



Erasmus+ Programme

Key Action 1 – Mobility for learners and staff – Higher Education Student and Staff Mobility

Inter-institutional¹ agreement 2017-2020/2021

between programme countries

The institutions named below agree to cooperate for the exchange of students and/or staff in the context of the Erasmus+ programme. They commit to respect the quality requirements of the Erasmus Charter for Higher Education in all aspects related to the organisation and management of the mobility, in particular the recognition of the credits awarded to students by the partner institution.

A. Information about higher education institutions

Name of the institution (and department, where relevant)	Erasmus code	Contact details ² (email, phone)	Website (e.g. of the course catalogue)
Università degli Studi di Perugia	I PERUGIA01	Administrative Coordinator: Sonia Trinari Head International Relations Office Università degli Studi di Perugia Piazza Università, 1 06123 Perugia – Italy e-mail: area.relint@unipg.it Tel. +39-075-5852106; +39-075-5852084; +39-075-5852036 Fax: +39-075-5852209	University of Perugia http://www.unipg.it/ International Relations Area: http://www.unipg.it/internazionale ECTS Catalogue: http://www.unipg.it/en/students/ects-guide

¹ Inter-institutional agreements can be signed by two or more higher education Institutions

² Contact details to reach the senior officer in charge of this agreement and of its possible updates.

		Academic Coordinator Department of Engineering Prof. Franco Cotana Tel +390755853958 E – mail: franco.cotana@unipg.it	
PL GDANSK02			

B. Mobility numbers³ per academic year

The partners commit to amend the table below in case of changes in the mobility data by no later than the end of January in the preceding academic year.

FROM [Erasmus code of the sending institution]	TO [Erasmus code of the receiving institution]	Subject area code * [ISCED]**	Subject area name *	Study cycle [short cycle, 1 st , 2 nd or 3 rd] *	Number of student mobility periods	
					Student Mobility for Studies [total number of months of the study periods or average duration*]	Student Mobility for Traineeships *
I PERUGIA01	PL GDANSK02	0715	Mechanics and metal trades	1 st , 2 nd and 3 rd	2 x 6 months each	
PL GDANSK02	I PERUGIA01	0715	Mechanics and metal trades	1 st , 2 nd and 3 rd	2 x 6 months each	

[*Optional: subject area code & name and study cycle are optional. Inter-institutional agreements are not compulsory for Student Mobility for Traineeships or Staff Mobility for Training. Institutions may agree to cooperate on the organisation of traineeship; in this case they should indicate the number of students that they intend to send to the partner country. Total duration in months/days of the student/staff mobility periods or average duration can be indicated if relevant.]

** ISCED codes and Subject areas are available at:

http://www.unipg.it/files/pagine/13/Erasmus_ISCED.pdf

FROM	TO	Subject	Subject area	Number of staff mobility
------	----	---------	--------------	--------------------------

³ Mobility numbers can be given per sending/receiving institutions and per education field (optional*:

<http://www.uis.unesco.org/Education/Pages/international-standard-classification-of-education.aspx>)

[Erasmus code of the sending institution]	[Erasmus code of the receiving institution]	area code * [ISCED]**	name *	periods	
				Staff Mobility for Teaching [total number of days of teaching periods or average duration *]	Staff Mobility for Training *
I PERUGIA01	PL GDANSK02	0715	Mechanics and metal trades	1 x 8 hours	
PL GDANSK02	I PERUGIA01	0715	Mechanics and metal trades	1 x 8 hours	

C. Recommended language skills

The sending institution, following agreement with the receiving institution, is responsible for providing support to its nominated candidates so that they can have the recommended language skills at the start of the study or teaching period:

Receiving institution [Erasmus code]	Optional: Subject area	Language of instruction 1	Language of instruction 2	Recommended language of instruction level ⁴	
				Student Mobility for Studies [Minimum recommended level: B1]	Staff Mobility for Teaching [Minimum recommended level: B2]
I PERUGIA01		Italian	English only for students who apply for Laboratory training	B1 [The University of Perugia offers an Italian Language Course free of charge in September and February for all international students. Italian Language Courses are offered all year round at a reduced price: http://www.unipg.it/en/unipg/language-courses]	B2 [Teaching staff is also welcome to teach classes in English, French, German Portuguese and Spanish depending on the hosting Degree Course]
PL					

⁴ For an easier and consistent understanding of language requirements, use of the Common European Framework of Reference for Languages (CEFR) is recommended, see <http://europass.cedefop.europa.eu/en/resources/european-language-levels-cefr>

GDANSKO 2					
----------------------	--	--	--	--	--

For more details on the language of instruction recommendations, see the course catalogue of each institution *[Links provided on the first page]*.

D. Additional requirements

The selection criteria for students and staff are regulated by the sending University; measures for preparing, receiving and integrating mobile students and/or staff are organised by the receiving Institution according to the regulations of the Educational, Audiovisual & Cultural Executive Agency (EACEA) and National Agencies.

The Institutions have infrastructures to welcome students and staff with disabilities.

E. Calendar

1. Applications/information on nominated students must reach the receiving institution by:

Receiving institution [Erasmus code]	Autumn term* [month]	Spring term* [month]
I PERUGIA01	Application deadline : July 1st Academic calendar: http://www.unipg.it/en/courses/academic-calendar	Application deadline: December 1st Academic calendar: http://www.unipg.it/en/courses/academic-calendar
PL GDANSKO2		

[to be adapted in case of a trimester system]*

2. The receiving institution will send its decision within 4 weeks.
3. A Transcript of Records will be issued by the receiving institution upon the student's departure or, in any case, no later than 5 weeks after the assessment period has finished at the receiving HEI. *[It should normally not exceed five weeks according to the Erasmus Charter for Higher Education guidelines]*
4. Termination of the agreement

[It is up to the involved institutions to agree on the procedure for modifying or terminating the inter-institutional agreement. However, in the event of unilateral termination, a notice of at least one academic year should be given. This means that a unilateral decision to discontinue the exchanges notified to the other party by 1 September 2014 will only take effect as of 1 September 2014+1. The termination clauses must include the following disclaimer: "Neither the European Commission nor the National Agencies can be held responsible in case of a conflict."]

F. Information

1. Grading systems of the institutions

The receiving institutions provide the statistical distribution of grades according to the descriptions in the ECTS users' guide⁵. The table will facilitate the interpretation of each grade awarded to students and will facilitate the credit transfer by the sending institution.

Institution [Erasmus code]	Contact details (email, phone)	Website for information
I PERUGIA01	http://www.unipg.it/en e-mail: area.relint@unipg.it Tel.+39-075-5852106	http://www.unipg.it/en/students/ects-guide
PL GDANSK02		

2. Visa

The sending and receiving institutions will provide assistance, when required, in securing visas for incoming and outbound mobile participants, according to the requirements of the Erasmus Charter for Higher Education.

Information and assistance can be provided by the following contact points and information sources:

Institution [Erasmus code]	Contact details (email, phone)	Website for information
I PERUGIA01	servizio.incoming@unipg.it Tel. +39-075-5852024 Fax +39-075-5852352 area.relint@unipg.it Tel.+39-075-5852106	http://www.unipg.it/en/students/ects-guide
PL GDANSK02		

3. Insurance

The sending and receiving institutions will provide assistance in obtaining insurance for incoming and outbound mobile participants, according to the requirements of the Erasmus Charter for Higher Education.

⁵ http://ec.europa.eu/education/lifelong-learning-policy/ects_en.htm

The receiving institution will inform mobile participants of cases in which insurance cover is not automatically provided. Information and assistance can be provided by the following contact points and information sources:

Institution [Erasmus code]	Contact details (email, phone)	Website for information
I PERUGIA01	servizio.incoming@unipg.it Tel. +39-075-5852024 Fax +39-075-5852352 area.relint@unipg.it Tel. +39-075-5852106	http://www.unipg.it/en/students/ects-guide
PL GDANSK02		

4. Housing

The receiving institution will guide incoming mobile participants in finding accommodation, according to the requirements of the Erasmus Charter for Higher Education.

Information and assistance can be provided by the following persons and information sources:

Institution [Erasmus code]	Contact details (email, phone)	Website for information
I PERUGIA01	servizio.incoming@unipg.it Tel. +39-075-5852024 Fax +39-075-5852352 area.relint@unipg.it Tel. +39-075-5852106	http://www.unipg.it/en/students/ects-guide
PL GDANSK02		

G. SIGNATURES OF THE INSTITUTIONS (legal representatives)

Institution [Erasmus code]	Name, function	Date	Signature⁶
I PERUGIA01	The Rector Prof. Franco Moriconi		
PL GDANSK02			

Reg. n.

Date

⁶ Scanned signatures are accepted



Erasmus+ Programme

Key Action 1 – Mobility for learners and staff Higher Education Student and Staff Mobility

Inter-institutional agreement 2018 between programme countries

The institutions named below agree to cooperate for the exchange of students and/or staff in the context of the Erasmus+ programme. They commit to respect the quality requirements of the Erasmus Charter for Higher Education in all aspects related to the organisation and management of the mobility, in particular the recognition of the credits awarded to students by the partner institution.

A. Information about higher education institutions

Name of the institution	Erasmus code	Contact details	Website
Danmarks Tekniske Universitet/ Technical University of Denmark	DK LYNGBY01	Kasper Dam Schultz (Institutional Erasmus Coordinator) Anker Engelundsvej Build. 101A International Affairs 2800 Kgs. Lyngby, Denmark. Phone: +45 4525 1018 / Email: kadam@adm.dtu.dk Bjørn Sparre Johansson, Phone +45 45251180, Email: bsjo@adm.dtu.dk (incoming students)	www.dtu.dk
Università degli Studi di Perugia	I PERUGIA01	Administrative Coordinator: Sonia Trinari Head International Relations Office Università degli Studi di Perugia Piazza Università, 1 06123 Perugia – Italy e-mail: area.relint@unipg.it Tel. +39-075-5852106; +39-075-5852084; +39-075-5852036 Fax: +39-075-5852209	University of Perugia http://www.unipg.it/ International Relations Area: http://www.unipg.it/internazionale

B. Mobility numbers per academic year

FROM	TO	Subject area [ISCED]		Number of staff mobility periods	
		code	name	Teaching	Training
DK LYNGBY01	I PERUGIA01	071	Engineering and engineering trades	1 x 1 week	individual agreement
I PERUGIA01	DK LYNGBY01	071	Engineering and engineering trades	1 x 1 week	individual agreement

#UNESCO 2013 - ISCED Codes: <http://www.uis.unesco.org/Education/Pages/international-standard-classification-of-education.aspx>

C. SIGNATURES OF THE INSTITUTIONS

Institution	Name, function	Date	Signature
DK LYNGBY01	Kasper Dam Schultz , Senior International Partnership Manager & Erasmus+ Institutional Coordinator	23/11-17	



Erasmus+ Programme

Key Action 1 – Mobility for learners and staff – Higher Education Student and Staff Mobility

Inter-institutional¹ agreement 2017/18-2020/2021

between programme countries

The institutions named below agree to cooperate for the exchange of students and/or staff in the context of the Erasmus+ programme. They commit to respect the quality requirements of the Erasmus Charter for Higher Education in all aspects related to the organisation and management of the mobility, in particular the recognition of the credits awarded to students by the partner institution.

A. Information about higher education institutions

Name of the institution (and department, where relevant)	Erasmus code	Contact details ² (email, phone)	Website (e.g. of the course catalogue)
Università degli Studi di Perugia	I PERUGIA01	<p>Administrative Coordinator: Sonia Trinari Head International Relations Office Università degli Studi di Perugia Piazza Università, 1 06123 Perugia – Italy, e-mail: area.relint@unipg.it Tel. +39-075-5852106; +39-075-5852084; +39-075-5852036 Fax: +39-075-5852209</p> <p>Academic Coordinator Department of Engineering Prof. Francesco Castellani Tel. +39 (0) 75 5853709 E – mail: francesco.castellani@unipg.it</p>	<p>University of Perugia http://www.unipg.it/</p> <p>International Relations Area: http://www.unipg.it/internazionale</p> <p>ECTS Catalogue: http://www.unipg.it/en/ects-guide</p>
University of Applied Sciences Technikum Wien (FH Technikum Wien)	A WIEN20	<p>Institutional Erasmus Coordinator: Agnes Kriz agnes.kriz@technikum-wien.at</p> <p>Departmental Coordinator: Mauro Peppoloni mauro.peppoloni@technikum-wien.at</p>	<p>http://www.technikum-wien.at/</p> <p>Regular updates of course guide found here:</p>

¹ Inter-institutional agreements can be signed by two or more higher education Institutions

² Contact details to reach the senior officer in charge of this agreement and of its possible updates.

		Höchstädtplatz 6, 1200 Wien - Austria	https://www.technikum-wien.at/en/international/cir-incomings/
--	--	---------------------------------------	---

B. Mobility numbers³ per academic year

The partners commit to amend the table below in case of changes in the mobility data by no later than the end of January in the preceding academic year.

FROM [Erasmus code of the sending institution]	TO [Erasmus code of the receiving institution]	Subject area code * [ISCED]**	Subject area name *	Study cycle [short cycle, 1 st , 2 nd or 3 rd]*	Number of student mobility periods	
					Student Mobility for Studies [total number of months of the study periods or average duration*]	Student Mobility for Traineeships *
I PERUGIA01	A WIEN20	N/A		1 st , 2 nd	N/A	N/A

[*Optional: subject area code & name and study cycle are optional. Inter-institutional agreements are not compulsory for Student Mobility for Traineeships or Staff Mobility for Training. Institutions may agree to cooperate on the organisation of traineeship; in this case they should indicate the number of students that they intend to send to the partner country. Total duration in months/days of the student/staff mobility periods or average duration can be indicated if relevant.]

** ISCED codes and Subject areas are available at:
http://www.unipg.it/files/pagine/940/Erasmus_ISCED.pdf

FROM [Erasmus code of the sending institution]	TO [Erasmus code of the receiving institution]	Subject area code * [ISCED]**	Subject area name *	Number of staff mobility periods	
				Staff Mobility for Teaching [total number of days of teaching periods or average duration *]	Staff Mobility for Training *
I PERUGIA01	A WIEN20	0712	Environmental protection technology	1x 5 days	N/A
A WIEN20	I PERUGIA01	0712	Environmental protection technology	1x 5 days	N/A

³ Mobility numbers can be given per sending/receiving institutions and per education field (optional*:
<http://www.uis.unesco.org/Education/Pages/international-standard-classification-of-education.aspx>)

C. Recommended language skills

The sending institution, following agreement with the receiving institution, is responsible for providing support to its nominated candidates so that they can have the recommended language skills at the start of the study or teaching period:

Receiving institution [Erasmus code]	Optional: Subject area	Language of instruction 1	Language of instruction 2	Recommended language of instruction level ⁴ Student Mobility for Studies [Minimum recommended level: B1]	Staff Mobility for Teaching [Minimum recommended level: B2]
I PERUGIA01		Italian	English only for students who apply for Laboratory training	B1 [The University of Perugia offers an Italian Language Course free of charge in September and February for all international students. Italian Language Courses are offered all year round at a reduced price: http://www.unipg.it/en/unipg/language-courses]	B2 [Teaching staff is also welcome to teach classes in English, French, German Portuguese and Spanish depending on the hosting Degree Course]
A WIEN20		German	English	B2	B2

For more details on the language of instruction recommendations, see the course catalogue of each institution [Links provided on the first page].

D. Additional requirements

The selection criteria for students and staff are regulated by the sending University; measures for preparing, receiving and integrating mobile students and/or staff are organised by the receiving Institution according to the regulations of the Educational, Audiovisual & Cultural Executive Agency (EACEA) and National Agencies.

The Institutions have infrastructures to welcome students and staff with disabilities.

A WIEN20: It is of particular importance to the University of Applied Sciences Technikum Wien to create fair conditions for all students during the course of study itself as well as during the admissions process. We ask you to contact us as early as possible to enable us to take any action, provide help and make preparations to mitigate any disadvantage in the best way possible.
<https://www.technikum-wien.at/en/about-us/gender-diversity/studying-disabilities-health-impairment-or-chronic-illnesses/>

E. Calendar

1. Applications/information on nominated students must reach the receiving institution by:

⁴ For an easier and consistent understanding of language requirements, use of the Common European Framework of Reference for Languages (CEFR) is recommended, see <http://europass.cedefop.europa.eu/en/resources/european-language-levels-cefr>

Receiving institution [Erasmus code]	Autumn term* [month]	Spring term* [month]
I PERUGIA01	Application deadline : July 15th Academic calendar: http://www.unipg.it/en/courses/academic-calendar	Application deadline: December 15th Academic calendar: http://www.unipg.it/en/courses/academic-calendar
A WIEN20	March 15 All nominations have to be sent within this date; an email will be sent within a week after, which obtains relevant information for the Incoming students and further steps to be taken, documents to be handed in, etc.	October 15 All nominations have to be sent within this date; an email will be sent within a week after, which obtains relevant information for the Incoming students and further steps to be taken, documents to be handed in, etc.

[* to be adapted in case of a trimester system]

- The receiving institution will send its decision within 4 weeks.
- A Transcript of Records will be issued by the receiving institution upon the student's departure or, in any case, no later than 5 weeks after the assessment period has finished at the receiving HEI. [It should normally not exceed five weeks according to the Erasmus Charter for Higher Education guidelines]
- Termination of the agreement

In the event of unilateral termination, a notice of at least one academic year should be given. This means that a unilateral decision to discontinue the exchanges notified to the other party by 1 September 2015 will only take effect as of 1 September 2015+1. Neither the European Commission nor the National Agencies can be held responsible in case of a conflict.

F. Information

1. Grading systems of the institutions

The receiving institutions provide the statistical distribution of grades according to the descriptions in the ECTS users' guide⁵. The table will facilitate the interpretation of each grade awarded to students and will facilitate the credit transfer by the sending institution.

Institution [Erasmus code]	Contact details (email, phone)	Website for information
I PERUGIA01	http://www.unipg.it/en e-mail: area.relint@unipg.it Tel.+39-075-5852106	http://www.unipg.it/en/ects-guide
A WIEN20	cir@technikum-wien.at	https://www.studyineurope.eu/study-in-austria/grades

⁵ http://ec.europa.eu/education/lifelong-learning-policy/ects_en.htm

2. Visa

The sending and receiving institutions will provide assistance, when required, in securing visas for incoming and outbound mobile participants, according to the requirements of the Erasmus Charter for Higher Education.

Information and assistance can be provided by the following contact points and information sources:

Institution [Erasmus code]	Contact details (email, phone)	Website for information
I PERUGIA01	servizio.incoming@unipg.it Tel. +39-075-5852024 Fax +39-075-5852352 area.relint@unipg.it Tel.+39-075-5852106	http://www.unipg.it/en/ects-guide
A WIEN20	cir@technikum-wien.at +43 1 333 40 77 - 321	http://www.technikum-wien.at/en/about_us/internationalization/incoming/faq/

3. Insurance

The sending and receiving institutions will provide assistance in obtaining insurance for incoming and outbound mobile participants, according to the requirements of the Erasmus Charter for Higher Education.

The receiving institution will inform mobile participants of cases in which insurance cover is not automatically provided. Information and assistance can be provided by the following contact points and information sources:

Institution [Erasmus code]	Contact details (email, phone)	Website for information
I PERUGIA01	servizio.incoming@unipg.it Tel. +39-075-5852024 Fax +39-075-5852352 area.relint@unipg.it Tel.+39-075-5852106	http://www.unipg.it/en/ects-guide
A WIEN20	cir@technikum-wien.at +43 1 333 40 77 - 321	http://www.technikum-wien.at/en/about_us/internationalization/incoming/faq/


4. Housing

The receiving institution will guide incoming mobile participants in finding accommodation, according to the requirements of the Erasmus Charter for Higher Education.

Information and assistance can be provided by the following persons and information sources:

Institution [Erasmus code]	Contact details (email, phone)	Website for information
I PERUGIA01	servizio.incoming@unipg.it Tel. +39-075-5852024 Fax +39-075-5852352 area.relint@unipg.it Tel. +39-075-5852106	http://www.unipg.it/en/ects-guide
A WIEN20	cir@technikum-wien.at +43 1 333 40 77 - 321	http://www.technikum-wien.at/en/about_us/internationalization/incoming/faq/

G. SIGNATURES OF THE INSTITUTIONS (legal representatives)

Institution [Erasmus code]	Name, function	Date	Signature ⁶
I PERUGIA01	The Rector (Prof. Franco Moriconi)		
A WIEN20	The Rector (Fritz Schmöllebeck)	28.11.2017	

Reg. n.

Date

⁶ Scanned signatures are accepted

Relazione Triennale

Dott.ssa Beatrice Castellani

Ricreatore universitario a Tempo Determinato (art. 24 – comma 3, lettera a) Legge 240/10), Settore concorsuale 09/C2- Fisica Tecnica e Ingegneria Industriale - Settore scientifico-disciplinare ING-IND/11 (Fisica Tecnica Ambientale).

Progetto di ricerca: "Studio di materiali basati su clatrati idrati per lo stoccaggio di calore in applicazioni edilizie".

Sede: Università degli Studi di Perugia - Dipartimento di Ingegneria,

Via G. Duranti, Perugia.

Tel: +39 075 5853853

E-mail: beatrice.castellani@unipg.it

Attività scientifica

Scopus Author ID: 55237475900

ORCID: orcid.org/0000-0001-5546-656X

- H-Index iniziale: 4

- H-Index attuale: 11

Il progetto di ricerca assegnato alla Dott.ssa Castellani è finalizzato all'uso di clatrati idrati come materiali a cambiamento di fase in applicazioni di stoccaggio del calore, con particolare riferimento ad applicazioni in edilizia.

Le attività di ricerca svolte nei tre anni perseguono gli obiettivi del progetto e più in generale si inseriscono nelle tematiche relative allo stoccaggio dell'energia, studio di materiali a cambiamento di fase e di materiali per l'edilizia.

Clatrati idrati di composti organici

E' stata completata l'analisi dello stato dell'arte sulla caratterizzazione termo-fisica di semi-clatrati idrati di composti organici. Sono state individuate le molecole con caratteristiche termo-fisiche ottimali per applicazioni in edilizia. E' stato progettato e costruito un reattore da laboratorio per lo studio della formazione e dissociazione dei clatrati idrati di composti organici. Sono stati valutati i processi di formazione e dissociazione dei clatrati idrati di composti organici.

Materiali a cambiamento di fase

Sono state completate valutazioni energetiche sull'espansione dell'aria compressa in presenza di materiali PCM per applicazioni in sistemi di stoccaggio dell'energia ad aria compressa CAES. La configurazione di tipo isoterma è finalizzata al miglioramento dell'efficienza globale del sistema rispetto a quella di impianti CAES diabatici in attività.

E' stata completata la sperimentazione su un apparato sperimentale di piccola Taglia CAES costituito da compressore, quasi-turbina per espansione aria e serbatoio da 100 l. Sono state svolte attività sperimentali per la determinazione delle performance del prototipo in assenza di materiali PCM. E' stato completato uno studio tecnico-economico e sperimentale per l'integrazione del prototipo con impianti a fonte rinnovabile in un edificio storico residenziale.

Materiali innovativi per l'edilizia

Nell'ambito di materiali innovativi per l'edilizia, ha svolto attività di ricerca sulla caratterizzazione, in termini di proprietà ottiche e radiative, di materiali retroriflettenti "cool" e sul loro effetto in contesti di canyon urbani. Il modello fisico in scala di canyon urbano è stato installato ed utilizzato per le prove sperimentali sui materiali. I materiali retroriflettenti sono stati studiati sia quando applicati a superfici orizzontali, come il pavimento del canyon, che su superfici verticali, come le facciate degli edifici. E' stato valutato il loro effetto sull'energia circolante all'interno del canyon e quindi sul più complesso fenomeno dell'isola di calore urbana.

E' stato inoltre valutato il loro effetto sull'albedo, non solo a livello di canyon ma anche a livello di distretto urbano. E' stato sviluppato e testato un prodotto edilizio per involucri esterni con proprietà retroriflettenti. Sono state sviluppate diverse tipologie di piastrelle retroriflettenti tramite tecnologia di deposito superficiale di microsferi del tipo "tape casting". Sono state testate le proprietà ottiche globali e direzionali. Parte delle attività di ricerca sono state svolte congiuntamente con il gruppo di Ricerca diretto dal Prof. Mattheos Santamuris, Physics Department, University of Athens, Greece.

Lo studio degli effetti dell'albedo sul fenomeno dell'isola di calore urbana tramite simulazione in mesoscala fa parte di un'attività di ricerca internazionale (Università degli Studi di Perugia, Concordia University, AMESiS Energy Inc., Montreal, Canada).

Stoccaggio dell'energia

E' stato messo a punto un apparato sperimentale per lo stoccaggio dell'energia solare tramite reazione di Sabatier finalizzato all'accumulo dell'energia sotto forma di metano. La configurazione impiantistica è costituita da: impianto fotovoltaico, elettrolizzatore, preriscaldatore dei gas reagenti, reattore di Sabatier e sezione di separazione dell'acqua. Nel periodo di riferimento, sono stati avviati test sperimentali con catalizzatori a base di Nichel prodotti in laboratorio.

Sono stati completati studi di tipo LCA sull'integrazione del processo Sabatier con altri processi di produzione industriale per la valorizzazione del flue gas e la cattura della CO₂, con produzione di ammoniacale e metano.

Clatrati idrati di gas naturale

Ha completato uno studio sulla dissociazione termica di idrati di metano in siti geologici, con contemporanea sostituzione e cattura della CO₂. Lo studio è frutto di una collaborazione scientifica con il gruppo di ricerca sui clatrati idrati diretto dal Prof. Marco Castaldi del City College of New York. I risultati della ricerca saranno inviati all'editore per la pubblicazione.

E' stato messo a punto un reattore per lo studio di idrati di gas naturale, finalizzato alla riproduzione dei fondali marini, oceanici e permafrost ed allo studio cinetico e termodinamico della dissociazione degli idrati ed alla sostituzione del metano recuperato con anidride carbonica. Sono stati completati sperimentali per la riproduzione dei sedimenti con differente percentuale di saturazione.

Upgrading del biogas a biometano tramite gas idrati

Nel periodo di riferimento ha condotto attività sperimentali relative alla separazione del biometano da biogas tramite tecnologia basata sui gas idrati. Ha condotto studi di tipo LCA su integrazione del processo di upgrading del biogas a biometano tramite gas idrati con sistemi di metanazione della CO₂ per la produzione di metano biosintetico.

Celle a combustibile a carbonati fusi

E' stata coinvolta nelle attività sperimentali per la messa a punto di celle a combustibile a carbonati fusi, con elettrodi e matrici prodotti in laboratorio.

