

Curriculum scientifico Emilio Lorenzani

Dal 2015 Emilio Lorenzani è professore associato nel SSD ING-IND/32 presso il Dipartimento di Scienze e Metodi dell' Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia.

È co-inventore di cinque brevetti di invenzione industriale.

E' autore di oltre 65 articoli scientifici pubblicati su riviste o atti di congressi internazionali e di un capitolo di un libro.

1. Attività scientifica

Le principali attività di ricerca di Emilio Lorenzani riguardano lo studio di convertitori elettronici di potenza sia nel campo delle energie rinnovabili sia nel campo degli azionamenti industriali e le metodologie di diagnosi di sistemi elettrici.

I temi di ricerca trattati hanno portato alla realizzazione di prototipi e allo sviluppo di metodologie di analisi.

In modo più dettagliato le attività svolte possono essere inquadrare nelle seguenti linee di ricerca:

- 1.1 Sviluppo di architetture ad alta efficienza per convertitori fotovoltaici *grid-connected* con soluzioni in grado di ridurre la corrente di dispersione verso terra.
- 1.2 Tecniche di misura indiretta e compensazione della componente di corrente DC generata da convertitori *grid-connected transformerless* o carichi non lineari.
- 1.3 Controllo di un generatore elettrico a induzione in un impianto di micro-cogenerazione.
- 1.4 Diagnosi di guasti in sistemi elettromeccanici.
- 1.5 Convertitori DC/DC di tipo *Step-Up* in campo *automotive*.
- 1.6 Architetture di microinverter per applicazioni fotovoltaiche.
- 1.7 Simulazione agli elementi finiti di macchine elettriche.
- 1.8 Azionamenti elettrici ad alta dinamica con attuatori a induzione e passo.
- 1.9 Sistemi eolici: macchina elettrica e controllo del convertitore.
- 1.10 Amplificatori audio con architetture ad alta efficienza.
- 1.11 Azionamenti elettrici per attuatori piezoelettrici
- 1.12 Convertitori Current Source Inverters

È stato Track-Chair della sessione Power Electronics e Session-Chair della sessione Stator Fault della conferenza IEEE SDEMPED 2011. È revisore per le conferenze della Industry Applications Society e della Industrial Electronics Society, per IEEE Trans. on Ind. Electr., IEEE Trans. on Power Electr. e Electric Power Systems Research.

1.1 Sviluppo di architetture ad alta efficienza per convertitori fotovoltaici *grid-connected* con soluzioni in grado di ridurre la corrente di dispersione verso terra.

Uno dei principali problemi dei sistemi fotovoltaici senza isolamento galvanico è determinato dalla presenza di una significativa capacità parassita tra le celle fotovoltaiche e l'apparato metallico di sostegno di quest'ultime, che è connesso a terra per motivi di sicurezza. In tale situazione un convertitore DC/AC, realizzato attraverso un semplice ponte H comandato da una modulazione PWM unipolare, determinerebbe delle correnti di dispersione verso terra di entità insostenibile. Nei lavori [7],[39],[42], è stata proposta una topologia di convertitore e una strategia di modulazione PWM che, senza rinunciare alle prestazioni di una modulazione PWM unipolare, risolve il problema delle correnti di dispersione nei sistemi senza isolamento galvanico. La soluzione proposta è stata denominata UniTL ed è protetta da due brevetti di invenzione industriale [B4],[B5]. In [58] è stata proposta una modifica a tale topologia in grado di garantire un corretto funzionamento operando con qualunque valore di fattore di potenza. In [4] è stata invece proposta

una strategia per compensare gli effetti delle commutazioni dei transistor reali, che potrebbero determinare incrementi significativi della corrente di dispersione verso terra rispetto al caso di commutazioni ideali e simmetriche.

Utilizzando la stessa architettura *hardware* della topologia UniTL, è stata sviluppata una nuova modulazione PWM in grado di ottenere un convertitore a 5 livelli con l'ausilio di soli 7 interruttori controllati (transistor + diodo) e due diodi singoli [8]. Un'analisi particolarmente accurata è stata condotta per il controllo dello sbilanciamento della tensione intermedia del *DC-LINK*, utilizzata per fornire in uscita i due ulteriori livelli di tensioni $+V_{DC}/2$ e $-V_{DC}/2$.

In [12],[55] è stato sviluppato un convertitore *grid-connected* a 9 livelli basato sull'uso di due ponti H connessi in *cascaded*, specifico per applicazioni fotovoltaiche. La particolare modulazione PWM e l'ausilio di un ulteriore circuito denominato "*Transient Circuit*" ha permesso all'architettura di minimizzare la corrente di dispersione verso terra.

La minimizzazione della corrente di dispersione verso terra in topologie a ponte H (per reti elettriche monofase), avviene attraverso l'uso di ulteriori interruttori controllati e di un'opportuna modulazione PWM in grado di garantire una tensione di modo comune in uscita dal convertitore costante. Nei lavori presentati in [11],[57] si esce da questo paradigma. Si propone di utilizzare un classico ponte intero monofase, controllato con l'efficiente modulazione unipolare (che, di per sé, presenta elevate variazioni di tensione di modo comune) seguito da un opportuno filtro attivo di tensione di modo comune. In [11],[57] viene messa in evidenza l'efficacia della soluzione in termini di rendimento e di minimizzazione della corrente di dispersione verso terra. Vengono inoltre fornite le linee guida per la progettazione del "trasformatore di modo comune", elemento centrale del filtro attivo di modo comune proposto.

1.2 Tecniche di misura indiretta e compensazione della componente di corrente DC generata da convertitori *grid-connected transformerless* o carichi non lineari.

L'attività di ricerca sulla rilevazione e compensazione dell' indesiderata componente di corrente DC nelle reti elettriche, è iniziata con l'individuazione di una strategia per evitare la saturazione del trasformatore di isolamento a frequenza di rete inserito all'interno di convertitori monofase *grid-connected*, in particolare quando la misura della corrente iniettata in rete viene rilevata solo sul secondario del trasformatore [5],[38],[43]. All'interno della stessa topologia di convertitore a ponte H è stato implementato un controllo della corrente su assi rotanti, sulla falsariga della soluzione trifase. I vantaggi del controllo di corrente su assi rotanti, anche per reti elettriche monofase sono state messe in evidenza in [38].

