

Curriculum Emilio Lorenzani

Emilio Lorenzani si è laureato in Ingegneria Elettronica nell'Anno Accademico 2000/2001 presso l'Università degli Studi di Parma, dove nel 2006 consegue anche il titolo di dottore di ricerca discutendo una tesi dal titolo: "Sistemi Elettronici di Potenza per lo Sviluppo Energetico Ecosostenibile". Nel 2007 è stato uno dei co-fondatori dello spin-off universitario Raw Power Srl. La società si occupa di azionamenti elettrici e convertitori elettronici di potenza principalmente in ambito industriale e automotive.

È stato Ricercatore (SSD ING-IND/32) dal 2011 al 2014 e professore associato dal 2015 al 2022 presso il Dipartimento di Scienze e Metodi dell'Ingegneria dell'Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia.

Attualmente Emilio Lorenzani è professore ordinario di Convertitori, Macchine ed Azionamenti Elettrici (SSD ING-IND/32) presso il Dipartimento di Scienze e Metodi dell'Ingegneria dell'Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia.

Dal 2006 svolge attività didattica in corsi universitari nell'ambito degli azionamenti elettrici e dei convertitori elettronici di potenza.

È Associate Editor per la rivista scientifica internazionale IET Power Electronics dal 28-02-2018 fino ad oggi.

è co-inventore di 7 brevetti di invenzione industriale.

È co-autore di oltre 95 articoli scientifici pubblicati su riviste internazionali e su atti di conferenze internazionali.

1. Attività di Ricerca

Le principali attività di ricerca di Emilio Lorenzani riguardano lo studio e progettazione di azionamenti elettrici e convertitori elettronici di potenza in ambito industriale ed automotive.

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

In modo più dettagliato le principali 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 Convertitori *Current Source Inverters* per applicazioni fotovoltaiche e azionamenti elettrici
- 1.4 Azionamenti elettrici a magneti permanenti, a induzione e passo.
- 1.5 Diagnosi di guasti in sistemi elettromeccanici.
- 1.6 Convertitori DC/DC in campo *automotive*.
- 1.7 Controllo di un generatore elettrico a induzione in un impianto di micro-cogenerazione.
- 1.8 Sistemi eolici: macchina elettrica e controllo del convertitore.
- 1.9 Amplificatori ibridi di tipo parallelo per applicazioni audio e attuatori piezoelettrici

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],[51],[54], 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 [70] 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],[67] 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],[69] 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],[69] 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],[50],[55]. 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 [50].

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 [53],[3],[65]. 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,[61],[63],[64]. 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],[60]. 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 Convertitori Current Source Inverters

Sviluppo di nuove topologie e nuove strategie di controllo per convertitori *Current Source Inverters* (CSIs) sia per applicazioni da fonti di energia rinnovabile, sia per l'azionamento di particolari tipologie di azionamenti elettrici ad alta velocità.

Nell'ambito dei convertitori trifase DC-AC *grid-connected* per applicazioni fotovoltaiche, Emilio Lorenzani si è occupato di nuova architettura di convertitore CSI denominata CSI7 [19], [72] che grazie anche ad opportune modulazioni SVM (*Space Vector Modulation*) permette di ridurre le perdite dissipative, la distorsione della corrente iniettata in rete e la corrente di dispersione verso terra [22], [80] rispetto alla soluzione CSI classica. È stata inoltre proposta un'evoluzione dell'architettura base al fine di ridurre ulteriormente la corrente di dispersione verso terra in [23] e valutando l'effetto delle capacità parassite dei transistor e dei diodi sulla performance del convertitore [27]. Sono inoltre state valutate soluzioni, seppur meno attrattive dal punto di vista applicativo, di convertitori CSI per applicazioni monofase [26], [78].

Nell'ambito degli Azionamenti Elettrici Emilio Lorenzani si è occupato di individuare architetture e strategie di controllo per i CSIs alimentati con sorgente di tensione continua e induttore serie. Nei lavori [25], [94] sono stati messi in evidenza le migliori apportabili rispetto alla soluzione classica, evidenziano anche i limiti e svantaggi del CSI rispetto al VSI. In applicazioni particolari all'interno della tematica *More Electric Aircraft* si sono evidenziati possibili vantaggi su ingombri ed efficienza complessiva di sistema nell'uso di CSI per azionamenti ad alta velocità, [24]. Per questa tipologia di azionamenti basati su CSIs in [95] si sono valutate differenti soluzioni per stimare la posizione del rotore in presenza di variazioni parametriche della macchina elettrica. Queste ultime attività sono state condotte in collaborazione con l'Università di Nottingham-Ningo (China).