Publicazioni nel triennio di riferimento

Riviste

1. Castellani Beatrice, Rinaldi Sara, Bonamente Emanuele, Nicolini Andrea, Rossi Federico, Cotana Franco. Carbon and energy footprint of the hydrate-based biogas upgrading process integrated with CO₂ valorization. SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT Volume 615, 15 February 2018, Pages 404-411, ISSN: 00489697.
2. Castellani Beatrice, Morini Elena, Anderini Elisabetta, Filipponi Mirko, Rossi Federico (2017). Development and characterization of retro-reflective colored tiles for advanced building skins. ENERGY AND BUILDINGS, vol. 154, p. 513-522, ISSN: 0378-7788, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.08.078
3. Morini Elena, Castellani Beatrice, Presciutti Andrea, Anderini Elisabetta, Filipponi Mirko, Nicolini Andrea, Rossi Federico (2017). Experimental Analysis of the Effect of Geometry and Façade Materials on Urban District's Equivalent Albedo. SUSTAINABILITY, vol. 9, ISSN: 2071-1050, doi: 10.3390/su9071245
4. Beatrice Castellani, Alberto Maria Gambelli, Elena Morini, Benedetto Nastasi, Andrea Presciutti, Mirko Filipponi, Andrea Nicolini, Federico Rossi (2017). Experimental Investigation on CO₂ Methanation Process for Solar Energy Storage Compared to CO₂-Based Methanol Synthesis. ENERGIES, vol. 10, ISSN: 1996-1073, doi: 10.3390/en10070855
5. Castellani Beatrice, Morini Elena, Bonamente Emanuele, Rossi Federico (2017). Experimental investigation and energy considerations on hydrate-based biogas upgrading with CO₂ valorization. BIOMASS & BIOENERGY, vol. 105, p. 364-372, ISSN: 0961-9534, doi: 10.1016/j.biombioe.2017.07.022
6. Morini Elena, Castellani Beatrice, Presciutti Andrea, Filipponi Mirko, Nicolini Andrea, Rossi Federico (2017). Optic-energy performance improvement of exterior paints for buildings. ENERGY AND BUILDINGS, vol. 139, p. 690-701, ISSN: 0378-7788, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.01.060
7. Aquino Andrea, Bonamente Emanuele, Buratti Cinzia, Cotana Franco, Castellani Beatrice, Paolini Valerio, Petracchini Francesco (2016). Carbon Dioxide Removal with Tuff: Experimental Measurement of Adsorption Properties and Breakthrough Modeling Using CFD Approach. ENERGY PROCEDIA, vol. 101, p. 392-399, ISSN: 1876-6102, doi: 10.1016/j.egypro.2016.11.050
8. Rossi Federico, Castellani Beatrice, Presciutti Andrea, Morini Elena, Anderini Elisabetta, Filipponi Mirko, Nicolini Andrea (2016). Experimental evaluation of urban heat island mitigation potential of retro-reflective pavement in urban canyons. ENERGY AND BUILDINGS, vol. 126, p. 340-352, ISSN: 0378-7788, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.05.036
9. Castellani Beatrice, Rossetti Giacomo, Tupsakhare Swanand, Rossi Federico, Nicolini Andrea, Castaldi Marco J. (2016). Simulation of CO₂ storage and methane gas production from gas hydrates in a large scale laboratory reactor. JOURNAL OF PETROLEUM SCIENCE AND ENGINEERING, vol. 147, p. 515-527, ISSN: 0920-4105, doi: 10.1016/j.petrol.2016.09.016
10. Morini Elena, Touchaci Ali G., Castellani Beatrice, Rossi Federico, Cotana Franco (2016). The Impact of Albedo Increase to Mitigate the Urban Heat Island in Terni (Italy) Using the WRF Model. SUSTAINABILITY, vol. 8, ISSN: 2071-1050, doi: 10.3390/su8100999
11. Filipponi Mirko, Rossi Federico, Presciutti Andrea, De Ciantis Stefania, Castellani Beatrice, Carpinelli Ambro (2016). Thermal Analysis of an Industrial Furnace. ENERGIES, vol. 9, ISSN: 1996-1073, doi: 10.3390/en9100833
12. Rossi F, Morini E, Castellani B, Nicolini A, Bonamente E, Anderini E, Cotana F (2015). Beneficial effects of retroreflective materials in urban canyons: results from seasonal monitoring campaign. JOURNAL OF PHYSICS. CONFERENCE SERIES, vol. 655, ISSN: 1742-6588, doi: 10.1088/1742-6596/655/1/012012

13. Rossi Federico, Castellani Beatrice, Nicolini Andrea (2015). Benefits and Challenges of Mechanical Spring Systems for Energy Storage Applications. *ENERGY PROCEDIA*, vol. 82, p. 805-810, ISSN: 1876-6102, doi: 10.1016/j.egypro.2015.11.816
14. Castellani Beatrice, Presciutti Andrea, Filipponi Mirko, Nicolini Andrea, Rossi Federico (2015). Experimental investigation on the effect of phase change materials on compressed air expansion in CAES plants. *SUSTAINABILITY*, vol. 7, p. 9773-9786, ISSN: 2071-1050, doi: 10.3390/su7089773
15. Rossi Federico, Anderini Elisabetta, Castellani Beatrice, Nicolini Andrea, Morini Elena (2015). Integrated improvement of occupants' comfort in urban areas during outdoor events. *BUILDING AND ENVIRONMENT*, vol. 93, p. 285-292, ISSN: 0360-1323, doi: 10.1016/j.buildenv.2015.07.018
16. Federico Rossi, Beatrice Castellani, Andrea Presciutti, Elena Morini, Mirko Filipponi, Andrea Nicolini, Matheos Santamouris (2015). Retroreflective façades for urban heat island mitigation: Experimental investigation and energy evaluations. *APPLIED ENERGY*, vol. 145, p. 8-20, ISSN: 0306-2619, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.01.129

Contributo in Atti di convegno

1. Castellani Beatrice, Nastasi Benedetto, Morini Elena, Nicolini Andrea, Rossi Federico, Cotana Franco. Renewable Energy and decarbonization strategies for historical buildings retrofit by Power-to-Power solution. 12th SDEWES Conference Dubrovnik 2017, 3-8 ottobre 2017.
2. Castellani Beatrice, Gambelli Alberto Maria, Rinaldi Sara, Morini Elena, Anderini Elisabetta, Nastasi Benedetto, Rossi Federico, Cotana Franco. Environmental and energy evaluation of a flue gas valorization process by P2G integration. 12th SDEWES Conference Dubrovnik 2017, 3-8 ottobre 2017.
3. Castellani Beatrice, Minelli Giorgio, Barchi Massimiliano, Rossi Federico, Cotana Franco (2017). CH₄-CO₂ replacement in natural gas hydrates and membrane-based CH₄ recovery: energy and environmental evaluation. In: Proceedings of the 9th International Conference on Gas Hydrates. -, Denver, Colorado, USA, 25-30 giugno 2017
4. Castellani B., Rinaldi S., Bonamente E., Nicolini A., Rossi F., Cotana F. (2017). Carbon and energy footprint of the hydrate-based biogas upgrading process integrated with CO₂ valorization. In: 17° Congresso Nazionale CIRIAF. Morlacchi Editore, Perugia, ISBN: 9788860747839, S.Apollinare, Marsciano (PG), 6-7 Aprile 2017
5. Castellani B., Gambelli A., Morini E., Nastasi B., Presciutti A., Filipponi M., Nicolini A., Rossi F. (2017). Experimental investigation on CO₂ methanation process for solar energy storage. In: 17° Congresso Nazionale CIRIAF. Morlacchi Editore, Perugia, ISBN: 9788860747839, S.Apollinare, Marsciano (PG), 6-7 Aprile 2017
6. Federico Rossi, Andrea Presciutti, Elena Morini, Beatrice Castellani, Franco Cotana (2017). High performance building envelopes with retro-reflective materials. In: 12th Conference on Advanced Building Skins. p. 612-621, Advanced Building Skins GmbH, ISBN: 978-3-9524883-1-7, Bern, Switzerland, 2-3 October 2017
7. Castellani B., Filipponi M., Presciutti A., Gambelli A., Minelli G., Barchi M., Nicolini A., Rossi F., Cotana F. (2017). Methane production from natural gas hydrates: reactor details and experimental activities. In: 17° Congresso Nazionale CIRIAF. Morlacchi Editore, Perugia, ISBN: 9788860747839, S.Apollinare, Marsciano (PG), 6-7 Aprile 2017
8. Morini E., Castellani B., Corsi N., Anderini E., Presciutti A., Nicolini A., Rossi F., Cotana F. (2017). Optimized retro-reflective tiles for building application. In: 17° Congresso Nazionale CIRIAF. Morlacchi Editore, Perugia, ISBN: 9788860747839, S.Apollinare, Marsciano (PG), 6-7 Aprile 2017
9. Castellani Beatrice, Presciutti Andrea, Morini Elena, Filipponi Mirko, Nicolini Andrea, Rossi Federico (2017). Use of phase change materials during compressed air expansion for



Università degli Studi di Perugia

isothermal CAES plants. In: 35th UIT Heat Transfer Conference - Proceedings. UIT, Ancona, 26-28 Giugno 2017.

Perugia,
S. Lucia - Tel. 075/5852604

10. Nastasi Benedetto, Castellani Beatrice, Morini Elena, Filipponi Mirko, Rossi Federico, Di Mattco Umberto (2016). Energy analysis of different chemical storage options for carbon recycling purposes. In: 2nd SEE SDEWES Conference Piran 2016: Digital Proceedings. SDEWES, 2016
11. Rossi Federico, Castellani Beatrice, Palombo Massimo, Morini Elena, Nicolini Andrea (2016). Evaluation of the acoustic performances of metal powder based materials. In: PROCEEDINGS of the 22nd International Congress on Acoustics. Asociación de Acústicos Argentinos, ISBN: 978-987-24713-6-1, Buenos Aires, Argentina, 5-9 September 2016
12. Morini Elena, Presciutti Andrea, Castellani Beatrice, Anderini Elisabetta, Filipponi Mirko, Nicolini Andrea, Rossi Federico (2016). Experimental analysis of the effect of geometry and façades' materials on urban district's albedo. In: 4th International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island. IC2UHI 2016 Singapore, singapore, 30-31 May and 1 June 2016
13. Castellani Beatrice, Presciutti Andrea, Morini Elena, Anderini Elisabetta, Filipponi Mirko, Nicolini Andrea, Rossi Federico (2016). Investigation on the optic-energy interaction between retro reflective façades and pavement in urban canyons. In: 4th International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island. IC2UHI 2016 Singapore, singapore, 30-31 May and 1 June 2016
14. Elena Morini, Ali Gholizade Touchaei, Beatrice Castellani, Elisabetta Anderini, Federico Rossi, Franco Cotana (2016). The effect of albedo increase to mitigate urban heat island in Terni (Italy) using WRF meteorological model. In: XVI Congresso Nazionale CIRIAF. Morlacchi editore, ISBN: 9788860747556, assisi, 7-9 aprile 2016
15. Mirko Filipponi, Federico Rossi, Andrea Presciutti, Stefania De Ciantis, Beatrice Castellani, Ambro Carpinelli (2016). Thermal analysis of an industrial furnace. In: XVI Congresso Nazionale CIRIAF. Morlacchi editore, ISBN: 9788860747556, assisi, 7-9 aprile 2016
16. Rossi Federico, Morini Elena, Castellani Beatrice, Nicolini Andrea, Bonamente Emanuele, Anderini Elisabetta, Cotana Franco (2015). Beneficial effects of retroreflective materials in urban canyons: results from seasonal monitoring campaign. In: Proceedings of 33rd UIT Heat Transfer Conference. UIT, L'Aquila, 22-24 Giugno 2015
17. Rossi Federico, Castellani Beatrice, Morini Elena, Di Giovanna Laura, Corsi Naida, Giulio bello Margherita, Nicolini Andrea (2015). Experimental apparatus for solar energy storage via methane production. In: Proceedings of SASEC 2015. p. 341-346, EDAS, ISBN: 9781775921097, Kruger National Park, South Africa, 11-13 May 2015
18. Castellani Beatrice, Presciutti Andrea, Morini Elena, Filipponi Mirko, Nicolini Andrea, Rossi Federico (2015). Experimental investigation on the effect of phase change materials on compressed air expansion in CAES plants. In: Atti del 15° Congresso Nazionale CIRIAF. Morlacchi Editore, ISBN: 9788860743329, Perugia, 9-11 Aprile 2015

Partecipazione come relatore a convegni di carattere scientifico in Italia o all'estero

- Relatore in: 33rd UIT Heat Transfer Conference. UIT, L'Aquila, 22-24 Giugno 2015. Rossi Federico, Morini Elena, Castellani Beatrice, Nicolini Andrea, Bonamente Emanuele, Anderini Elisabetta, Cotana Franco (2015). Beneficial effects of retroreflective materials in urban canyons: results from seasonal monitoring campaign. dal 22-06-2015 al 24-06-2015
- Relatore in: XVI Congresso Nazionale CIRIAF. Assisi, 7-9 aprile 2016 Elena Morini, Ali Gholizade Touchaei, Beatrice Castellani, Elisabetta Anderini, Federico Rossi, Franco Cotana (2016). The effect of albedo increase to mitigate urban heat island in Terni (Italy) using WRF meteorological model. Morlacchi editore, ISBN: 9788860747556
- Relatore in: 17° Congresso Nazionale CIRIAF, S.Apollinare, Marsciano (PG), 6-7 Aprile 2017.



Università degli Studi di Perugia

Castellani B., Filippini M., Presciutti A., Gambelli A., Minelli G., Barchi M., Nicolini A., Rossi F., Cotana F. (2017). Methane production from natural gas hydrates: reactor details and experimental activities. Morlacchi Editore, Perugia, ISBN: 9788860747839.

- Relatore in: 17° Congresso Nazionale CIRIAF, S. Apollinare, Marsciano (PG), 6-7 Aprile 2017. Castellani B., Gambelli A., Morini E., Nastasi B., Presciutti A., Filippini M., Nicolini A., Rossi F. Experimental investigation on CO₂ methanation process for solar energy storage. Morlacchi Editore, Perugia, ISBN: 9788860747839.
- Relatrice in: 9th International Conference on Gas Hydrates. Denver, Colorado, USA, 25-30 giugno 2017. Castellani Beatrice, Minelli Giorgio, Barchi Massimiliano, Rossi Federico, Cotana Franco. CH₄-CO₂ replacement in natural gas hydrates and membrane-based CH₄ recovery: energy and environmental evaluation. In: Proceedings of the 9th International Conference on Gas Hydrates dal 25-06-2017 al 30-06-2017
- Relatrice in: 12th SDEWES Conference Dubrovnik 2017, 3-8 ottobre 2017.
 - Castellani Beatrice, Nastasi Benedetto, Morini Elena, Nicolini Andrea, Rossi Federico, Cotana Franco. Renewable Energy and decarbonization strategies for historical buildings retrofit by Power-to-Power solution.
 - Castellani Beatrice, Gambelli Alberto Maria, Rinaldi Sara, Morini Elena, Anderini Elisabetta, Nastasi Benedetto, Rossi Federico, Cotana Franco. Environmental and energy evaluation of a flue gas valorization process by P2G integration. 12th SDEWES Conference Dubrovnik 2017, 3-8 ottobre 2017.

Attività didattica, didattica integrativa e servizio agli studenti

- TITOLARE DELL'INSEGNAMENTO: MODULO di Elementi di Fisica (5 CFU) - Dipartimento di Medicina Veterinaria - CORSO: Laurea triennale - L120 - Produzioni animali - SEDE: Perugia
- CLASSE: L-38 - LAUREE IN SCIENZE ZOOTECNICHE E TECNOLOGIE DELLE PRODUZIONI ANIMALI - D.M. 270 (dal 01-10-2015 al 30-09-2016)
- TITOLARE DELL'INSEGNAMENTO: MODULO di Elementi di Fisica Dipartimento di Medicina Veterinaria CORSO: Laurea triennale - L120 - Produzioni animali - SEDE: Perugia CLASSE: L-38 - LAUREE IN SCIENZE ZOOTECNICHE E TECNOLOGIE DELLE PRODUZIONI ANIMALI - D.M. 270 (dal 01-10-2016 al 30-09-2016)
- TITOLARE DELL'INSEGNAMENTO: MODULO di Elementi di Fisica Dipartimento di Medicina Veterinaria CORSO: Laurea triennale - L120 - Produzioni animali - SEDE: Perugia CLASSE: L-38 - LAUREE IN SCIENZE ZOOTECNICHE E TECNOLOGIE DELLE PRODUZIONI ANIMALI - D.M. 270 (dal 01-10-2017 ad oggi)
- Docente dei Corsi Introduttivi di Fisica per le matricole del Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali (Settembre 2015, Settembre 2016, Settembre 2017)
- Titolare dell'insegnamento: "Energy storage: state of the art and in-lab experimental investigations" - Dottorato di Ricerca in Energia e Sviluppo sostenibile dell'Università degli Studi di Perugia - XXXI ciclo - Sede: CIRIAF - Centro Interuniversitario di Ricerca sull'Inquinamento e sull'Ambiente "Mauro Felli" (dal 01-11-2015 al 31-10-2016)
- Titolare dell'insegnamento: "Energy storage: state of the art and in-lab experimental investigations" Dottorato di Ricerca in Energia e Sviluppo sostenibile dell'Università degli Studi di Perugia - XXXII ciclo, anno accademico 2016/2017 - Sede: CIRIAF - Centro Interuniversitario di Ricerca sull'Inquinamento e sull'Ambiente "Mauro Felli" (dal 01-11-2016 al 01-06-2017)
- Correlatrice di numerose tesi di laurea, triennali e specialistiche.

Attività editoriale

- Editorial Board Member for The Open Petroleum Engineering Journal - Bentham Open (dal 15-05-2017 a oggi)



Università degli Studi di Perugia

Perugia

- Attività di peer-reviewing riconosciuta per le riviste "Sustainability", "Energies", "Remote Sensing", Editore MDPI (dal 01-01-2015 a oggi)
- Attività di peer-reviewing riconosciuta per riviste scientifiche Elsevier - Sustainable cities and Society (dal 01-01-2016 a oggi)
- Attività di peer-reviewing riconosciuta per riviste scientifiche Elsevier - Applied Energy (dal 01-01-2016 a oggi)
- Attività di peer-reviewing riconosciuta per riviste scientifiche Elsevier - Journal of Petroleum Science and Engineering (dal 01-01-2016 a oggi)
- Attività di peer-reviewing riconosciuta per riviste scientifiche Elsevier - The journal of Chemical Thermodynamics (dal 01-01-2016 a oggi)
- Attività di peer-reviewing riconosciuta per editore ACS Publications (dal 01-01-2016 a oggi)
- Attività di peer-reviewing riconosciuta per le riviste: Energies, Remote Sensing, Sustainable Cities and Society, Industrial & Engineering Chemistry Research, Cold Regions, Science and Technology, Sustainability, Applied Sciences - Anno 2017

Attività istituzionale

- Membro del Consiglio Scientifico del CIRIAF, Centro di Ricerca sull'Inquinamento e l'Ambiente e membro dell'Associazione Nazionale della Fisica Tecnica.
- Membro del Comitato Scientifico SDEWES Conference (Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems)
- Responsabile esecutivo per l'Università degli Studi di Perugia dell'Accordo di Cooperazione Interuniversitaria tra l'Università degli Studi di Perugia e la City University di New York, a nome del CITY COLLEGE, unità accademica di CUNY, volto alla realizzazione di un comune programma di collaborazione scientifica, didattica e sviluppo, nonché di attività di scambio di personale docente e ricercatore e studenti (Accordo Approvato dal Consiglio di Amministrazione dell'Università degli Studi di Perugia in data 19 luglio 2017)

Premi

- Outstanding UHI Group of Researchers Award - 4th International Conference on Countermeasures to Urban Heat Islands, Singapore, 30 May- 1 June 2016
- Best Poster Award per la presentazione poster dell'articolo : "Energy analysis of different chemical storage options for carbon recycling purposes" - 2nd South East European Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems - SEE SDEWES - Piran, Slovenia (dal 15-06-2016 al 18-06-2016)

Brevetti

- Inventore designato per Brevetto per Modello di utilità N. 0000281961 avente per titolo: "SISTEMA DI ACCUMULO DI ENERGIA AD ARIA COMPRESSA (CAES - COMPRESSED AIR ENERGY STORAGE) CON RECUPERO DI CALORE INTEGRATO AD UN IMPIANTO TURBOGAS PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA".

Dott.ssa Beatrice Castellani

Beatrice Castellani

Titolo del progetto:

“Analisi teorica e sperimentale della tecnologia Solid Oxide Cell sia per la generazione di potenza che per la produzione di syngas da fonte rinnovabile”

Relazione - III anno di attività

Giovanni Cinti Ph.D – RTDa tempo parziale

Attività di Ricerca

L'attività di ricerca ha riguardato lo studio della tecnologia SOFC/SOE per la produzione di potenza e per la produzione via elettrolisi di combustibili gassosi quali idrogeno o miscele ad alto contenuto di idrogeno (syngas).

In questo terzo anno l'attività di ricerca e di supporto alla ricerca è continuata con studi della tecnologia SOE, con un'attenzione particolare all'elettrodo dell'ossigeno. Questo aspetto del funzionamento della tecnologia non è stato ancora esplorato in letteratura e può contribuire in modo significativo all'abbattimento dei costi e all'aumento dell'efficienza del sistema. In parallelo, sono stati fatti degli studi preliminari su tecnologie innovative di elettrolisi ad alta temperatura basati sull'uso di un elettrolita a carbonati fusi. In particolare è stato fatto un upgrade del bando prova e sono stati selezionati dei materiali ed individuate le procedure di test. I primi dati sperimentali hanno dato esito incoraggiante e fornito indicazioni preliminari per indirizzare lo studio scientifico. Infine, in occasione della mia visita nei Paesi Bassi presso TU Delft, ho affrontato in collaborazione con i partner olandesi, l'utilizzo di miscele idrogeno e metano per la produzione di potenza. Nel dettaglio le specifiche attività sono state:

- Studio bibliografico dei temi di ricerca riguardanti SOFC e SOE;
- Progettazione campagna prove finalizzata all'analisi delle performance della cella e allo studio dell'effetto della composizione;
- Realizzazione dei test;
- Analisi dati e studio dei risultati;
- Pubblicazione dei risultati in conferenze e giornali scientifici;
- Supporto alla rendicontazione del progetto PON: "SMART GENERATION";
- Raccordo e coordinamento tra le attività del Dipartimento dell'Università degli Studi di Perugia e gli altri partner dei progetti PON;
- Partecipazione alla stesura e presentazione di progetti sottoposti a finanziamento a valere su fondi nazionali ed europei;
- Attività tecnica/sperimentale di laboratorio: utilizzo e progettazione di strumenti e tecniche per lo studio di sistemi celle a combustibile/elettrolizzatori ad alta temperatura;
- Supporto all'acquisto di strumenti e materiale di consumo necessari all'attività di ricerca;
- Partecipazione alle attività dell'associazione HYDROGEN EUROPE RESEARCH di cui il Dipartimento è membro, associazione che gestisce in partenariato con la Commissione e il raggruppamento degli industriali i fondi Comunitari destinati ad Idrogeno e celle a combustibile;
- Gestione di due progetti europei a valere sul fondo HORIZON2020: NET TOOLS e ELECTROU dei quali sono responsabile scientifico per l'Università degli Studi di Perugia;
- Gestione del progetto H2 in ICE finanziato dalla cassa di risparmio di Perugia finalizzato allo studio di elettrolizzatori onboard. L'attività ha riguardato la realizzazione dei test sperimentale, la progettazione del prototipo innovativo e la scelta dei componenti del prototipo;
- Attivazione e gestione del progetto Europeo "HySchools" a valere sul bando ERASMUS+;
- Partecipazione come invited speaker alla prima conferenza europea "NH3 Event", 18-19 May 2017, Rotterdam, The Netherlands ;
- Partecipazione al programma ERASMUS + for training presso TU WARSAW e TU BERLIN e partecipazione al programma ERASMUS + for teaching presso TU DELFT;
- Organizzazione della conferenza europea Piero Lunghi conference - EFC17, come membro del comitato organizzatore locale e come track manager.

Pubblicazioni

Specificatamente alle attività di ricerca relative al progetto del contratto sono state pubblicati i seguenti lavori interamente riportati in allegato:

1. Barelli, L.; Bidini, G.; Cinti, G. "Airflow Management in Solid Oxide Electrolyzer (SOE) Operation: Performance Analysis", *ChemEngineering* 2017, 1, 13
2. Barelli, L., Bidini, G., Cinti, G., Ottaviano, A. "Study of SOFC-SOE transition on a RSOFC stack" (2017) *International Journal of Hydrogen Energy*, 42 (41), pp. 26037-26047 DOI: 10.1016/j.ijhydene.2017.08.159

In aggiunta grazie ad ulteriori collaborazioni sviluppate in questi anni e ad attività di ricerca svolte precedentemente sono stati pubblicati i seguenti lavori, anch'essi riportati in allegato:

3. G. Cinti, D. Frattini, G. Bidini, U. Desideri, E. Jannelli "Coupling Solid Oxide Electrolyser (SOE) and ammonia production plant" *Applied Energy*, Volume 192, 15 April 2017, Pages 466-476, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.09.026>.

In stesura o in attesa di pubblicazione:

1. L. Barelli, G. Bidini, G. Cinti, "Steam Vs dry reformer in a SOFC short stack: experimental study" sottomesso su *Fuel*;
2. L. Barelli, G. Bidini, G. Cinti, "Air variation in SOE: stack experimental study" sottomesso su *International Journal of Hydrogen Energy*;
3. G. Cinti, A. Anca-Couce, P. Bartocci, G. Bidini, F. Fantozzi "Use Of Waste Glycerol Pyrolysis Products in Fuel Cells" sottomesso su *Applied Energy*;
4. G. Bidini, G. Cinti, K. Hemmes "Comparison of the solid oxide fuel cell system for micro CHP using natural gas with a system using a mixture of natural gas and hydrogen" in stesura;

I risultati dell'attività di ricerca sono stati presentati in conferenze e meeting internazionali:

1. L. Barelli, G. Bidini, and G. Cinti, Air flow study in SOE operation, Hypothesis XII, 28-30 June 2017, Siracusa, Italy ISBN 978-88-942723-0-7.
2. G.Cinti, G. Bidini, "Simulation of fc system integrated into chp application, including electrolyzer operation", sottomesso a European Fuel Cell Technology & Applications Conference - Piero Lunghi Conference, December 12-15, 2017, Naples, Italy

Attività didattica integrativa

Sullo stesso tema delle attività di ricerca è stata realizzata l'attività di formazione ed affiancamento – didattica integrativa. In particolare:

- Supporto alle attività di formazione riguardanti lo sviluppo e l'utilizzo di sistemi di controllo per banchi prova di celle a combustibile;
- Formazione teorica sull'idrogeno e celle a combustibile, sulle problematiche dell'integrazione e sui componenti necessari al funzionamento corretto del sistema;

Article

Airflow Management in Solid Oxide Electrolyzer (SOE) Operation: Performance Analysis

Linda Barelli, Gianni Bidini and Giovanni Cinti * 

Department of Engineering, University of Perugia, 06123 Perugia, Italy; linda.barelli@unipg.it (L.B.); gianni.bidini@unipg.it (G.B.)

* Correspondence: giovanni.cinti@unipg.it; Tel.: +39-075-585-3991

Received: 5 September 2017; Accepted: 26 October 2017; Published: 6 November 2017

Abstract: Hydrogen is being studied as a means of energy storage and can be synthesized to store renewable energy and successively used as a fuel for power production or transport purposes. High temperature solid oxide electrolyzers (SOE) are proposed as a technology to produce hydrogen with high energy efficiency and high power density. Within the studies on SOE operation, little attention has been given to the oxygen electrode side, where air is normally used as a sweep gas. In this study, we consider the option of reducing the air flow rate when operating an SOE stack. The advantages in terms of efficiency are calculated, showing that efficiency increases up to 2.8% when reducing the air flow rate down to 7% of nominal value.

Keywords: solid oxide electrolyzer; hydrogen production; energy storage; air flow

1. Introduction

Solid oxide electrolyzer (SOE) is considered a new potential technology for the production of hydrogen. Such a device achieves very high efficiencies in keeping power density higher than low-temperature electrolyzers. A promising application for SOE is in the energy storage field, where a high-efficient hydrogen production offers a viable path for the use of hydrogen as a storage medium. A well-known problem for the exploitation of renewable energy sources is the unpredictability of electrical production with a consequent unbalancing of the electrical grid. To restore equilibrium between generation and consumption requires the significant integration of an energy storage system (ESS) into the energy system. Today, installed energy storage capacity is very limited in the European scenario, mainly due to technological and economic issues. Innovative solutions with enhanced features with respect to conventional technologies have to be developed. High temperature electrolyzers, such as SOE, offer a very interesting path for high-efficiency and low-cost hydrogen production. The cost of the technology is an open issue. Important results were recently achieved at the industrial level, taking advantage of the improvements of solid oxide fuel cell technology that share many aspects of design, materials, and system integration with SOE. SOE technology, due to recent development, lacks system study regarding energy balance and the impact of operative parameter on performances. Open challenges are the management of the hydrogen cooling and compression and the optimization of air flow in the system. This study performs a preliminary study on the latter aspect, specifically focusing on the role played by air flow with impacts at the system level.

The electrolysis reaction is the following (1):



In electrolysis, efficiency is calculated as follow Equation (2):

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} = \frac{n_{\text{H}_2} \cdot \text{LHV}_{\text{H}_2}}{V \cdot I} \quad (2)$$

where P_{out} and P_{in} are system power output and input, respectively, n_{H_2} is molar flow rate of hydrogen, LHV_{H_2} is low heating value of hydrogen, and V and I are voltage and current of electrolyzer, respectively. Hydrogen and current are related by Equation (3):

$$n_{\text{H}_2} = \frac{I}{2 \cdot F} \quad (3)$$

where F is Faraday constant. Thus, efficiency can be expressed by Equation (4):

$$\eta = \frac{\text{LHV}_{\text{H}_2}}{2 \cdot F \cdot V} \quad (4)$$

An additional efficiency, η_s , can be defined at system level (5), considering the heat absorbed by H_2O , from room temperature to SOE operation temperature, as further energy input.

$$\eta_s = \frac{n_{\text{H}_2} \cdot \text{LHV}_{\text{H}_2}}{V \cdot I + Q_w} \quad (5)$$

where Q_w is the heat necessary for heating and water vaporization to guarantee steam at 650°C at the hotbox inlet.

Efficiency therefore is only dependent on voltage. Considering that LHV is the enthalpy variation, ΔH , of electrolysis reaction in Equation (1), it is possible to define thermoneutral voltage E_{th} as the voltage equivalent to 100% efficiency as follows (6):

$$E_{th} = \frac{\Delta H}{2 \cdot F} \quad (6)$$

Once the system operates at a thermoneutral voltage, efficiency is 100%, and the electrolyzer is in equilibrium. Depending on the relation between voltage and current density, which is called the polarization curve, it is possible to find the thermoneutral current density, J_{th} . Figure 1 reports polarization curves and thermoneutral values of different electrolyzer technologies. Compared to a low-temperature electrolyzer, SOE allows higher thermoneutral current densities and relative power densities to be achieved. Real systems usually operate above thermoneutral due to thermal losses, and operative current densities are higher than thermoneutral one.

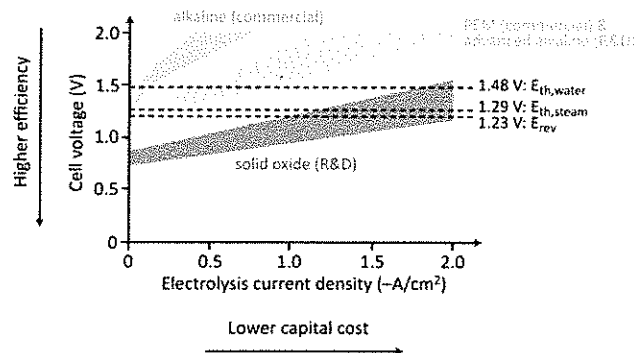


Figure 1. Comparison between alkaline, polymer electrolyzer membrane (PEM), and solid oxide electrolyzers in terms of voltage vs. current density [1].

Considering a general polarization curve, like $V(j)$ reported in Figure 2, real operating conditions, V and J in the figure, are higher than thermoneutral due to system losses.

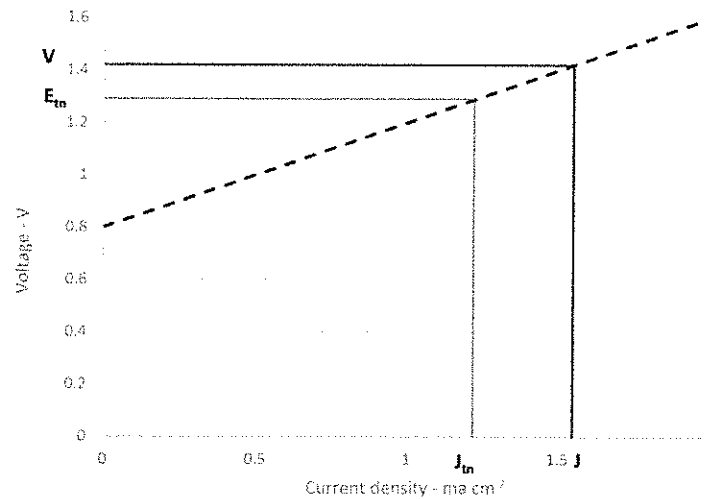


Figure 2. Example of operating condition of a solid oxide electrolyzer (SOE).