Da questo lavoro si è sviluppata una tecnica, migliorata progressivamente, in grado di minimizzare la componente di corrente DC iniettata in rete da convertitori *grid-connected transformerless*, soggetti a problemi di offset nella misura della corrente iniettata in rete [41],[3],[53]. Questa soluzione adotta un particolare reattore saturabile connesso all'uscita del convertitore; il numero di spire e la sezione del nucleo del reattore vengono progettate in primissima istanza come un primario di un trasformatore di rete monofase.

L'uso di questo componente è stato successivamente utilizzato per realizzare dei veri e propri filtri attivi di componente di corrente continua [10]. L'uso del reattore all'interno del convertitore ha richiesto un'accurata modellizzazione del sistema, che è sfociata nei lavori scientifici riportati in,[49],[51],[52]. In questi ultimi si mette in evidenza l'intrinseca capacità della soluzione adottata di essere esente da problemi di offset.

Da questa tematica di ricerca si è infine sviluppato un nuovo sensore per una misura accurata della piccola componente DC di tensione presente nelle reti elettriche reali, determinata dalla presenza dell' indesiderata componente di corrente DC [9],[48]. Questo sensore è stato ottenuto aggiungendo un secondo avvolgimento al reattore saturabile precedente sviluppato, quest'ultimo viene opportunamente controllato in modo da annullare la componente DC di flusso presente all'interno del nucleo. Il controllo in retroazione della componente DC del flusso ha permesso di linearizzare enormemente la risposta del sensore.

1.3 Diagnostica di guasti in sistemi elettromeccanici.

Una prima corposa attività è stata condotta affrontando le metodologie di rilevazione dei guasti nei motori a induzione con riferimento sia alle rotture di tipo meccanico sia di tipo elettrico. In quest'ultimo caso ci si è concentrati sulla rottura delle barre di rotore e sui possibili cortocircuiti tra spire adiacenti negli avvolgimenti statorici. Un accurato studio analitico e sperimentale è stato condotto in [32] per lo studio armonico delle correnti di fase note con l'acronimo MCSA (*Motor Current Signature Analysis*). Per rendere la diagnosi basata sull'MCSA più robusta in [29] è stato sviluppato un *test-bed* basato su di un freno controllato in corrente e velocità in grado di ricreare differenti valori di inerzia con lo scopo di studiare l'effetto di questo parametro sulle armoniche $(1 \pm 2s)f$ utilizzate per diagnosticare i guasti di rotore.

In aggiunta alle tecniche basate sull'MCSA in [23] si è investigata la possibilità di utilizzare per la diagnostica di rotore e di statore l'analisi armonica delle forze elettromotrici indotte sullo statore dopo un repentino distacco dell'alimentazione, tecnica nota con l'acronimo RVSA (*Residual Voltage Signature Analysis*). In questa fase, infatti, il motore funzionerà come generatore per un periodo di tempo dipendente dalla costante di tempo rotorica, e oltre in caso di magnetismo residuo di rotore. Le migliori propensioni mostrate dalla tecnica RVSA nel rilevare la presenza di corto circuiti negli avvolgimenti di statore è stata sviluppata in [26] dove si è proposto un nuovo indice diagnostico a questi scopi.

In collaborazione con l'IEN – Galileo Ferraris di Torino è stata sviluppata una macchina a induzione dedicata che permette di misurare direttamente le correnti circolanti sulle barre di rotore. L'analisi armonica delle correnti di fase di rotore ha permesso di migliorare la comprensione dei fenomeni determinati dalle diverse asimmetrie presenti in una macchina a induzione esente da guasti [28].

Nel caso in cui la macchina sia alimentata tramite un convertitore elettronico è possibile effettuare la diagnosi iniettando un segnale a più alta frequenza, di ampiezza contenuta, sovrapposto all'alimentazione. L'iniezione di tale segnale determinerà la formazione di linee spettrali causate dalle anisotropie elettriche o magnetiche. In [27],[36] queste armoniche sono utilizzate per diagnosticare sia i guasti di rotore sia quelli di statore anche nel caso di azionamenti ad anello chiuso. I risultati ottenuti sono stati confrontati con quelli ottenuti con un approccio tradizionale.

In collaborazione con il Prof. Sang Bin Lee della Korea University è stata avviata un'attività di ricerca per lo studio di tecniche diagnostiche atte alla rilevazione di rotture nelle barre di rotore in motori a induzione a doppia gabbia [59]. È stata effettuata una modellizzazione della macchina elettrica, comprensiva del modello di guasto. La modellizzazione matematica della macchina è stata validata con prove sperimentali.

Negli ultimi anni è stata avviata un'attività di ricerca per l'individuazione di cortocircuiti negli avvolgimenti di statore in macchine pentafasi a magneti permanenti. È stata sviluppata una metodologia diagnostica basata sull'utilizzo combinato di differenti trasformazioni del sistema di riferimento nativo pentafase della macchina elettrica [63]. L'indice diagnostico è stato validato attraverso simulazioni agli elementi finiti e prove sperimentali.

1.4 Controllo di un generatore elettrico a induzione in un impianto di micro-cogenerazione in isola.

In collaborazione con la ditta Lombardini SpA e Prima Electronics SpA Emilio Lorenzani si è occupato dello sviluppo di un impianto di micro-cogenerazione, noto anche come CHP (*Combined Heat and Power*). Il CHP oggetto del lavoro di ricerca ha due modalità di funzionamento: in "parallelo" alla rete elettrica nazionale e in funzionamento ad "isola" (gruppo elettrogeno di emergenza).

Emilio Lorenzani ha studiato le problematiche di controllo della macchina a induzione, utilizzata come generatore elettrico, implementando architetture innovative per il controllo dell'eccitazione

durante il funzionamento in isola [B3], il funzionamento in parallelo rete non presenta infatti particolari problemi per la macchina a induzione.