1.4 Azionamenti elettrici a magneti permanenti, a induzione e passo.

Sono stati approfonditi gli studi sul controllo vettoriale a orientamento di campo per motori a induzione con particolare riferimento all'implementazione *sensorless*. In [32] 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*) si è sviluppato un controllo vettoriale *sensorless low cost* per applicazioni *washing machines* [34].

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 [47].

Si sono valutate in [28],[87]e [91] alcune soluzioni con macchina a magneti permanenti multi-trifase con le terne trifasi riconfigurabili *on line* in serie e in parallelo, allo scopo di migliorare la *fault-tolerant* [88], ma anche di ridurre le perdite dell'elettronica di potenza. In tale lavoro si mostra come è possibile ridurre in modo significativo rispetto alla soluzione classica le perdite sull'elettronica di potenza, mentre le perdite sulla macchina elettrica rimangono inalterate. Nello stesso ambito, in [86] si è inoltre determinata la riduzione dell'oscillazione di corrente sul condensatore del DC-Link

attraverso soluzioni multi-trifase, rispetto all'uso di una classica macchina trifase. Al fine di migliorare la *fault-tolerant* dell'intero azionamento e le prestazioni dinamiche in presenza di un guasto, sono state messe a confronto in [96] le prestazioni di un controllo tradizionale master-slave rispetto ad un controllo di tipo *droop* per il comando dei diversi set di avvolgimenti trifasi presente nella macchina elettrica. Il lavoro ha evidenziato prestazioni dinamiche simili per le due tipologie di controllo.

In collaborazione con l'Università di Kiel (Germany) sono stati studiati controlli di azionamenti elettrici ad alta velocità basati su PMSM [93], mostrando come sia importante considerare anche nel controllo la presenza delle perdite nel ferro della macchina elettrica, quando queste sono significative. In collaborazione con il gruppo di Automatica dell'Università di Tor Vergata sono stati fatti ulteriori studi sulla performance di controlli *sensorless* per macchina a induzione con stima dei parametri di macchina [18],[20] nuove tipologie di controlli *sensorless* per macchine sincrone a magneti permanenti superficiali e interni, robusti alla presenza di variazioni parametriche, [21],[30][30]. In collaborazione anche con l'unità di Automatica dell'Università di Parma, si è sviluppata una tecnica di *space-learning* applicata agli azionamenti elettrici per motori *stepper* al fine di migliorare il tracking del riferimento di posizione compensando le oscillazioni di coppia del motore *stepper* e del carico meccanico[16]. Per queste ultime attività, in collaborazione con i gruppi di Automatica di altri atenei, Emilio Lorenzani, e il suo gruppo di ricerca, si è occupato principalmente della parte simulativa e sperimentale.

1.5 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 [44] 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 [41] 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 [35] 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 [38] 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 [40].

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 [39],[48] 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 [71]. È stata effettuata una modellizzazione della macchina elettrica, comprensiva del modello di guasto. La modellizzazione matematica della macchina è stata validata con prove sperimentali.

È stata inoltre svolta 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 [75]. L'indice diagnostico è stato validato attraverso simulazioni agli elementi finiti e prove sperimentali.

1.6 Convertitori DC/DC.

Un primo ambito di studio ha riguardato i convertitori DC/DC *step-up* isolati per applicazioni *automotive*. In questo ambito 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],[36],[37]. 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 [33].

Nell'ambito dei convertitori DC-DC di tipo LLC Emilio Lorenzani si è occupato delle problematiche di regolazione della tensione di uscita quando quest'ultima deve essere molto estesa. In [84] si sono evidenziate le criticità del controllo ibrido PFM-PWM proponendo soluzioni in grado di ridurre le perdite di commutazione dei transistor anche durante il funzionamento in PWM.

1.7 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 [42],[43]. Sono state eseguite prove sperimentali sia in laboratorio sia sull'impianto prototipo di micro-cogenerazione della Lombardini SpA [2]. Un dimensionamento ottimo del convertitore statico di potenza e del banco di condensatori è stato proposto in [49].

1.8 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 [68] vengono individuati alcuni criteri 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 minimizzare le perdite.

In [66] 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.

1.9 Amplificatori ibridi di tipo parallelo per applicazioni audio e attuatori piezoelettrici

Una prima versione di amplificatore ibrido switching-lineare è stato sviluppato per amplificatori audio. 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. In [46] vengono proposti i criteri di dimensionamento dell'amplificatore audio ibrido con simulazioni, risultati sperimentali e indici di performance. In [52] si mostra come la soluzione proposta permette, intrinsecamente, di avere basse emissioni elettromagnetiche.