Operative voltage, V , can be related to the energy balance of the stack by following relation:

$$V = \frac{\Delta H_s}{2 \cdot F} = \frac{\Delta H + Q}{2 \cdot F} > V_{th} \quad (7)$$

where ΔH_s is the total enthalpy requirement of the stack that is the sum of reaction enthalpy ΔH and thermal losses Q .

The scheme of an SOE stack is reported in Figure 3. In the hydrogen electrode, steam is supplied mixed with hydrogen. Hydrogen is added due to material restrictions that require a reductive atmosphere to protect the reaction catalyst from oxidation. During operation, the steam reacts and produces hydrogen and oxide ions. Hydrogen electrode output is a mixture of hydrogen and unreacted steam. The reactant utilization parameter (RU) is introduced to calculate the amount of steam that reacts in the cell and has a direct impact on the steam hydrogen mixture. Reactant utilization is defined as follows:

$$RU = \frac{m_{H_2O_r}}{m_{H_2O_{in}}} = \frac{I}{2 \cdot F \cdot m_{H_2O_{in}}} \quad (8)$$

where $m_{H_2O_r}$ is the mole of steam reacting and $m_{H_2O_{in}}$ is the total steam molar inlet flow.

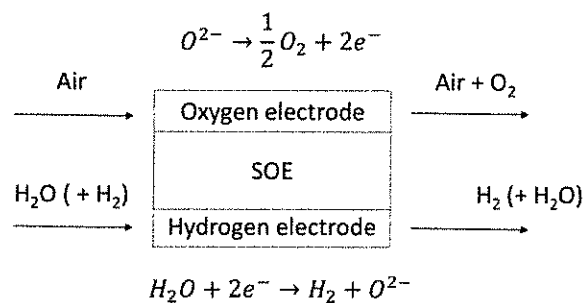


Figure 3. Scheme of a solid oxide electrolyzer.

Regarding the oxygen electrode side, pure oxygen is produced by the electrochemical reaction, and air is usually fed as a sweep gas for obvious reasons of low cost and availability. This study focuses on the air feeding and on the effect of air flow rate on stack equilibrium and performance.

Studies on SOE are mainly focused on the material development [2,3] and on the operation potentialities in specific applications such as CO-electrolysis [4] and reversible RE-SOFC [5]. SOE integration in complete systems is also addressed in the literature [6]. Air flow is an important parameter at the system level because it has to be managed in the unit. In detail, air needs to be heated up to stack temperature and has to be cooled down when mixed with produced oxygen. Such an operation can be realized with a heat exchanger (regenerator) using a similar solution to the SOFC system. The main difference with SOFC is that in SOE air flow is not necessary for the operation of the stack and must be optimized only for the sweeping of oxygen. Compared to SOFC, the stack does not have to be cooled; on the contrary, as previously explained, any thermal loss causes a decrease in performances. It is impossible to obtain an operative air-air heat exchanger to supply all the required heat to heat air flow rate up to the stack operating temperature. The consequence is that part of the heat must be obtained directly from the stack and becomes an energy request that has to be subtracted from the heat available for the chemical reactions. No studies in the literature address air flow management and optimization.

Within this study, a zero-dimensional model of a stack and heat exchanger was developed, and the effect of air flow rate reduction on the performances was investigated. The model is supported by an experimental test giving the main parameters of SOE operation in the designed condition.

2. Materials and Methods

A zero-dimensional thermodynamic model, including an SOE stack and an air-air heat exchanger, was developed. Thermodynamic properties were obtained by the FluidProp library supplied by Asimptote and based on JANAF tables [7]. A scheme of the developed model is reported in Figure 4. The SOE stack was operated at 750 °C with an RU of 0.7. Operative temperature is derived from SOFC state of technology, while the RU is a trade-off between reduction of steam production and higher availability of steam in the electrode to feed the reaction. Based on literature data, H₂O:H₂ composition was kept as 90:10 [8]. In this case, the aim is to keep hydrogen concentration as low as possible. Air flow enters the system at ambient conditions and is heated in the heat exchanger (AIR HEX) up to 650 °C. This temperature was derived from typical SOFC stack operation where, with the aim of reducing thermal shocks to the stack materials, 100 K are considered as maximum temperature difference [9]. A hydrogen electrode mixture, H₂ and H₂O, is fed to the stack at 650 °C. A hydrogen electrode mixture, H₂ and H₂O, is fed to the stack at 650 °C.

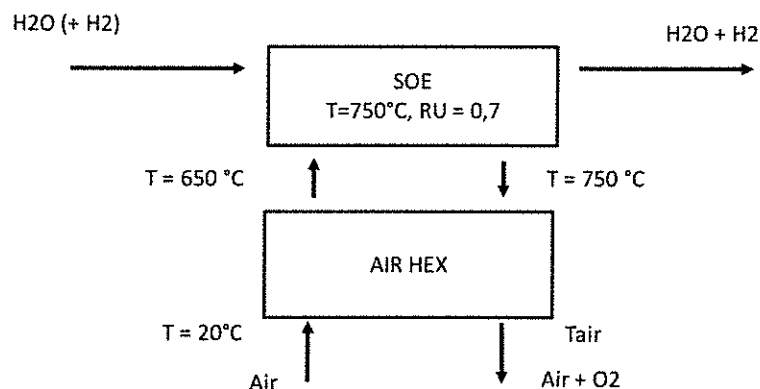


Figure 4. Scheme of the hotbox studied in the model.

The mixture of air and oxygen exits the stack at the operating temperature and enters the heat exchanger. Note that this design guarantees a temperature difference of 100 K for the high temperature

side of the heat exchanger. Moreover, the mass flow of the cooling flow (right side in the figure) is higher of the heating one because oxygen produced by the reaction is added to the same mass flow. This means that there is no risk of insufficient heat to bring the air flow rate up to 650 °C.

The model was calculated to have thermal equilibrium in the stack. Once stack the physical parameters—the number of cell and cell active area—are defined, the model calculates the operative voltage based on air flow, RU, and polarizations parameters, specifically ASR and OCV. ASR is the area specific resistance, and OCV is the open circuit voltage. ASR and OCV are derived from the experimental part of the study. A commercial SOFC short stack was operated in SOE conditions at 750 °C. The short stack is based on six SOFC planar cells with a Ni/8YSZ anode, an LSCF cathode, a GDC barrier layer, and an 8YSZ electrolyzer. The test was performed in a test rig designed to perform stack start-up and experimental testing. The test rig was adapted in the furnace connected to the hydrogen and air piping. Hydrogen piping was fed with a mixture of hydrogen and steam. Water was evaporated in a controlled evaporator mixer, and the H₂-H₂O mixture was kept at an acceptable temperature with a cable heating system to avoid recondensation of water. Both air flow and steam were preheated in specific piping inside the furnace that increases gas temperature up to stack temperature. Mica sealing was used to connect the piping to the stack to avoid gas leakage inside the furnace. Off gasses were kept at high temperature using isolated piping to avoid water condensation in the test rig, which could introduce pressure variation and pipe plugging. Further details of the test rig are reported in [10].

No heat losses are considered in the model, and further heat requirements (*Q*) are needed to bring the hydrogen electrode and oxygen electrode gasses from 650 °C to the operative temperature of 750 °C. The stack is considered to operate under adiabatic conditions; thus, heat losses due to overpotentials are calculated in the stack equilibrium and participate to supply heat to the reactions.

All input parameters of the model and relative values are reported in Table 1.

Table 1. List of constant parameters used in the model.

Component	Parameter	Value	Unit
Heat Exchanger	Low temperature air— T_{airin}	20	°C
	High temperature air— T_{airout}	650	°C
	High temperature off gasses (Air + O ₂)— T_{offin}	750	°C
STACK	Reactant utilization—RU	0.7	
	Hydrogen electrode composition—H ₂ O:H ₂	90:10	mol:mol
	Area Specific Resistance—ASR	0.67	Ω cm ²
	Open circuit voltage—OCV	0.85	V
	Number of cells—N	12	
	Cell active area—A	80	cm ²

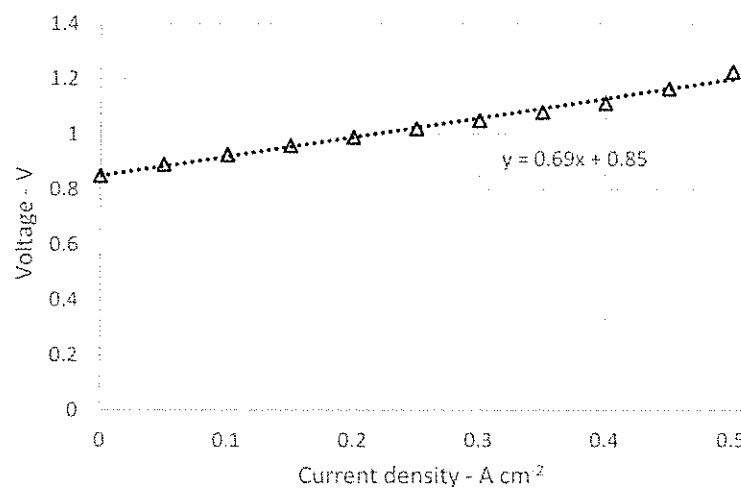
The model is developed so that main design parameter is the number of cells. This value was fixed to 12 in order to have a reference power up to 1 kW. Air flow in the system was initially fixed to be twice the molar flow of the hydrogen electrode side. The study was designed to analyze the effect of air variation and air flow rate is the parameter changed during the study. The flow values were calculated introducing, as a parameter, the ration between the oxygen electrode and the hydrogen electrode molar flow rate (Oe/He). In detail, starting from the initial value of 2, the Oe/He was lowered to 0.5 at steps of 0.25. Input Oe/He values and relative air flow rates are reported in Table 2. To improve the readability of the values, air flow is reported in NI h⁻¹.

Table 2. Air flow values used for the study.

Oe/He	Air Flow— $\text{Nm}^3 \text{h}^{-1}$
0.5	228.07
0.75	346.95
1	469.05
1.25	594.38
1.5	722.93
1.75	854.72
2	989.64

3. Results

To supply input parameters (ASR and OCV) to the electrochemical part of the model, a polarization test was performed at 750°C operating temperature. The hydrogen electrode was fed with a mixture $\text{H}_2\text{O}:\text{H}_2$ 90:10 with an input flow rate chosen to reach a reactant utilization of 0.7 at final current of 500 mA cm^{-2} . Oe/He condition was set to 1, in the middle of the range used in the model. Test inputs are reported in Table 3. The experimental result is reported in Figure 5. The graph also reports the regression curve and relative linear equation.

**Figure 5.** Polarization curve obtained from the experimental test at 750°C .**Table 3.** Test condition of the polarization curve.

Stack temperature	750°C
$\text{H}_2\text{O}:\text{H}_2$	90:10
Oe/He	1
RU @ 500 A cm^{-2}	0.7
Current step	0.05 mA cm^{-2}
Holding time	60 s

Based on the experimental results, ASR was fixed to $0.69 \Omega \text{ cm}^2$ and OCV to 0.85 V. Both values are used to linearize cell voltage as a function of current density as follows Equation (9):

$$V = \text{OCV} + \text{ASR} \cdot J \quad (9)$$

The main electrochemical results of the model are reported in Figure 6. In detail, the two graphs report cell voltage and current density as a function of Oe/He and as a function of each other. When air

flow decreases—i.e., Oe/He decreases—both voltage and current density drop. The equilibrium of the stack moves to lower values of voltage and current. If we consider the second graph in the figure—graph b—we can find the behavior predicted when describing Figure 2. Higher values of air flow increase the heat demand to the stack, moving the operative point to the right.

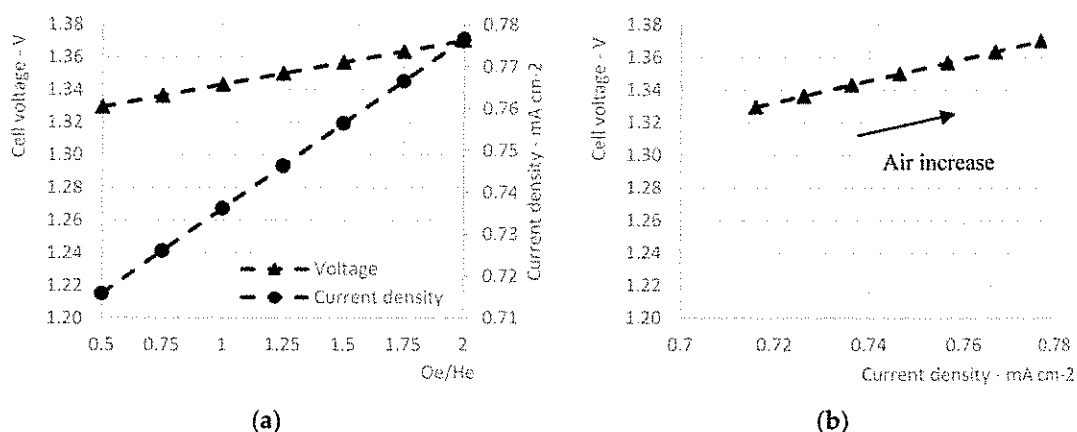


Figure 6. Cell voltage and current density plotted as function of Oe/He (a) and as function of each other (b).

In Figure 7, electrical power and efficiency are reported as a function of air flow rate. For a higher value of air flow the electrical power absorbed by the system increases due to the increase of both voltage and current density. Concerning efficiency, the heat adsorbed by the airflow, subtracted to the reaction, causes a decrease in chemical energy produced, which has a negative effect on efficiency. Therefore, it is possible to reduce air flow rate with benefits in terms of efficiency. Specifically, reducing the air flow rate from 989.64 (Oe/He = 2) to 228.07 NI h⁻¹ (Oe/He = 0.5), the power increases by 10.8% with respect to nominal conditions (Oe/He = 2), while efficiency increases by 2.8 percentage points.

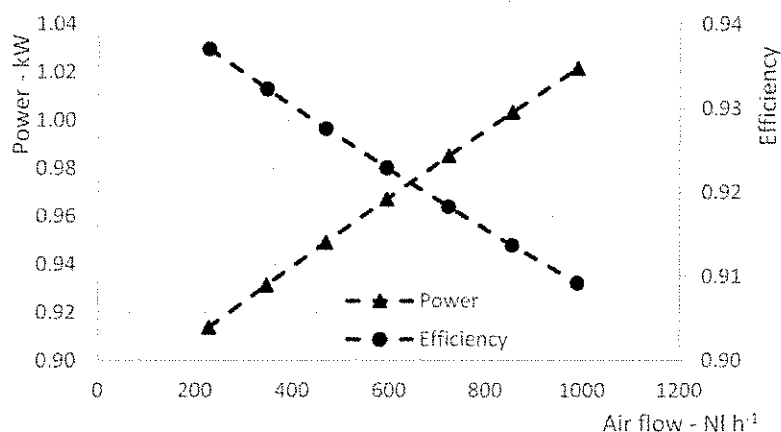


Figure 7. Power and efficiency as function of air flow rate.

Figure 8 reports the efficiency vs. hydrogen production trend that can be considered as the characteristic curve of the electrolyzer. The graph clearly shows that varying air flow can increase or reduce hydrogen production. The system suffers of the well-known tradeoff between hydrogen production and efficiency, already commented in Figure 1, with high efficiency for lower hydrogen

production and, consequently, higher system costs to produce the same amount of hydrogen. Note that system efficiency has smaller variation due to the contribution of water evaporation combined with the variation of water flow. Such efficiency is not a complete description of the system because the optimization of the hydrogen electrode flows, e.g., heat exchanger, is not implemented in the model and is not in the aim of this study.

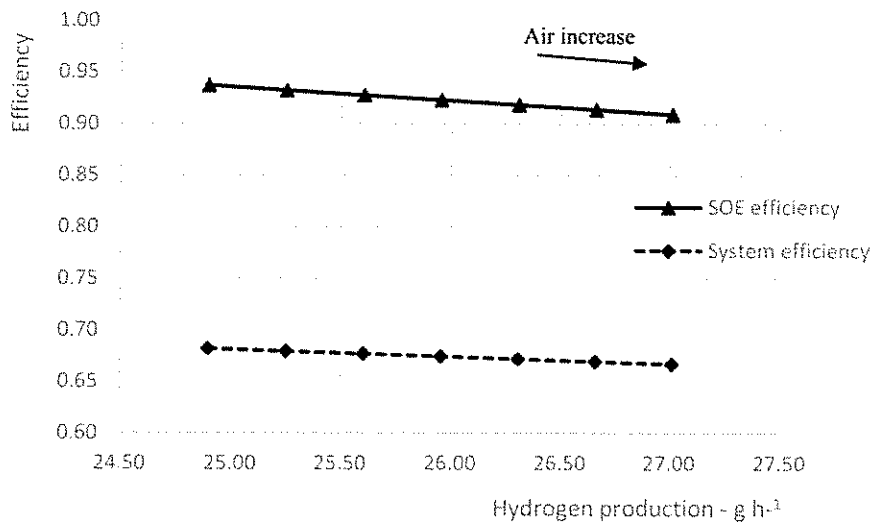


Figure 8. Efficiency vs. hydrogen production.

Figure 8 perfectly describes how the air variation can be used to rate hydrogen production of the system keeping constant operating temperature.

Looking to the heat exchanger, in Figure 9. It is reported the variation of the thermal power exchanged in the device as function of air flow. As expected, such value increases with the increase of air flow. This parameter is necessary to design the heat exchanger once best operative condition is selected.

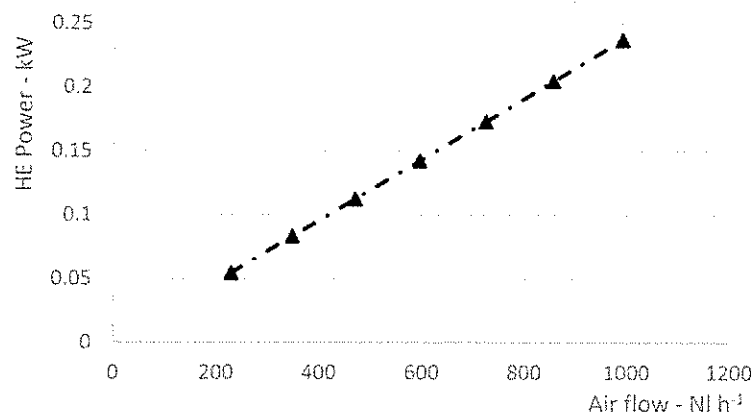


Figure 9. HE sizing as function of the air flow rate.

Finally, Figure 10 reports the outlet temperature of the system and the heat available in case a cogeneration is possible, decreasing the off gasses temperature down to 50 °C. Even if the temperature

is still acceptable for any cogeneration purpose, the total amount of heat available is very small—the values reported are in W.

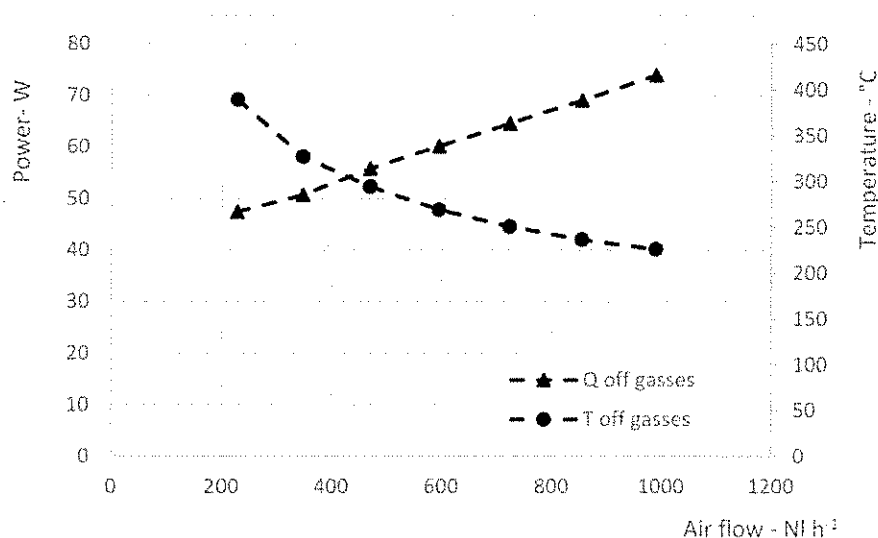


Figure 10. Temperature and heat available in off-gasses as function of air flow.

4. Conclusions

The study shows how the reduction of air flow allows the increase of SOE performances. As a consequence, hydrogen production and electrical adsorbed power are reduced. At the operative temperature of 750 °C, a reduction of air down to 23% allows for an increase of efficiency of 2.8 percentage points. In this sense, air regulation represents a regulation strategy for hydrogen production when keeping a constant device temperature. Open issues are related to the effect of air variation on operative voltage. The model does not consider the effect that the variation of oxygen concentration in the relative electrode can introduce into the voltage. Such aspect as to be deeply investigated with the mean of experimental activity. Even if these advantages, in terms of efficiency, may not appear significant, it is important to highlight the additional benefits coming from the reduction of air flow. First of all, the heat exchanger that has to be realized involves smaller gas flows, and minor heat is transferred from high to low temperature gas flows. This, in general, corresponds to a smaller size of the heat exchanger and lower cost due to the smaller amount of material used. With a different approach, the air regulation can be used to rate the power of the SOE keeping a constant operative temperature. Any load variation causes an increase or reduction in operative temperature. Load variation allows us to rate the production both of hydrogen and electrical energy stored. Finally, an additional benefit of air reduction is represented by the increase of oxygen concentration in the off-gasses. A higher concentration means a lower cost and a simpler separation of oxygen. The production of oxygen as a byproduct improves the cost-effective benefits of the system and can help this technology reach economic feasibility.

Acknowledgments: This research was carried out within the FUEL CELL LAB project funded by the Italian MIUR (PON03PE_00109_1).

Author Contributions: G.C. and L.B. conceived and designed the model; G.C. performed the model test; G.C. and G.B. analyzed the data; G.C. wrote the paper.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

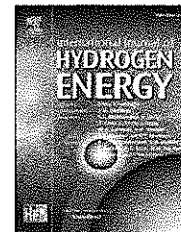
1. Graves, C.; Ebbesen, S.D.; Mogensen, M.; Lackner, K.S. Sustainable hydrocarbon fuels by recycling CO₂ and H₂O with renewable or nuclear energy. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2011**, *15*, 1–23. [CrossRef]
2. Gomez, S.Y.; Hotza, D. Current developments in reversible solid oxide fuel cells. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2016**, *61*, 155–174. [CrossRef]
3. Laguna-Bercero, M.A. Recent advances in high temperature electrolysis using solid oxide fuel cells: A review. *J. Power Sources* **2012**, *203*, 4–16. [CrossRef]
4. Ebbesen, S.D.; Mogensen, M. Electrolysis of carbon dioxide in Solid Oxide Electrolysis Cells. *J. Power Sources* **2009**, *193*, 349–358. [CrossRef]
5. O'Brien, J.E.; Stoots, C.M.; Herring, J.S.; Lessing, P.A.; Hartvigsen, J.J.; Elangovan, S. Performance Measurements of Solid-Oxide Electrolysis Cells for Hydrogen Production. *J. Fuel Cell Sci. Technol.* **2005**, *2*, 156–163. [CrossRef]
6. Ferrero, D.; Lanzini, A.; Santarelli, M.; Leone, P. A comparative assessment on hydrogen production from low- and high-temperature electrolysis. *Int. J. Hydrog. Energy* **2013**, *38*, 3523–3536. [CrossRef]
7. Gordon, S., McBride, B.J. *Computer Program for Calculation of complex Chemical Equilibrium Compositions*; NASA Lewis Research Center: Cleveland, OH, USA, 1976; NASA SP-273.
8. Penchini, D.; Cinti, G.; Discepoli, G.; Desideri, U. Theoretical study and performance evaluation of hydrogen production by 200 W solid oxide electrolyzer stack. *Int. J. Hydrog. Energy* **2014**, *39*, 9457–9466. [CrossRef]
9. Liso, V.; Olesen, A.C.; Nielsen, M.P.; Kær, S.K. Performance comparison between partial oxidation and methane steam reforming processes for solid oxide fuel cell (SOFC) micro combined heat and power (CHP) system. *Energy* **2011**, *36*, 4216–4226. [CrossRef]
10. Penchini, D.; Cinti, G.; Discepoli, G.; Sisani, E.; Desideri, U. Characterization of a 100 W SOFC stack fed by carbon monoxide rich fuels. *Int. J. Hydrog. Energy* **2013**, *38*, 525–531. [CrossRef]



© 2017 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ijhydene

Study of SOFC-SOE transition on a RSOFC stack

L. Barelli, G. Bidini, G. Cinti*, A. Ottaviano

Department of Engineering, University of Perugia, Via G. Duranti 1/A4, Perugia 06125, Italy

ARTICLE INFO

Article history:

Received 7 June 2017

Received in revised form

22 August 2017

Accepted 23 August 2017

Available online 14 September 2017

Keywords:

RSOFC

Energy storage

Renewable energy

Hydrogen

SOFC

SOE

ABSTRACT

Reversible Solid Oxide Fuel Cell (RSOFC) can perform both power production and electricity storage with high efficiency and reduced cost using the same device for both functions. Within the frame of a small scale application and distributed generation, RSOFC systems operate connected to the grid switching from electrolysis to fuel cell and vice versa depending on load and grid peculiarities. The study aims to investigate the behavior of RSOFC in the two operation modes and in the transition phase. The analysis moves from the thermal equilibrium and electrical performances data gathered during the test of a six cells SOFC short stack. In particular, the effect of gas composition was deeply investigated. A mapping of performances was realized through polarization curves. Dilution of reactants, both in SOFC and SOE brings to reduction in performances while different compositions during SOE-SOFC transition did not give any significant effect to stack voltages. The dynamic model was derived from experimental results; thermal and electrical transient response to current variation was determined under several operating conditions and related transfer functions were identified characterizing the device dynamic behavior.

© 2017 Hydrogen Energy Publications LLC. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.

Introduction

The massive introduction of renewable energy sources (RES) into the electric grid improved the sustainability of the global energy demand but, as drawback, it produces critical issues related to grid safety and stability due to RES unpredictability [1,2]. Moreover, to mitigate the serious concerns indicated above, RES plants are curtailed during low consumption periods limiting the RES exploitation degree. Energy storage systems allow the postponed energy usage with respect to production. Therefore, for what above, a significant integration of energy storage in both electrical grid systems and network-based energy systems, could represent a crucial factor allowing RES to become completely reliable as primary energy sources.

Hydrogen is a mean of storage that allows high power density and long term storage, specifically suitable for

network-based energy systems located in off-grid remote or low interconnected areas. As disadvantage, hydrogen technologies suffer of low round trip efficiency and high cost [3,4]. Solid oxide fuel cells (SOFC) and sold oxide electrolyzers (SOE) have been recently studied thanks to the high efficiency and potential low cost compared to alkaline and PEM technologies [5–7]. High temperature operation, such as the ones of oxide electrolytes, increases the efficiency of the systems and it allows the use of low cost catalysts with respect to low temperature devices. An additional reduction of cost can be obtained once the same unit is used as both electrolyser and fuel cell. In this case, the technology can be named as Reversible Solid Oxide Fuel Cell (RSOFC).

Due to the well-known scalability of fuel cells technology, RSOFCs can be candidate also for low scale storage. Potential applications are in off grid or low-interconnected areas,

* Corresponding author.

E-mail address: giovanni.cinti@unipg.it (G. Cinti).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.08.159>

0360-3199/© 2017 Hydrogen Energy Publications LLC. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.

districts or single users that aim to obtain energy independence from grid supply.

RSOFC is thus a new area of research but takes recent advancements in the field of SOFC and SOE. In particular, SOFCs were deeply studied and recently they are moving from the research stage into the early market. Deep reviews on the development of SOFC and SOE technologies can be easily found in the literature at level of components [8,9], stack units and full systems [30].

Beside an increasing number of studies on single cell performances [11–21] and numerical models [22–30], technical literature lacks about experimental test on RSOFC stacks. Moreover, few studies show experimental results on stack only in electrolysis operation, mainly focusing on degradation issue related to oxygen electrode [31–37]. Regarding stack functioning in both SOFC and SOE, in Ref. [38] two cells planar stack was tested showing SOE long term degradation depending on operating current density. Improvements in long term degradation are presented in Ref. [39], where negative degradation (improvement) was found over 1900h operation. In our previous study [40], a RSOFC stack was operated and the effect of temperature and gas compositions on performances was investigated. High efficiencies were obtained for all gas compositions tested and the study indicates that ASR values are the same for SOFC and SOE working at the same temperature.

In the present paper, we move forward with two main objectives: i) to design and test RSOFC operation in the SOFC-SOE transition; ii) to develop a dynamic model of temperature and voltage transients under different fuel electrode feeding mixtures, in case of variations of operating conditions (current swap) and, in particular, under the SOE-SOFC switching. The latter is a relevant issue since the study considers real applications of RSOFCs, looking to the coupling with electrical loads. Consequently, it is crucial to investigate the ability of RSOFC technology to react to a variable load condition in terms of power production and thermal equilibrium. Within this objective the role of H₂:H₂O gas mixture and of current density was deeply investigated. Moreover, a dynamic model of the RSOFC unit was developed based on experimental results. In particular the model provides the thermal (for both SOE and SOFC) and voltage (SOFC) transients in case of current and gas mixture variations. In details, the model is valid in the ±400 mA cm⁻² current domain, while the variation range of fuel electrode feeding conditions, in terms of H₂:H₂O ratio, is 0.9:0.1 to 0.8:0.2 and 0.1:0.9 to 0.3:0.7 respectively from SOFC and SOE.