Nel funzionamento ad isola si è affiancato al classico bando di condensatori connessi in derivazione al generatore, un convertitore statico di potenza che implementa un controllo vettoriale ad orientamento di campo del flusso al traferro della macchina [2]. In questo modo è possibile controllare direttamente la corrente magnetizzante compensando in modo ottimo anche le cadute interne del generatore [30],[31]. Sono state eseguite prove sperimentali sia in laboratorio sia sull'impianto prototipo di micro-cogenerazione della Lombadini SpA [2]. Un dimensionamento ottimo del convertitore statico di potenza e del banco di condensatori è stato proposto in [37].

1.5 Convertitori DC/DC di tipo Step-Up in campo *automotive*.

Nell'ambito dello studio dei convertitori DC/DC *step-up* isolati per applicazioni *automotive*, Emilio Lorenzani si è occupato dello sviluppo hardware e *firmware* di un'architettura full-bridge nel quale si è sostituito il classico trasformatore monofase con un trasformatore trifase.

Il trasformatore, con gli avvolgimenti di primario e secondario collegati rispettivamente a triangolo e a stella, è alimentato con una terna di onde quadre sfasate tra loro di $2/3\pi$. La buona propensione dell'architettura, denominata *3boost*, nel trattare elevate potenze sono state messe in evidenza in [1],[24],[25]. L'architettura sviluppata è stata oggetto di brevetti [B1],[B2].

Sempre in campo *automotive* Lorenzani Emilio ha lavorato sull'aspetto legato all'immagazzinamento di energia a bordo vettura. Attraverso l'uso di reti neurali si è identificato lo stato di carica delle batterie nel caso di batterie agli ioni di litio per usi di trazione, e si è individuata una strategia di gestione della carica in modo da massimizzare l'energia immagazzinata [21].

1.6 Architetture di microinverter per applicazioni fotovoltaiche.

La diminuzione dei costi dell'elettronica di potenza e la necessità di massimizzare l'estrazione di energia da ciascun pannello fotovoltaico ha determinato un notevole interesse nello sviluppo di *microinverter* connessi ad un unico pannello fotovoltaico, in grado di garantire tempi di vita paragonabili a quelli del pannello stesso.

In questo contesto è stata proposta una nuova architettura di *microinverter CSI (Current Source Inverter)* [60] in grado di ridurre le ben conosciute maggiori dissipazioni di potenza sui dispositivi attivi di questa architettura rispetto ai *Voltage Source Inverters*. In questo lavoro è stata anche proposta una nuova strategia modulazione PWM in grado di limitare la distorsione della corrente iniettata in rete dai convertitori CSI.

Nello stesso ambito dei *microinverter grid-connected* è stata effettuata un'accurata analisi delle differenti perdite dissipative presenti in architetture *Flyback-interleaved*, anche in presenza di differenti strategie di controllo [61].

1.7 Simulazione agli elementi finiti di macchine elettriche a magneti permanenti.

In [6] è stata presentata una *review* delle soluzioni presenti in letteratura in grado di limitare la coppia di *cogging* in macchine elettriche a magneti permanenti interni. La comparazione è stata effettuata attraverso considerazioni analitiche e un corposo lavoro di simulazione agli elementi finiti delle differenti geometrie del rotore della macchina.

Nell'ambito di una collaborazione con la ditta Motor Power Company Srl, si sono studiate le macchine elettriche a magneti permanenti a flusso assiale. In [62] vengono fornite alcune linee guida per la progettazione di questa tipologia di macchina. Le linee guida sono state successivamente validate attraverso una particolare metodologia di simulazione agli elementi finiti 2D, e attraverso prove sperimentali su un prototipo finale.

L'elevato costo dei magneti realizzati in terre rare, ha determinato un notevole interesse in tutte quelle soluzioni in grado di ridurre il loro uso. Nell'ambito di macchine elettriche a magneti permanenti superficiali, in [64] si è proposto di sostituire una parte di magneti realizzati con terre rare con magneti realizzati in ferrite. Le prestazioni ottenibili con differenti geometrie della

macchina, sono state comparate in termini di coppia media, *ripple* di coppia in condizioni nominali e di sovraccarico, e coppia di *cogging*.

1.8 Azionamenti elettrici ad alta dinamica con attuatori a induzione e passo.

In questo filone di ricerca sono stati approfonditi gli studi sul controllo vettoriale a orientamento di campo per motori a induzione con particolare riferimento all'implementazione *sensorless*. In [20] vengono descritte diverse tecniche per la rilevazione della velocità senza l'ausilio del trasduttore di velocità o posizione. Successivamente in collaborazione con l'Analog Devices Inc., produttrice di DSP (*Digital Signal Processor*) specifici per applicazioni *motion control*, si è sviluppato un controllo vettoriale *sensorless low cost* per applicazioni *washing machines* [22].

Per quanto riguarda i motori passo è stato studiato e sviluppato, in collaborazione con la ditta Corghi SpA, un azionamento per macchine guidafile in ambito tessile, specifico per la roccatura di varie tipologie di filato. Allo scopo si è realizzato un controllo vettoriale ad alta dinamica che unito a un motore passo bifase a disco magnetico e a bassa inerzia, ha permesso di soddisfare le stringenti prestazioni dinamiche richieste (per esempio accelerazioni pari a 100g della guidafile durante l'inversione di velocità) [35]. Sono state inoltre implementate diverse strategie di roccatura, legate all'angolo di incrocio del filo e al diametro della rocca.

1.9 Sistemi eolici: macchina elettrica e controllo del convertitore.

Nei sistemi eolici la topologia del convertitore *front-end* collegata alla macchina elettrica è spesso costituita da un rettificatore passivo seguito da un convertitore *boost* o da un classico ponte intero trifase. In [56] vengono individuate le linee guida per il dimensionamento della macchina elettrica a magneti permanenti, utilizzata in impianti micro-eolici, dipendentemente dalle due differenti topologie del convertitore *front-end* utilizzata. In particolare ci si è concentrati sui differenti parametri (costante di macchina, induttanza sincrona) ottimi che vorremmo che avesse la macchina elettrica al fine di massimizzare le perdite della macchina elettrica quando quest'ultima viene connessa ai due differenti *front-end*.

