

Corso di Elettrotecnica dei Sistemi Energetici M per la Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

A.A. 2016/2017

Titolari: Prof. Francesco Negrini, Prof. Pier Luigi Ribani

Obiettivi del corso: Dopo aver illustrato il principio di funzionamento dei componenti e dei sistemi per la gestione e il controllo dell'energia elettrica si esaminano nel dettaglio le caratteristiche dei più importanti sistemi di conversione dell'energia solare in elettrica (sistemi fotovoltaici, convertitori termodinamici a concentrazione, generatori eolici) con particolare riferimento agli aspetti economici e di mercato in Italia. Successivamente si introducono i concetti più rilevanti relativi all'economia dell'energia elettrica in relazione all'obiettivo di una possibile transizione energetica sostenibile (cioè illustrando gli scenari di accelerazione tecnologica proposti dalla IEA, le modalità di sviluppo potenziale delle fonti rinnovabili al 2050, e le tecnologie disponibili per l'accumulo dell'energia).

Prerequisiti: questo insegnamento è particolarmente utile agli studenti che hanno una buona conoscenza dell'analisi dei circuiti (in c. continua ed in c. alternata) e del funzionamento delle macchine elettriche.

Programma del corso:

1. Sistemi per il controllo e la gestione dell'Energia Elettrica (Prof. P.L. Ribani)

- 1.1 Richiami sulla conversione statica dell'energia elettrica (inverter, raddrizzatori, chopper, convertitori di frequenza);
- 1.2 Richiami sulla conversione elettromeccanica dell'energia: il campo magnetico rotante. Macchine asincrone (a gabbia di scoiattolo e a doppia alimentazione) e macchine sincrone (a rotore avvolto e a magneti permanenti);
- 1.3 Struttura dei sistemi elettrici di potenza: caratteristiche della rete elettrica italiana ed europea
- 1.4 Tecnologie disponibili per la produzione e trasmissione dell'energia elettrica in c.a. e c.c.;

2. Conversione dell'energia solare in elettrica (Prof. F. Negrini)

- 2.1 La radiazione solare: struttura del sole, relazione di Einstein, relazioni di Plank, legge di Stefan-Boltzman, costante solare, coefficiente di air mass;
- 2.2 Conversione fotovoltaica, celle solari: struttura elettronica dei semiconduttori; tecnologie realizzative; struttura di un sistema fotovoltaico; moduli fotovoltaici, stringhe, generatori FV, impianti FV; interconnessione con la rete elettrica (norma CEI-11-20); accumulo e controllo dell'energia;
- 2.3 CSP convertitori termodinamici dell'energia solare a concentrazione: convertitori parabolici a fuoco puntiforme e a fuoco lineare, convertitori a torre centrale e campo di specchi;
- 2.4 Aspetti economici della conversione dell'energia solare in elettrica;

3. Conversione dell'energia eolica in elettrica (Prof. P.L. Ribani)

- 3.1 Principali componenti di un generatore eolico;
- 3.2 Turbine ad asse orizzontale e verticale; turbine eoliche a velocità fissa e variabile;
- 3.3 Sistemi di generazione eolica con generatore asincrono e con generatore sincrono;
- 3.4 Impianti on-shore e off-shore;
- 3.5 Il trasferimento dell'energia alla rete elettrica;
- 3.6 La protezione ed il controllo della rete elettrica.
- 3.7 Aspetti economici della conversione dell'energia eolica in elettrica

4. Elementi di economia dell'energia elettrica, problematiche di accumulo dell'energia e "sviluppo sostenibile" (Prof. F. Negrini)

- 4.1 Il costo ed il valore dell'energia rinnovabile: metodologie per la valutazione dei costi di produzione; benefici ambientali e limiti tecnici;
- 4.2 Criteri di valutazione di un'economia dell'energia basata prevalentemente su fonti rinnovabili;
- 4.3 Scenari di accelerazione tecnologica;
- 4.4 Tecnologie del carbone "pulito": la cattura e lo stoccaggio della CO₂ (CCS technology);
- 4.5 L'economia dell'idrogeno (produzione, stoccaggio, distribuzione, utilizzazione);
- 4.6 Ruolo strategico e principio di funzionamento dei diversi sistemi di accumulo dell'energia elettrica e magnetica
- 4.7 Analisi dei sistemi di accumulo elettrochimico (es. batterie a ioni di litio, sodio-zolfo, etc.);
- 4.8 Analisi dei sistemi di accumulo meccanico (ad es. CAES e volani);
- 4.9 Analisi dei sistemi di accumulo di energia potenziale;
- 4.10 La convenienza economica dei sistemi di accumulo;
- 4.11 Le applicazioni industriali delle tecnologie superconduttive.