SOFC experimental characterization

Materials

The experimental activity was performed on a 6 cells short stack supplied by SOLIDPower. The stack is based on commercial planar ASC cells of 80 cm² active area. Cell structure is Ni/8YSZ anode, 8YSZ electrolyte and GCD + LSCF bilateral cathode. Reference operative temperature of the technology is 750 °C. Such temperature was kept constant during all the tests. The test rig was designed to start-up and test the stack in

both fuel cell and electrolyzer operation. External gas cylinders contain the pure gases that are distributed to the gas flow meter controllers. For this test campaign only hydrogen and oxygen were used. Distilled water was introduced into the fuel electrode line via Controlled Evaporator Mixer. The flow was kept at high temperature thanks to a cable heater and introduced into the set-up inside the furnace. In the air electrode line only air was introduced as a gas. The electrical circuit was composed of the cell and, in parallel, an electronic load (for the SOFC operation) and a power supply (for the SOE operation). The stack was not equipped with internal thermocouple. Two thermocouples were placed in the nearby of the stack, one close to the top and one close to the bottom. Two additional thermocouples were placed inside the off-gas pipes, just close to the stack: one inside the fuel electrode outlet and one inside the air electrode outlet. Air electrode outlet temperature was considered a good approximation of stack temperature due to the high flow and high heat capacity of the cathodic air.

Test campaign

The test campaign was divided in two parts. In the first phase the aim was to evaluate the effect on SOFC and SOE performances changing anodic composition. The second phase was designed to evaluate the effect of the change from SOFC to SOE operation, with a particular focus on the stack dynamic behavior aiming to model temperature (fuel electrode outlet) and voltage transients.

Phase 1

During the first phase 10 different polarization curves were performed, 5 in SOFC and 5 in SOE. Each polarization was carried out at a particular fuel electrode composition, keeping constant gas flows and changing current with step of 1 A. During SOFC operation current was increased until of 0.7 V was achieved by the cell with the smaller voltage. Regarding SOE operation, the stack was operated up to 40 A of current. Furnace temperature was kept constant so to have air electrode outlet temperature of 750 °C. Table 1 reports the 10 compositions used in the first phase. Investigated compositions vary from 90% to 10% of H₂ in H₂O. SOFC compositions have higher concentration of hydrogen while the SOE ones have higher content of steam. The intermediate composition (50:50) is the one tested both in SOE and SOFC. Regarding the gas flow, three parameters were used to define the quantity of each test: utilization of fuel (U_f) at 500 mA cm⁻² for SOFC tests, utilization of oxygen (U_{ox}) at 500 mA cm⁻² and reactant utilization (RU) at 500 mA cm⁻² for SOE ones. U_f, U_{ox} and RU are defined as follows:

$$U_f = \frac{I \cdot N}{2 \cdot F \cdot n_{H_2}} \quad (i)$$

$$U_{ox} = \frac{I \cdot N}{4 \cdot F \cdot 0.21 \cdot n_{Air}} \quad (ii)$$

$$RU = \frac{I \cdot N}{2 \cdot F \cdot n_{H_2O}} \quad (iii)$$

Where *I* is the total current, *N* the number of cells, *F* Faraday constant and *n_{H₂}*, *n_{Air}* and *n_{H₂O}* the molar flow rate of

Table 1 – Design of polarization curves performed during the first phase.

Test		H ₂ (%)	H ₂ O (%)	U _f @500	RU@500	U _{ox} @500	H ₂ (NL/h)	H ₂ O (g/h)	AIR (NL/h)
1	SOFC	90	10	0.7		0.3	143.34	12.79	796.33
2		80	20	0.7		0.3	143.34	28.78	796.33
3		70	30	0.7		0.3	143.34	49.34	796.33
4		60	40	0.7		0.3	143.34	76.75	796.33
5		50	50	0.7		0.3	143.34	115.13	796.33
6	SOE	50	50		0.7		143.34	115.13	796.33
7		40	60		0.7		95.56	115.13	796.33
8		30	70		0.7		61.43	115.13	796.33
9		20	80		0.7		35.83	115.13	796.33
10		10	90		0.7		15.93	115.13	796.33

hydrogen, air and water respectively. Defining as nominal current 500 mA cm⁻², and the relative value of U_f, U_{ox} and RU (in the following U_f@500, RU@500 and U_{ox}@500) is possible to derive the gas flows. Specifically, the test campaign was designed setting U_f@500 and RU@500 at 0.7, while U_{ox} was fixed to 0.3. The selection of such values for the parameters, used also in the phase 2, is a tradeoff between test conditions similar to real system and the preservation of the short stack. In this sense U_f and U_{ox} at values of 0.7 and 0.3 respectively, are close to high efficiencies ones, while RU value was chosen for symmetrical reason with U_f. The resulting gas flow rate values are reported in Table 1. U_f was used to calculate gas flows during SOFC operation while RU was used for SOE operation. Air flow was kept constant during both operation modes. Note that U_{ox} is meaningless in SOE operating because the process does not consume oxygen.

Phase 2

The second phase of the test was aimed to design a SOFC to SOE switching, simulating a possible operation of a reversible SOFC stack when the system moves from power production to electrolysis or vice versa. In detail, the aim of the study was to evaluate the effect of gas composition during this transition and to determine the stack dynamic model to simulate temperature and voltage response varying operating conditions. The test campaign was designed as a series of curves at constant utilization named as U_{cost} curves. Each U_{cost} curve consists of a sequence of operation states characterized by constant RU and U_f. Differently from first phase, the gas flow was not constant during each test.

The campaign was designed considering a variation between the SOFC composition and the SOE: in detail, two SOFC compositions were selected, 90:10 and 80:20 (obtained varying the H₂ flow rate at constant H₂O flow rate), coupled with three SOE mixtures, i.e. 10:90, 20:80, 30:70, for a total of six U_{cost} curves. Test campaign of the second phase is reported in Table 2. In all curves RU, U_f and U_{ox} were kept constant to values of 0.7, 0.7 and 0.25 respectively. Each test of Table 2 is performed varying the current density according to the procedure provided in Table 3 specifically for test UC6.

Each test was performed starting from SOE operation at -500 mA cm⁻² to SOFC at equivalent value of current density but positive with a step of 100 mA cm⁻². Each value of operation is kept for 1 h. It is remarked as positive values of current density are referred to SOFC operation, while negative ones to

SOE mode. Table 3 reports main parameters of the U_{cost} curve relative to UC6 test. Two different gas compositions, H₂:H₂O, are tested: one for SOE operation (30:70) and one for SOFC (80:20). In OCV operation the SOFC composition was kept. Obviously, hydrogen concentration in the fuel electrode composition is higher during SOFC operation, while H₂O is higher in SOE. RU and U_f are kept constant, both at the value of 0.7. U_{ox} is kept at 0.25 in SOFC operation and equal to OCV value in SOE.

Note that in the neighborhood of OCV, specifically from -100 mA cm⁻² to 100 mA cm⁻², this rule was not respected and gas flows at 200 and -200 mA cm⁻² were maintained constant. While passing from SOE to SOFC, in fact, constant values of RU, U_f and U_{ox} require very low flows that may cause lack of gas to the cells and a permanent damage to the stack. In addition, by definition, RU, U_f and U_{ox} are zero at OCV. Therefore, considering the real system operation in the transition phase, preserving the integrity of the stack is mandatory with respect to high efficiency operation. In addition the OCV neighborhood is not an operative condition of the system, minimum or no power, and we don't need to have high efficiency. For current densities higher (in terms of absolute values) than 100 mA cm⁻², instead, RU and U_f are kept high to increase stack efficiency.

Results

Phase 1

During phase 1, five polarization curves in SOFC and five in SOE were performed. Fig. 1 reports the SOFC (a) and SOE (b) results plotted as stack voltage on current density.

Table 2 – Second phase test campaign.

ID	T [°C]	SOFC				SOE		
		H ₂ [%]	H ₂ O [%]	U _f	U _{ox}	H ₂ [%]	H ₂ O [%]	RU
UC1	750	90	10	0.7	0.25	10	90	0.7
UC2	750	90	10	0.7	0.25	20	80	0.7
UC3	750	90	10	0.7	0.25	30	70	0.7
UC4	750	80	20	0.7	0.25	10	90	0.7
UC5	750	80	20	0.7	0.25	20	80	0.7
UC6	750	80	20	0.7	0.25	30	70	0.7

Table 3 – Example of SOE-SOFC test (U_{cost} curve @0.7) performed with composition 30:70 in SOE and 80:20 in SOFC.

Operation	J (mA cm ⁻²)	H ₂ :H ₂ O	H ₂ (NI/h)	U _f	RU	U _{ox}	H ₂ O (g/h)	Air (NI/h)
SOE	-400	30:70	49.15		0.70		92.11	382.24
SOE	-300	30:70	36.86		0.70		69.08	382.24
SOE	-200	30:70	24.57		0.70		46.05	382.24
SOE	-100	30:70	24.57		0.35		46.05	382.24
OCV	0	80:20	57.34	0.00	0.00		11.51	382.24
SOFC	100	80:20	57.34	0.35		0.12	11.51	382.24
SOFC	200	80:20	57.34	0.70		0.25	11.51	382.24
SOFC	300	80:20	86.00	0.70		0.25	17.27	573.36
SOFC	400	80:20	114.67	0.70		0.25	23.03	764.48

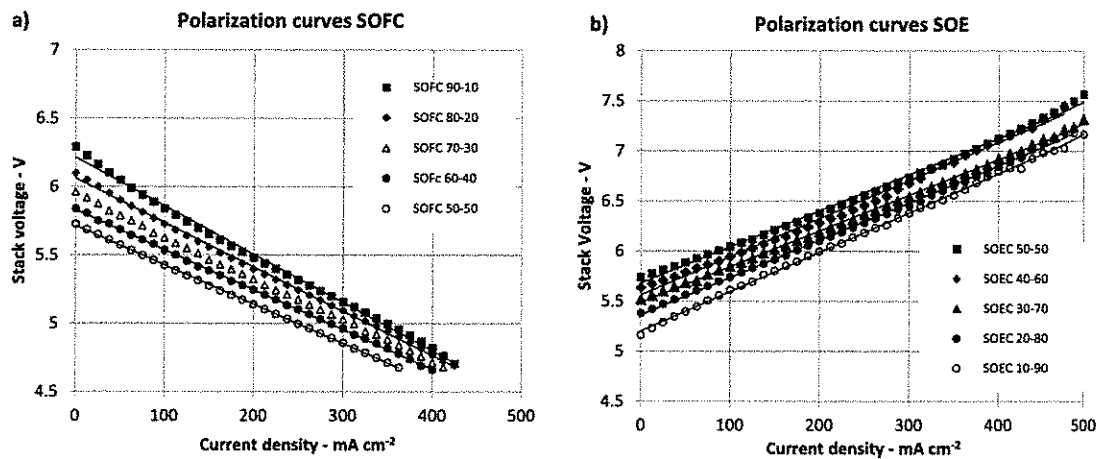


Fig. 1 – SOFC (a) and SOE (b) polarization curves.

Performance increases when the concentration of reacting species, H₂ in SOFC and H₂O in SOE, is bigger. For each polarization curve is possible to extrapolate the Area Specific Resistance (ASR), calculated as the slope of the polarization curve as reported in Fig. 1. Table 4 reports the resulting values of ASR and stack voltage under OCV condition. Aiming to evaluate the performances of the stack, ASR is reported as absolute value even if the slope of the polarization curve is the opposite changing from SOFC to SOE.

To permit a deeper analysis Fig. 2 is also reported. The graph plots the cell OCV calculated as average between the six

cells of the stack as function of the test number. Same graph reports also ASR values of Table 4 plotted compared to polarization 5. Variation on the reference are reported in percentage.

As expected cell OCV decreases linearly due to the concentration of steam. In general the concentration of water reduces Nernst potential and moving from test #1 to test #10,

Table 4 – Stack ASR and OCV of the ten polarization curves.

Test		H ₂ :H ₂ O	ASR – Ω cm ²	Stack OCV – V
1	SOFC	90:10	3.53	6.29
2	SOFC	80:20	3.50	6.10
3	SOFC	70:30	3.47	5.96
4	SOFC	60:40	3.44	5.84
5	SOFC	50:50	3.42	5.73
6	SOE	50:50	3.61	5.74
7	SOE	40:60	3.56	5.63
8	SOE	30:70	3.57	5.51
9	SOE	20:80	3.67	5.38
10	SOE	10:90	3.94	5.16

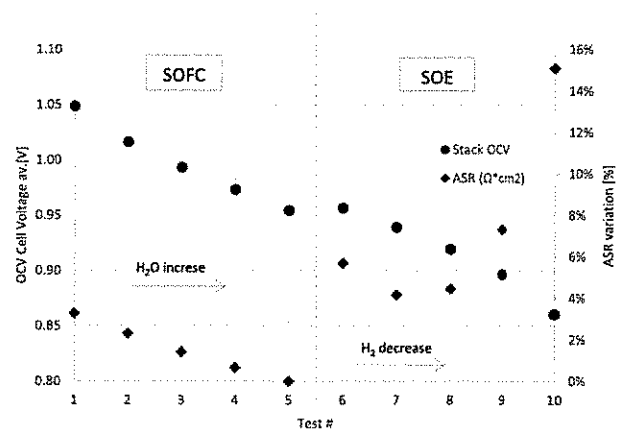


Fig. 2 – OCV cell average voltage and ASR variation as function of test number.

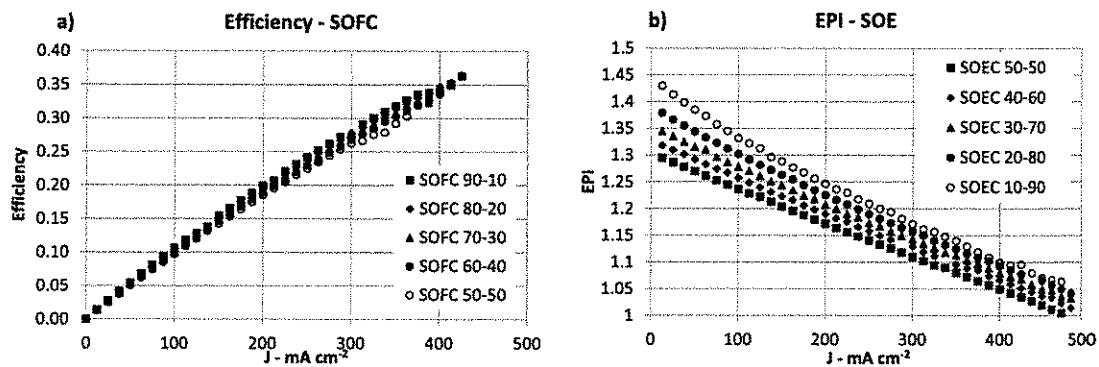


Fig. 3 – SOFC (a) and SOE (b) performance indexes.

the concentration of steam is always increasing. Curves 5 and 6 have same composition and similar OCV. The variation of ASR is always below 8% with the only exception of polarization 10, where the combination of high steam concentration and aging after the intense test caused a slight decrease in performances. The variation of ASR is linear in the SOFC operation, with a decrease of ASR values when the steam content increases (test 1 to 5). The reason for this trend is again related to the effect of steam into the stack. In the case of ASR there is an opposite tendency compared to OCV in the sense that steam has a beneficial effect reducing ASR values. Such tendency can be explained by the effect of total gas flow. The variation of steam content is performed introducing additional steam, see the test plan. Along polarization curve of the increase of gas flow reduces diffusion losses with consequent ASR decrease. The reduction of diffusion losses is much lower, compared to the effect on OCV with the consequence that overall values of voltage are smaller when steam is increased. A similar behavior is obtained for SOE operation. After the discontinuity due to the transition between SOFC and SOE operation, ASR has an initial drop and a subsequent quick increase. The concentration decrease of the active specie, in this case steam, is performed reducing hydrogen flow and consequently total gas flow. Here again the slope of

the curve is penalized when total flow is reduced. Along with a general decrease possibly caused by the intense use of the stack, what above produces an increase in ASR with steam concentration reduction.

Stack performances were evaluated considering two coefficients: stack efficiency, η_{SOFC} and electrolysis efficiency index, EPI defined as follows:

$$\eta_{SOFC} = \frac{V_s \cdot I}{LHV \cdot H_2} \quad (iv)$$

$$EPI = \frac{LHV \cdot H_2}{V_s \cdot I} \quad (v)$$

where H_2 is molar flow rate and LHV is molar lower heating value. The two performance parameters are calculated as ratio between stack entering power and produced power. For SOFC, entering power is chemical while electrical power is produced; in SOE operation is the opposite. Note that EPI is an index and not an efficiency because, as reported clearly in literature [41], such parameter can be higher than one before the thermoneutral point. It is also highlighted as the performance parameters of Eqs. iv and v refer to the stack device, so they don't take account of feeding streams pre-processing (heat flow for H_2 heating or steam evaporation).

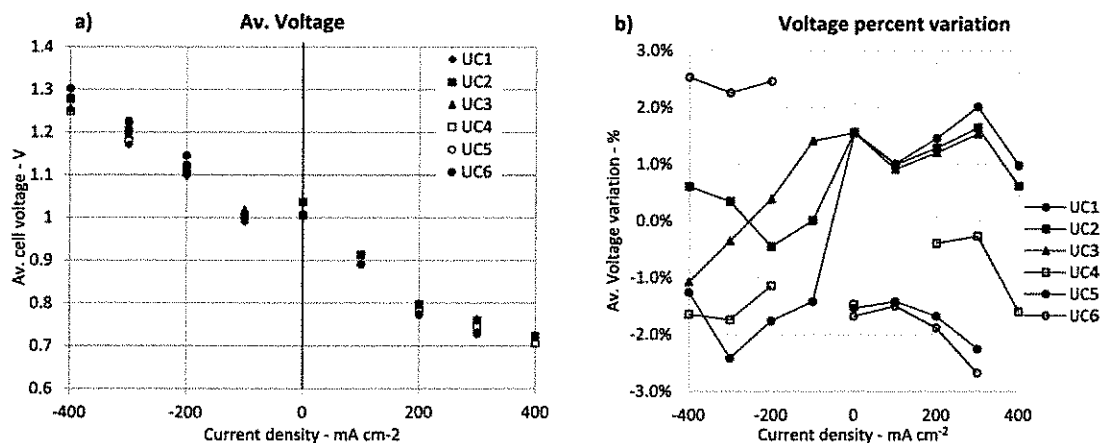


Fig. 4 – U_{cost} curves results plotted as average voltage on current density (a) and as voltage percent variation as function of current density (b).

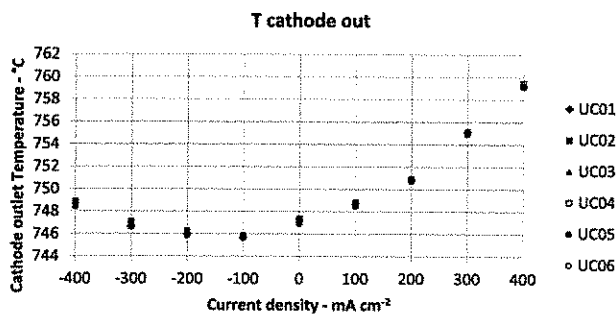


Fig. 5 – Air electrode outlet temperature as a function of current density.

Fig. 3 reports SOFC efficiency and SOE EPI for all the polarizations done. In SOFC operation, efficiency reaches 35% while in SOE the EPI achieves, at highest steam concentration, the value of 1.43. In SOE the thermoneutral, $EPI = 1$, was obtained close to 500 mA cm^{-2} .

Phase 2

During phase 2, six U_{cost} curves were performed. Fig. 4 (a) reports average voltage values as a function of current density. Negative current density values are referred to SOE operation, positive values to SOFC one. Note that one of the cell was underperforming, consequently not all the points of the curve are reported due to problem with the control system. The values reported in the graph are the average of the last 5 min of operation at each of the constant current steps. The effect of the compositions on the voltage variation is negligible. A more detailed analysis can be realized considering Fig. 4 (b). Such graph reports the variation of voltage compared to the average of the measured values. Variation of all data is always below 3%.

To analyze the thermal behavior temperature a dedicated study was performed. In detail, air electrode outlet temperature was investigated and reported as a function of current density (Fig. 5). Two main comments can be made from the

Table 5 – Step analysed for each gas mixture.

Step#	Operating Current (A)		Absolute variation (A)	Operative mode
	From	To		
1	40	32	-8	SOE
2	32	24	-8	SOE
3	24	16	-8	SOE
4	16	8	-8	SOE
5	8	0	-8	SOE
6	0	8	8	SOFC
7	8	16	8	SOFC
8	16	24	8	SOFC
9	24	32	8	SOFC
10	32	40	8	SOFC

trends shown in Fig. 5. Firstly, here again it is shown that the effect of composition is negligible. Regarding the trend of the values, during SOFC operation there is a linear increase in temperature due to heat production. Contrary in SOE there is a preliminary decrease in temperature, from 0 to c.a. 300 mA cm^{-2} , due to heat absorbance of the electrolysis reaction, followed by an increase in temperature due to all the losses. Such behavior was deeply analyzed in a previous study [40]. The graph shows that thermodynamic thermoneutral was achieved at 300 mA cm^{-2} .

Going into a detailed analysis of temperature is possible to study temperature difference, in terms of percentage variation compared to the average value (Fig. 6). Both air electrode (a) and fuel electrode (b) outlet temperatures have negligible variations.

Modelling

Aiming to investigate both thermal and electrochemical dynamic behavior of the short stack in SOFC and SOE operation, transient models were developed.

SOFC and SOE thermal dynamic models were based on experimental data presented in Section Phase 2. In particular, the attention was placed on stack voltage and fuel electrode

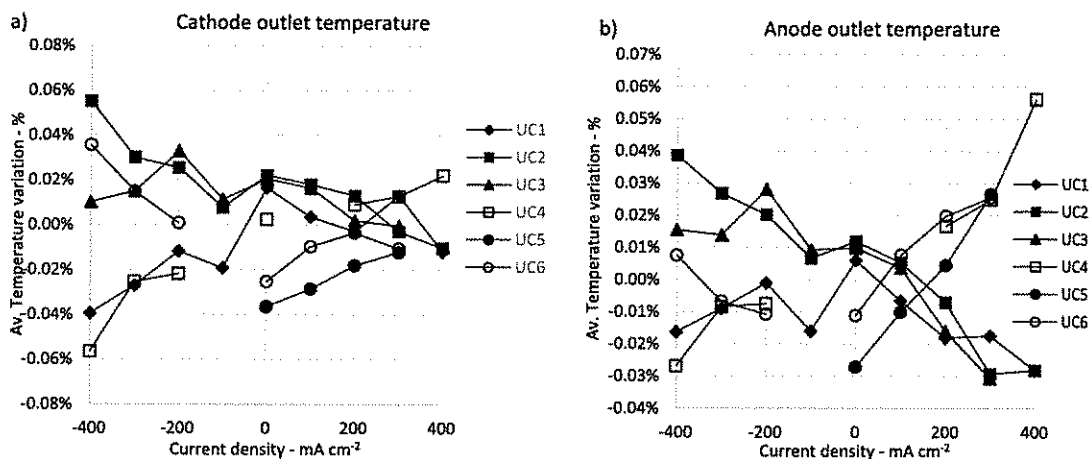


Fig. 6 – Air electrode (a) and Fuel electrode (b) outlet temperature percentage variation as a function of current density.

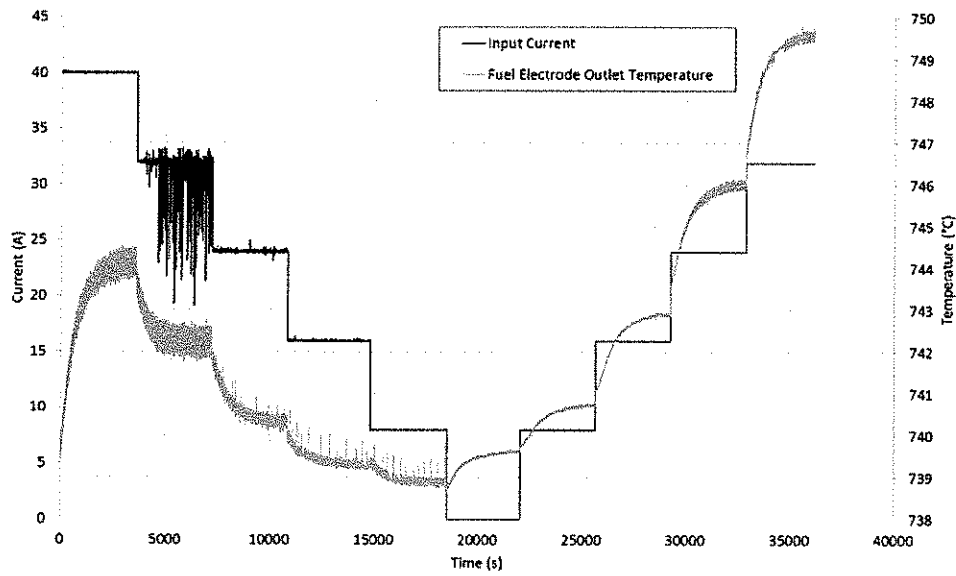


Fig. 7 – UC2 experimental data. Input current (A) Vs Outlet temperature related to fuel electrode (°C).

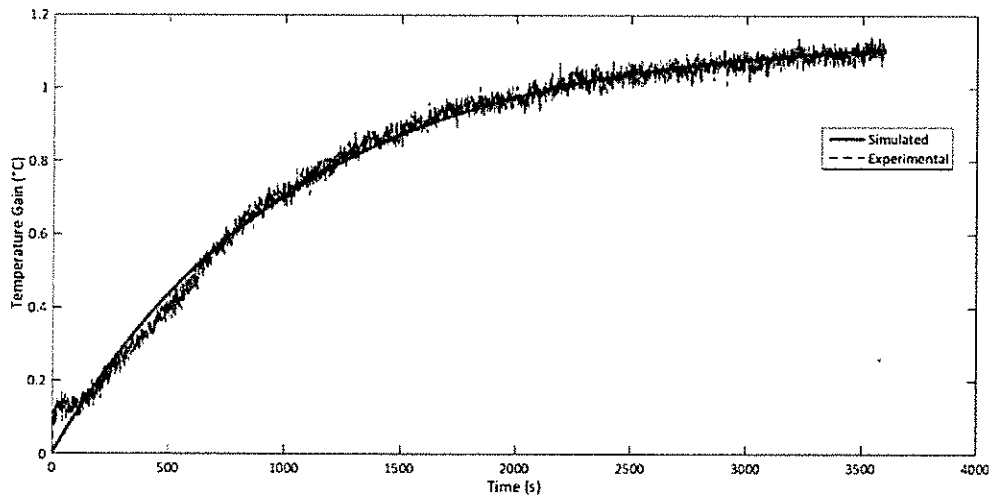


Fig. 8 – Comparison between experimental and modelled data (UC2 – Step 6).

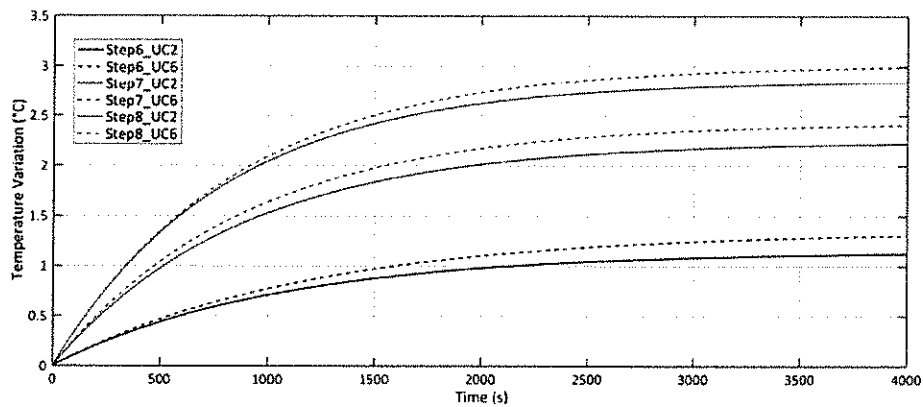


Fig. 9 – SOFC operation. Steps 6-7-8: comparison between mixtures UC2-UC6.

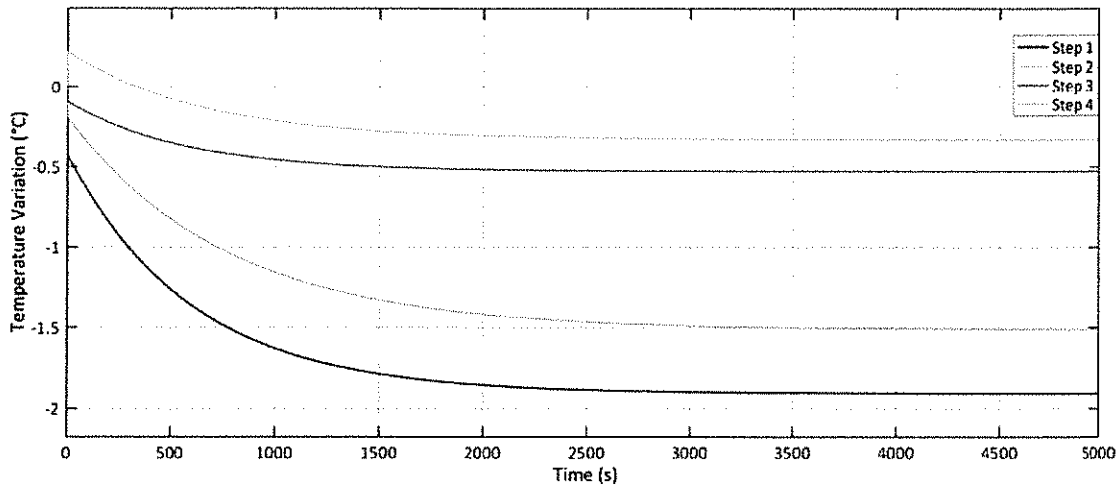


Fig. 10 – SOE temperature trends: steps 1 to 4.

Table 6 – Steps 6-7-8: transfer functions parameters.

Mixture		Step 6		Step 7		Step 8	
H ₂	H ₂ O	T	μ	T	μ	T	μ
0.9	0.1	1039.9	0.143	877.2	0.280	877.2	0.280
0.8	0.2	1186.0	0.168	896.9	0.304	844.6	0.377

outlet temperature. This temperature was chosen because obviously more dependent on feeding mixture variation.

Below the procedure followed for models' development is discussed. Specifically, for each gas mixture presented in Table 2, transfer functions of first order (in the form of Eq. iv) that correlate the current values (input signal) to the fuel electrode temperature (output signal) were determined.