In [54] è stato proposto un semplice controllo di un intero convertitore *back-to-back grid-connected* per sistemi micro-eolici senza l'ausilio né di anemometri, né di sensori di velocità/posizione per il generatore elettrico a magneti permanenti. In quest'attività ci si è concentrati sullo sviluppo di un semplice ma efficace stimatore della posizione angolare rotorica, su una strategia per ottenere un *soft-start* nel controllo del generatore elettrico, e sull'implementazione di una robusta macchina a stati per la gestione dei due convertitori (AC/DC e DC/AC) senza la necessità di implementare specifiche comunicazioni digitali o analogiche tra loro.

1.10 Amplificatori audio con architetture ad alta efficienza

In collaborazione con la ditta ASK Industries SpA sono stati studiati e realizzati amplificatori audio con architettura ibrida. L'obiettivo è stato quello di aumentare il rendimento senza però rinunciare alla qualità sonora. L'attività si è basata sull'idea di collegare in parallelo al classico amplificatore audio in classe AB, caratterizzato da bassa distorsione e relativamente basso rendimento, un amplificatore in classe D (architettura *switching*) caratterizzato da alto rendimento e da distorsione maggiore rispetto al classe AB. L'amplificatore in classe D fornirà la maggior parte di energia all'altoparlante mentre l'amplificatore in classe AB si limiterà a ridurre la distorsione di quest'ultimo. In [34] vengono proposti i criteri di dimensionamento dell'amplificatore audio ibrido con simulazioni, risultati sperimentali e indici di performance. In [40] si mostra come la soluzione proposta permette, intrinsecamente, di avere basse emissioni elettromagnetiche. In particolare sono state eseguite misure in camera anecoica di emissione irradiata e condotta, confrontando la performance dell'amplificatore ibrido sviluppato con un classico amplificatore in classe D commerciale.

1.11 Azionamenti elettrici per attuatori piezoelettrici

In collaborazione con la ditta System Group si è studiata e proposta un'architettura innovativa per il comando di testine di stampa piezoelettriche.

1.12 Convertitori Current Source Inverters

Sviluppo di nuove topologie e nuove strategie di controllo per convertitori Current Source Inverters grid-connected ad alta efficienza e con bassa corrente di dispersione verso terra sia per sistemi monofase sia trifase [66],[60],[68]. Sono state proposte differenti soluzioni in grado di aumentare l'efficienza di conversione e ridurre la distorsione armonica della corrente iniettata in rete per sistemi fotovoltaici caratterizzati da significative capacità parassite dei pannelli verso terra.

2. Trasferimento tecnologico

2.1 Creazione di spin-off

È stato uno dei soci fondatori della società Raw Power Srl., spin-off universitario dell'Università di Modena e Reggio Emilia. È stato uno degli amministratori della società dalla sua fondazione fino a quando è terminato il suo periodo di incubazione come spin-off (6 anni). Nel secondo triennio come spin-off è stato anche il delegato dell'Università nel consiglio di Amministrazione.

Tra le *mission* aziendali della società Raw Power Srl vi è la ferma volontà di operare il trasferimento tecnologico dal mondo della ricerca a quello dell'industria. Raw Power Srl si occupa di tutti gli aspetti relativi all'elettronica di potenza e alle macchine elettriche, finalizzata all'automazione e alla conversione dell'energia.

2.2 Collaborazioni con aziende

Emilio Lorenzani si è occupato in prima persona delle seguenti attività di ricerca industriale.

- Per System Group SpA si sta occupando della progettazione di un'elettronica di potenza ad elevata efficienza per l'attuazione di testine di stampa piezoelettriche.
- Per Nexap Srl si sta occupando della progettazione di convertitori AC/DC da 2-3kW ad elevata efficienza e compattezza.
- Per Adel System Srl si sta occupando dello sviluppo di alimentatori da barra DIN con caratteristiche di elevata efficienza e compattezza.
- Per COBO Srl si sta occupando dello sviluppo di un battery breaker ad elevate prestazioni.
- Per SEIPEE SpA si è occupato della progettazione di macchine elettriche, in particolare per la conversione di motori a induzione in motori a magneti permanenti attraverso la sostituzione del rotore.
- Per Analog Devices Inc., USA, si è occupato dello sviluppo di un azionamento a orientamento di campo *full digital* di tipo sensorless per motori a induzione in applicazioni *washing-machines*.
- Per LOMBARDINI S.p.A si è occupato dello sviluppo di un controllo per generatori asincroni tramite un convertitore statico di potenza.
- Per ASK Industries si è occupato della realizzazione di amplificatori audio ad architettura ibrida e convertitori DC/DC step/up ad alta efficienza.
- Per Walvoil S.p.A e Casappa S.p.A si è occupato dello sviluppo di controlli elettronici della cilindrata di pompe a stantuffi per macchine movimento terra.
- Per SPAL Automotive Srl si è occupato dello sviluppo di controlli vettoriali *sensorless* a basso costo per motori *brushless*.
- Per San Barnaba Srl si è occupato dello sviluppo di un veicolo ibrido misto per la mobilità urbana.

- Per CORGHI SpA si è occupato dello sviluppo di una macchina guidafilo per applicazioni tessili.
- Per Vercos Frigo Srl si è occupato dello sviluppo di un cogeneratore termofotovoltaico a concentrazione.
- All'interno del progetto regionale DIRO'(progetto Intermech) ha collaborato con le aziende Motor Power Company Srl, Electric 80 SpA e Tellure Rota SpA, per lo sviluppo di una macchina elettrica integrata nella ruota di veicoli LGV.
- All'interno del progetto regionale "ISOTRACTOR" (progetto Intermech) ha collaborato con le aziende Walvoil Spa, Arag Srl, COBO SpA e Argotractor Spa, per la progettazione di attuatori lineari innovativi.

3. Brevetti

[B1] F. Violi, G. Franceschini, A. Bellini, E. Lorenzani, M. Cavatorta, "*Convertitore DC/DC trifase*", RE2004A000038, depositato il 22/04/2004, data brevetto 3 dicembre 2008.

