincroni utilizzati per emulare rispettivamente una centrale eolica e una centrale idro-elettrica.

Metodi di sincronizzazione, trasformatori di potenza e per strumentazione e i fenomeni fisici possono essere misurati e studiati come elementi singoli o come parte di tutto il sistema di distribuzione di energia.

L'intero sistema può essere testato sotto molti punti di vista in quanto è configurabile e, quindi, esperimenti differenti possono essere condotti in base agli stessi principi. Quando si analizzano i sistemi di distribuzione e gli schemi di guasto, la strumentazione e le schede logiche sono in grado di fornire una flessibilità sufficiente per comprendere il processo tra la generazione di energia e il suo utilizzo, insieme a eventi anomali ed ai loro rispettivi problemi di protezione. In questo modo, gli argomenti aggiunti nei piani di studio che riguardano la gestione e la distribuzione di energia possono anche trovare spazio in un progetto integrato di Smart Grid a lungo termine, che può essere valutato anche sotto gli aspetti di efficienza a seconda delle condizioni di carico o di condizioni particolari dei generatori.

In questo modo, la rete intelligente, come insieme di singoli moduli o nel suo insieme, permette allo studente di muoversi verso un unico obiettivo passando necessariamente attraverso ogni singola area, rendendo possibile la piena comprensione della teoria delle reti intelligenti, le sue applicazioni e possibilità, così come le relative fasi per la sua integrazione.

Il sistema didattico Smart Grid consente, inoltre, di comprendere **argomenti avanzati** come la produzione di energia in impianti eolici che sono collegati alla rete elettrica principale o possono essere isolati come micro-reti, così che gli studenti possono comprendere i problemi reali di ingegneria, che sono di importanza fondamentale per il progresso dell'energia; in tal modo, corsi di base e avanzati possono essere combinati nel sistema a turbina eolica. Ad esempio, i generatori eolici includono un controllore di inclinazione che aumenta l'efficienza energetica e l'energia generata viene inviata alla rete elettrica centrale; quindi, gli studenti devono utilizzare diverse tecniche, quali i sistemi di controllo, il controllo digitale, le macchine elettriche e così via.

Come ulteriore esempio, si può studiare una combinazione di 3 fonti di energia mentre stanno fornendo energia al carico. Se la sorgente convenzionale è combinata con un'energia eolica e una idroelettrica, lo studente sarà in grado di capire in modo chiaro il processo di fornire energia al carico da energia alternativa. Inoltre, possono essere incluse nell'esercizio le questioni ambientali (impronta di carbonio).

Il numero di esercizi e di argomenti può essere ampliato e lo studente è in grado di proporre nuove idee su come risolvere i problemi che interessano la società civile; quindi, la motivazione dello studente può essere aumentata.

**In conclusione**, i corsi di ingegneria devono coprire i concetti sperimentali che incrementano la conoscenza tecnica degli studenti, ma non è facile trovare sistemi sperimentali che permettono di combinare questi concetti.



## SMART GRID



Sebbene lo Smart Grid sia un problema piuttosto complesso che sta influenzando l'energia elettrica, potrebbe essere utilizzato per apprendere concetti di base come i circuiti elettrici; quindi, questo sistema include tutti gli elementi per fornire una vera e propria esperienza nei corsi di studio di ingegneria meccanica ed elettrica. Lo Smart Grid è un sistema perfetto per l'insegnamento e per coinvolgere gli studenti nei problemi di ingegneria sperimentale. Inoltre, lo studente può affrontare i problemi ecologici ed economici. L'uso sperimentale di energia solare ed eolica fornisce informazioni su come le fonti alternative di energia elettrica possono essere utilizzate in larga e piccola scala.

La nostra proposta prevede esercizi con lo Smart Grid su diversi temi; questo sistema è il conduttore per il collegamento di concetti teorici e pratici.



# SMART GRID



## **LISTA DEGLI ESPERIMENTI**

### **SISTEMA IDROELETTRICO**

Brushless  
Caratteristiche generatore senza carico  
Caratteristiche generatore con carico  
Caratteristiche di regolazione delle prestazioni  
Sincronizzazione automatica  
Protezione sovraccorrente  
Protezione di sovratensione o sotto tensione  
Protezione di sovra frequenza o sotto frequenza

### **SISTEMA EOLICO**

Controllo dell'inclinazione delle pale  
Analisi dei parametrici meccanici all'interno di un generatore a induzione  
Analisi dei parametrici elettrici all'interno di un generatore a induzione

### **SISTEMA FOTOVOLTAICO**

Caratterizzazione di un pannello fotovoltaico a vuoto  
Caratterizzazione di un pannello fotovoltaico a carico  
Connessione di un sistema fotovoltaico alla rete reale mediante un sistema a inverter grid monofase

### **TRASFORMATORI**

Gruppo vettoriale  
Prestazioni a vuoto  
Prestazioni a carico  
Prestazione asimmetrica  
Prestazione della regolazione  
Trasformatore di protezione da sovraccorrente  
Trasformatore di protezione differenziale