In particular, for each analysed current step, the time constant (τ) and the gain (μ) of Eq. vi were calculated by applying the area method to the system experimental response as already applied to fuel cells [42,43] and fuel cell-based systems [44–47].

$$G(s) = \frac{\mu}{1 + \tau s} \tag{vi}$$

What above was repeated for tests from UC1 to UC6, both for SOFC and SOE operation. In this manner, a couple of τ and μ values was obtained for each current step and for each gas mixture.

In the dynamic modelling activity, each input current step is of 8 A (–8 A for the SOE) as reassumed in Table 5, corresponding to 100 mA*cm⁻² indicated in Table 3 (six cells in series with active area of 80 cm² each).

Fig. 7 shows an example of the experimental data used in the modelling activity, in particular it refers to UC2 test. Each current step was characterized by a fixed duration of 3600 s. Based on preliminary tests, this time was chosen because it results sufficient to achieve thermodynamic equilibrium conditions. As it can be seen, temperature trend (in blue) has a dissimilar behaviour in the first step, while it lacks in the last step. For this reason, the transfer functions were calculated for steps from 2 to 9.

In order to give a focus on the modelling activity, Fig. 8 compares the experimental data relative to the 6th current step of UC6 campaign with the simulated ones. As it can be seen, the difference between simulated and experimental data is very close and, in particular, the determined transfer function fit, according to Eq. vii, is characterized by a fitting percentage greater than 90%. For each analysed step, the temperature/voltage variation, shown in the following Figs. 8–10 and 12, represents the variation from the last achieved steady condition at the previous operating current value.

$$G(s) = \frac{0.143}{1 + 1040s} \tag{vii}$$

The main interest of this modelling activity is focused on the comparison of the temperature trends obtained for the 2 investigated gas mixtures.

As regards the SOFC, considering that tests UC1-UC2-UC3 are characterized by the same H₂:H₂O ratio, as for UC4-UC5-UC6, UC2 and UC6 were chosen so as for the performance comparison.

To this aim, Fig. 9 shows the dynamic response of UC2 and UC6 compositions for steps 6-7-8 (steps 9 and 10 are not compared due to the lack of usable experimental data for

Table 7 – Steps 1-2-3-4: SOE transfer functions.

Step 1	Step 2	Step 3	Step 4
$\frac{0.05299s - 0.0003968}{s^2 - 0.0016613s - 2.565e-16}$	$\frac{0.024s - 0.0002476}{s^2 + 0.001308s - 1.45e-17}$	$\frac{-0.0118s - 0.000119}{s^2 - 0.0017998s - 4.628e-16}$	$\frac{0.02733s - 6.432e-05}{s^2 - 0.001544s - 5.254e-16}$

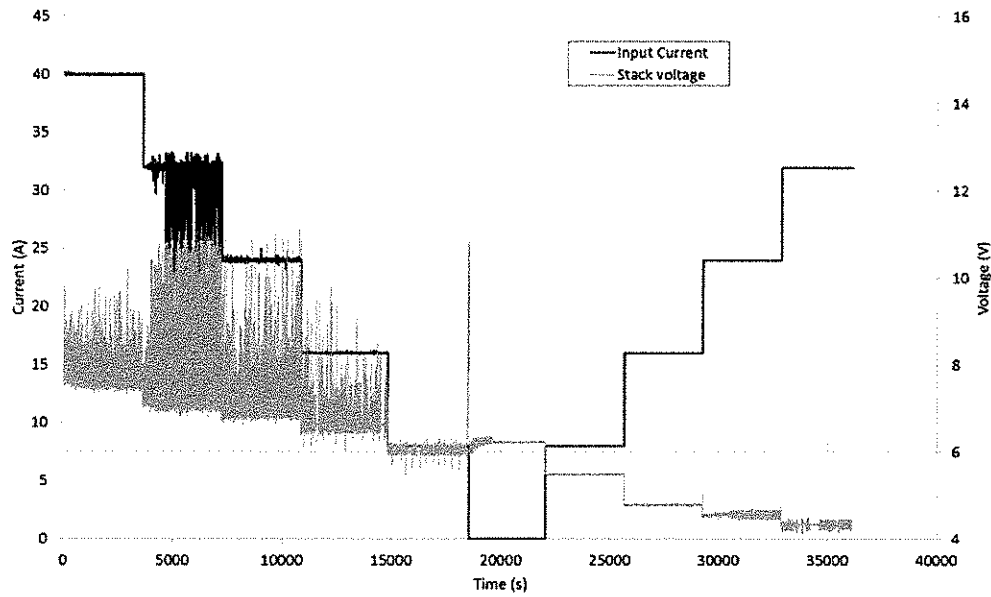


Fig. 11 – UC2 experimental data. Input current (A) Vs Stack voltage (V).

Table 8 – Steps 6-7-8: SOFC transfer functions.

Step 6	Step 7	Step 8
$\frac{-0.02115s - 3.02e-05}{s^2 + 0.2306s - 0.0003271}$	$\frac{0.03874s - 3.752e-05}{s^2 + 0.4367s + 0.0004363}$	$\frac{-0.1286s - 0.0001605}{s^2 + 4.273s - 0.005509}$

UC6). It results that the composition with a higher water content, UC6, is characterized by a longer transient, and, at the same time, a greater gain.

Modelling results are shown in Table 6. For each H₂:H₂O ratio, a pair T and μ were identified. These results, obtained for steps 6-7-8, can be used in a SOFC dynamic model to predict its temperature under different feeding composition.

Specifically, these values, placed in a “lookup table” (an interpolation matrix in Matlab/Simulink environment), allow to calculate SOFC fuel electrode temperature behaviour at any

current between the minimum and maximum used for modelling.

As regards the SOE operation, there's no significant effect of the composition on the thermal behaviour. Therefore, the model consists of transfer functions (second order) valid for all compositions. The choice of a second-order transfer function is closely linked to the experimentally measured response, a first-order transfer function is not accurate enough to replicate the effective SOE thermal behaviour. Table 7 reassumes the transfer functions obtained for each operating current density here investigated. Moreover, Fig. 10 shows the dynamic response of SOE for the steps 1-2-3-4.

A similar procedure was used to analyse the voltage dynamic behaviour varying the input current. In this case, the attention was placed on the SOFC operating mode, since, as a result of experimental data analysis, SOE collected data were

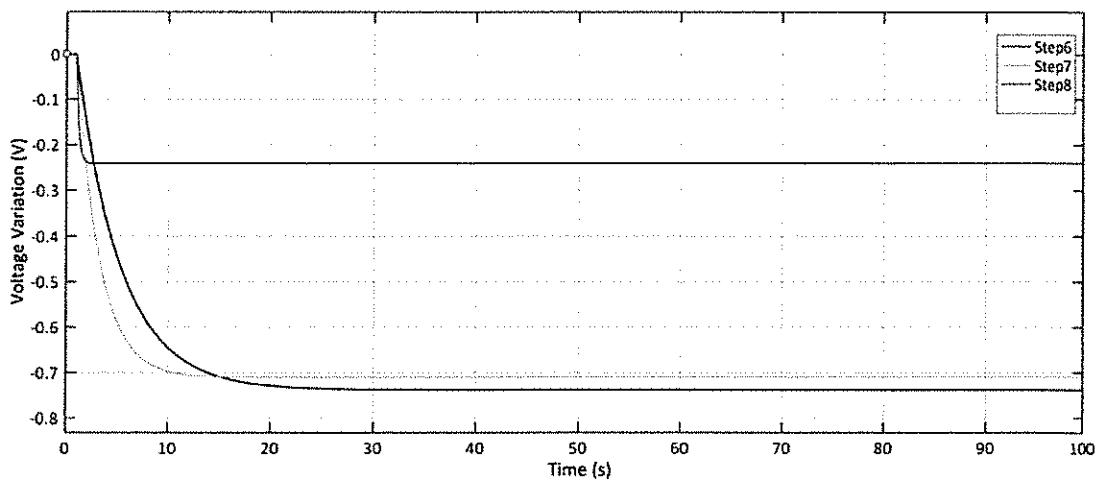


Fig. 12 – UC2 SOFC voltage trends: steps 6 to 8.

very disturbed and of low quality (as also visible in Fig. 11 for mixture UC2), so their processing was avoided.

Fig. 11 shows the voltage trend changing the SOFC current. Specifically, the data refer to UC2 composition as it is the one with the most complete experimental data set.

As resulting from the experimental campaign, it can be asserted that voltage behaviour is not significantly affected by mixture composition.

Therefore, the transfer functions (second order), summarized in Table 8, are valid for all compositions. Moreover, Fig. 12 shows the voltage dynamic response of SOFC for the steps 6–7–8. As it can be seen, the transient extinguishes very quickly and a steady-state value is obtained after 20 s for steps 7–8 and less than 5 s for step 6. Consistent with Fig. 1 (a), where up to 24 A (300 mA/cm²) there is a reduction in the slope of the voltage curve at height current, in Fig. 12 for the same step, increasing current, voltage drop decreases. For this reason, at higher current shorter transients were occurred.

Conclusions

A RSFOC stack was tested at 750 °C in both SOFC and SOE conditions studying the effect of current density and gas composition variation on the voltage and the stack thermal behavior.

In a following test the SOFC/SOE transition was investigated with a specific test design trying to identify the effect of selected gas mixture dilutions on performances, both in SOE and SOFC. It was found that increasing the mixture dilution at the fuel electrode inlet (H₂:H₂O reduction in SOFC and vice versa in SOE operation), efficiency lowers due to the dominant negative effect on OCV (decrease in SOFC and vice versa in SOE) with respect to occurred drop in polarization losses.

Starting from the experimental results, a dynamic model that provides the thermal (for both SOE and SOFC) and voltage (SOFC) transients was here developed. Moreover the model results replicate experimental data for current density from ±400 mA cm⁻² to 0 and in term of H₂:H₂O from 0.9:0.1 to 0.8:0.2 and from 0.1:0.9 to 0.3:0.7 respectively from SOFC and SOE.

Model results will be used in future works in which temperature and tension transient behavior will be implemented in our prior modelling works as [42,43].

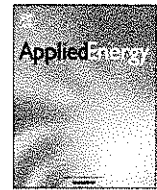
Acknowledgments

The research activity has been carried out within the project FUEL CELL LAB, funded by the Italian MIUR (PON03PE_00109_1).

REFERENCES

- [1] Barelli L, Eidini G, Bonucci F. A micro-grid operation analysis for cost-effective battery energy storage and RES plants integration. *Energy* 2016;113:831–44.
- [2] Barelli L, Desideri U, Ottaviano A. Challenges in load balance due to renewable energy sources penetration: the possible role of energy storage technologies relative to the Italian case. *Energy* 2015;93.
- [3] Chen H, Cong TN, Yang W, Tan C, Li Y, Ding Y. Progress in electrical energy storage system: a critical review. *Prog Nat Sci* 2009;19:291–312.
- [4] Diaz-Gonzalez F, Sumper A, Gomis-Bellmunt O, Villafruela-Robles R. A review of energy storage technologies for wind power applications. *Renew Sustain Energy Rev* 2012;16:2154–71.
- [5] Milewski J, Wolowicz M, Lewandowski J. Comparison of SOE/SOFC system configurations for a peak hydrogen power plant. *Int J Hydrogen Energy* 2017;42:3498–509.
- [6] Zhang H, Lin G, Chen J. Evaluation and calculation on the efficiency of a water electrolysis system for hydrogen production. *Int J Hydrogen Energy* 2010;35:10851–8.
- [7] Ferrero D, Lanzini A, Santarelli M, Leone P. A comparative assessment on hydrogen production from low- and high-temperature electrolysis. *Int J Hydrogen Energy* 2013;38:3523–36.
- [8] Gomez SY, Hotza D. Current developments in reversible solid oxide fuel cells. *Renew Sustain Energy Rev* 2016;61:155–74.
- [9] Mocoteguy P, Brisse A. A review and comprehensive analysis of degradation mechanisms of solid oxide electrolysis cells. *Int J Hydrogen Energy* 2013;1–16.
- [10] Laguna-Bercero M. a. Recent advances in high temperature electrolysis using solid oxide fuel cells: a review. *J Power Sources* 2012;203:4–16.
- [11] O'Brien JE, Stoots CM, Herring JS, Lessing PA, Hartvigsen JJ, Elangovan S. Performance measurements of solid-oxide electrolysis cells for hydrogen production. *J Fuel Cell Sci Technol* 2005;2:156.
- [12] Wang X, Yu B, Zhang W, Chen J, Luo X, Stephan K. Microstructural modification of the anode/electrolyte interface of SOEC for hydrogen production. *Int J Hydrogen Energy* 2012;37:12833–8.
- [13] Wang Z, Mori M, Araki T. Steam electrolysis performance of intermediate-temperature solid oxide electrolysis cell and efficiency of hydrogen production system at 300 Nm³ h⁻¹. *Int J Hydrogen Energy* 2010;35:4451–8.
- [14] Khan MS, Xu X, Zhao J, Knibbe R, Zhu Z. A porous yttria-stabilized zirconia layer to eliminate the delamination of air electrode in solid oxide electrolysis cells. *J Power Sources* 2017;359:104–10.
- [15] Schefold J, Brisse A, Poepke H. 23,000 h steam electrolysis with an electrolyte supported solid oxide cell. *Int J Hydrogen Energy* 2016;2:3–14.
- [16] Pan Z, Liu Q, Zhang L, Zhou J, Zhang C, Chan SH. Experimental and thermodynamic study on the performance of water electrolysis by solid oxide electrolyzer cells with Nb-doped Co-based perovskite anode. *Appl Energy* 2017;191:559–67.
- [17] Zhang L, Zhu X, Cao Z, Wang Z, Li W, Zhu L, et al. Pr and Ti co-doped strontium ferrite as a novel hydrogen electrode for solid oxide electrolysis cell. *Electrochim Acta* 2017;232:542–9.
- [18] Nechache A, Mansuy A, Petitjean M, Mougín J, Mauvy F, Boukamp BA, et al. Diagnosis of a cathode-supported solid oxide electrolysis cell by electrochemical impedance spectroscopy. *Electrochim Acta* 2016;210:596–605.
- [19] Lim CK, Liu Q, Zhou J, Sun Q, Chan SH. High-temperature electrolysis of synthetic seawater using solid oxide electrolyzer cells. *J Power Sources* 2017;342:79–87.
- [20] Yan J, Shang L, Zhao Z, Ou D, Cheng M. Co/Fe oxide and Ce O. 8 Gd O. 2 O 2- δ composite interlayer for solid oxide electrolysis cell 2016;25:840–4.
- [21] Shiraki M, Yakabe H, Uchida H. Efficiency calculations for SOFC/SOEC reversible system and evaluations of performances of button-size anode-supported cell. *ECS Trans* 2013;57:3261–7.

- [22] Hauck M, Herrmann S, Spliethoff H. Simulation of a reversible SOFC with aspen plus. *Int J Hydrogen Energy* 2016;42:10329–40.
- [23] Udagawa J, Aguiar F, Brandon NP. Hydrogen production through steam electrolysis: model-based dynamic behaviour of a cathode-supported intermediate temperature solid oxide electrolysis cell. *J Power Sources* 2003;180:46–55.
- [24] Zahadat P, Milewski J. Modeling electrical behavior of solid oxide electrolyzer cells by using artificial neural network. *Int J Hydrogen Energy* 2015;40:7246–51.
- [25] Ku Z, Zhang X, Li G, Xiao G, Wang JQ. Comparative performance investigation of different gas flow configurations for a planar solid oxide electrolyzer cell. *Int J Hydrogen Energy* 2017;2.
- [26] AlZahrani AA, Dincer I. Thermodynamic and electrochemical analyses of a solid oxide electrolyzer for hydrogen production. *Int J Hydrogen Energy* 2017;1–10.
- [27] Ni M, Leung M, Leung D. Energy and exergy analysis of hydrogen production by solid oxide steam electrolyzer plant. *Int J Hydrogen Energy* 2007;32:4648–60.
- [28] Chen B, Xu H, Zhang H, Tan P, Cai W, Ni M. A novel design of solid oxide electrolyser integrated with magnesium hydride bed for hydrogen generation and storage – a dynamic simulation study. *Appl Energy* 2017;200:260–72.
- [29] Mizusawa T, Araki T, Mori M. Temperature and reactive current distributions in microtubular solid oxide electrolysis cells. *Int J Hydrogen Energy* 2016;41:13888–900.
- [30] Di Giorgio P, Desideri U. Potential of reversible solid oxide cells as electricity storage system. *Energies* 2016;9.
- [31] Kim S-D, Yu J-H, Seo D-W, Han J-S, Woo S-K. Hydrogen production performance of 3-cell flat-tubular solid oxide electrolysis stack. *Int J Hydrogen Energy* 2012;37:78–83.
- [32] Ebbesen SD, Høgh J, Nielsen KA, Nielsen JU, Mogensen M. Durable SOC stacks for production of hydrogen and synthesis gas by high temperature electrolysis. *Int J Hydrogen Energy* 2011;36:7363–73.
- [33] Le Liu T, Wang C, Hao SJ, Fu ZQ, Peppley EA, Mao ZM, et al. Evaluation of polarization and hydrogen production efficiency of solid oxide electrolysis stack with $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$ - $\text{Ce}_{0.9}\text{Gd}_{0.1}\text{O}_{1.95}$ oxygen electrode. *Int J Hydrogen Energy* 2016;41:15970–8.
- [34] Zheng Y, Li Q, Chen T, Wu W, Xu C, Wang WG. Comparison of performance and degradation of large-scale solid oxide electrolysis cells in stack with different composite air electrodes. *Int J Hydrogen Energy* 2015;40:2460–72.
- [35] Li Q, Zheng Y, Guan W, Jin L, Xu C, Wang WG. Achieving high-efficiency hydrogen production using planar solid-oxide electrolysis stacks. *Int J Hydrogen Energy* 2014;39:10833–42.
- [36] Zheng Y, Li Q, Chen T, Xu C, Wang WG. Quantitative contribution of resistance sources of components to stack performance for solid oxide electrolysis cells. *J Power Sources* 2015;274:736–40.
- [37] O'Brien JE, Stoots CM, Herring JS, Hartvigsen J. Hydrogen production performance of a 10-cell planar solid-oxide electrolysis stack. *J Fuel Cell Sci Technol* 2005;3:213–9.
- [38] Nguyen VN, Fang Q, Packbier U, Blum L. Long-term tests of a Jülich planar short stack with reversible solid oxide cells in both fuel cell and electrolysis modes. *Int J Hydrogen Energy* 2013;38:4281–90.
- [39] Zhang X, O'Brien JE, O'Brien RC, Hartvigsen JJ, Tao G, Housley GK. Improved durability of SOEC stacks for high temperature electrolysis. *Int J Hydrogen Energy* 2013;38:20–8.
- [40] Penchini D, Cinti G, Discepoli G, Desideri U. Theoretical study and performance evaluation of hydrogen production by 200 W solid oxide electrolyzer stack. *Int J Hydrogen Energy* 2014;39:9457–66.
- [41] Graves C, Ebbesen SD, Mogensen M, Lackner KS. Sustainable hydrocarbon fuels by recycling CO_2 and H_2O with renewable or nuclear energy. *Renew Sustain Energy Rev* 2011;15:1–23.
- [42] Barelli L, Cinti G, Desideri U, Ottaviano PA. SOFC thermal transients: modeling by application of experimental system identification techniques. *Fuel Cells* 2014;14:107–22.
- [43] Barelli L, Bidini G, Ottaviano A. Solid oxide fuel cell modelling: electrochemical performance and thermal management during load-following operation. *Energy* 2016;115:107–19.
- [44] Barelli L, Bidini G, Gallorini F, Ottaviano PA. Design optimization of a SOFC-based CHP system through dynamic analysis. *Int J Hydrogen Energy* 2013;38:354–69.
- [45] Barelli L, Bidini G, Gallorini F, Ottaviano A. Dynamic analysis of PEMFC-based CHP systems for domestic application. *Appl Energy* 2012;91.
- [46] Barelli L, Bidini G, Ottaviano A. Integration of SOFC/GT hybrid systems in Micro-Cruds. *Energy* 2017;118:716–28.
- [47] Barelli L, Bidini G, Ottaviano A. Part load operation of a SOFC/GT hybrid system: dynamic analysis. *Appl Energy* 2013;110.



Coupling Solid Oxide Electrolyser (SOE) and ammonia production plant

Giovanni Cinti^{a,*}, Domenico Frattini^b, Elio Jannelli^b, Umberto Desideri^c, Gianni Bidini^a^a Università degli Studi di Perugia, via Duranti 93, 06125 Perugia, Italy^b Università degli Studi di Napoli Parthenope, Centro Direzionale Napoli Isola C4, 80143 Naples, Italy^c Università degli Studi di Pisa, Largo Lucio Lazzarino, 56122 Pisa, Italy

HIGHLIGHTS

- An innovative NH₃ production plant was designed.
- CO₂ emissions and energy consumption are studied in three different designs.
- High temperature electrolysis allows to achieve high efficiency and heat recovery.
- The coupling permits storage of electricity into a liquid carbon free chemical.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 14 April 2016

Received in revised form 7 September 2016

Accepted 9 September 2016

Available online 16 September 2016

Keywords:

Sustainable ammonia synthesis

Energy storage

Solid Oxide Electrolyser

ABSTRACT

Ammonia is one of the most produced chemicals worldwide and is currently synthesized using nitrogen separated from air and hydrogen from natural gas reforming with consequent high consumption of fossil fuel and high emission of CO₂. A renewable path for ammonia production is desirable considering the potential development of ammonia as energy carrier. This study reports design and analysis of an innovative system for the production of green ammonia using electricity from renewable energy sources. This concept couples Solid Oxide Electrolysis (SOE), for the production of hydrogen, with an improved Haber Bosch Reactor (HBR), for ammonia synthesis. An air separator is also introduced to supply pure nitrogen. SOE operates with extremely high efficiency recovering high temperature heat from the Haber-Bosch reactor. Aspen was used to develop a model to study the performance of the plant. Both the SOE and the HBR operate at 650 °C. Ammonia production with zero emission of CO₂ can be obtained with a reduction of 40% of power input compared to equivalent plants.

© 2016 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

Ammonia was presented recently as a potential fuel and as an eligible energy vector [1]. Such opportunity comes from ammonia high energy density. Volumetric and gravimetric energy density of ammonia at room temperature and 10 bar are 22.5 MJ/kg and 13.6 GJ/m³ respectively, higher than other candidates such as hydrogen and methanol and not far from fossil sources such as gasoline, diesel and compressed natural gas. The utilization of ammonia as a fuel was reported with interesting results in traditional power units [2,3]. Ammonia combustion releases heat that can be used in both internal and external combustion engines [4]. In addition, the use of ammonia as a fuel is also demonstrated in fuel cells with consequent advantages in terms of low emissions and high efficiency. Ammonia is a carbon free fuel, no CO₂ is

emitted when burnt, and in fuel cell applications the risk of NO_x emissions is reduced because no direct mix between oxygen and ammonia occurs. A sustainable use of ammonia both as a chemical and as a fuel requires a renewable production of nitrogen and hydrogen [5,6]. Ammonia is usually produced in the Haber-Bosch (HB) loop reactor from pure hydrogen and nitrogen that are fed and recirculated in the reactor, operating at high pressure and high temperature. Hydrogen is commercially produced from fossil sources, such as natural gas, normally in an autothermal steam methane reformer or in a steam methane reformer, while nitrogen is separated from air. In order to call ammonia a green chemical, both hydrogen and nitrogen should be produced and supplied using renewable energy as a primary source: biomass [7], wind [8] or solar energy [9] can guarantee a renewable and sustainable production of ammonia based on thermochemical or electrochemical processes [10]. In particular, from water electrolysis and air separation powered by renewable electricity it is possible to produce green ammonia without any CO₂ emission to the atmosphere [11].

* Corresponding author.

E-mail address: giovanni.cinti@unipg.it (G. Cinti).

This kind of plant can also be used in electric grids with a large penetration of intermittent renewable energy sources to store energy into a liquid fuel that allows the spatial and temporal separation, of energy supply and demand. The green ammonia plant allows to store directly the renewable electricity into a chemical with high energy density, quite easy to stock and to transport. This concept was recently presented and studied in the literature [12,13]. An additional advantage of the proposed concept is that compared to the storage of renewable electricity into fuels such as methane, methanol or synthetic diesel; ammonia production does not require carbon dioxide but nitrogen as additional gas input. Both nitrogen and carbon dioxide can be separated from the air but the higher concentration of nitrogen increases efficiency and lowers production cost in comparison with CO₂.

Recent developments of Solid Oxide Fuel Cells (SOFCs) renewed interest in high temperature Solid Oxide Electrolysers (SOEs), based on the same materials and design [14]. SOEs operate with higher power density and higher efficiency compared to traditional electrolysers, especially if fed with high temperature waste heat, because the electrochemical conversion of water at high temperatures opens the opportunity to store both heat and electricity in the produced hydrogen [15]. Such opportunity is currently under study in industrial processes where waste heat recovery at high temperature is available. For example, coupling is possible with nuclear power plants where heat is usually a by-product [16], or with solar collectors in solar thermal power plants, where renewable heat comes from the sun [17] in order to achieve energy storage or production of secondary fuels or energy vectors [18]. In this scenario, the coupling of SOE and HB process is extremely interesting. NH₃ synthesis is an exothermic chemical reaction at high temperature and pressure, producing a large amount of heat. The integration between the HB process and the SOE potentially allows to transfer the heat produced by the HB reactor to the SOE to increase its performance. Moreover, the feasibility of ammonia production from renewable energy via electrolysis of water is very important to produce sustainable fuels and chemicals.

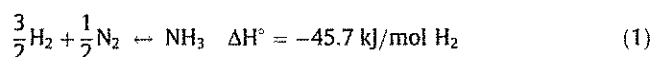
This study proposes an improvement to green ammonia production plants introducing, for the first time, an SOE for H₂ production in a HB process. In addition to the studies already cited above literature reports, for example, system designs based on wind power with a small efficiency and a limited degree of integration [19]. The new concept proposed in this work permits system implementation and allows to improve the power to ammonia storage efficiency. An electrochemical model and a thermodynamic simulation of a system layout, in which an SOE and an NH₃ plant are integrated and operated at high pressure and temperature, has been developed to evaluate the potential of the proposed concept with respect to other green solutions and to a reference benchmark case, based on the use of natural gas. The effect on the global efficiency and on avoided CO₂ emissions is evaluated. This work can enhance the development of green ammonia and can offer, at the same time, an interesting application of SOE, pushing the development and application of the technology not only in the energy sector but also in the chemicals production field. In the following paragraphs the theory and modelling of SOE and HB process are presented, the design of the model is described and, finally, the main results are analysed and commented.

2. Theoretical background and model development

2.1. Considerations for coupling and SOE electrochemical model

Ammonia synthesis is realized mainly with the plant design developed by Haber and Bosch (HB). The HB process considered in this work is based on a modern layout, as shown in Fig. 1.

Ammonia synthesis is an exothermic process based on the following chemical reaction:



The distinctive physical aspects of this equilibrium reaction is the contrasting effect of pressure and temperature on thermodynamics and kinetics, according to the following equation [20]:

$$K_{\text{NH}_3} = K_\phi \cdot K_p = \left(\frac{\phi_{\text{NH}_3}}{\phi_{\text{N}_2}^{1/2} \cdot \phi_{\text{H}_2}^{3/2}} \right) \cdot \left(\frac{n_{\text{NH}_3}}{n_{\text{N}_2}^{1/2} \cdot n_{\text{H}_2}^{3/2}} \cdot \frac{n_{\text{tot}}}{P_{\text{tot}}} \right) \quad (2)$$

The left hand side is the chemical equilibrium constant in which non ideal fugacity coefficients are accounted in the term K_ϕ . The term K_p account for the reactor operating conditions, especially the presence of inert species, which can decrease the molar fraction of reactants and so the production of ammonia. On the other hand, as the total pressure increases, also the conversion of reagents into ammonia increases. The reaction kinetic is governed by the Temkin-Pyzhev equations [21] in which the reaction rate of the reverse process is negligible as the reactor temperature increases, but, due to the exothermic characteristic of the thermodynamic equilibrium, the chemical equilibrium constant is lower. Ammonia synthesis is realized mainly with the plant design developed by Haber and Bosch (HB). The HB process considered in this work is based on a modern layout, as shown in Fig. 1. The main features, according to the above thermodynamic and kinetic considerations, are the recycle streams, two stages of ammonia separation (before and after each reactor passage) and heat recovery from products to increase productivity and reduce energy requirements. As a consequence, an efficient and high conversion of reactants in the HB reactor is favored by:

- High pressure and temperature of the reactor.
- Stoichiometric H₂/N₂ ratio in the reactor feeding stream.
- Absence of inerts or diluting species.
- Auxiliary streams for purging inerts and for recirculation of unconverted gasses.

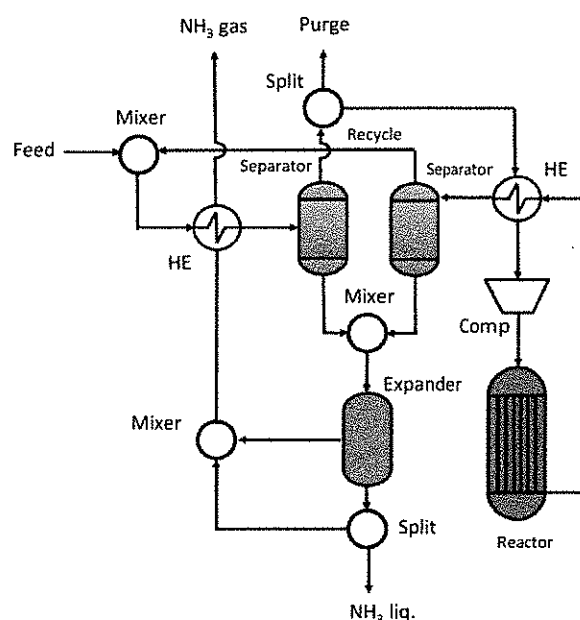
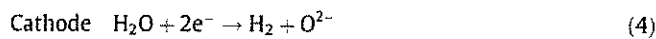


Fig. 1. HB process layout for production of NH₃.