Una seconda versione di amplificatore ibrido parallelo con architettura modificata e logica di intervento degli stadi switching e lineari che non avviene mai in contemporanea, è stata sviluppata per l'azionamento di attuatori piezoelettrici, in particolare di testine di stampa piezoelettriche per l'azienda System Ceramics SpA. Al fine di garantire un'elevata qualità e velocità di stampa, occorre imporre sulle testine di stampa, il cui circuito equivalente in prima approssimazione è una capacità, precise forme d'onda di tensioni trapezoidali. Le pendenze ed i livelli di tensione (fino a 150V) dell'onda trapezoidale determinano la goccia dell'inchiostro.

La criticità nell'attuazione di questi dispositivi riguarda la necessità di imporre queste precise forme d'onda di tensione, che si ripetono ad elevata frequenza (80kHz per esempio) e che sono caratterizzate da slew-rate fino a 45V/ μ s, in presenza di un carico capacitivo che può variare da centinaia di pF fino 180-220nF. Un buon tracking di queste forme d'onda (in particolare durante le rampe) risulta complesso con un'architettura di convertitore puramente switching (servirebbero frequenze di commutazione vicino ai 10MHz). Per questo motivo la soluzione che veniva utilizzata era quella di utilizzare un amplificatore lineare di potenza ad elevata banda passante. Soluzione molto costosa e che determina elevate dissipazioni di potenza.

Per risolvere il problema si è sviluppata una nuova architettura di amplificatore ibrido parallelo (switching + lineare) in grado di ridurre enormemente la dissipazione di potenza e recuperare l'energia immagazzinata sul carico capacitivo [29]. L'amplificatore lineare lavora solo per un tempo molto limitato nell'operare l'ultima correzione sul valore di tensione al termine delle rampe di tensione. È stato depositato e concesso il brevetto in Italia e in diversi stati europei, inoltre è già stato depositato il brevetto per gli Stati Uniti e per la Cina [B5], [B6].

6 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.
- [B7] G. Migliazza, E. Lorenzani, L. Larcher, "Amplifier for driving a capacitive load", EP3744000B1, CN111937300A, EP3744000A1, EP3744000B1, ES2887244T3, IT201800001967A1, PL3744000T3, PT3744000T, US2021036668A1, WO2019145903A1. Brevetto internazionale: concesso in Francia, Germania, Gran Bretagna, Austria, Polonia, Portogallo, Spagna, Turchia. Brevetto depositato in Stati Uniti e Cina.

7 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*,” IEEE Industry Applications Magazine, 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. Concari, "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. Concari, 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] F. Immovilli, C. Bianchini, E. Lorenzani, A. Bellini, E. Fornasiero, "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] G. Buticchi, E. Lorenzani, F. Immovilli, C. Bianchini, "Active Rectifier With Integrated System Control for Microwind Power Systems," in *Sustainable Energy, IEEE Transactions on* , vol.6, no.1, pp.60-69, Jan. 2015 doi: 10.1109/TSTE.2014.2356335.
- [15] D. Barater, E. Lorenzani, C. Concari, G. Franceschini, G. Buticchi, "Recent advances in single-phase transformerless photovoltaic inverters," in *Renewable Power Generation, IET* ,