[B2] F. Violi, G. Franceschini, A. Bellini, E. Lorenzani, M. Cavatorta, "*A DC/DC three-phase converter*", European Patent EP1589648, depositato il 15/11/2004, data di pubblicazione 20/02/2008 (priority RE2004A000038).

[B3] G. Borghi, G. Franceschini, E. Lorenzani, "*Metodo e Dispositivo per controllare la tensione generata da un generatore elettrico asincrono*", depositato il 30/06/2006, N. brevetto 0001374267, data brevetto 06/05/2010.

[B4] D. Barater, A. S. Crinto, G. Franceschini, E. Lorenzani, G. Riboli, "*Convertitore dc-ac, in particolare per fornire energia elettrica da un pannello solare ad una rete elettrica*", depositato 08 giugno 2009, N. brevetto 0001394558, data brevetto 09/12/2010.

[B5] D. Barater, A. S. Crinto, G. Franceschini, E. Lorenzani, G. Riboli, "*DC-AC converter, in particular for providing power supply from a solar panel to a mains power supply*", European Patent EP2262093, data di deposito 08/06/2010, data di pubblicazione 15/12/2010 (priority IT2009MI01000).

[B6] G. Migliazza, E. Lorenzani, L. Larcher, "Amplificatore per il pilotaggio di un carico capacitivo", brevetto italiano depositato 26 gennaio 2018 al n. 102018000001967.

4. Elenco delle Pubblicazioni

Articoli pubblicati su rivista

- [1] G. Franceschini, E. Lorenzani, M. Cavatorta, A. Bellini, "*3boost a High Power Three Phase Step-up Full-bridge Converter for Automotive Applications*", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Volume 55, Issue 1, Jan. 2008, pp:173 – 183, doi: 10.1109/TIE.2007.905930, ISSN 0278-0046,
- [2] A. Bellini, G. Franceschini, E. Lorenzani, C. Tassoni, "*Distributed cogeneration plants*," Industry Applications Magazine, IEEE , vol.15, no.6, pp.61-68, November-December 2009, doi: 10.1109/MIAS.2009.934447, ISSN 1077-2618,
- [3] G. Buticchi, E. Lorenzani, G. Franceschini, "A DC Offset Current Compensation Strategy in Transformerless Grid-Connected Power Converters," *IEEE Transactions on Power*

- Delivery*, vol.26, no.4, pp.2743-2751, Oct. 2011, doi: 10.1109/TPWRD.2011.2167160, ISSN:0885-8977.
- [4] G. Buticchi, D. Barater, E. Lorenzani, G. Franceschini, "Digital Control of Actual Grid-Connected Converters for Ground Leakage Current Reduction in PV Transformerless Systems", *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol.8, no.3, pp.563-572, Aug. 2012, doi: 10.1109/TII.2012.2192284, ISSN: 1551-3203.
- [5] G. Franceschini, E. Lorenzani, G. Buticchi, "Saturation Compensation Strategy for Grid Connected Converters Based on Line Frequency Transformers", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol.27, no.2, pp.229-237, June 2012, doi: 10.1109/TEC.2012.2184113, ISSN=0885-8969.
- [6] C. Bianchini, F. Immovilli, E. Lorenzani, A. Bellini, M. Davoli, "Review of Design Solutions for Internal Permanent Magnet Machines Cogging Torque Reduction," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol.48, no.10, pp.2685-2693, Oct. 2012 doi: 10.1109/TMAG.2012.2199509, ISSN: 0018-9464
- [7] D. Barater, G. Buticchi, A. S. Crinto, G. Franceschini, E. Lorenzani, "Unipolar PWM Strategy for Transformerless PV Grid Connected Converters", *IEEE Transactions on Energy Conversions*, vol.27, no.4, pp.835-843, Dec. 2012, doi: 10.1109/TEC.2012.2212197, ISSN: 0885-8969.
- [8] G. Buticchi, E. Lorenzani, G. Franceschini, "A Five-Level Single-Phase Grid-Connected Converter for Renewable Distributed Systems," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol.60, no.3, pp.906-918, March 2013, doi: 10.1109/TIE.2012.2189538, ISSN: 0278-0046.
- [9] G. Buticchi, E. Lorenzani, "Detection Method of the DC bias in Distribution Power Transformers", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 60, no.8, Aug. 2013, pp. 3539 - 3549 doi: 10.1109/TIE.2012.2226418, ISSN: 0278-0046.
- [10] G. Buticchi, L. Consolini, E. Lorenzani "Active Filter for the Removal of the DC Current Component for Single-Phase Power Lines" , *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol.60, no.10, pp.4403-4414, Oct. 2013, doi: 10.1109/TIE.2012.2213562, ISSN: 0278-0046.
- [11] D. Barater, G. Buticchi, E. Lorenzani, C. Conconi, "Active Common-Mode Filter for Ground Leakage Current Reduction in Grid-Connected PV Converters Operating With Arbitrary Power Factor," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol.61, no.8, pp.3940-3950, Aug. 2014, doi: 10.1109/TIE.2013.2284160, ISSN: 0278-0046.
- [12] G. Buticchi., D. Barater, E. Lorenzani, C. Conconi, G. Franceschini, "A Nine-Level Grid-Connected Converter Topology for Single-Phase Transformerless PV Systems," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol.61, no.8, pp.3951- 3960, Aug. 2014 doi: 10.1109/TIE.2013.2286562, ISSN: 0278-0046.
- [13] Immovilli, F., Bianchini, C., Lorenzani, E., Bellini, A., Fornasiero, E., "Evaluation of Combined Reference Frame Transformation for Interturn Fault Detection in Permanent-Magnet Multiphase Machines," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, , vol.62, no.3, pp.1912-1920, March 2015