### **TRASMISSIONE**

Prestazioni a vuoto  
Prestazioni a carico accoppiato  
Carico ohmico-induttivo  
Carico ohmico-capacitivo  
Compensazione automatica  
Rete radiale di linee di trasmissione  
Rete a maglie di linee di trasmissione  
Linea di trasmissione: guasto a terra e protezione  
Linea di trasmissione: protezione contro la sotto-tensione  
Linea di trasmissione: protezione contro la sovra-tensione



# SMART GRID



## SMART GRID

- Contributo dell'energia solare
- Contributo dell'energia idroelettrica
- Contributo della centrale eolica

## SMART GRID POTENZIATO CON L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE

- Previsione del consumo energetico
- Rilevamento guasti nella rete
- Ottimizzazione dell'utilizzo di energia rinnovabile
- Analisi della stabilità del sistema di alimentazione
- Controllo intelligente del carico
- Previsione della generazione di energia eolica
- Previsione della generazione di energia solare
- Rilevamento anomalie del trasformatore
- Classificazione della qualità dell'energia
- Simulazione di microgrid basata su intelligenza artificiale





# SMART GRID



## SMART GRID POTENZIATO CON L'IA

L'intelligenza artificiale sta rivoluzionando il settore energetico migliorando efficienza, affidabilità e sostenibilità. Questo studio presenta una serie di esperimenti basati sull'intelligenza artificiale incentrati su sfide chiave, come la previsione del consumo energetico, il rilevamento dei guasti, l'ottimizzazione delle energie rinnovabili e la stabilità della rete. Utilizzando tecniche avanzate tra cui apprendimento supervisionato, apprendimento per rinforzo e rilevamento delle anomalie.

Di seguito troverete le descrizioni complete di ciascun esperimento, insieme alla rispettiva area di intelligenza artificiale e alla categoria di apprendimento automatico.

Nome e descrizione dell'esperimento	Area IA	Categoria Machine Learning
<b>Previsione del consumo energetico</b> Utilizzare reti neurali per prevedere il consumo di elettricità in base ai dati storici e alle condizioni ambientali.	Machine Learning	Apprendimento supervisionato (regressione)
<b>Rilevamento guasti nella rete</b> Implementare modelli di IA per rilevare e classificare i guasti nelle linee di trasmissione in base ai dati dei sensori.	Machine Learning	Apprendimento supervisionato (classificazione)
<b>Ottimizzazione dell'uso delle energie rinnovabili</b> Applicare algoritmi genetici o reti neurali per ottimizzare la distribuzione di energia da fonti rinnovabili.	Ottimizzazione / Machine Learning	Apprendimento tramite rinforzo
<b>Analisi della stabilità del sistema di alimentazione</b> Utilizzare modelli di apprendimento profondo per prevedere condizioni di instabilità nella rete e anticipare azioni correttive.	Apprendimento profondo	Apprendimento supervisionato (regressione)
<b>Controllo intelligente del carico</b> Utilizzare algoritmi di IA per gestire l'accensione e lo spegnimento dei dispositivi in base alla domanda e alla disponibilità di energia.	Machine Learning	Apprendimento tramite rinforzo
<b>Previsione della generazione di energia eolica</b> Sviluppare modelli di serie temporali per prevedere la produzione di energia eolica sulla base dei dati meteorologici.	Machine Learning	Apprendimento supervisionato (regressione)
<b>Previsione della generazione di energia solare</b> Implementare reti neurali per stimare la produzione di energia fotovoltaica tenendo conto della radiazione solare e della temperatura.	Machine Learning	Apprendimento supervisionato (regressione)
<b>Rilevamento delle anomalie del trasformatore</b> Utilizzare algoritmi di rilevamento delle anomalie per monitorare e rilevare potenziali guasti nei trasformatori elettrici.	Machine Learning	Apprendimento non supervisionato (rilevamento delle anomalie)