Modalità d'esame: L'esame consiste in una prova orale durante la quale lo studente deve esporre tre fra gli argomenti illustrati durante il corso, di cui uno autonomamente scelto. Il voto ottenuto dipende dalla capacità dimostrata di esporre in modo sintetico e compiuto le specifiche tematiche, con alcuni spunti di analisi critica, con particolare riferimento agli aspetti economici e di mercato risultanti dall'inserimento nella rete elettrica delle fonti rinnovabili non programmabili.

Testi consigliati per la consultazione:

1. IEA: "Wind Sun and the Economy of Flexible Power System", ISI print, 2013.
2. Atti della Giornata di Studio EST 2007, Electrical Energy Storage Technologies 2007, Bologna, Ottobre 2007, disponibili on line all'indirizzo <http://www.die.ing.unibo.it/pers/negrini/nome.htm>
- 3.a ENEA, "Le fonti rinnovabili 2010" (da pag. 189 a pag. 230), disponibile on line
- 3.b ENEA, "Rapporto Energia-Ambiente 2009", (di 88 pp.), disponibile on line.
- 3.c ENEA "Rapporto Energia-Ambiente 2010", (di 134 pp.), disponibile on line.
4. IEA – Roadmap to Energy 2050
5. IEA – Energy technology perspectives: Scenarios and Strategies to 2050 (Luglio 2010), Testo edito dalla IEA-Paris
6. Caffarelli A., et al. "Sistemi eolici: progettazione e valutazione economica", Maggioli editore, giugno 2009
7. B.Wu, Y. Lang, N. Zargari, S.Kouros, "Power conversion and control of wind Energy systems", John Wiley, 2012.
8. G. Boyle "Renewable electricity and the Grid" ed. by Earthscan, London, 2009

In particolare:

si segnalano qui alcuni Report prodotti dal "Energy and Strategy Group" del Dipartimento di Ingegneria Gestionale del Politecnico di Milano (<http://www.energystrategy.it>), molto importanti per una conoscenza particolareggiata ed approfondita (ed annualmente aggiornata) degli aspetti tecnico-economici delle problematiche di conversione, trasmissione ed accumulo dell'energia elettrica e dei progressi nella gestione economica dell'energia elettrica **con riferimento esclusivo alla situazione industriale ed al mercato italiano**.

1. Aspetti economici della conversione dell'energia solare in elettrica.
Si veda:
Solar Energy Report, aprile 2014
da pag. 3 a pag. 45
da pag. 113 a pag. 140
2. Aspetti economici della conversione dell'energia eolica in elettrica.

Si veda:

Rinnovabili elettriche non fotovoltaiche, maggio 2014

da pag. 8 a pag. 15

da pag. 28 a pag. 42

da pag. 55 a pag. 57.

3. Convenienza economica dei sistemi di accumulo dell'energia.

Si veda:

SMART Grid Report, luglio 2013

da pag. 23 a pag. 66

Atti del Convegno di presentazione (da parte di M. Delfanti) dello SMART Grid Report, 9 luglio 2013, da pag. 35 a pag. 63.

Atti del Convegno di presentazione (da parte di V. Chiesa) dello SMART Grid Report, 9 luglio 2013, da pag. 4 a pag. 31.

Ulteriori informazioni.

Orario di ricevimento:

Prof. Negrini, per **appuntamento** nei giorni MARTEDI' e GIOVEDI'

Prof. Ribani, LUNEDI', MARTEDI' e VENERDI' (9-11)

APPUNTI E DOCUMENTI DEL CORSO TENUTOSINELL'A.A 2015/16 SONO DISPONIBILI PRESSO LA COPISTERIA NELLA SEDE DELLA FACOLTA' IN VIA TERRACCINI

PRESSO IL SITO Internet dei Docenti:

http://www.die.ing.unibo.it/pers/negrini/didattica/Princ_Ing_El_LS.html

<http://www.die.ing.unibo.it/pers/ribani/didattica/elettrotecnica-GM/sistemi-energetici.htm>

risultano disponibili i seguenti documenti:

Word Energy Outlook 2004 2006 2008

Impianti solari a concentrazione (CSP)

Sistemi fotovoltaici

Sistemi Eolici Offshore

Tecnologie del carbone pulito

I superconduttori nell'economia dell'idrogeno

Applicazioni della Superconduttività

Convertitori elettronici di potenza

Conversione dell'energia eolica in elettrica

Rete elettrica di potenza