- [16] Cristiano Maria Verrelli, Patrizio Tomei, Luca Consolini, Emilio Lorenzani, "Space-learning tracking control for permanent magnet step motors", *Automatica*, Volume 73, 2016, Pages 223-230, ISSN 0005-1098, doi.org/10.1016/j.automatica.2016.07.019.
- [17] C.M. Verrelli, P. Tomei, E. Lorenzani, G. Migliazza, F. Immovilli, "Nonlinear tracking control for sensorless permanent magnet synchronous motors with uncertainties", *Control Engineering Practice*, Volume 60, 2017, Pages 157-170, ISSN 0967-0661, https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2016.12.011.
- [18] C.M. Verrelli, P. Tomei, E. Lorenzani, R. Fornari, F. Immovilli, Further results on nonlinear tracking control and parameter estimation for induction motors, "Control Engineering Practice", Volume 66, 2017, Pages 116-125, ISSN 0967-0661, https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2017.05.008.
- [19] 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.
- [20] Verrelli, C.M., Lorenzani, R. Fornari M. Mengoni L. Zarri, Steady-state speed sensor fault detection in induction motors with uncertain parameters: A matter of algebraic equations, *Control Engineering Practice*, Volume 80, November 2018, Pages 125-137
- [21] Cristiano Maria Verrelli, Patrizio Tomei, Emilio Lorenzani, "Persistency of excitation and position-sensorless control of permanent magnet synchronous motors", *Automatica*, Volume 95, 2018, Pages 328-335, ISSN 0005-1098, https://doi.org/10.1016/j.automatica.2018.05.004.
- [22] E. Lorenzani, G. Migliazza, F. Immovilli and G. Buticchi, "CSI and CSI7 current source inverters for modular transformerless PV inverters," in *Chinese Journal of Electrical Engineering*, vol. 5, no. 2, pp. 32-42, June 2019. doi: 10.23919/CJEE.2019.000009
- [23] E. Lorenzani, G. Migliazza, F. Immovilli, C. Gerada, H. Zhang and G. Buticchi, "Internal Current Return Path for Ground Leakage Current Mitigation in Current Source Inverters," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 96540-96548, 2019. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2929062
- [24] V. Madonna, G. Migliazza, P. Giangrande, E. Lorenzani, G. Buticchi and M. Galea, "The Rebirth of the Current Source Inverter: Advantages for Aerospace Motor Design," in *IEEE Industrial Electronics Magazine*, vol. 13, no. 4, pp. 65-76, Dec. 2019. doi: 10.1109/MIE.2019.2936319
- [25] G. Migliazza, G. Buticchi, E. Carfagna, E. Lorenzani, V. Madonna, P. Giangrande, M. Galea, "DC Current Control for a Single-Stage Current Source Inverter in Motor Drive Application," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 36, no. 3, pp. 3367-3376, March 2021, doi: 10.1109/TPEL.2020.3013301.

- [26] Migliazza G, Lorenzani E, Immovilli F, Buticchi G. "Single-Phase Current Source Inverter with Reduced Ground Leakage Current for Photovoltaic Applications", *Electronics*. 2020; 9(10):1618. <https://doi.org/10.3390/electronics9101618>
- [27] Migliazza, G.; Carfagna, E.; Buticchi, G.; Immovilli, F.; Lorenzani, "E. Effect of Semiconductor Parasitic Capacitances on Ground Leakage Current in Three-Phase Current Source Inverters". *Energies* **2021**, *14*, 7364. <https://doi.org/10.3390/en14217364>
- [28] C. Alosa, G. Migliazza, F. Immovilli and E. Lorenzani, "Reconfigurable Multi-Three-Phase Drive for Naval Rim-Driven Propulsion System," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 58, no. 2, pp. 2075-2087, March-April 2022, doi: 10.1109/TIA.2022.3142234.
- [29] G. Migliazza, E. Carfagna, F. Bernardi and E. Lorenzani, "Optimized Parallel Hybrid Amplifier (OPHA) for Print-Head Piezoelectric Actuators with Trapezoidal Waveforms," in *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, Early Access Article, doi: 10.1109/JESTPE.2021.3138585.
- [30] C.M. Verrelli, E. Carfagna, M. Frigieri, A.S. Crinto, E. Lorenzani, "A New Bernard-Praly-like Observer for Sensorless IPMSMs", paper accepted in *Automatica*, in press.

Capitoli di libri:

- [31] 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:

- [32] 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,
- [33] 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,
- [34] 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,
- [35] 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,
- [36] 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,

- [37] 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,
- [38] 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,
- [39] 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,
- [40] 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,
- [41] 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,
- [42] 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,
- [43] 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,
- [44] 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,
- [45] 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,
- [46] 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,
- [47] 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,
- [48] 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,
- [49] 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 PESC 2008, pp. 3610-3614, Rhodes (Greece), June 15-19, 2008, ISBN 978-1-4244-1668-4,

- [50] 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,
- [51] 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,
- [52] 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,
- [53] 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,
- [54] 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.
- [55] 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.
- [56] 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.
- [57] 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.
- [58] 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.
- [59] 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.
- [60] 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.
- [61] 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.

- [62] 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.
- [63] 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.
- [64] 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.
- [65] 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.
- [66] 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.
- [67] 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.
- [68] 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.
- [69] 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.
- [70] 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.
- [71] 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.
- [72] 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.
- [73] 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.
- [74] 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.
- [75] 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.
- [76] 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.
- [77] 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.
- [78] 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.
- [79] 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.
- [80] 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.
- [81] 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.
- [82] A. Reatti, F. Corti, L. Pugi, M. K. Kazimierczuk, G. Migliazza and E. Lorenzani, "Control Strategies for Class-E Resonant Inverter with Wide Load Variation," *2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*, Palermo, 2018, pp. 1-6. doi: 10.1109/EEEIC.2018.8494505
- [83] E. Lorenzani, G. Migliazza and F. Immovilli, "Ground Leakage Current Mitigation for Three-Phase Current Source Inverters," *2018 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, Portland, OR, 2018, pp. 3694-3699. doi: 10.1109/ECCE.2018.8558381
- [84] R. Fornari, G. Migliazza, E. Lorenzani and F. Immovilli, "Critical Aspects of Hybrid PFM-PWM Operation in LLC Converters For Electric Vehicles," *2018 IEEE International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles & International Transportation Electrification Conference (ESARS-ITEC)*, Nottingham, 2018, pp. 1-6. doi: 10.1109/ESARS-ITEC.2018.8607763
- [85] D. Benatti, G. Migliazza, R. Fornari, E. Lorenzani and G. Buticchi, "Analytical Equivalent Circuit Model for Series-Compensated Wireless Power Transfer Systems," *IECON 2019 - 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Lisbon, Portugal, 2019, pp. 4177-4182.