## SMART GRID

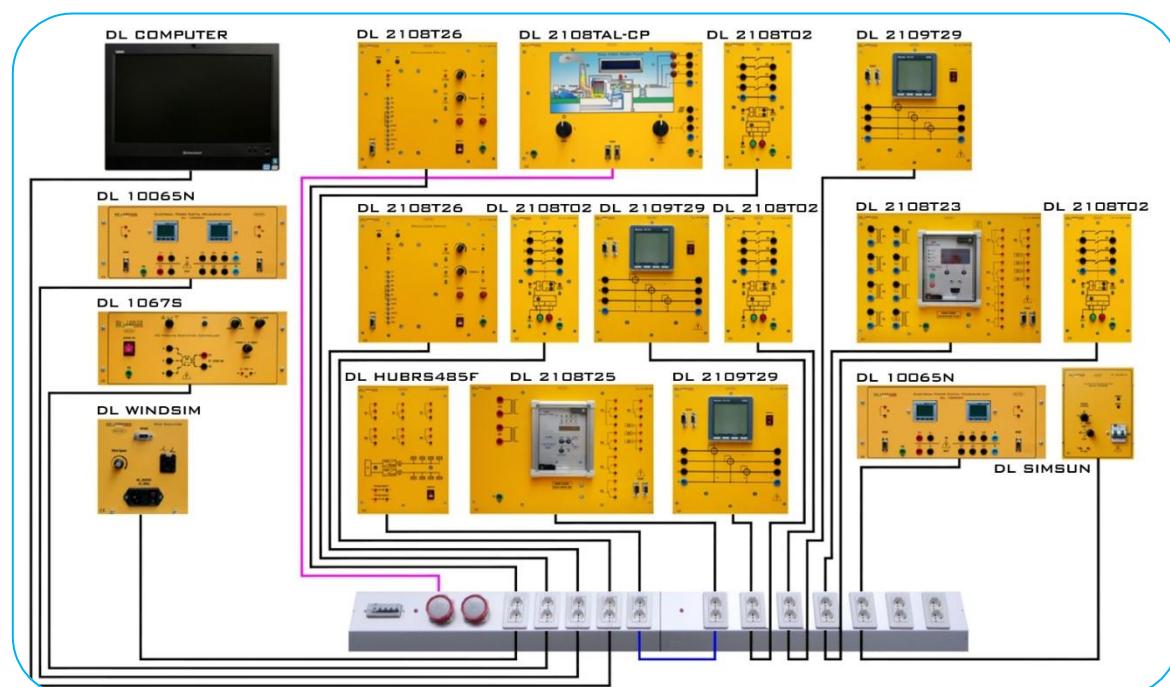
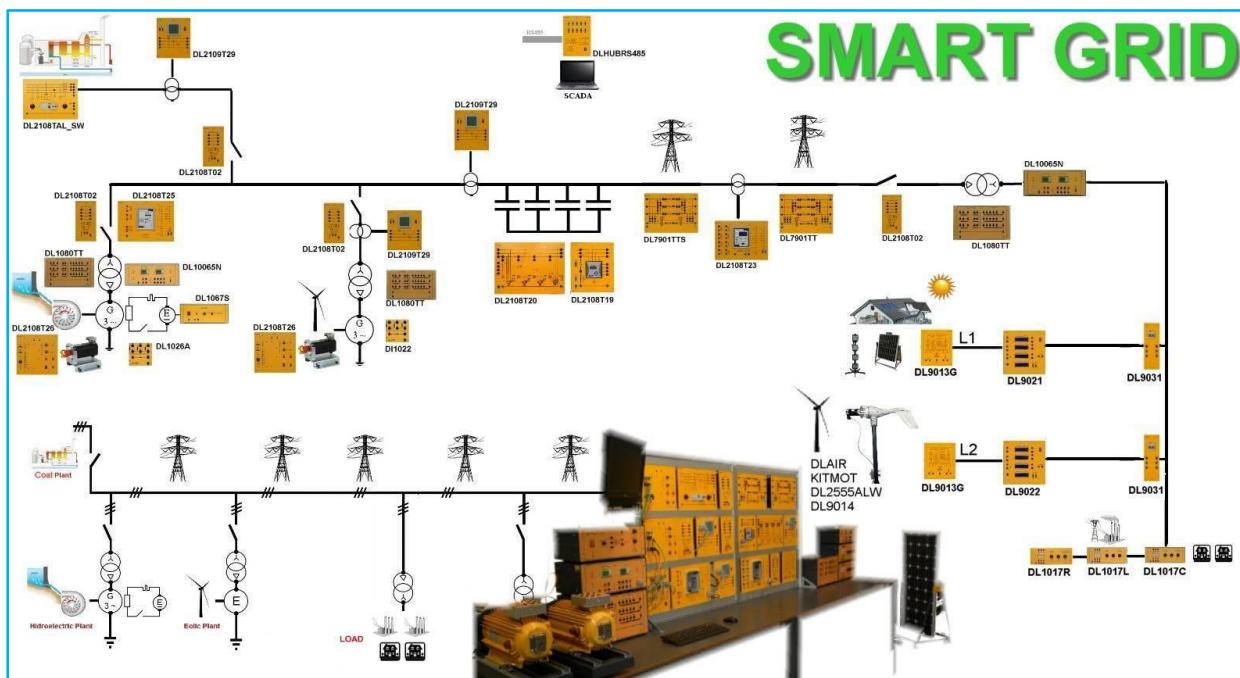
Nome e descrizione dell'esperimento	Area IA	Categoria apprendimento automatico
<b>Classificazione della qualità dell'energia</b> Applicare modelli di classificazione per rilevare ed etichettare eventi relativi alla qualità dell'energia, quali armoniche o fluttuazioni di tensione.	Machine Learning	Apprendimento supervisionato (classificazione)
<b>Simulazione di microreti basata sull'IA</b> Implementare modelli di simulazione per ottimizzare il funzionamento della microrete con l'IA tenendo conto delle fonti di generazione e della domanda.	Machine Learning / Simulazione	Apprendimento tramite rinforzo



# SMART GRID



## DIAGRAMMI DELLO SMART GRID





# SMART GRID



## MANUALI

Il sistema include un manuale in inglese degli esperimenti con una descrizione dettagliata degli esperimenti suggeriti per il sistema.