- [14] Buticchi, G., Lorenzani, E., Immovilli, F., Bianchini, C., "Active Rectifier With Integrated System Control for Microwind Power Systems," in *Sustainable Energy, IEEE Transactions on* , vol.6, no.1, pp.60-69, Jan. 2015doi: 10.1109/TSTE.2014.2356335.
- [15] Barater, D., Lorenzani, E., Concari, C., Franceschini, G., Buticchi, G., "Recent advances in single-phase transformerless photovoltaic inverters," in *Renewable Power Generation, IET* , vol.10, no.2, pp.260-273, 2 2016 doi: 10.1049/iet-rpg.2015.0101
- [16] Verrelli, C.M., Tomei, P., Consolini, L., Lorenzani, E. "Space-learning tracking control for permanent magnet step motors" (2016), *Automatica*, 73, pp. 223-230.
- [17] Verrelli, C.M., Tomei, P., Lorenzani, E., Migliazza, G., Immovilli, F. Nonlinear tracking control for sensorless permanent magnet synchronous motors with uncertainties (2017) *Control Engineering Practice*, 60, pp. 157-170.
- [18] E. Lorenzani; F. Immovilli; G. Migliazza; M. Frigieri; C. Bianchini; M. Davoli, "CSI7: a Modified Three-phase Current Source Inverter for Modular Photovoltaic Applications," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics* , vol. 64, no. 7, pp. 5449-5459, July 2017, doi: 10.1109/TIE.2017.2674595.

Capitoli di libri:

- [19] E. Lorenzani, G. Franceschini, C. Tassoni, A. Bellini, book Chapter under title "Single-Phase Grid Connected Converters for Photovoltaic Plants", book Title "Renewable Energy", December 2009, intechweb publisher, ISBN 978-953-7619-52-7.

Memorie presentate a congressi internazionali:

- [20] A. Bellini, G. Franceschini, E. Lorenzani, C. Tassoni e F. Filippetti, "*Sensorless Speed Detection in Induction Machine*", International Conference on Electrical Machines(ICEM 2002), Bruges – Belgium August 25-28 2002,
- [21] A. Affanni, A. Bellini, C. Concari, G. Franceschini, C. Tassoni, E. Lorenzani, "*EV Battery State of Charge: Neural Network Based Estimation*", IEEE IEMDC'03 International Electric Machines and Drives Conference Madison, Wisconsin, USA, pp. 684-688, June 1-4 2003, ISBN 0-7803-7817-2,
- [22] G. Franceschini, E. Lorenzani, C. Tassoni, Y. De Mari, "*Design of a high speed induction motor sensorless drive based on admcf341 dsp controller*", EPE 2003 Toulouse, France, September 2-4 2003, ISBN 90-75815-07-7,
- [23] A. Bellini, C. Concari, G. Franceschini, E. Lorenzani C. Tassoni, H.A. Toliyat, "*Induction motors Diagnosis using Deceleration Test, a possible Improvement*", in Proc. of IEEE IAS 2003 38th convention, October 2003, Salt Lake, UT, vol. 3, pp. 1874-1881,ISBN 0-7803-7883-0,

- [24] G. Franceschini, A. Bellini, E. Lorenzani, M. Cavatorta, F. Violi, “*High Power Step-Up Converter for car Subwoofer*”, 117th AES, San Francisco, USA, October 28-31, 2004,
- [25] G. Franceschini, E. Lorenzani, M. Cavatorta, A. Bellini, “*3boost a High Power Three Phase Step-up Full-bridge Converter for Automotive Applications*”, IEEE IECON 2004, Vol. 1, pp.514 - 519, Busan, Korea, November 1-5, 2004, ISBN 0-7803-8730-9,
- [26] A. Bellini, M Cavatorta, C. Concari, E. Lorenzani, C. Tassoni, A. Toscani “*Experimental Validation of a Diagnostic Index for Induction Motors Stator Faults*” ,IEEE IECON 2004, Vol. 2, pp. 1367 - 1373 , Busan, Korea, November 1-5, 2004,ISBN 0-7803-8730-9,
- [27] A. Bellini, C. Concari, G. Franceschini, E. Lorenzani, C. Tassoni, “*Induction Drives Diagnosis by Signal Injection: Effectiveness and Severity Classification*”, IEEE IEDMC’05 International Electric Machines and Drives Conference , pp. 718 – 727, San Antonio, Texas, USA, May 15-18 2005, ISBN 0-7803-8987-5,
- [28] L. Donadio, M. Zucca, A. Bellini, C. Concari, E. Lorenzani, “*Time Harmonics Investigation of Stator and Rotor Currents of a Dedicated Induction Machine*”, IEEE IEMDC’05 International Electric Machines and Drives Conference, pp. 1820 – 1825, San Antonio, Texas, USA, May 15-18 2005, ISBN 0-7803-8987-5,
- [29] A. Bellini, C. Concari, G. Franceschini, E. Lorenzani, C. Tassoni, A. Toscani, “*Virtual Inertia Test Bed for Quantification of Sideband Currents in Induction Machines Diagnostics*” in Proc. of IEEE ICEM 2006,pp. 1-6, Crete Island Greece, September 2-5 2006,
- [30] A. Bellini, G. Franceschini, E. Lorenzani, M. Tomaiuolo, C. Tassoni, “*Field Oriented Control of Self-Excited Induction Generator*”, in Proc. of IEEE ICEM 2006, pp. 1-6, Crete Island, Greece, September 2-5 2006,
- [31] A. Bellini, G. Franceschini, E. Lorenzani, C. Tassoni, M. Tomaiuolo, “*Field Oriented Control of Self-excited Induction Generator for Distributed Cogeneration plants*”, in Proc. of IEEE IAS 2006, Vol. 4, pp. 1738 - 1744 , Tampa, FL, October 8-12 2006, ISBN 1-4244-0365-0,
- [32] A. Bellini, C. Concari, G. Franceschini, E. Lorenzani, C. Tassoni, A. Toscani, “*Thorough Understanding about Current Sideband Components in induction Machines Rotor Monitoring and its Experimental validation*”, in Proc. of IEEE IECON 2006, pp. 4957 - 4962 , Paris, FR, November 7-10 2006, ISBN 1-4244-0136-4,
- [33] A. Bellini, L. Chiesi, E. Lorenzani, G. Franceschini, “*Modelling of a parallel hybrid power audio amplifier*”, in Proc. of IEEE IECON 2006, pp. 1775 - 1780 , Paris, FR, November 7-10 2006, ISBN 1-4244-0136-4,
- [34] Lorenzo Chiesi, Emilio Lorenzani, Giovanni Franceschini, Alberto Bellini, “*Non-linear model of a parallel hybrid power audio amplifier*”, in Proc. of NOLTA 2006, Bologna, Italy, September 2006, pp. 511-514,
- [35] R. Bellanova, A. Bellini, E. Lorenzani, G. Franceschini, C. Tassoni, A. Toscani, “*High Dynamic Control of a Stepper Motor for Textile Applications*”, in Proc. Of IEEE IEMDC 2007,Vol.2, pp. 1707 – 1710, Antalya, Turkey, May 3-5 2007,ISBN 1-4244-0743-5,
- [36] C. Concari, G. Franceschini, E. Lorenzani, C. Tassoni, A. Toscani, “*Severity Assessment of Rotor Faults in Closed Loop Induction Drives by Different Approaches*”, in Proc. of IEEE SDEMPED 2007, pp. 309 – 315, Cracow (Poland), September 6-8, 2007, ISBN 1-4244-1062-2,