- [86] C. Alosa, F. Immovilli and E. Lorenzani, "Modular Multi-Three-Phase Electric Drives for Enhanced Reliability and Current Ripple Minimization," *IECON 2019 - 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Lisbon, Portugal, 2019, pp. 7108-7114.
- [87] C. Alosa, F. Immovilli and E. Lorenzani, "Reconfigurable Multi-Three-Phase Propulsion System for Naval Rim-Driven Propeller," *2020 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM)*, Sorrento, Italy, 2020, pp. 442-447, doi: 10.1109/SPEEDAM48782.2020.9161936
- [88] C. Alosa, F. Immovilli and E. Lorenzani, "Fault-Tolerant Multi-Three-Phase PMSM Machine for Offroad Vehicle Hybridization," *2020 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM)*, Sorrento, Italy, 2020, pp. 793-798, doi: 10.1109/SPEEDAM48782.2020.9161914.
- [89] G. Migliazza, E. Carfagna, F. Bernardi and E. Lorenzani, "Ground Leakage Current in Three-Phase Current Source Inverters Depending on Power Semiconductors Parasitic Capacitances," *2020 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, Detroit, MI, USA, 2020, pp. 2125-2130, doi: 10.1109/ECCE44975.2020.9235947.
- [90] E. Carfagna, G. Migliazza, F. Immovilli, C. M. Verrelli and E. Lorenzani, "PMSM-Model-Based Sensorless Control of Hybrid Stepper Motors: Performance and Robustness to Parameters Dispersion," *IECON 2020 The 46th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Singapore, 2020, pp. 1063-1068, doi: 10.1109/IECON43393.2020.9254711.
- [91] C. Alosa, F. Immovilli and E. Lorenzani, "Multi-Three-Phase Propulsion System for Fault-Tolerant Naval Rim-Driven Propeller," *2020 International Conference on Electrical Machines (ICEM)*, Gothenburg, Sweden, 2020, pp. 2238-2244, doi: 10.1109/ICEM49940.2020.9270680.
- [92] C. Alosa, F. Immovilli and E. Lorenzani, "Assessment of a Multi-Functional Converter System for Traction Electric Drives," *2021 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, 2021, pp. 2696-2703, doi: 10.1109/ECCE47101.2021.9595626.
- [93] E. Carfagna, E. Lorenzani, K. Debbadi, S. Pugliese and M. Liserre, "Iron Losses Impact on High-Speed Drives," *2021 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, 2021, pp. 5217-5224, doi: 10.1109/ECCE47101.2021.9595750.
- [94] G. Migliazza, E. Carfagna, G. Buticchi, F. Immovilli and E. Lorenzani, "Extended Speed Range Control for a Current Source Inverter Variable Speed Drive," *IECON 2021 – 47th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/IECON48115.2021.9589501.
- [95] E. Carfagna, and G. Migliazza, G. Buticchi, E. Lorenzani, Z. Xu, Z. Zou, H. Zhang, "PLL-Based Sensorless Control for Single-Stage Current Source Inverter in Motor Drive Application," *IECON 2021 – 47th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/IECON48115.2021.9589803.
- [96] D. Benatti, C. Alosa, E. Carfagna, F. Immovilli and E. Lorenzani, "Assessment of Master-Slave and Droop Control Strategies in Multi-Three-Phase Drives," *2021 IEEE Workshop on Electrical Machines Design, Control and Diagnosis (WEMDCD)*, 2021, pp. 163-168, doi: 10.1109/WEMDCD51469.2021.9425685.

Tesi di dottorato di ricerca

[97] E. Lorenzani, “*Sistemi elettronici di Potenza per lo Sviluppo Energetico Ecosostenibile*”, Parma, 2006.

Reggio Emilia, 15/06/2023

Handwritten signature of Emilio Lorenzani in cursive script.