Inoltre, il sistema viene fornito con un libro in inglese di 300 pagine circa, "EXPERIMENTAL CONCEPTS OF SMART GRID TECHNOLOGY BASED ON DELORENZO SMART GRID", scritto dai Proff. Pedro Ponce e Arturo Molina, dell'Istituto Tecnologico di Monterrey (Mexico).

A seguire l'indice completo:

### 1 Electric Circuits

#### 1.1 Frequency-domain analysis

- 1.1.1 Phasors
- 1.1.2 Impedances
- 1.1.3 Phasor Diagrams
- 1.1.4 Phasor Measurement Unit
- 1.1.5 Exercises

#### 1.2 AC Power Analysis

- 1.2.1 Instantaneous Power
- 1.2.2 Average Power
- 1.2.3 Effective Values or RMS Values
- 1.2.4 Apparent Power and Power Factor
- 1.2.5 Complex Power
- 1.2.6 Power Factor Correction
- 1.2.7 Exercises

#### 1.3 Polyphase Circuits

- 1.3.1 Single-phase three-wire systems
- 1.3.2 Balanced three-phase voltages
- 1.3.3 Balanced Y-Y Connection
- 1.3.4 Balanced Y-Δ Connection
- 1.3.5 Balanced Δ-Δ Connection
- 1.3.6 Balanced Δ-Y Connection
- 1.3.7 Unbalanced three-phase systems
- 1.3.8 Power in Three-Phase Systems
- 1.3.9 Exercises

#### 1.4 Harmonics

- 1.4.1 Exercises

#### 1.5 Theoretical problems

#### References

### 2 Electric Machinery

#### 2.1 Main electric machinery

- 2.1.1 Generator
- 2.1.2 Transformers
  - 2.1.2.1 Potential transformer
  - 2.1.2.2 Current transformers
- 2.1.3 Power lines
- 2.1.4 Loads
- 2.1.5 Transmission lines
- 2.1.6 Protective devices

#### 2.2 Rotational motion, Newton's law and power relationships

- 2.2.1 Angular position
- 2.2.2 Angular velocity
- 2.2.3 Angular acceleration
- 2.2.4 Torque

#### 2.3 Newton's Law of Rotation

- 2.3.1 Work
- 2.3.2 Power

#### 2.4 The Magnetic Field

#### 2.5 Magnetically coupled circuits

#### 2.6 Electromechanical energy conversion



# SMART GRID

## 2.7 Machine Windings

## 2.8 Winding Inductances

### 2.8.1 Synchronous Machine

### 2.8.2 Induction Machine

#### 2.8.2.1 Load test

##### 2.8.2.1.1 Exercise Generator Load Test

##### 2.8.2.1.2 Exercise Generator No Load Test

#### 2.8.2.2 Locked Rotor Test

## 2.9 Asynchronous Motor

### 2.9.1 Equivalent circuit of the induction motor and torque-speed graph

### 2.9.2 National Electrical Manufacturers Association (NEMA) Design

### 2.9.3 NEMA breakout Code

## 2.10 Brushless Motor

### 2.10.1 Operating principle

### 2.10.2 Inductance and resistance in the windings

### 2.10.3 Brushless Exercise

## 2.11 Theoretical problems

### References

## 3 Hydroelectricity

### 3.1 Overall characteristics and operation

#### 3.1.1 Exercises

### 3.2 Integration with the infinite bus

#### 3.2.1 Exercises

### 3.3 Theoretical problems

### References

## 4 Wind Energy

### 4.1 Wind turbine basic structure

### 4.2 Worldwide Eolic energy production

### 4.3 Basics of wind energy

### 4.4 Aerodynamics of wind turbines

#### 4.4.1 Airfoils

### 4.5 Constant-Speed turbines versus variable-speed ones

### 4.6 Wind energy resource

### 4.7 Power generation system

#### 4.7.1 Fixed speed wind turbines

#### 4.7.2 Variable speed wind turbines

#### 4.7.3 Exercises

### 4.8 Economic factors

### References

## 5 Photovoltaic

### 5.1 Introduction

#### 5.1.1 Grid-connected photovoltaic systems

#### 5.1.2 Stand-alone photovoltaic systems

##### 5.1.2.1 Photovoltaic system directly coupled to DC

##### 5.1.2.2 Photovoltaic systems with energy storage system and battery

##### 5.1.2.3 Photovoltaic system with and inverter

### 5.2 Overall characteristics and operation

#### 5.2.1 Cell types

##### 5.2.1.1 Basic processes in organic solar cells

### 5.3 Generation of electrical energy

#### 5.3.1 Photovoltaic arranges

##### 5.3.1.1 Series connection

##### 5.3.1.2 Parallel connection

### 5.4 Spectral response

#### 5.4.1 Example

### 5.5 Equivalent circuit

### 5.6 System Performance

### 5.7 Maximum power

### 5.8 Fill Factor

### 5.9 System degradation and efficiency

#### 5.9.1 Photovoltaic conversion efficiency

### 5.10 Output of a typical solar photovoltaic Power System

#### 5.10.1 Example



# SMART GRID

## 5.11 Storage of the electrical energy

- 5.11.1 Batteries
- 5.11.2 The structure of power storage devices
- 5.11.3 Battery Storage
- 5.11.4 Battery efficiency
  - 5.11.4.1 Battery charge regulators
- 5.11.5 Example