From the physical point of view, the first two points determine the conversion per single pass in the HB reactor and, according to thermodynamics, an isothermal reactor should be preferred, with an efficient reaction heat recovery system, which is the major source of waste heat. The last two points mainly contribute to the global conversion and productivity of the plant. In fact, a feeding stream with a low content of inerts limits the need to partially purge unreacted gases, reduces the hydrogen losses in the tail gas, increases the recycle ratio in the HB loop as more ammonia can be produced and separated at each pass and the global conversion efficiency increases. Other relevant processes that affect the HB plant are syngas production and purification. Steam Methane Reforming (SMR) and Water Gas Shift (WGS) are the main processes involved in syngas production while physical and chemical separation processes, based on condensation, membranes and absorption at low temperatures, are used to purify syngas from species such as H_2O , CO , CO_2 and CH_4 [22]. On the other hand, electricity-based processes for H_2/N_2 production, such as electrolysis, cryogenic air separation and Pressure Swing Adsorption (PSA) [23] can be considered for syngas production as they involve low temperatures and mild thermodynamic conditions. So, from the thermodynamic point of view, exothermal and endothermal processes are simultaneously involved and, considering the presence of high and low temperature units, heat recovery issues arise in order to optimize the system design and process integration as these aspects influence the energy efficiency and the production of the overall plant. In this background, it is clear that a proper integration between different technologies to improve the HB process requires an overall system evaluation in order to verify benefits and drawbacks of each solution.

SOE conceptual scheme is depicted in Fig. 2.

Anodic and cathodic reactions are:



The overall electrolysis reaction is the following:



The reaction is endothermal and the enthalpy change has to be supplied externally. In electrochemical devices, such as fuel cells, energy is supplied as electrical (ΔG) and thermal energy ($T\Delta S$). Thermal energy is usually generated inside the cell, recovering heat from internal polarization losses. With the increase of temperature, total energy requirement (ΔH) increases but the amount of electrical energy is smaller. The result is a higher efficiency of the high temperature electrolyser than the low temperature ones. If part of the necessary heat is supplied by an external source, it is possible to achieve higher than one efficiency, obtaining the conversion of thermal energy into chemicals.

Thermodynamic values at 650 °C are reported in Table 1. Note that values are normalized for one mole of H_2 produced (electrolysis) or reacting (ammonia synthesis).

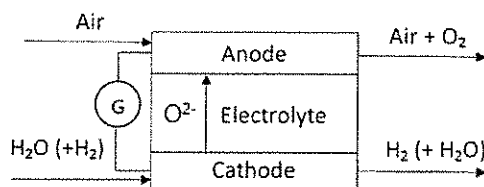


Fig. 2. SOE conceptual scheme.

Ammonia synthesis can supply up to 98% (39.14 kJ/mol H_2) of the heat required, in terms of entropy, of the electrolysis reaction (39.66 kJ/mol H_2). In order to couple thermodynamic and electrochemical calculations for integration with the HB process, a zero dimension model for the SOE was developed as follows.

In an SOE, the electrical inputs creates the electron flows involved in the reactions. In electrolysers, voltage is a function of current density and can be described with a very simple linear law as follows:

$$V = OCV + ASR(T) * J \quad (6)$$

Where OCV is the Open Circuit Voltage, ASR is Area Specific Resistance and J is current density. Both OCV and ASR are function of temperature. This simplified approach is supported by experimental results that show how the polarization curve is highly linear at high temperature [24]. In additions authors already demonstrated how ASR does not change between SOFC and SOE operation [25]. This assumption will be used in defining values of ASR. In the following equation (iv) SOE electrical power density is described as follows:

$$P_e = V * J = OCVJ + ASR * J^2 \quad (7)$$

Energy output of the SOE is the energy of produced hydrogen. Such energy is the chemical energy of the fuel usually quantified in the LHV. For this study such energy was considered the enthalpy of the reaction (1) equivalent to the LHV of the fuel. Differently from LHV, the calculation was performed at the operational temperature. Specific chemical energy (in terms of energy flow per unit area) converted in the SOE is defined as follows:

$$\Delta H = dh(T) * H_{2mol} \quad (8)$$

where H_{2mol} is the specific molar flow (mol/m²) of hydrogen and $dh(T)$ is the enthalpy of the reaction (1). Hydrogen specific flow and current density are connected to the electrochemical parameters by the equation:

$$H_{2mol} = \frac{J}{2 * F} \quad (9)$$

where F is the Faraday constant. Differently from fuel cells, the chemical reaction in electrolysers is endothermal and the heat losses of the process, such as overpotential losses, are in equilibrium with reaction requirements. The energy balance is completed by the contribution of heat transfer with the external source. The latter takes into account the SOE heat losses into the environment and the heat inlet from the environment that may come from a high temperature heat source, as in this application. External heat (Q) is calculated, for the present study, as a function of hydrogen energy production by the following equation

$$Q = k * \Delta H \quad (10)$$

The energy balance of the SOE is defined by the following equation:

$$P_e = \Delta H + Q = \Delta H(1 + k) \quad (11)$$

Differently from fuel cells, were produced heat has to be subtracted by the air flow, in SOEs the external heat contribution plays an important role not only on the operational temperature but also on the performance. Assuming the stack at constant temperature, Eq. (12) directly relates current density and temperature to the external heat. Thus, temperature definition and k allow to calculate the current density. Considering the previous equations J can be calculated as:

$$J = \frac{1}{ASR} \left(\frac{dh(T) * (1 + k)}{2 * F} - OCV \right) \quad (12)$$

Efficiency is calculated as the ration between energy output (ΔH) and energy input (P_e) by the following equation:

Table 1
Thermodynamic values of involved reactions.

	Temperature [°C]	Pressure [bar]	ΔH [kJ/mol H ₂]	$T\Delta S$ [kJ/mol H ₂]	ΔG [kJ/mol H ₂]
Water electrolysis	650	1	247.32	39.66	207.65
Ammonia synthesis	650	550	-39.14	-83.68	44.54

$$\eta = \frac{\Delta H}{P_e} = \frac{1}{1+k} \quad (13)$$

Note that the efficiency is only a function of external heat contribution (k). In the specific case of $k = 0$ the SOE operates in adiabatic conditions (no heat exchange with the environment) with a 100% theoretical efficiency. This operational condition is called thermoneutral. All equations were implemented in a zero-dimensional model developed using Excel and FluidProp® as cathode for thermodynamic parameters. The OCV value was calculated using the well-known Nernst equation considering at cathode inlet a steam flow with 10% hydrogen (necessary for the integrity of the electrode) and at anode inlet air. ASR values are derived from a SOFC commercial product [17] due to the aforementioned equivalence with SOE ones.

2.2. Description of developed case studies

In order to assess the profitability of coupling SOE and HB process for the production of green ammonia, Process Flow Diagrams (PFDs) were realized in the AspenPlus environment to compare different scenarios. In particular, three case studies were developed. A brief description of the relevant process physics of each developed layout is given below. More details about the flowsheets and the specific parameters used to model the single blocks in AspenPlus are given in Appendix A. Considering the high temperature and high pressure conditions for the HB loop, no kinetic approaches are applied for simulations and only the thermodynamic equilibrium is considered.

The plant layout for the reference case, named NG-REF-HB, with conventional NH₃ production from natural gas is shown in Fig. 3.

In this plant the upstream process is the CH₄ steam reforming, where many units are required for the clean-up of the reformed gas in order to obtain a feed stream for the ammonia production with the appropriate composition. In fact, the reforming process is endothermic and requires a large amount of heat. The first burner is adiabatic and the amount of oxygen introduced is not sufficient to oxidize all the fuel and a partial gasification occurs with H₂ and CO formed together with CO₂ with the aim to partially provide the necessary heat for reforming and H₂ for the synthesis. In the subsequent WGS section, CO reacts with steam to produce H₂, thus increasing hydrogen content in the syngas for ammonia production. The Acid Gas Removal unit (AGR), the Methanator unit (METH) and the Condenser (COND) are devoted to the physical and chemical separation and removal of CO₂, CO and H₂O after the WGS section. These processes require a much lower temperature (50–100 °C) than that of WGS (250–550 °C). The waste heat available is recovered to produce the high temperature steam for the reforming unit. From the thermodynamic point of view, the operating conditions of these units must be accurately chosen in order to correctly simulate the physics of the process.

In Fig. 4 the low temperature electrolysis case, named EL-PSA-HB, with H₂ produced from commercial electrolyzers and N₂ produced by PSA, is shown.

This layout is completely different from the previous one. The feeding streams to the plant are air and water, at ambient condition, as primary sources for H₂ and N₂. From the physical point of view, the principal characteristic of this solution is that no chemical energy, as fuel, is introduced and the only energy input

is electricity, thus the thermodynamic of the process does not involve high temperatures, pressures or large heat exchangers. In agreement with the actual water electrolyzers performance, a hydrogen purity of 99.9% and an electrical efficiency of 64.4% have been specified for this block [26]. The air separation unit is based on a PSA standard process at room temperature and 30 bar, with commercial carbon molecular sieves as adsorbent [27].

Finally, the case of SOE and HB with heat recovery from the synthesis reactor, SOE-PSA-HB, is shown in Fig. 5.

From the thermodynamic point of view, the main difference with the previous case is that the low temperature electrolysis is replaced by the high temperature one. The physics of the upstream section, representing the SOE unit, has been already discussed in previous works [28] and slightly modified as specified in Appendix A. Briefly, the main modifications for thermodynamic reasons concern the operating temperature and the thermal input of SOE that matches the conditions imposed by the HB reactor. This ties the coupling task to the energy balance and thermodynamic equilibrium of the overall system.

3. Results and discussion

Fig. 6 reports the variation of hydrogen production rate and efficiency (a) and of electrical power input and voltage (b) as a function of temperature for three values of k : $k = 0$ (thermoneutral), $k = 0.2$ (heat into the SOE) and $k = -0.2$ (heat losses). Fig. 6a shows a trade-off between efficiency and hydrogen production: with higher values of k smaller efficiency can be obtained. As expected from Eq. (13), efficiency is not affected by temperature variation while hydrogen production increases with temperature due to the decrease of internal resistances (ASR). Regarding Fig. 6b, the electrical power density increases with temperature and is higher when k is smaller (heat losses). Cell voltage remains constant at current density variation while it increases when k decreases. Thermoneutral voltage obtained is approximately 1.29 V in agreement with the literature [14].

Considering the coupling of ammonia synthesis with SOE, it is possible to calculate the k factor, considering the heat flow from the ammonia reactor calculated from the Aspen model. At the operating temperature of 650 °C all other SOE parameters are calculated and reported in Table 2.

In order to compare the performance of the different cases considered, the following Table 3 shows the major comparative parameters for the three scenarios. They refer only to the HB loop subsection of the flowsheets.

The global efficiency η_{glob} is based on the overall H₂ molar balance around the flowsheet as it takes into consideration the chemical conversion of hydrogen and also the separation of the unreacted moles for the internal recycle. On the other hand, the reactor efficiency η_{react} represents the conversion of H₂ per pass on molar basis inside the block REACTOR as it depends on the inlet molar composition and the operating condition of the HB loop. Comparing the values, remarkable differences are visible between the reference case, i.e. NG-REF-HB, and the remaining two, while the results obtained for the two cases with the use of electrolyzers seem to be very similar. The first two plants, the first fed with natural gas and the second based on a low temperature standard electrolyzer, can be operated at middle HB reactor conditions (250 bar

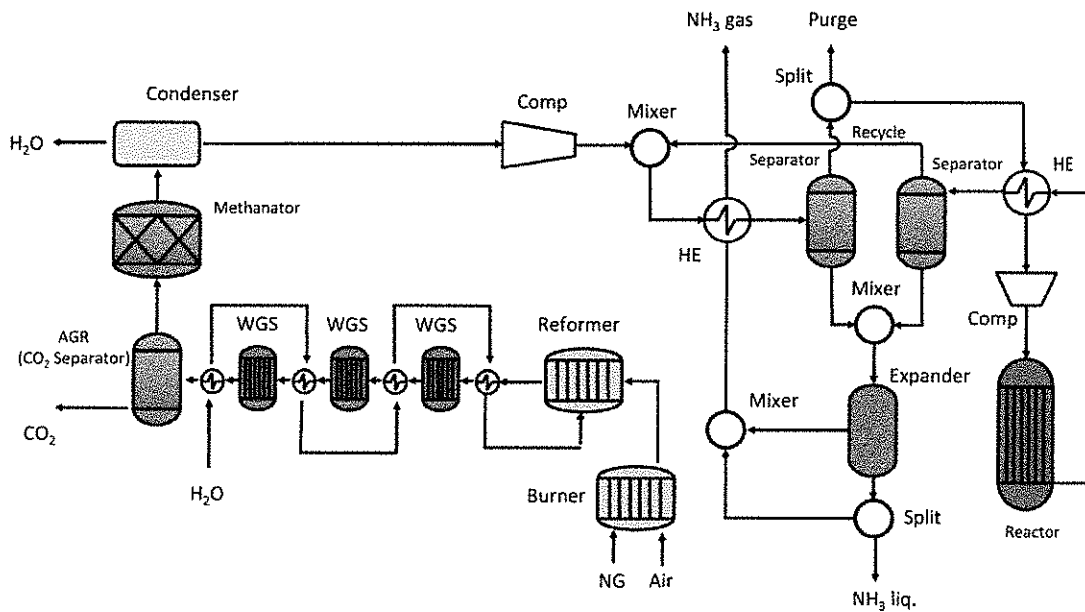


Fig. 3. Layout of the reference case NG-REF-HB.

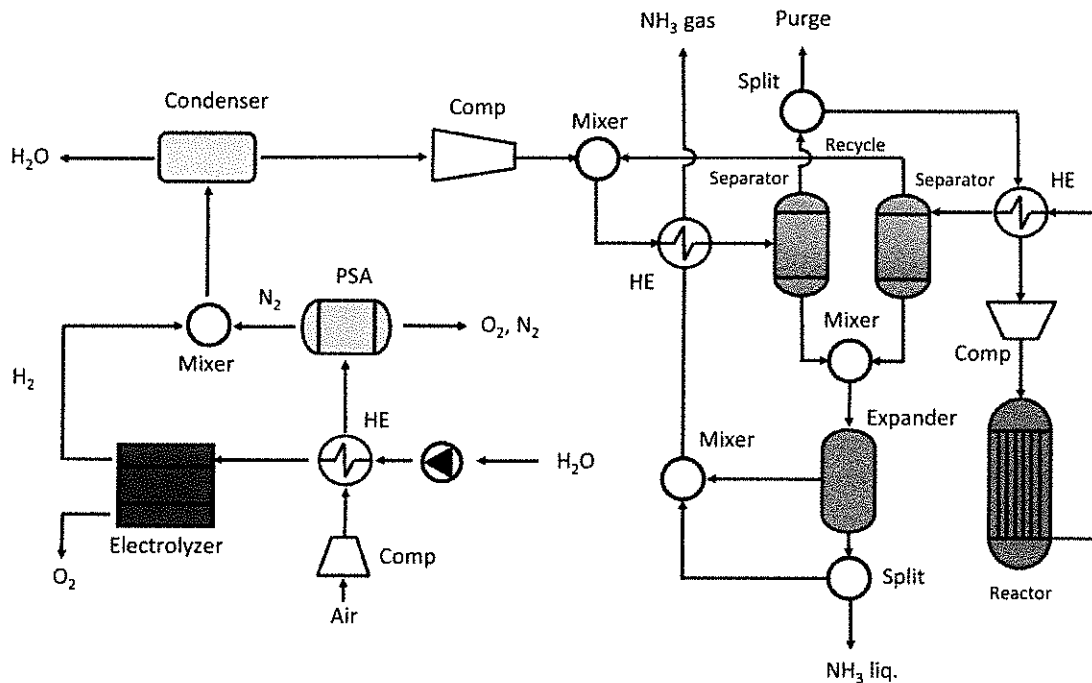


Fig. 4. Layout of the low temperature electrolysis case EL-PSA-HB.

and 550 °C). SOE necessarily requires heavy HB reactor conditions (550 bar and 650 °C) for coupling, as discussed in Section 2.1. Contrarily to what could be expected, the conversion per pass and the global efficiency is very different for NG-REF-HB and EL-PSA-HB, even if temperature and pressure of the HB reactor are the same. This is due to the high content of inerts in the reference case, i.e. CH₄, that dilutes the reactant steam and affects negatively the K_p term as envisaged from Eq. (2). Moreover, the dilution of the products by CH₄ affects the physical separation of ammonia because it

reduces the partial pressure of NH₃ in SEP01 and SEP02 blocks. This is the cause of the low η_{glob} and the deviation of the H₂/N₂ ratio inside the HB loop. As a consequence, the resulting purge ratio, i.e. the purge gas stream, should be higher in order to avoid the accumulation of inerts in the loop. On the contrary, the two cases with electrolyzers have very similar HB loop performances due to the complete absence of inerts. This is a distinguishing feature of ammonia production when electrolysis and air separation are used to provide the H₂/N₂ mixture. In particular, the purge ratio is very

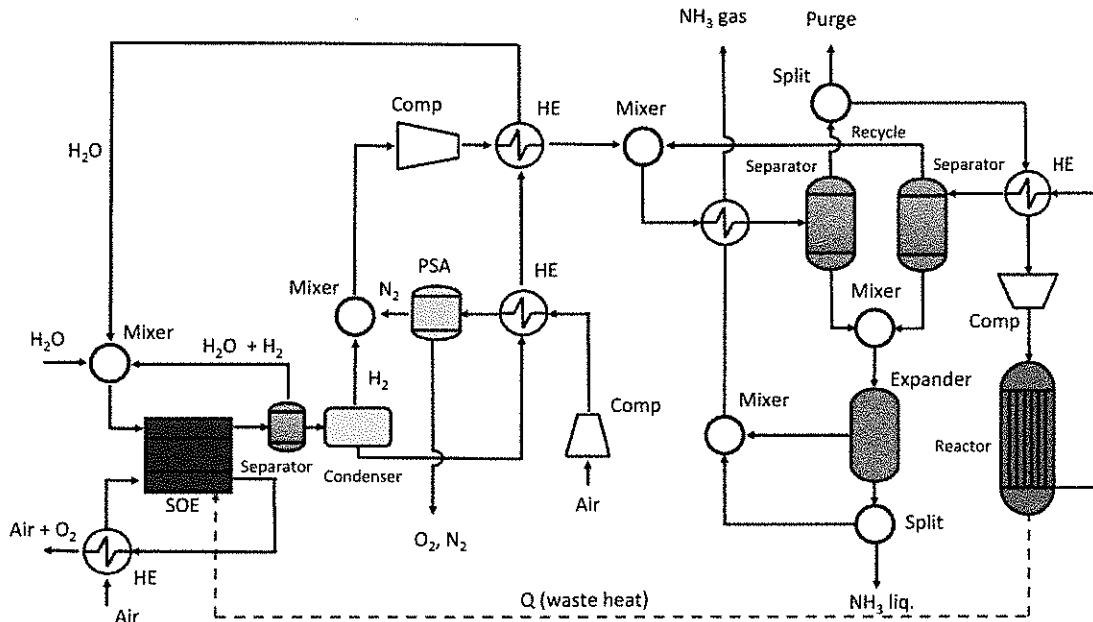


Fig. 5. Layout of the high temperature electrolysis case SOE-PSA-HB.

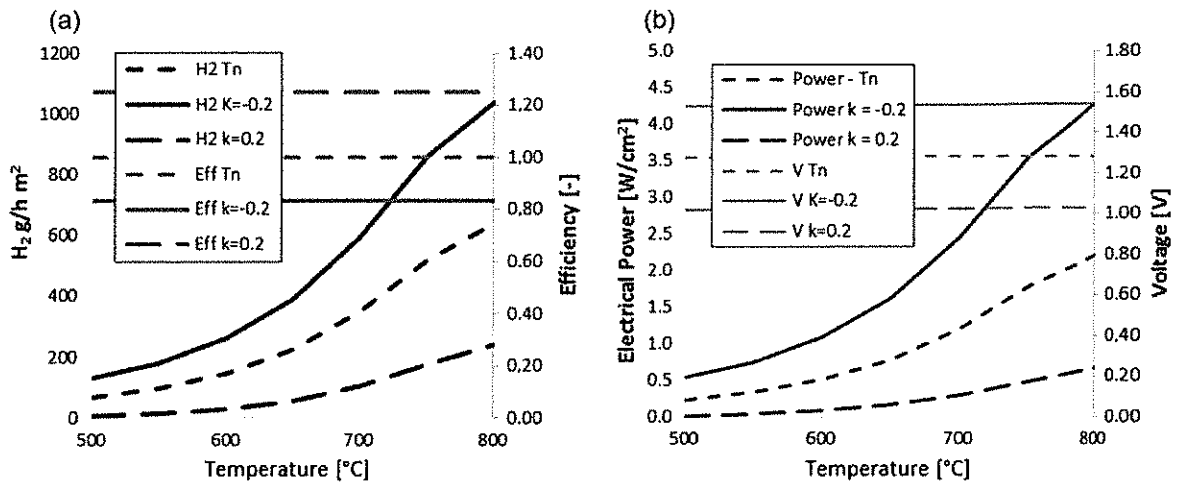


Fig. 6. Effect of temperature and k (a) hydrogen production rate and efficiency; (b) electrical power and voltage.

Table 2
SOE parameter when integrated with NH₃ synthesis.

Parameter	Units	Value
k	–	0.15
Temperature	°C	650
ASR	Ω·cm ²	0.57
OCV	V	0.94
H ₂	g/h·m ²	102.56
J	A/cm ²	0.27
Voltage	V	1.09
Power density	W/cm ²	0.35
η	–	1.17

small, so that more reactants can be recycled to the reactor instead of being purged with inerts. As a consequence, the recycle ratio, the NH₃ produced and the global efficiency increase.

In Table 4 the overall energy consumptions and the equivalent Greenhouse Gas (GHG) emissions of the three cases are reported. The equations used for calculations are the following:

$$\text{Spec. Chem. Cons.} = \frac{\sum \dot{n}_i \cdot \text{LHV}_i}{\dot{m}_{\text{NH}_3}^{\text{TOT}}} \quad (14)$$

$$\text{Spec. Elec. Cons.} = \frac{\sum P_j^{\text{el}}}{\dot{m}_{\text{NH}_3}^{\text{TOT}}} \quad (15)$$

$$\text{Spec. Heat Cons.} = \frac{\sum P_j^{\text{th}}}{\dot{m}_{\text{NH}_3}^{\text{TOT}}} \quad (16)$$

$$\text{GHG Emissions} = \frac{(\dot{n}_{\text{CO}} + \dot{n}_{\text{CO}_2} + \dot{n}_{\text{CH}_4}) \cdot M_{\text{CO}_2}}{\dot{m}_{\text{NH}_3}^{\text{TOT}}} \quad (17)$$

Table 3
HB loop performances for the three different case studies.

	$(\text{H}_2/\text{N}_2)_{\text{FEED}}$ (mol/mol)	$(\text{H}_2/\text{N}_2)_{\text{N}}$ (mol/mol)	Rec. ratio (mol/mol)	Purge ratio (mol/mol)	LHV _{PURGE} (MJ/kg)	η_{glob} (%)	η_{react} (%)
NG-REF-HB	3.07	3.17	3.33	0.44	26.76	61.12	18.25
EL-PSA-HB	3.01	3.02	4.29	0.08	21.35	92.33	21.06
SOE-PSA-HB	3.00	3.03	4.30	0.06	21.43	93.40	19.53

Table 4
Energy performances for the three different case studies.

	Spec. chem. cons. (kW h/kg _{NH3})	Spec. elec. cons. (kW h _{e1} /kg _{NH3})	Spec. tot. cons. (kW h/kg _{NH3})	Spec. heat cons. (kW h _{th} /kg _{NH3})	GHG emissions (kg _{CO2eq} /kg _{NH3})	Storage eff. (%)
NG-REF-HB	12.81	1.77	14.59	-1.20	2.05	35.50
EL-PSA-HB	0	14.25	14.25	-1.63	0	36.35
SOE-PSA-HB	0	8.30	8.30	-1.14	0	62.41

$$\text{Storage Eff.} = \frac{\dot{m}_{\text{NH}_3}^{\text{TOT}} \cdot \text{LHV}_{\text{NH}_3}}{\sum \dot{n}_i \cdot \text{LHV}_i + \sum P_j^{\text{el}}} \cdot 100 \quad (18)$$

where $\sum \dot{n}_i \cdot \text{LHV}_i$ is the total chemical energy entering the flowsheet, $\sum P_j^{\text{el}}$ is the sum of all the electric power and $\sum P_j^{\text{h}}$ is the sum of all the heat flux of the generic block j in the flowsheet. The specific total consumption is the sum of the values calculated from Eqs. (14) and (15). They are all normalized on $\dot{m}_{\text{NH}_3}^{\text{TOT}}$, i.e. the total quantity of ammonia produced, considering both liquid and gaseous ammonia in output streams. As reference, positive values are intended as energy provided to the system, while negative values represent energy that should be subtracted from the system.

The first evident results is that for the case EL-PSA-HB and SOE-PSA-HB the specific chemical consumption is zero: these systems are fed only by air and water so that there is no energy cost. On the contrary, the NG-REF-HB uses a fuel, i.e. CH₄, as feedstock. As expected, only the first case has a net environmental impact in terms of GHG emissions due to the CO₂ release during the reforming and clean-up operations of the fuel. This is mainly concentrated

in the AGR block of the flowsheet in Fig. 3, because it is one of the units devoted to the removal of oxygenated species from the syngas for NH₃ synthesis. The remaining two cases have no net emissions because their feedstock is “carbon-free”. The purge gas of the NG-REF-HB contains CH₄, which is a greenhouse gas, but the emission related to this gas is not accounted to the plant due to the fact that this stream can be stored as a secondary fuel or as a chemical feedstock for other purposes. Moreover, keeping in mind the previous purge ratios and global efficiencies, it can be concluded that the quantity of purge gas produced is considerable in the first system but negligible in the other two. Finally, a significant difference on the total and heat consumptions occurs in all cases. In particular, even though the HB loop performances are quite the same, the cases with electrolyser have very different consumptions. Comparing the reference case and the standard electrolyser case, it is worth to observe that the total consumption is not so different, so that there is a little benefit in preferring the electrolysis pathway, power-intensive but low impacting, rather than the traditional one, based on fossil fuel and less electricity-consuming with the perspective to produce a valuable tail gas. However, the

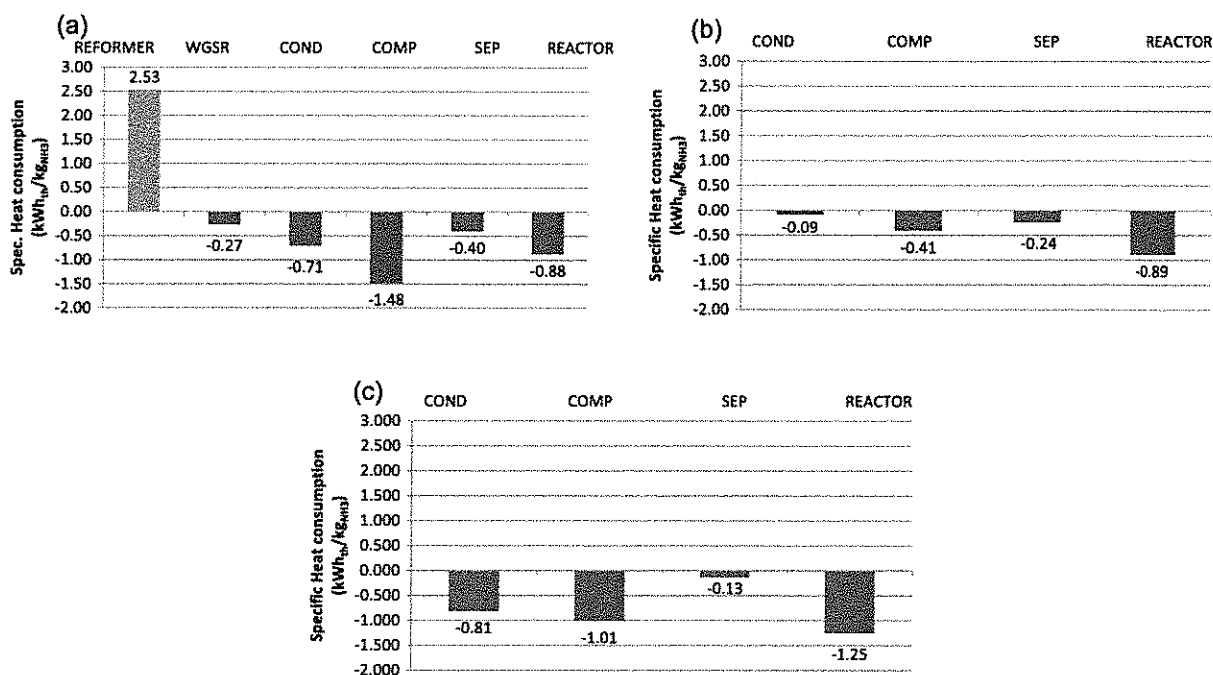


Fig. 7. Specific heat consumption of ancillaries: (a) NG-REF-HB; (b) EL-PSA-HB; (c) SOE-PSA-HB.

results show that in the case of coupling SOE, PSA and HB, the total energy consumption can be potentially lower than all other proposed solutions. In addition, considering the perspective of the storage of electricity into a chemical vector, i.e. NH_3 , the calculation shows that the SOE-HB coupling has a potential storage efficiency of 62.4% and that it is almost two times higher than EL-PSA-HB and NG-REF-HB cases. The advantage of using high efficiency and high temperature electrolysis in a SOE is thus evident and integrated in a conventional chemical process like ammonia production.

To better understand this, in Fig. 7, the detailed consumption of heat is specified for the main ancillaries of the three developed scenarios. For the reference case, which has more ancillaries than the other cases, there is a considerable endothermal term, due to the heat required by the reformer block, and a higher exothermal contribution from the compression units, due to the intercooling.