- [37] A. Bellini, G. Franceschini, E. Lorenzani, C. Tassoni, “*Quantitative design of Active Control for Self Excited Induction Generators in Grid Isolated Operation*”, in Proc. of IEEE PES 2008, pp. 3610-3614, Rhodes (Greece), June 15-19, 2008, ISBN 978-1-4244-1668-4,
- [38] A. Bellini, G. Franceschini, E. Lorenzani, C. Tassoni, “*Synchronous reference frame grid current control for single-phase photovoltaic converters*”, in Proc. of IEEE IAS 2008, pp 1 – 7, Edmonton (Canada), October 5-9 2008, ISBN 978-1-4244-2279,
- [39] D. Barater, G. Franceschini, E. Lorenzani, “*Unipolar PWM for Transformerless Grid-Connected Converters in Photovoltaic Plants*”, in Proc. of IEEE ICCEP 2009, pp 387-392 , Capri (Italy), June 9-11 2009, ISBN 978-1-4244-2544-0,
- [40] A. Bellini, V. Boccedi, G. Franceschini, E. Lorenzani, I. Montanari, A. Tacchini, “*Hybrid architectures for EMC mitigation of switching audio amplifier*,” Electromagnetic Compatibility – IEEE EMC Europe 2009 International Symposium on , vol., pp.1-4, June 11-12 2009, Athens (Greece), ISBN 978-1-4244-4108-2,
- [41] G. Buticchi, G. Franceschini, E. Lorenzani, C. Tassoni, A. Bellini, “*A novel current sensing DC offset compensation strategy in transformerless grid connected power converters*,” Energy Conversion Congress and Exposition, IEEE ECCE 2009, vol., no., pp.3889-3894, 20-24 Sept. 2009, ISBN 978-1-4244-2893-9,
- [42] D. Barater, G. Buticchi, A.S. Crinto, G. Franceschini, E. Lorenzani, “*A new proposal for ground leakage current reduction in Transformerless Grid-Connected Converters for Photovoltaic Plants*”, in Proc. of IEEE IECON 2009, pp. 4531 - 4536, Porto (Portugal), November 3-5 2009, ISBN : 978-1-4244-4650-6.
- [43] G. Franceschini, E. Lorenzani, A. Bellini, A. Fratta, “*Compensation of magnetic core saturation for grid connected single-phase power converters*”, Electrical Machines (ICEM), 2010 XIX International Conference on , pp.1-6, 6-8 Sept. 2010, Rome (Italy), 978-1-4244-4174-7.
- [44] G. Buticchi, G. Franceschini, E. Lorenzani, “*Compensation strategy of actual commutations for PV transformerless grid-connected converters*”, Electrical Machines (IEEE ICEM), 2010 XIX International Conference on , pp.1-6, 6-8 Sept. 2010, Rome (Italy). ISBN: 978-1-4244-4174-7.
- [45] G. Buticchi, G. Franceschini, E. Lorenzani, , “*A Novel Five-Level Single Phase Grid Connected Converter for Renewable Distributed Systems*”, in Proc. of IEEE ECCE 2010, pp.3535-3540, 12-16 September 2010, Atlanta (USA). ISBN: 978-1-4244-5286-6.
- [46] G. Buticchi, E. Lorenzani, A. Fratta, “*A new proposal to eliminate the DC current component at the point of common coupling for grid connected systems*”, in Proc. of IEEE IECON 2010, pp. 3244-3249 ,7-10 November 2010, Phoenix, AZ, USA. ISBN: 978-1-4244-5225-5.
- [47] G. Buticchi, G. Franceschini, E. Lorenzani, D. Barater, A. Fratta, “*A Novel Compensation Strategy of Actual Commutations for Ground Leakage Current Reduction in PV Transformerless Converters*”, in Proc. of IEEE IECON 2010, pp. 3179-3184 ,7-10 November 2010, Phoenix, AZ, USA. ISBN: 978-1-4244-5225-5.
- [48] G. Buticchi, E. Lorenzani, “*A Sensor to Detect the DC Bias of Distribution Power Transformers*” in Proc. of IEEE SDEMPED 2011, pp. 63-70, 5-8 September 2011, Bologna, Italy. ISBN: 978-1-4244-9302-9.