## 5.12 Inverters

## 5.13 Costs

- 5.13.1 Photovoltaic module prices
- 5.13.2 Photovoltaic system prices
- 5.13.3 Levelized cost of energy
- 5.13.4 Strategies for reducing photovoltaic system prices
- 5.13.5 Reducing material costs
- 5.13.6 Improving manufacturing process
- 5.13.7 Reducing module shipping costs
- 5.13.8 Increasing photovoltaic module efficiency
- 5.13.9 Reducing power electronic costs
- 5.13.10 Reducing Balance-of-Systems Costs

## 5.14 Exercises

- 5.14.1 Energy contribution for different angles of the solar panel
- 5.14.2 Energy efficiency due to solar panel heat

## References

# 6 Electric Power Transmission Parameters

## 6.1 Generic structure of a transmission tower

## 6.2 Transmission line parameters

- 6.2.1 Electric resistance
- 6.2.2 Inductance
  - 6.2.2.1 Inductance due to internal flux linkage
  - 6.2.2.2 Inductance due to external flux linkage
  - 6.2.2.3 Total inductance
  - 6.2.2.4 Inductance in a point P due to an N conductors system
  - 6.2.2.5 Inductance in the infinite
  - 6.2.2.6 Inductance of a monophasic system
  - 6.2.2.7 Inductance of a three phase system
- 6.2.3 Geometric mean radius and geometric mean distance
- 6.2.4 Inductance of three phase double circuit lines
- 6.2.5 Capacitance of transmission lines
  - 6.2.5.1 Capacitance of a single phase line
  - 6.2.5.2 Capacitance of a three phase line
  - 6.2.5.3 Effect of earth on the capacitance of conductors
- 6.2.6 Exercises

## 6.3 Transmission line mathematical model

- 6.3.1 Exact ABCD model of a transmission line
- 6.3.2 Equivalent  $\pi$  circuit
- 6.3.3 Exercises

## 6.4 Power flow analysis

- 6.4.1 Exercises

## 6.5 Theoretical Problems

- 6.5.1 Electric Resistance
- 6.5.2 Three phase bundled conductor impedance
- 6.5.3 Capacitance of transmission lines
- 6.5.4 ABCD model
- 6.5.5 Equivalent  $\pi$  circuit

## References

# 7 Smart Grid

- 7.1.1 Economic Factors
- 7.1.2 Reliability Factors
- 7.1.3 Environmental
- 7.1.4 Security
- 7.1.5 The Perspective of the Metering Industry

## 7.2 Exercises

- 7.2.1 Contribution of solar energy



# SMART GRID

- 7.2.2 Contribution of hydropower
- 7.2.3 Contribution of wind plant

## References

### 8 Renewable Energy

- 8.1 Energy sources and resources
- 8.2 Types of Energy
- 8.3 Types of renewable energies
- 8.4 Advantages and disadvantages
- 8.5 Storage
  - 8.5.1 Pumped hydro
  - 8.5.2 Compressed air
  - 8.5.3 Flywheels
  - 8.5.4 Batteries
  - 8.5.5 Rokkasho-Futamata Wind Farm

### 8.6 Energy and society

- 8.6.1 Use of energy

### 8.7 Economics

### 8.8 Solutions

### 8.9 Theoretical problems

## References

### 9 Power distribution system, unsymmetrical failures and power system protections

#### 9.1 Types of distribution systems

- 9.1.1 Radial networks
  - 9.1.1.1 Aerial radial networks
  - 9.1.1.2 Subterranean radial networks
- 9.1.2 Ring networks
- 9.1.3 Mesh networks
- 9.1.4 Exercises

#### 9.2 Faults on power systems

- 9.2.1 Symmetrical Components
- 9.2.2 Sequence networks of electric machinery
  - 9.2.2.1 Transformers
  - 9.2.2.2 Transmission lines and rotating machines
- 9.2.3 Coupled circuits for unsymmetrical faults
  - 9.2.3.1 Single line to ground fault
  - 9.2.3.2 Line to line fault
  - 9.2.3.3 Double line to ground
  - 9.2.3.4 Summary of coupled circuits
- 9.2.4 Exercises