The other two cases have smaller contributions, due to the simpler layout with no fuel thermal treatments or gas clean-up units. Comparing Figs. 7a and b, the heat available from HB reactor is the same because the operating conditions are the same but, due to the presence of a large amount of inerts, the amount of heat that should be removed from COMP is larger. The presence of species other than H_2 , N_2 and NH_3 in the HB loop is a strong limit for productivity but also energy efficiency of traditional HB plant because, if compared to the contribution of an electrolysis-based plant, they cause lower conversion and larger amounts of waste heat. From this point of view, the SOE-PSA-HB offers more flexibility and opportunity for a convenient recovery of waste heat. In Fig. 7c not all the contributions reported are really lost because, as shown

by the flowsheet of Fig. A4 in appendix, the heat from COND and REACTOR are used to achieve the thermal equilibrium of the SOE block because this acts as a “heat sink” for the system. In detail, the heat from REACTOR is entirely used to feed SOE and is an input for the design of the electrolyser. Compared to low temperature electrolysis steam is supplied to SOE instead of water. The amount of energy to vaporize water, $1.79 \text{ kW h/kg}_{\text{NH}_3}$ can be recovered partially from the compressor, where $1.01 \text{ kW h/kg}_{\text{NH}_3}$ are released from intercoolers, and from condenser, where $0.81 \text{ kW h/kg}_{\text{NH}_3}$ are released at high temperature. An additional advantage of this configuration is that no cooling of ammonia reactor is required reducing the environmental impact in terms of plant waste heat. One of the actual issue for SOE is that it requires a large amount of heat, or a high current density, from external sources to sustain the high temperature electrolysis process. If SOE and HB loop can be operated at similar temperatures, their coupling offer the opportunity to recover the large amount of heat available from HB reactor to achieve a stable thermal equilibrium in the SOE, without increasing the current density, i.e. the electricity consumption, as explained in the model above. The single contributions of COND and REACTOR in the SOE-PSA-HB case are reported for completeness and to show how they become of interest if compared to that of the mild HB reactor conditions.

The direct consequence of this fact can be immediately realized if the single electric consumptions are compared as shown in Fig. 8.

The first two columns clearly show the advantage of the high temperature electrolysis over the low temperature one, if additional heat is provided from another source. The consumptions related to the PSA subsection are the same for both cases, as expected, while the electric consumptions related to the compression units of the HB loop are very different, essentially due to the high pressure imposed at the REACTOR block of the SOE-PSA-HB. It is worth noting that for the reference case the electric consumption is represented only by the compression units in the HB loop, and that its value is $1.77 \text{ kW h/kg}_{\text{NH}_3}$, the highest among the three scenarios, because a large part of this energy is used to compress inerts which dilutes the syngas stream.

The coupling of SOE and HB deeply affects the energy balance of the plant when the electrolysis is used in place of the reforming of a fossil fuel. Moreover, the type of electrolysis process modifies the distribution of energy consumption within the plant itself. The situation is briefly explained in Fig. 9.

When a low temperature electrolysis is used to produce the syngas for the HB loop, the electric consumption related to the electrolyser operation is >95% of the total, i.e. the overall energy balance is in practice restricted to the electrolyser, so that there is no flexibility and the whole plant is dependent from the electrol-

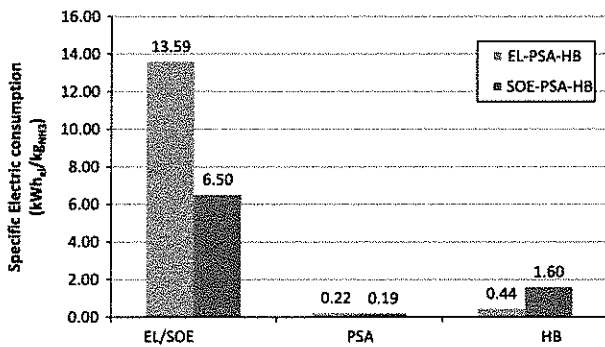


Fig. 8. Comparison of the electric consumption for EL-PSA-HB and SOE-PSA-HB cases.

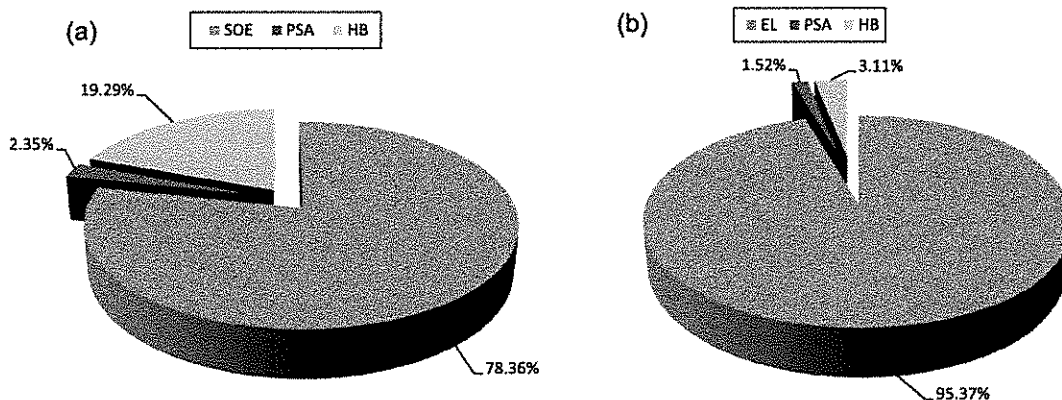


Fig. 9. Distribution of the specific electric consumption: (a) EL-PSA-HB; (b) SOE-PSA-HB.

ysis subsection. On the other hand, when a SOE is implemented, its impact on the overall energy balance is lower, as shown in Fig. 9b: the share for the electrolysis subsection decreases from 95.37% to 78.36%.

4. Conclusions

A novel system for the production of green ammonia was designed and analysed. The introduction of high temperature electrolyser, such as SOE, permits to increase efficiency and system integration. The high efficiency of SOE permits electrical input reduction of the electrolyser unit and to recover heat produced in the Haber-Bosch reactor. The electricity consumption is decreased down to 8.30 kWh/kg NH₃ and zero emission of CO₂ is obtained. In the field of chemical production, the new system permits the production of zero emission ammonia and increases the flexibility of the plant compared to traditional electrolysers. Regarding this point, the stationary results reported here are encouraging for the further improvement of plant integration with other renewable energy systems, such as wind and solar systems connected to the SOE, in order to take into consideration power production variation and a dynamic modelling of the layout. Considering also the use of ammonia as a fuel and the energy storage application, a high efficiency and highly flexible concept is developed. Renewable electrical energy can be stored with an efficiency up to 62% into a liquid vector that can be transported and directly used both for power and transport applications.

The results assess the potential of a novel energy concept based on SOE as conversion technology and ammonia as fuel. NH₃ can be produced by distributed renewable energy sources directly on site. The chemical obtained is easily stored locally or transported and introduced in a more complex distribution system. In both cases it is possible to consider the final utilization in the transport sector, as a fuel, or in the power production sector for electrification with no emission of CO₂.

Appendix A

An advanced HB flowsheet has been drawn using AspenPlus Suite, according to the flowsheet of Fig. A1 below, and is always the same for each case.

The description of the parameters used in AspenPlus is as follows. The "MCompr" block type was used with the rigorous ASME method for efficiency, heat and power consumption calculation of the multistage compressor unit COMP01. Intercooling temperature after each stage and the final discharge pressure were specified for this block. EVA01 is modelled with a "HeatX" block type and the cold stream outlet temperature is fixed in order to exchange as much heat as possible. The specifications for the remaining blocks are summarized in Table A1.

The rigorous "RGibbs" reactor block is used to model the HBR with the Aspen built-in PENG-ROB method for physical and chemical equilibrium calculations. The vapour-liquid equilibrium flash drum model "Flash2" is the block used for SEP01, SEP02 and EXPANDER. The splitting ratio, i.e. the amount of purge gas, of the block SPLIT01 is used as convergence variable for the PFD. In order to increase the ammonia recovery from HBR product stream, the tail gas from EXPANDER and a part of the liquid ammonia produced are used to push the cooling of the feeding stream in EVA01. The cold stream coming out from this block, i.e. P-GAS, is gaseous NH₃ with some traces of inerts which can be still considered as useful product of the plant. The HB loop thus described produces ammonia both in liquid and gaseous forms.

The complete flowsheet of the reference case, NG-REF-HB is shown in Fig. A2.

Natural gas and air, at ambient temperature, are fed to an adiabatic combustor (BURNER), and a partial gasification process occurs with H₂ and CO formed together with CO₂. The N₂ necessary for NH₃ synthesis is fed in with the AIR stream. In the block REFORMER, a pre-heated steam stream is added to the burnt gas. The Steam-to-Carbon ratio (S/C) is fixed at 2 so that the Steam Methane Reforming (SMR) reaction can take place. Afterwards, three reactors are used (WGSR1, WGSR2, WGSR3) to complete the Water Gas Shift reaction (WGS). The reactions involved in these blocks are the following:

Table A1
Block specifications for the HB loop.

Specification	HBR	SEP01	SEP02	EXPANDER
Temperature (°C)	550	0	20	–
Pressure (bar)	250	250	250	1
Heat duty (kW)	–	–	–	0

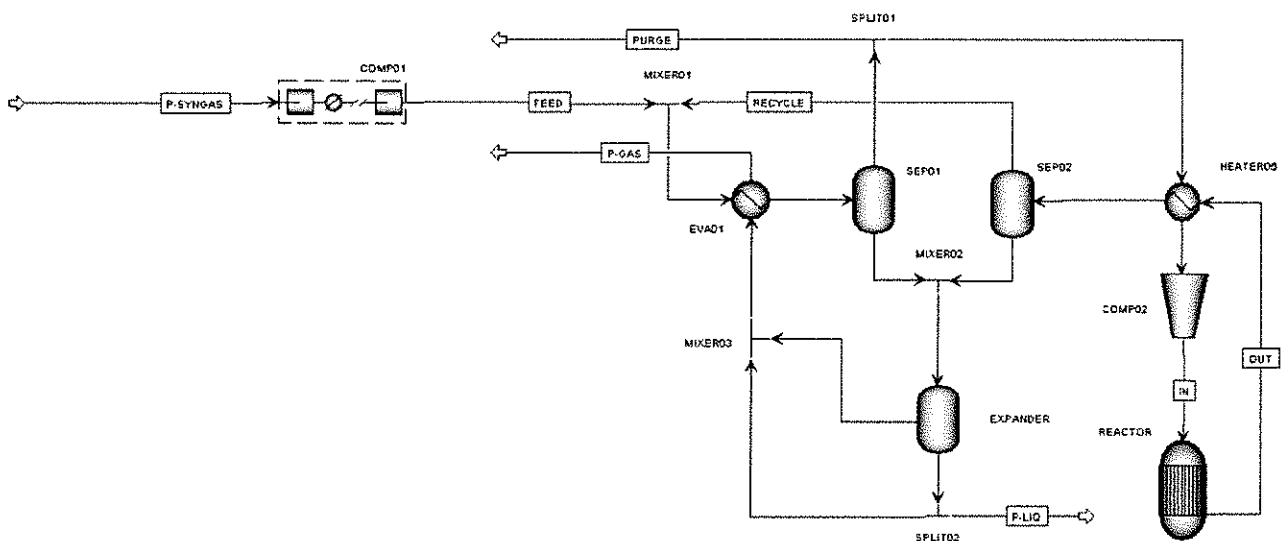


Fig. A1. Flowsheet of the HB loop developed in AspenPlus.

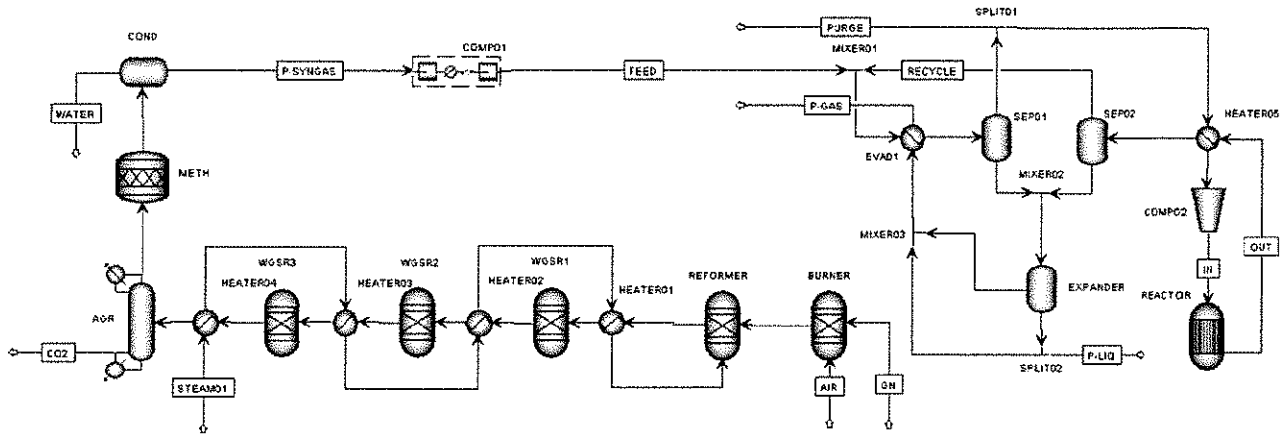


Fig. A2. Flowsheet diagram of the reference case NG-REF-HB.



The reactor block used to model all these units is “RGibbs” and the built-in NRTL Aspen property method was used for calculations. A “Sep” block with standard specifications concerning temperature ($\approx 50\text{--}80\text{ }^\circ\text{C}$) and separation efficiency ($>90\%$) is used for the AGR block [22]. An adiabatic “RStoic” reactor block is used by

METH to convert residual CO_2 and COND is a “Flash2” block type, operated at $15\text{ }^\circ\text{C}$ to allow and complete gas/liquid separation. Table A2 summarizes the specifications of those last three blocks.

The second case is named EL-PSA-HB and its schematic flow diagram is shown in Fig. A3.

The HB loop is the same as above, while the upstream architecture for low temperature electrolysis and PSA is simpler: water is compressed in a hydraulic pump (PUMPO1) and heated in a counter current heat exchanger (HEATER01) to the electrolyser (ELECTR) operating conditions, namely $80\text{ }^\circ\text{C}$ and 30 bar. The built-in “Pump” block has been used to model PUMPO1, HEATER01 is a “HeatX” block type and ELECTR is an “RGibbs” reactor block. The electrochemical calculations for ELECTR block are based on commercial alkaline electrolyzers data from literature [26]. The PSA standard process was modelled in Aspen Plus by means of a compressor (COMP03) and a separator (PSA) in series at 30 bar, room temperature and overall N_2 purity of 99.9% [23]. The property method used in this section was the NRTL built-in Aspen model.

Finally, the last case is the SOE-PSA-HB process illustrated in the flowsheet of Fig. A4.

In this case only, the ammonia reactor was forced to operate at $650\text{ }^\circ\text{C}$ and 550 bar. In order to have comparable results with the

Table A2
Block specifications for clean-up section.

Specification	AGR	METH	COND
Temperature ($^\circ\text{C}$)	50	-	15
Pressure (bar)	1	1	1
Heat duty (kW)	-	0	-

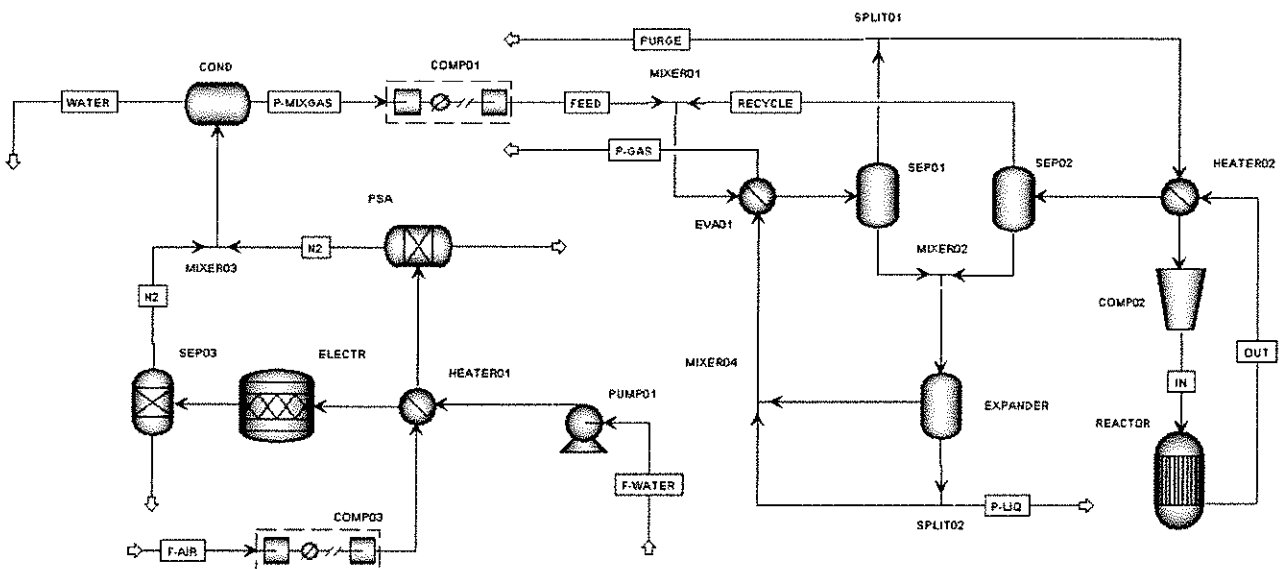


Fig. A3. Flowsheet diagram of the low temperature electrolysis case EL-PSA-HB.

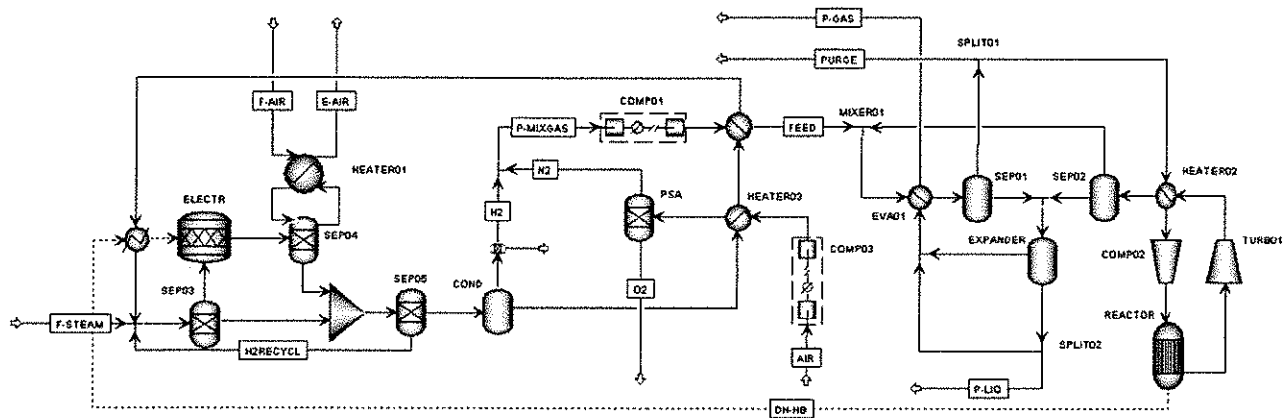


Fig. A4. Flowsheet diagram of the high temperature electrolysis case SOE-PSA-HB.

previous cases, the different pressure level is controlled only in the HB REACTOR block by using a pair of compressor/turbines before and after the block (COMPO2, TURBO1). Selected temperature and pressure are the highest that can be accepted for the HB process and, at the same time, this temperature is the lowest possible to consider in a SOE at the present stage of development. The original flowsheet representing the SOE unit [28] was here modified for the HB coupling purpose with the addition of a condenser (COND) to separate produced hydrogen (H₂) from residual water, and a pre-heater at anode side (HEATER01), for preheating of the sweeping air (F-AIR) by heat recovery from oxygen enriched air (E-AIR) coming from anode outlet. The water separated from the COND block is used for cooling the feeding air of PSA block (AIR), and the feeding stream (FEED) before the HB loop. Afterwards, separated water is recycled to SOE as steam. Finally, the tear stream DH-HB represents the chemical heat available from the REACTOR block, due to ammonia reaction according to Eq. (1), that is used in SOE. The external subroutine for electrochemical calculations is based on the model described in Section 2.1, in order to consider the thermal contribution of HB coupling to the SOE energy balance. The only inputs to the subroutine are the operating temperature, already set at 650 °C, and the heat supplied to the SOE (DH-HB) per unit of hydrogen produced, to calculate k used in Eq. (10).

References

- [1] Zamfirescu C, Dincer I. Ammonia as a green fuel and hydrogen source for vehicular applications. *Fuel Process Technol* 2009;90:729–37. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2009.02.004>.
- [2] Frigo S, Gentili R. Analysis of the behaviour of a 4-stroke SI engine fuelled with ammonia and hydrogen. *Int J Hydrogen Energy* 2013;38:1607–15. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.10.114>.
- [3] Ryu K, Zacharakis-Jutz GE, Kong S-C. Effects of gaseous ammonia direct injection on performance characteristics of a spark-ignition engine. *Appl Energy* 2014;116:206–15. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.11.057>.
- [4] Zamfirescu C, Dincer I. Using ammonia as a sustainable fuel. *J Power Sources* 2008;185:459–65. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2008.07.097>.
- [5] Comotti M, Frigo S. Hydrogen generation system for ammonia-hydrogen fuelled internal combustion engines. *Int J Hydrogen Energy* 2015;40:10673–86. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.06.060>.
- [6] Ferrero D, Lanzini A, Santarelli M, Leone P. A comparative assessment on hydrogen production from low- and high-temperature electrolysis. *Int J Hydrogen Energy* 2013;38:3523–36. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.01.065>.
- [7] Andersson J, Lundgren J. Techno-economic analysis of ammonia production via integrated biomass gasification. *Appl Energy* 2014;130:484–90. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.07.029>.
- [8] Morgan E, Maxwell J, McGowan J. Wind-powered ammonia fuel production for remote islands: a case study. *Renew Energy* 2014;72:51–61. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2014.05.034>.
- [9] Patil A, Laumans L, Vrijenhoef H. Solar to ammonia – via proton's nFuel units. *Proc Eng* 2014;83:322–7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2014.09.023>.
- [10] Giddey S, Badwal SPS, Kulkarni A. Review of electrochemical ammonia production technologies and materials. *Int J Hydrogen Energy* 2013;38:14576–94. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.09.054>.
- [11] Mingyi L, Bo Y, Jingming X, Jing C. Thermodynamic analysis of the efficiency of high-temperature steam electrolysis system for hydrogen production. *J Power Sources* 2008;177:493–9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2007.11.019>.
- [12] Schulte Beerbühl S, Fröhling M, Schultmann F. Combined scheduling and capacity planning of electricity-based ammonia production to integrate renewable energies. *Eur J Oper Res* 2015;241:851–62. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2014.08.039>.
- [13] Fratini D, Cinti G, Bidini G, Desideri U, Goffi R, Janselli E. A system approach in energy evaluation of different renewable energies sources integration in ammonia production plants. *Renew Energy* 2016;99:472–82.
- [14] Laguna-Bercero MA. Recent advances in high temperature electrolysis using solid oxide fuel cells: a review. *J Power Sources* 2012;203:4–16. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2011.12.019>.
- [15] O'Brien JE, McKellar MG, Harvego EA, Stoots CM. High-temperature electrolysis for large-scale hydrogen and syngas production from nuclear energy – summary of system simulation and economic analyses. *Int J Hydrogen Energy* 2010;35:4808–19. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.09.009>.
- [16] Sanz-Bermejo J, Muñoz-Antón J, Gonzalez-Aguilar J, Romero M. Optimal integration of a solid-oxide electrolyser cell into a direct steam generation solar tower plant for zero-emission hydrogen production. *Appl Energy* 2014;131:238–47. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.06.028>.
- [17] Cinti G, Baldinelli A, Di Michele A, Desideri U. Integration of Solid Oxide Electrolyzer and Fischer-Tropsch: a sustainable pathway for synthetic fuel. *Appl Energy* 2016;162:308–20. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.052>.
- [18] Wendel CH, Braun RJ. Design and techno-economic analysis of high efficiency reversible solid oxide cell systems for distributed energy storage. *Appl Energy* 2016;172:118–31. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.03.053>.
- [19] Tallaksen J, Bauer F, Hultberg C, Reese M, Ahlgren S. Nitrogen fertilizers manufactured using wind power: greenhouse gas and energy balance of community-scale ammonia production. *J Clean Prod* 2015;107:626–35. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.130>.
- [20] Appl M. Ammonia, principles and industrial practice. 1st ed. Weinheim: Wiley-Vch; 1999. <http://dx.doi.org/10.1002/pawr.10970260815>.
- [21] Boudart M. Kinetics and mechanism of ammonia synthesis. *Catal Rev* 1981;23:1–15. <http://dx.doi.org/10.1080/03602458108068066>.
- [22] Mondal P, Dang GS, Garg MO. Syngas production through gasification and cleanup for downstream applications – recent developments. *Fuel Process Technol* 2011;92:1395–410. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2011.03.021>.
- [23] Ivanova S, Lewis R. Producing nitrogen via pressure swing adsorption. *Chem Eng Prog* 2012;108:38–42.
- [24] Liso V, Nielsen MP, Kær SK. Influence of anodic gas recirculation on solid oxide fuel cells in a micro combined heat and power system. *Sustain Energy Technol Assessments* 2014;8:99–108. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seta.2014.08.007>.
- [25] Penchini D, Cinti G, Discepoli G, Desideri U. Theoretical study and performance evaluation of hydrogen production by 200 W solid oxide electrolyzer stack. *Int J Hydrogen Energy* 2014;39:9457–66. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.04.057>.
- [26] <www.fch.europa.eu/sites/default/files/study%20electrolyser_0-Logos_0_0.pdf> (last access 30/06/2016).
- [27] <www.linde-engineering.com/internet/global/lindeengineering/global/en/images/HA_N_T_L_e_09_150dpi19_6131.pdf> (last access 30/06/2016).
- [28] Cinti G, Discepoli G, Bidini G, Lanzini A, Santarelli M. Co-electrolysis of water and CO₂ in a solid oxide electrolyzer (SOE) stack. *Int J Energy Res* 2016;40:207–15. <http://dx.doi.org/10.1002/er.3450>.



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PERUGIA

POLO SCIENTIFICO DIDATTICO DI TERNI

Relazione sull'attività da ricercatore di Luca Senni.

**Relazione tecnico-scientifica sull'attività di ricerca svolta dal
06.06.2016 al 06.06.2017 da Luca Senni**

In adempimento agli obblighi previsti dall'articolo l'art. 1, comma 6, del contratto da ricercatore a tempo determinato ex art. 24, comma 3, della Legge 240/2010, il sottoscritto chiede al Consiglio del Dipartimento di Ingegneria di esprimere un giudizio sull'attività scientifica e didattica svolta nell'anno che va dal 06 giugno 2016 al 06 giugno 2017. A tal fine, allega una descrizione delle principali attività scientifiche e didattiche svolte nel periodo in oggetto.

Terni, 5 ottobre 2017

In fede
(Luca Senni)

Il responsabile scientifico
(Marco Ricci)

Dott. Luca Senni
Polo Scientifico-Didattico di Terni
Strada di Pentima, 4, 05100, Terni
Università degli Studi di Perugia - Dipartimento di Ingegneria
e-mail: luca.senni@unipg.it;
Web site:
<http://www.ing.unipg.it/it/aree/elettrotecnica>
<http://www.gruppoelettrotecnica.it/?who=dettunita&id=22>



Sommario

1. Informazioni personali
2. Introduzione
3. Attività didattica
 - a. Corsi per affidamento ufficiale
 - b. Tesi di Laurea
 - c. Altro
4. Attività di tutoraggio nuovi studenti
5. Pubblicazioni scientifiche
6. Attività scientifica: ricerca di base in laboratorio e sue applicazioni
7. Partecipazione a collaborazioni, convenzioni, e progetti di ricerca



1. Informazioni Personali

Nome: Luca Senni

Data e luogo di nascita: Roma, 10 dicembre 1977

Indirizzo di lavoro: Polo Scientifico-Didattico di Terni, Strada di Pentima, 4, 05100, Terni

Telefono: +39 0744.492937 (ufficio),

E-mail: luca.senni@unipg.it (e-mail principale)

Siti internet: <http://www.ing.unipg.it/it/aree/elettrotecnica>,
<http://www.gruppoelettrotecnica.it/?who=dettunita&id=22>

Attualmente inquadrato nella posizione di Ricercatore a tempo determinato afferente al Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Perugia, Polo Scientifico-Didattico di Terni, s.s.d. ING-IND/31 – Elettrotecnica.

2. Introduzione

L'attività di ricercatore svolta durante il periodo del contratto è stato il proseguimento di una attività di collaborazione iniziata negli anni precedenti con il gruppo di ricerca guidato dal Prof. Burrascano nella città di Terni. A grandi linee l'attenzione è stata rivolta, come indicato nello schema e dettagliato nel seguito:

Per la **didattica** all'insegnamento dei **corsi di Laboratorio di Elettrotecnica e di Laboratorio di Labview (Labview Academy) presso il Polo di Terni, all'assistenza agli studenti per chiarimenti sugli argomenti trattati nel corso, per assistenza nello svolgimento delle Tesi di Laurea o di Dottorato.** Un'altra parte importante del lavoro con gli studenti riguarda l'attività di **tutoraggio per le matricole** e per gli studenti fino al terzo anno presso il Polo di Terni. Lo studente viene accolto e seguito nelle sue esigenze per agevolare il percorso accademico.

La partecipazione a importanti progetti di ricerca ha permesso la nascita di sinergie con le industrie locali e con altri gruppi di ricerca nazionali e internazionali. Tali attività sono inserite nei nostri filoni di ricerca e ci permettono di sviluppare gli hardware e i software necessari avendo il feedback diretto delle aziende interessate. Tali attività permettono inoltre di creare un legame diretto con le imprese del territorio e in molti casi coinvolge anche i nostri studenti, che si ritrovano a contatto diretto con il mondo del lavoro.