- [49] G. Buticchi, L. Consolini, E. Lorenzani, "A Nonlinear Reactor for DC Current Compensation in Single Phase Power Lines", in *Proc. of IFAC 2011*, pp. 1-6, 28 August-2 September 2011, Milano, Italy. ISBN: 978-3-902661-93-7.
- [50] C. Bianchini, F. Immovilli, A. Bellini, E. Lorenzani, C. Concari, M. Scolari, "Homopolar Generators: an Overview" in *Proc. of IEEE ECCE 2011*, pp. 1523-1527, Phoenix, AZ, USA, 17-22 Sept. 2011. ISBN: 978-1-4577-0542-7.
- [51] G. Buticchi, L. Consolini, E. Lorenzani, C. Concari, "Modeling and Analysis of a DC Current Compensator in Distribution Power Lines", in *Proc. of IEEE ECCE 2011*, pp. 2015 - 2021, Phoenix, AZ, USA, 17-22 Sept. 2011. ISBN: 978-1-4577-0542-7.
- [52] G. Buticchi, L. Consolini, E. Lorenzani, "Modeling and Stability Analysis of an Active Filter for DC Current Compensation ", in *Proc. of IEEE International Conference on Decision and Control (CDC)*, pp.3068- 3073 Orlando, USA, 12-15 December 2011, ISBN: 978-1-61284-799-3.
- [53] D. Barater, G. Buticchi, G. Franceschini, E. Lorenzani, "Active Filter for DC Current Components in Three-Phase Distribution Grids", in *Proc. of Applied Power Electronics Conference and Exposition (IEEE APEC2012)*, pp. 2240-2246 , Orlando, 5-9 February 2012. ISBN 978-1-4577-1214-2.
- [54] G. Buticchi, E. Lorenzani, C. Bianchini, "Optimal System Control of a Back-to-Back Power Converter for Wind Grid-Connected Converter", in *Proc. of 2nd IEEE ENERGYCON Conference & Exhibition 2012*, pp. 233-238, Firenze, 9-12 September 2012, ISBN 978-1-4673-1454-1.
- [55] G. Buticchi, C. Concari, G. Franceschini, E. Lorenzani, P. Zanchetta, "A nine-level grid-connected photovoltaic inverter based on cascaded full-bridge with flying capacitor" in *Proc. of IEEE ECCE 2012*, pp.1149,1156, 15-20 Sept.2012, doi: 10.1109/ECCE.2012.6342688.
- [56] C. Bianchini, F. Immovilli, E. Lorenzani, A. Bellini, G. Buticchi, "Micro Wind Turbine System Integration Guidelines PMSG and Inverter Front End Choices", in *Proc. of IEEE IECON 2012*, pp. 1073-1078, Montreal, 25-28 October 2012, ISBN 978-1-4673-2420-5.
- [57] G. Buticchi, D. Barater, E. Lorenzani, A. Salati, "Active Common-Mode Filter for Photovoltaic Transformerless Inverters", in *Proc. of IEEE IECON 2012*, pp. 5686-5691, Montreal, 25-28 October 2012, ISBN 978-1-4673-2420-5.
- [58] D. Barater, G. Buticchi, E. Lorenzani, V. Malori, "Transformerless Grid-Connected Converter for PV Plants with Constant Common Mode Voltage and Arbitrary Power Factor", in *Proc. of IEEE IECON 2012*, pp. 5760-5765, Montreal, 25-28 October 2012, ISBN 978-1-4673-2420-5.
- [59] E. Lorenzani, A. Salati, C. Bianchini, F. Immovilli, A. Bellini, S.B. Lee, J. Yoo, C. Kwon "Dynamic Modeling of Double Cage Induction Machines for Diagnosis of Rotor Faults", in *Proc. of IEEE ECCE 2012*, pp. 1299-1305, Raleigh, NC, USA Sept. 2012, ISBN 9781467308014.
- [60] E. Lorenzani, F. Immovilli, C. Bianchini, A. Bellini, "Performance Analysis of a Modified Current Source Inverter for Photovoltaic Microinverter Applications", in *Proc. of IEEE IECON 2013*, pp. 1809-1814, 10-13 Nov. 2013, Vienna, Austria, Nov. 2013, ISBN 978-1-4799-0224-8.

- [61] A. Causo, A. Salati, E. Lorenzani, F. Immovilli, C. Bianchini, "Power Losses Analysis in Interleaved Flyback Based PV Grid Connected Micro-Inverters", in *Proc. of IEEE IECON 2013*, pp. 1833-1838, 10-13 Nov. 2013, Vienna, Austria, Nov. 2013, ISBN 978-1-4799-0224-8.
- [62] C. Bianchini, F. Immovilli, E. Lorenzani, A. Bellini, L. Felici, "Axial Flux Permanent Magnet Machine Design and Optimization Using Multi Layer 2D Simulation", in *Proc. of IEEE IECON 2013*, pp. 2620-2625, 10-13 Nov. 2013, Vienna, Austria, Nov. 2013, ISBN 978-1-4799-0224-8.
- [63] C. Bianchini, F. Immovilli, E. Lorenzani, A. Bellini, E. Fornasiero, "Experimental Evaluation of Combined Reference Frames Transformation for Stator Fault Detection in Multi-Phase Machines", in *Proc. of IEEE SDEMPED 2013*, pp. 491-496, Valencia, Spain, August 2013, ISBN 978-1-4799-0025-1.
- [64] M. Davoli, C. Bianchini C., F. Immovilli, E. Lorenzani, "Torque ripple and pole cost reduction with hybrid permanent magnet", in *Proc. of IECON 2014*, Dallas, Texas, USA, Oct. 2014.
- [65] C. M. Verrelli, P. Tomei and E. Lorenzani, "Nonlinear adaptive control for position-sensorless permanent magnet synchronous motors with uncertainties," *2016 European Control Conference (ECC)*, Aalborg, 2016, pp. 2392-2397.
- [66] G. Migliazza, E. Lorenzani, F. Immovilli and C. Bianchini, "Ground leakage current reduction in single-phase current source inverter topologies," *IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Florence, 2016, pp. 2325-2330.
- [67] C. Bianchini, M. Davoli, G. Pellegrino, F. Immovilli and E. Lorenzani, "Low cost PM synchronous servo-applications employing asynchronous-motor frame," *2015 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, Montreal, QC, 2015, pp. 6090-6095.
- [68] E. Lorenzani, G. Migliazza, F. Immovilli, C. Bianchini and G. Buticchi, "Ground leakage current in PV three-phase current source inverter topologies," *IECON 2017 - 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Beijing, 2017, pp. 4221-4226.
- [69] D. Barater, G. Franceschini, F. Immovilli and E. Lorenzani, "Investigation on H-8 VSI architecture for bearing currents mitigation in VFD," *IECON 2017 - 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Beijing, 2017, pp. 4391-4396.

Tesi di dottorato di ricerca

- [70] E. Lorenzani, "Sistemi elettronici di Potenza per lo Sviluppo Energetico Ecosostenibile", Parma, 2006.

Reggio Emilia, 29/11/2018