#### 9.3 Electric protections

- 9.3.1 Types of faults and relays
- 9.3.2 Relay operation

#### 9.4 Power Line Carrier

#### 9.5 Theoretical problems

- 9.5.1 Thévenin equivalent
- 9.5.2 Types of failures

## References

### 10 APPENDIX 1: Smart grid components



# SMART GRID

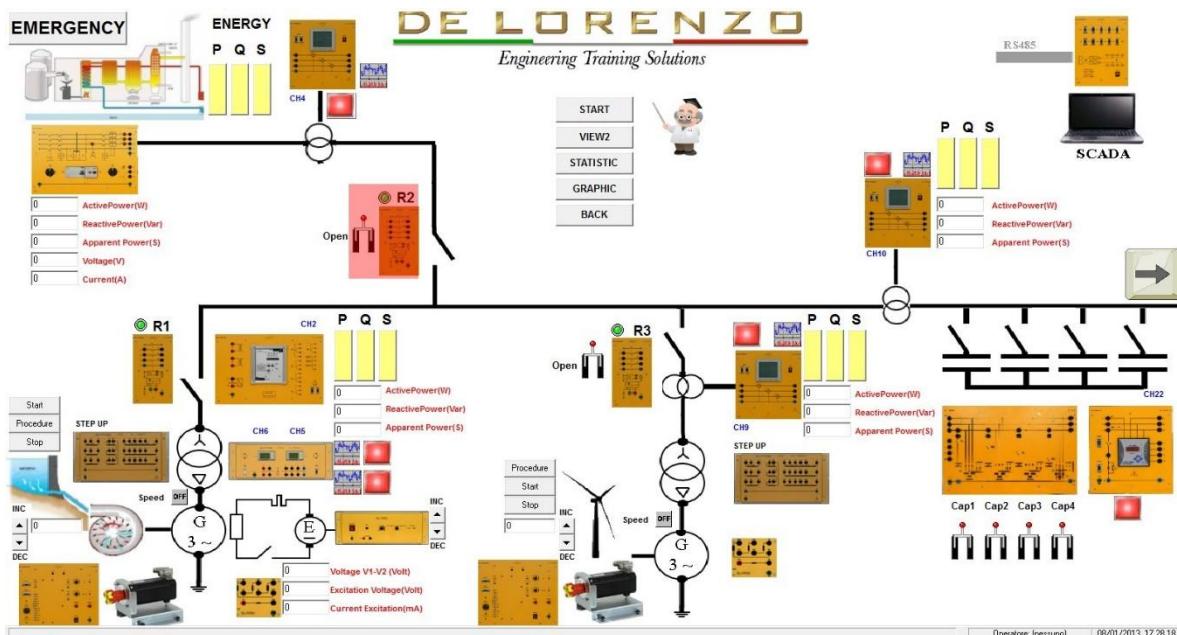
## ESEMPIO DI ESERCIZIO

### CONTRIBUTO DELL'ENERGIA SOLARE

Assumiamo che vi sia una domanda di energia da un punto distante della rete e che ci sia energia solare che è possibile sfruttare. In questo esercizio, lo studente interverrà riducendo il consumo di energia proveniente da un impianto di vecchia generazione, per utilizzare il surplus di energia prodotta dai sistemi solari fotovoltaici.

La riduzione anche di un minimo di energia assorbita certamente avrà un impatto sull'inquinamento ambientale prodotto da un impianto di vecchia generazione.

1. Imposta il carico DL 1017R sulla posizione 2 e chiudi il relè R2 per fornire l'energia che arriva dall'impianto a carbone.



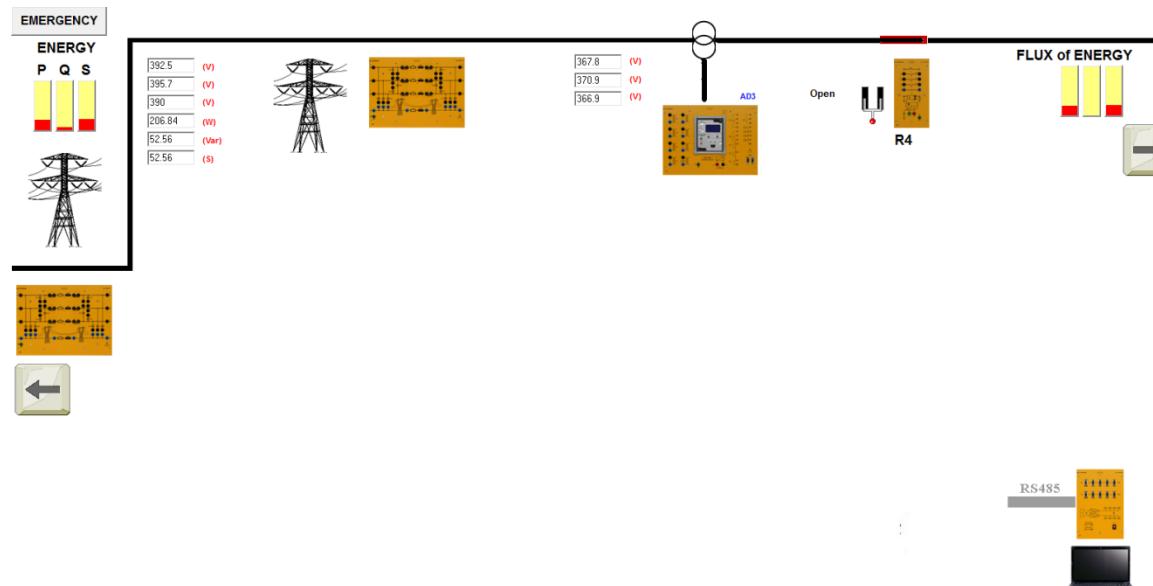
2. Chiudi il relè R4 per trasferire l'energia che arriva dall'impianto al carico e osserva il consumo di potenza sul modulo DL 2109T29.

Posizione del DL 1017R	Potenza attiva [W]	Potenza reattiva [VAR]
2	207,64	52,32
3	310,00	101,00

In questa situazione vedremo la potenza attiva richiesta dal carico resistivo (DL 1017R) e un po' di potenza reattiva richiesta dal primario del trasformatore di step down.



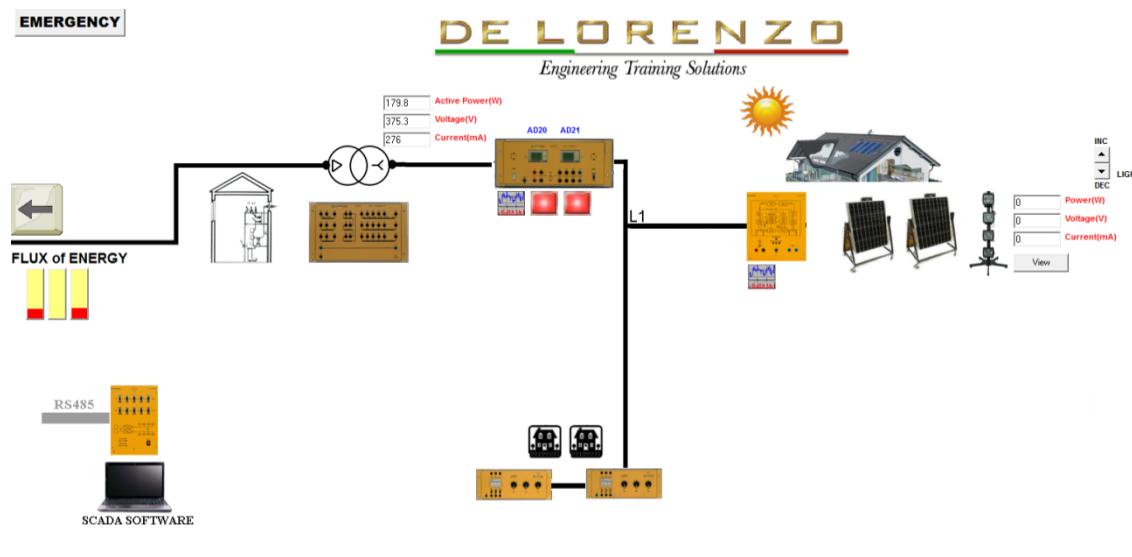
# SMART GRID



3. Osservare il consumo di potenza attiva dopo il secondario del trasformatore di step down.

Posizione del DL 1017R	Potenza attiva [W]
2	179,9
3	275,1

In questa situazione, l'energia totale che arriva dall'impianto a carbone e diretta al carico, attraversando la lunga distanza della linea, produce una perdita di potenza nella linea di trasmissione.





# SMART GRID



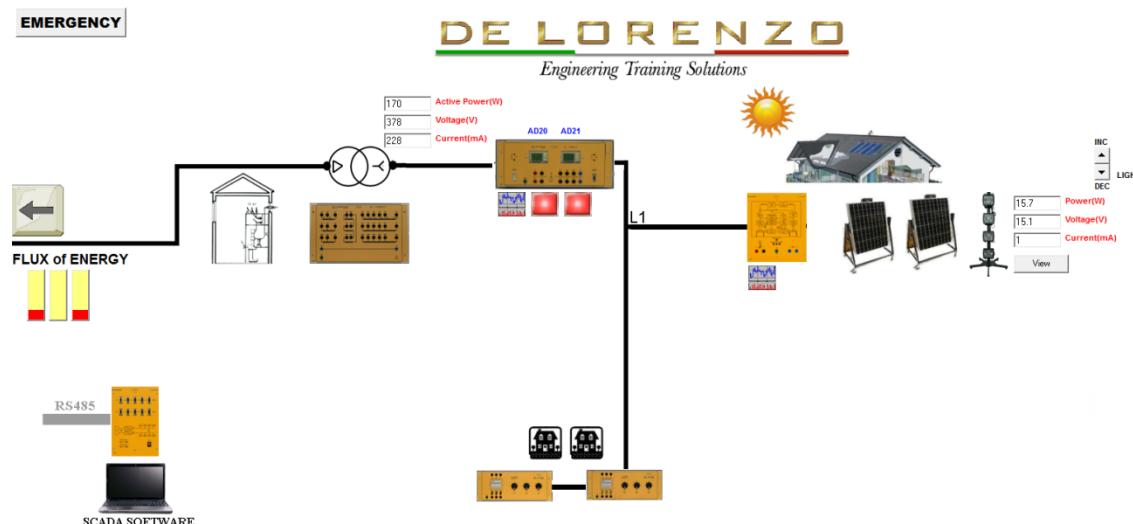
4. Incrementare l'energia solare e verificare il contributo dell'energia che arriva dall'impianto fotovoltaico.

Posizione del DL 1017R	Potenza attiva [W]
2	15,7
3	12,3

(con luce al 100% e pannello a 90°)

La potenza attiva che arriva dall'impianto a carbone si ridurrà così come l'inquinamento in termini di CO<sub>2</sub>. Se convertiamo la riduzione di potenza in riduzione dell'inquinamento su larga scala, possiamo dare un grande contributo all'ambiente.

La riduzione dell'energia di potenza è inferiore se usiamo la luce artificiale, mentre se orientiamo il pannello fotovoltaico in direzione del sole il contributo sarà maggiore.





# SMART GRID

## DL SGWD-AI - LISTA DEI MODULI

<b>DL 2108T26</b>	Motore brushless con controllore	<b>2</b>
<b>DL 1021/4</b>	Motore asincrono trifase a gabbia di scoiattolo	<b>1</b>
<b>DL 1013A</b>	Base	<b>2</b>
<b>DL 1026P4</b>	Alternatore trifase	<b>1</b>
<b>DL 1017R</b>	Carico resistivo	<b>1</b>
<b>DL 1017L</b>	Carico induttivo	<b>1</b>
<b>DL 1017C</b>	Carico capacitivo	<b>1</b>
<b>DL 2108TAL-CP</b>	Alimentatore trifase	<b>1</b>
<b>DL 1067S</b>	Alimentatore motorizzato	<b>1</b>
<b>DL 7901TT</b>	Modello di linea da 360km	<b>1</b>
<b>DL 7901TTS</b>	Modello di linea da 110km	<b>1</b>
<b>DL 10065N</b>	Modulo di misura digitale della potenza elettrica	<b>2</b>
<b>DL 2109T29</b>	Misuratore di energia trifase	<b>3</b>
<b>DL 2108T25</b>	Relè controllo sincronismo e sincronizzazione	<b>1</b>
<b>DL 2108T23</b>	Feeder manager relè	<b>1</b>
<b>DL 2108T02</b>	Interruttore di potenza	<b>3</b>
<b>DL 2108T02A</b>	Interruttore di potenza	<b>1</b>
<b>DL 2108T19</b>	Controllore dell'energia reattiva	<b>1</b>
<b>DL 2108T20</b>	Batteria di condensatori commutabili	<b>1</b>
<b>DL 9031</b>	Interruttore magnetotermico differenziale	<b>1</b>
<b>DL 9013G</b>	Inverter grid	<b>1</b>
<b>PFS-85</b>	Modulo fotovoltaico	<b>1</b>
<b>DL SIMSUN</b>	Pannello a 4 lampade	<b>1</b>
<b>DL WINDSIM</b>	Simulatore del vento	<b>1</b>
<b>DL HUBRS485F</b>	Interfaccia di comunicazione MODBUS	<b>1</b>
<b>DL SCADA3+</b>	SOFTWARE SCADA	<b>1</b>
<b>DL AI-MODULE</b>	Modulo di Intelligenza Artificiale	<b>1</b>
<b>DL 1080TT</b>	Trasformatore trifase	<b>3</b>
<b>DL 1155SGWD</b>	Kit di cavetti di collegamento	<b>1</b>
<b>DL T12090</b>	Banco da lavoro 120x90	<b>3</b>
<b>DL T06090</b>	Banco da lavoro 60x90	<b>1</b>
<b>DL A120-3M-LED</b>	Telaio a tre livelli	<b>3</b>
<b>DL PCGRID</b>	All-In-One Personal Computer	<b>1</b>
<b>DL SBB</b>	Barra dei segnali	<b>2</b>
<b>DL 2100TTI</b>	Trasformatore trifase	<b>1</b>
<b>DL 1196</b>	Supporto per cavetti	<b>1</b>



# SMART GRID

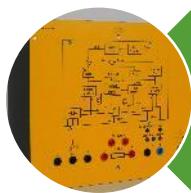


## OPZIONI:

- **Collegamento alla rete dell'energia eolica** - Consente di aggiungere un sistema di energia eolica in parallelo al sistema solare fotovoltaico nella sezione "utilizzatori" del sistema – **codice d'ordine: DL SGWD-W-AI**



Una turbina eolica micro-grid trascinata da un servomotore che simula l'azione del vento.



Un inverter grid monofase che immette nella rete la potenza proveniente dalla turbina



Strumenti dedicati forniscono le informazioni necessarie per la caratterizzazione del sistema eolico.

## Moduli aggiuntivi per DL SGWD-AI-W, con impianto eolico Microgrid

<b>DL T12090_SK</b>	Banco di lavoro 120x90	<b>1</b>
<b>DL A120-3M-LED</b>	Telaio	<b>1</b>
<b>DL 9030</b>	Misuratore di potenza e di energia	<b>1</b>
<b>DL 9032</b>	Modulo distributore di rete	<b>1</b>
<b>DL WTS-CTRL750</b>	Modulo di controllo per motore brushless 750W	<b>1</b>
<b>ANEMOMETER</b>	Modulo anemometro	<b>1</b>
<b>DL WTS-3</b>	Simulatore di turbina eolica	<b>1</b>
<b>DL 9017</b>	Modulo di Lampade CA	<b>1</b>
<b>DL 9013G3D</b>	Inverter di potenza di rete 300W in 3ph. 12Vac con resistenza di frenatura	<b>1</b>
<b>DL 9027</b>	Modulo di misurazione per turbine eoliche	<b>1</b>
<b>DL 9031</b>	Interruttore magnetotermico differenziale	<b>1</b>