Per le **attività di ricerca** l'obiettivo principale è stato lo **sviluppo di tecniche diagnostiche non distruttive sui materiali**, in particolare lo sviluppo del progetto: "**Sistema di Imaging iperspettrale per tecniche avanzate di diagnostica non distruttiva sui materiali**". Questo implica l'applicazione di diverse tecniche fisiche (imaging iperspettrale, ultrasuoni, termografia, laser scanner multispettrale, correnti indotte, imaging magnetico, picchiattore per analisi acustiche), su materiali differenti (metalli, fucinati di grandi dimensioni, materiali compositi, *food* con e senza *packaging*, plastiche, inquinanti non metallici), con soluzioni hardware e software dedicate ad ogni applicazione. In particolare la mia attenzione è rivolta all'applicazione (generazione, interazione, rilevazione) di particolari segnali elettrici (Chirp lineare e non, sequenza di Galois, sequenza pseudo-random, MLS) o di tecniche di manipolazione del segnale (Lock-In) per l'incremento del rapporto segnale-rumore al fine di aumentare le capacità di ispezione di ciascuna tecnica in esame. I risultati raggiunti sono stati verificati sperimentalmente sia in laboratorio che presso gli impianti industriali di importanti aziende, quali Società delle Fucine S.r.l.(ThissenKrupp Group), Colussi S.p.a., Fornaci DCB S.p.A., Gentilini S.r.l., Siemens AG.



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PERUGIA

POLO SCIENTIFICO DIDATTICO DI TERNI

Attività Didattica: Insegnamento di 'Laboratorio di Elettrotecnica', 'Laboratorio LabVIEW' (LabVIEW Academy), 'Circuiti per il modellamento di sistemi e processi'. Assistenza per tesi di laurea e dottorati di ricerca. Servizio di tutoraggio per gli studenti del triennio

Termografia

Ultrasuoni a contatto e air coupled

Tecniche magnetiche

Applicazioni nel controllo materiali compositi

Luca Senni
@
Polo Scientifico-Didattico di Terni

Tecniche interferometriche e segnali codificati per i controlli non distruttivi

Applicazioni nel controllo dei metalli e dei grandi fucinati

Camera iperspettrale, spettroscopia per immagini

Laser nel vicino infrarosso, tecniche di lock-in e ricostruzione immagini

Applicazioni nel controllo cibi

Applicazioni nel controllo dei materiali compositi

Brevetto

Publicazioni:
Autore di numerose pubblicazioni su importanti riviste internazionali, libri, partecipazione a congressi.

Convenzioni con aziende e progetti di ricerca
NDTonAIR European project
AST-ThyssenKrupp
SIEMENS AG

3. Attività didattica

Insegnamenti ([LM33] per il corso di laurea di laurea magistrale in INGEGNERIA INDUSTRIALE (LM-86) L08B):

- Laboratorio di Elettrotecnica (4 CFU)
- Laboratorio LabVIEW (4 CFU)
- Modulo del corso 'Circuiti per il modellamento di sistemi e processi' (4 CFU)

- Assistenza agli studenti per chiarimenti sugli argomenti trattati nel corso.
- Assistenza agli studenti nello svolgimento delle Tesi di Laurea.
- Assistenza agli studenti per le attività di laboratorio.
- Partecipazione a sessioni di esame dei Corsi di Laboratorio di Elettrotecnica, Elaborazione per la Diagnostica non Distruttiva dei Materiali, Elettrotecnica.
- Partecipazione a sessioni di esame di Laurea.
- Assistenza agli studenti nello svolgimento delle Tesi di Dottorato.



4. Attività di tutoraggio per i nuovi studenti

Durante questo periodo ho potuto seguire le attività e gli avanzamenti delle matricole assegnatemi ad inizio anno per le attività di tutoraggio. Le comunicazioni avvengono principalmente per email e di persona, a scelta degli studenti. Le difficoltà riscontrate sono poche o nulle e hanno riguardato solamente qualche incomprensione dei regolamenti riguardanti gli esami e le propedeuticità degli stessi. Per gli anni futuri è previsto un incremento di questo tipo di attività, sarà pertanto richiesto agli studenti di presentarsi obbligatoriamente in taluni casi, per verificare l'andamento del cammino accademico.

5. Pubblicazioni Scientifiche rilevanti nel periodo di riferimento

Burrascano, Pietro; Laureti, Stefano; Senni, Luca; Silipigni, Giuseppe; Tomasello, Riccardo; Ricci,
Optimization of the pulse-compression technique applied to the infrared thermography nondestructive evaluation.
DOI:10.1016/j.ndteint.2017.01.011.
pp.100-110. In NDT & E INTERNATIONAL - ISSN:0963-8695 vol. 87

Senni, Luca; Ricci, Marco; Burrascano, Pietro
Food safety and quality assessment through near infrared laser imaging.
In ABS 2017 conference proceedings

Senni, L., Burrascano, P., Ricci, M.
Multispectral laser imaging for advanced food analysis
(2016) Infrared Physics and Technology, 77, pp. 179-192. Cited 1 time.
DOI: 10.1016/j.infrared.2016.06.001
DOCUMENT TYPE: Article
SOURCE: Scopus

Burrascano, P., Laureti, S., Ricci, M., Senni, L.
Accurate modelling of Hysteretic Systems for an efficient energetic conversion
(2016) 2015 International Conference on Renewable Energy Research and Applications, ICRERA 2015, art. no. 7418588, pp. 1142-1146.
DOI: 10.1109/ICRERA.2015.7418588
DOCUMENT TYPE: Conference Paper
SOURCE: Scopus

Burrascano, P., Laureti, S., Hutchins, D., Ricci, M., Senni, L.
A pulse compression procedure for the measurement and characterization of non-linear systems based on exponential chirp signals
(2015) 2015 IEEE International Ultrasonics Symposium, IUS 2015, art. no. 7329290, .
DOI: 10.1109/ULTSYM.2015.0435
DOCUMENT TYPE: Conference Paper
SOURCE: Scopus



Battaglini, L., Burrascano, P., Ricci, M., Senni, L.

Ultrasonic frequency modulated continuous wave for range estimation

(2015) Ultrasonic Nondestructive Evaluation Systems: Industrial Application Issues, pp. 297-320.

DOI: 10.1007/978-3-319-10566-6_12

DOCUMENT TYPE: Book Chapter

SOURCE: Scopus

Senni, L., Battaglini, L., Burrascano, P., Laureti, S., Ricci, M.

Industrial applications: Ultrasonic inspection of large forgings

(2015) Ultrasonic Nondestructive Evaluation Systems: Industrial Application Issues, pp. 245-258. Cited 1 time.

DOI: 10.1007/978-3-319-10566-6_9

DOCUMENT TYPE: Book Chapter

SOURCE: Scopus

Burrascano, P., Ricci, M., Senni, L., Hutchins, D.A., Laureti, S.

Efficient modelling of nonlinear ultrasonic NDT systems

(2015) 54th Annual British Conference of Non-Destructive Testing, NDT 2015, .

DOCUMENT TYPE: Conference Paper

SOURCE: Scopus

Battaglini, L., Callegari, S., Caporale, S., Davis, L.A.J., Laureti, S., Senni, L., Hutchins, D.A.

Industrial applications of noncontact ultrasonics techniques

(2015) Ultrasonic Nondestructive Evaluation Systems: Industrial Application Issues, pp. 271-295.

DOI: 10.1007/978-3-319-10566-6_11

DOCUMENT TYPE: Book Chapter

SOURCE: Scopus

6. Attività di ricerca di base in laboratorio e sue applicazioni

- Camera iperspettrale. spettroscopia per immagini:

La tecnologia dell'imaging iperspettrale raccoglie ed elabora le informazioni provenienti da tutto lo spettro elettromagnetico. Proprio come l'occhio umano vede la luce visibile in tre bande (rosso, verde e blu), e divide lo spettro in un numero molto maggiore di bande. I sensori iperspettrali esaminano gli oggetti utilizzando una vasta porzione dello spettro elettromagnetico: alcuni lasciano 'impronte spettrali' uniche in tutto lo spettro elettromagnetico. Queste 'impronte digitali' sono conosciute come firme spettrali e consentono l'identificazione dei materiali che compongono l'oggetto che si sta esaminando. Si studiano oggi sensori e sistemi di elaborazione iperspettrali molto sofisticati che possono dare impulso in numerose applicazioni. Un esempio è la possibilità di determinare la composizione dei materiali utilizzando gli assorbimenti specifici dei composti, e l'alterazione degli stessi (degrado). Ulteriore aspetto di grande significatività è legato alla possibilità, oltre che di poter individuare la presenza o meno di discontinuità, anche di avere elementi di studio



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PERUGIA

POLO SCIENTIFICO DIDATTICO DI TERNI

per analizzare la natura di tali discontinuità. A tal scopo è di cruciale importanza la scelta di un sensore che possa rilevare nella maniera più efficace non solo la temperatura dell'oggetto ma anche le bande di frequenza di emissione, permettendo così una completa caratterizzazione delle discontinuità. Tale analisi congiunta temperatura-frequenza è denominata imaging iperspettrale, ed è realizzata mediante apposite apparecchiature. Queste, nate inizialmente per applicazioni di natura militare, sono oggi passate ad una fascia di utilizzo che ne consente la possibile implementazione per scopi civili. Nel campo dei controlli sugli alimenti questa tecnica trova un posto rilevante in quanto permette la raccolta di un numero notevole di informazioni riguardanti i componenti chimici (quantità di grassi, zuccheri) così come possibili inquinanti non solidi la cui rilevazione mediante metodi chimici può altrimenti essere piuttosto laboriosa.

- Tecniche interferometriche e segnali codificati per i controlli non distruttivi ultrasonori:

L'uso degli ultrasuoni per la diagnostica non distruttiva (UT-NDT) in campo industriale gioca un ruolo di primaria importanza; nel caso in cui lo scopo dell'indagine sia il rilevamento di difettosità di piccole dimensioni, anche inferiori a 1 mm, oppure la detezione di anomalie in elementi di grandi dimensioni a grandi profondità (ad esempio fucinati per l'energia) si presentano effetti di cecità degli strumenti a causa dell'uso di hardware non idonei alle dimensioni dei difetti da analizzare o all'opacità del materiale dei componenti stessi. La tecnica generalmente usata è quella *Pulse-Echo (PuE)*, in cui per ovviare a tali limitazioni in genere sono necessari degli hardware con prestazioni molto elevate che permettano di trasferire segnali molto energetici sia in generazione che in acquisizione. Tale approccio, anche se permette di effettuare analisi accurate, sicuramente presenta degli svantaggi economici che spesso risultano incompatibili, a meno di alcune eccezioni, con il controllo industriale.

L'uso di segnali codificati come Chirp ed MLS, tipica della *Pulse Compression (PuC)*, permette un approccio differente a tale problematica infatti lo spettrogramma è il risultato di un processo deconvolutivo che vede eccitare il campione da analizzare con un segnale molto energetico che spalma il suo contributo energetico in un periodo temporale molto lungo, rispetto all'impulso tradizionalmente usato, andando a ridurre le caratteristiche degli amplificatori di segnale necessari, ma introducendo la necessità di avere elevati rate di generazione [100 M/s] ed elevati rate di acquisizione [100 M/s]. Orientandosi verso l'idea di poter ulteriormente ridurre le caratteristiche degli hardware in gioco il gruppo di Elettrotecnica operante a Terni ha perfezionato una tecnica di tipo interferometrico, FCWUT (Frequency Continuous wave Ultrasound Technique), che permette di ottenere delle informazioni sulle geometrie e sulle anomalie del campione sotto test (SUT) con l'utilizzo di segnali codificati, come Lin-C (Chirp Lineare) o Exp-C (Chirp Esponenziale). Le tecniche perfezionate esulano dall'approccio deconvolutivo del matched-filter e vanno a considerare gli effetti di interferenza tra il segnale di riferimento ed il segnale ottenuto in uscita dal sistema da analizzare, che nel caso degli ultrasuoni è composto da una sonda trasmittente (TX-P) ed una sonda ricevente (RX-P) accoppiate al SUT (Sample Under Test). L'ottimizzazione del sistema di misura passa attraverso alcuni passi fondamentali, quali: la scelta dei segnali di eccitazione (necessari elevati valori di B·T per avere alte risoluzioni), la scelta delle sonde ultrasonore idonee, dispositivi di misurazione e di eccitazione. Grande attenzione va posta poi nell'analisi del segnale risultante le cui caratteristiche lo rendono perfetto per un elaborazione con la *Chirp Zeta-Trasform (CZT)* che ne massimizza la risoluzione in modo da compensare gli effetti degli hardware con ridotte performance. Per i segnali si è scelto l'uso di segnali codificati di tipo chirp, le sonde generalmente usate in ambito industriale sono 2-5-10 Mhz, relativamente ai dispositivi si sta lavorando per integrare sia la generazione che il mixing del segnale in un unico dispositivo hardware ed



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PERUGIA

POLO SCIENTIFICO DIDATTICO DI TERNI

acquisire il segnale con una scheda di acquisizione con una banda comparabile a quella del chirp inviato. Le applicazioni della FCWUT vedono grandi potenzialità in ambito industriale per il rilevamento di spessori con grande risoluzione, analisi di saldature su componenti metallici, verifica degli effetti di delaminazione nei materiali compositi e analisi di difettosità in generale; le minori performance degli hardware necessari permettono di mantenere contenuti i costi e le dimensioni di realizzazione di strumenti di misura ad hoc che implementino tale tecnica, favorendo così un ulteriore utilizzo delle tecniche di controllo della qualità della produzione ampliando così il settore industriali ad elevato contenuto tecnologico.

- Segnali per ultrasuoni a contatto/air coupled:

Tra i segnali adatti alle tecniche di *pulse compression* per applicazioni NDT con ultrasuoni, i Chirp sono tra i codici più utilizzati. Sono disponibili diverse tipologie con caratteristiche differenti: esistono chirp lineari, non lineari o esponenziali. In particolare in questo lavoro abbiamo utilizzato il Chirp lineare, un segnale armonico dove la frequenza varia linearmente col tempo. La manipolazione di frequenza può essere crescente (up-chirp) oppure decrescente (down-chirp). La scelta di questo tipo di codice risiede nel fatto che i segnali modulati linearmente in frequenza offrono le migliori prestazioni per l'incremento del SNR e gli effetti di attenuazione. Nello specifico, le prove sono state eseguite generando un Chirp lineare con frequenza minima prossima ai 50 kHz fino ad una frequenza massima regolabile, passando per la frequenza centrale della banda del trasduttore. Questo filone di ricerca trova molto interesse da parte delle industrie in applicazioni di varia natura, in particolare sono state approfondite le possibilità di applicazione per l'ispezione ad ultrasuoni in fucinati ad elevata dissipazione (in collaborazione con Società delle Fucine): individuazione dei parametri di misura e messa a punto di una tecnica di ispezione ad ultrasuoni in fucinati di grandi dimensioni ad elevata dissipazione con realizzazione di hardware dedicato. L'obiettivo principale del progetto consiste nell'individuare una procedura che consenta di migliorare l'ispezione ultrasonora dei fucinati riuscendo ad individuare un minor minimo difetto rilevabile, rispetto alla tecnica *pulse-echo*. Il primo passo per raggiungere questo obiettivo riguarda l'incremento del rapporto segnale rumore rispetto alla tecnica convenzionale. Le due strade sulle quali abbiamo concentrato i nostri sforzi per riuscire ad incrementare tale rapporto sono: mediante un opportuno hardware (amplificatori in generazione/ricezione), e agendo semplicemente sul software sviluppandolo in modo tale da poter applicare le tecniche di *pulse compression*. Il proseguimento delle attività ha riguardato la messa a punto di un sistema unico di detezione – localizzazione – reportistica dei possibili difetti all'interno dei fucinati. Lo sviluppo porterà entro un paio di anni alla creazione di uno strumento unico che permetta l'analisi e l'individuazione del difetto, il posizionamento all'interno del fucinato, la referenziazione su di una immagine 2D, e la conseguente emissione di un report automatizzato.

Attualmente l'interessamento del colosso mondiale SIEMENS AG alle tematiche della *pulse compression* ha portato ad una importante collaborazione per la "Standardization of the Pulse-Compression Ultrasonic Method developed by the University of Perugia". Il progetto ha come obiettivo la standardizzazione del metodo sviluppato dal nostro gruppo di ricerca riguardante i metodi ultrasonori di rilevazione mediante tecniche di compressione dell'impulso. L'accordo, tuttora in corso, prevede quindi la definizione di procedure di misura standard da poter applicare al di fuori dell'ambito di ricerca in termini di segnali di eccitazione, procedure di elaborazione del segnale, tarature hardware, sviluppo software. La collaborazione comporta lo svolgimento di attività presso il Polo di Terni e presso i laboratori SIEMENS di Monaco di Baviera e di Berlino, dove la



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PERUGIA

POLO SCIENTIFICO DIDATTICO DI TERNI

SIEMENS custodisce i campioni che allo stato dell'arte fanno da riferimento mondiale per le misurazioni mediante tecnica ad ultrasuoni non distruttiva.

- Laser nel vicino infrarosso, tecniche di lock-in e ricostruzione immagini:

La spettroscopia nel vicino infrarosso (NIR) viene utilizzata per indagare in modo non distruttivo le proprietà chimico-fisiche dei materiali. Essa è un valido metodo per l'analisi qualitativa e quantitativa di molti prodotti nell'industria alimentare e presenta numerosi vantaggi rispetto alle metodiche chimiche tradizionali: è infatti piuttosto rapida, non è distruttiva e non inquina l'ambiente in quanto non prevede l'uso di solventi chimici o reagenti. Per questa ricerca è stato utilizzato un sistema laser nel vicino infrarosso per rilevare corpi estranei e per valutare la capacità di penetrazione del laser, avente diverse lunghezza d'onda e potenza, su alcuni prodotti alimentari e non solo. Le quattro lunghezze d'onda scelte sono tutte all'interno del range denominato comunemente vicino infrarosso (per la precisione 850, 1050, 1300, 1550 nm), e i laser utilizzati sono di bassa potenza. L'attraversamento di un materiale causerà necessariamente un brusco calo nell'ampiezza del segnale, che avrà intensità pari o inferiori al rumore misurato. Per riuscire a rilevare tali segnali sono state sviluppate delle tecniche avanzate di lock-in via software. La tecnica lock-in è utilizzata per rilevare e misurare segnali molto piccoli, che possono essere rilevati anche se oscurati da un rumore migliaia di volte più grande. Lo scopo principale del lock-in è quello di respingere i segnali di rumore e individuare il componente ad una frequenza e fase specifica. Questa metodologia è basata su una tecnica nota come "rivelazione sensibile di fase", che richiede un riferimento di frequenza. Tipicamente un campione viene eccitato da un segnale a frequenza fissa ed il lock-in rileva la risposta dal campione alla frequenza di riferimento. Unici prerequisiti per l'utilizzo di questa tecnica sono la periodicità del segnale da misurare e la possibilità di disporre di un segnale sincrono con esso. Tale necessità non rappresenta affatto un limite, poiché nelle condizioni più comuni di misura è spesso lo stesso fenomeno fisico che genera il segnale da misurare ad essere modulato periodicamente. Con le informazioni rilevate puntualmente attraverso il campione e con l'aiuto di un movimentatore (plotter) che permette di eseguire una scansione dei campioni, è possibile infine ricostruire delle immagini dei campioni basate sui dati raccolti durante la misura, dal processo di misura si ottengono infatti quattro matrici che rappresentano ognuna i valori di potenza in uscita relativi ai quattro laser. Tramite l'elaborazione MATLAB è possibile estrapolare l'immagine bidimensionale del campione analizzato. Per facilitare ancora di più l'individuazione dei difetti è stata sviluppata un'analisi multi spettrale, assegnando a tre dei quattro laser un colore primario. Sommando su un'unica matrice i tre valori per ogni pixel si ottiene un'unica immagine RGB che permette di evidenziare nettamente l'eventuale difetto ed in alcuni casi di capire quale lunghezza d'onda ha maggiori valori di trasmissione.

- Termografia:

Tutti i corpi emettono radiazione elettromagnetica in dipendenza dalla propria temperatura; dalla misura della radiazione emessa da un corpo può quindi essere ricavata la sua temperatura senza alcun contatto. La termografia sfrutta la capacità di alcuni dispositivi di rivelare l'intensità della radiazione nella zona termica dello spettro elettromagnetico dell'infrarosso (0,75 μm - 1000 μm). Nell'approssimazione che un corpo reale sia un perfetto corpo nero, cioè un perfetto emettitore di radiazione, è quindi possibile dedurre la sua temperatura dalla misura della radiazione emessa. Fondamentalmente, la termocamera rileva la radiazione elettromagnetica emessa da ogni punto dell'oggetto e la rappresenta in un'immagine. La termografia infrarossa



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PERUGIA

POLO SCIENTIFICO DIDATTICO DI TERNI

è quindi una tecnica di misura non invasiva per immagini della temperatura superficiale dei corpi. Per l'adattamento di questa tecnologia alle esigenze più difficili sono state sviluppate diverse tecniche avanzate utilizzo: termografia attiva (consiste nell'analisi delle immagini acquisite in seguito all'eccitazione del campione mediante una sorgente esterna capace di generare una differenza di temperatura, questa può essere di natura ottica, meccanica, induttiva). Termografia impulsata/Lock-In Thermography/ Step Heating Thermography, riguarda particolari forme di eccitazione del campione (che può essere un singolo impulso o una serie nota) e manipolazione del segnale (come visto nel caso delle tecniche di Lock-In).

L'utilizzo della termografia con eccitazioni di tipo ottico mediante sequenze pseudo ortogonale viene sperimentata per l'analisi dei difetti dei laminati in materiale composito in collaborazione con il gruppo di scienza dei materiali del Polo Scientifico-Didattico di Terni. Su tale tematica è stata recentemente pubblicato un articolo su una importante rivista internazionale, come riportato nell'apposito paragrafo.

7. Partecipazione a Progetti di ricerca

Alcune delle attività svolte e descritte nella prima parte del presente documento sono state portate avanti nell'ambito di collaborazioni all'interno di progetti che coinvolgono diversi gruppi di ricerca universitari e importanti aziende italiane. Tali collaborazioni sono necessarie per la comprensione delle problematiche reali delle imprese coinvolte e per la condivisione delle conoscenze con gli altri gruppi di ricercatori

PROGETTI INTERNAZIONALI:

➤ The "NDTonAIR" project (Training Network in Non-Destructive Testing and Structural Health Monitoring of Aircraft structures). Under the action: H2020-MSCA-ITN-2016- GRANT 722134

➤ Convenzione di ricerca intitolata: 'The "standardization" of the Pulse-Compression Ultrasonic Method developed by the University for application in routinely manual or automatic inspections of forgings performed by Siemens.'

SIEMENS AG

PROGETTI NAZIONALI:

➤ Sviluppo di sensoristica elettromagnetica e relative procedure di misura per il monitoraggio superficiale di variazioni microstrutturali e di stress meccanico in acciai e della loro relazione con il "bruise noise". "bruise noise", AST – Acciai Speciali Terni- Gruppo Thyssenkrupp -Terni, V.Brin n. 218.

➤ Realizzazione di un apparato pre-competitivo e sviluppo del relativo software di gestione e archiviazione dati per l'ispezione dei fucinati tramite integrazione di: (I) un sistema per il controllo non distruttivo dei prodotti tramite ultrasuoni e di (II) un sistema di localizzazione ultrasonoro della posizione dei punti di misura sulla superficie del fucinato.

SOCIETÀ DELLE FUCINE S.R.L. Gruppo AST -Terni, V.Brin n. 218.

Terni, 5 ottobre 2017

In fede
(Luca Senni)

Il responsabile scientifico
(Marco Ricci)



Relazione sull'attività da ricercatore di Luca Senni.

Relazione tecnico-scientifica sull'attività di ricerca svolta da
Luca Senni
tra il 07.06.2013 e il 06.06.2016

In adempimento agli obblighi previsti dall'articolo l'art. 1, comma 6, del contratto da ricercatore a tempo determinato ex art. 24, comma 3, della Legge 240/2010, il sottoscritto chiede al Consiglio del Dipartimento di Ingegneria di esprimere un giudizio sull'attività scientifica e didattica svolta nell'anno che va dal 07 giugno 2013 al 06 giugno 2016. A tal fine, allega una descrizione delle principali attività scientifiche e didattiche svolte nel periodo in oggetto.

In fede
(Luca Senni)

Dott. Luca Senni
Polo Scientifico-Didattico di Terni
Strada di Pentima, 4, 05100, Terni
Università degli Studi di Perugia - Dipartimento di Ingegneria
e-mail: luca.senni@unipg.it;
Web site:
<http://www.ing.unipg.it/it/aree/elettrotecnica>
<http://www.gruppoelettrotecnica.it/?who=dettunita&id=22>





Sommario

1. Informazioni personali
2. Introduzione
3. Attività didattica
 - a. Corsi per affidamento ufficiale
 - b. Tesi di Laurea
 - c. Altro
4. Attività di tutoraggio nuovi studenti
5. Pubblicazioni scientifiche
6. Attività scientifica: ricerca di base in laboratorio e sue applicazioni
7. Partecipazione a collaborazioni e progetti di ricerca
8. Trasferimento tecnologico
 - a. Spin-off
 - b. Brevetti





1. Informazioni Personali

Nome: Luca Senni

Data e luogo di nascita: Roma, 10 dicembre 1977

Indirizzo di lavoro: Polo Scientifico-Didattico di Terni, Strada di Pentima, 4, 05100, Terni

Telefono: +39 0744.492937 (ufficio),

E-mail: luca.senni@unipg.it (e-mail principale)

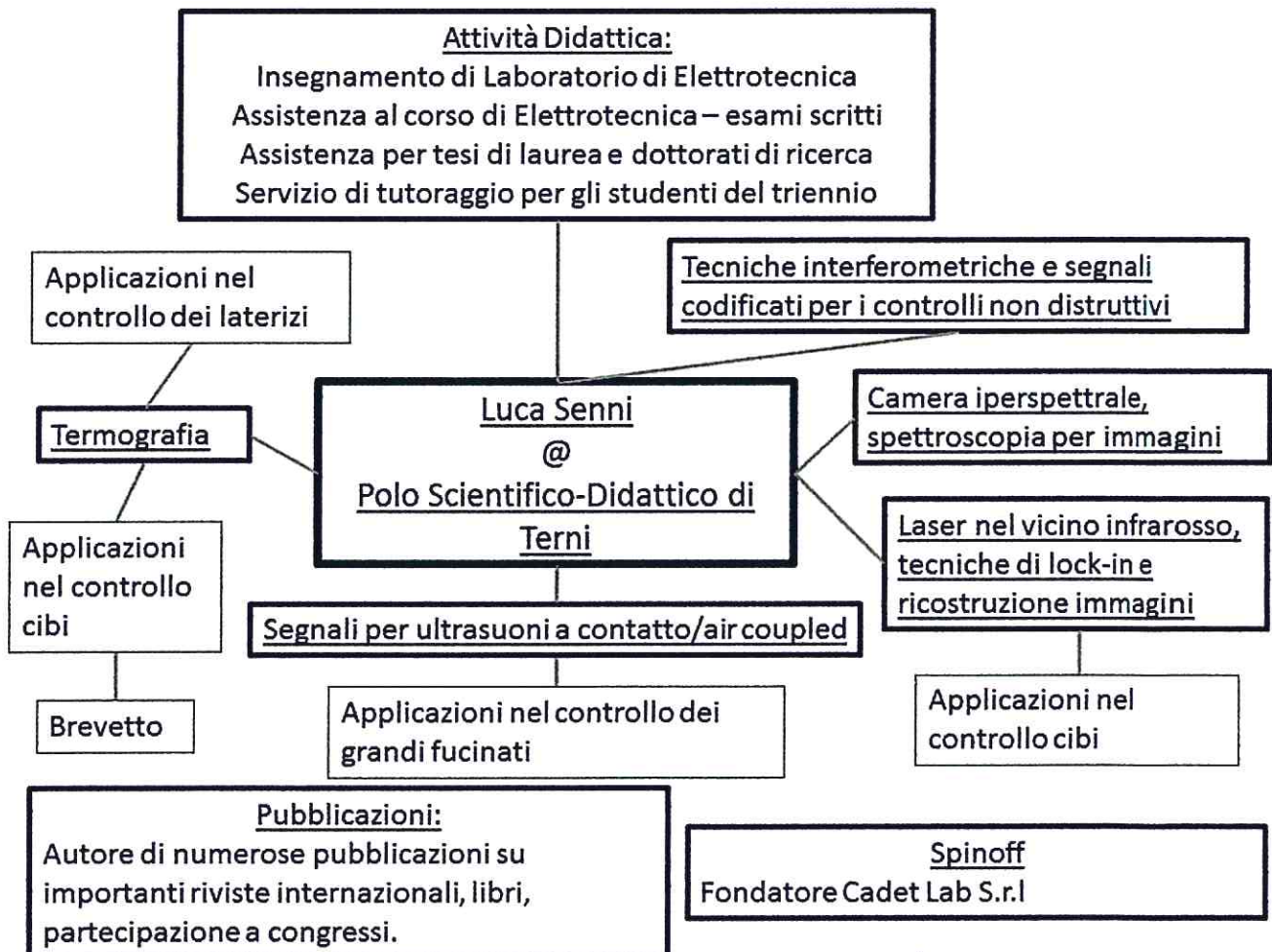
Siti internet: <http://www.ing.unipg.it/it/aree/elettrotecnica>,

<http://www.gruppoelettrotecnica.it/?who=dettunita&id=22>

Attualmente inquadrato nella posizione di Ricercatore a tempo determinato afferente al Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Perugia, Polo Scientifico-Didattico di Terni, s.s.d. ING-IND/31 – Elettrotecnica.

2. Introduzione

L'attività di ricercatore svolta durante il periodo del contratto è stato il proseguimento di una attività di collaborazione iniziata negli anni precedenti con il gruppo di ricerca guidato dal Prof. Burrascano nella città di Terni. A grandi linee l'attenzione è stata rivolta, come indicato nello schema e dettagliato nel seguito:





Per la **didattica** all'insegnamento del **corso di Laboratorio di Elettrotecnica presso il Polo di Terni**, alla cura degli **esami scritti dell'insegnamento di Elettrotecnica** tenuto dal Prof. Burrascano, **all'assistenza agli studenti** per chiarimenti sugli argomenti trattati nel corso, per **assistenza nello svolgimento delle Tesi di Laurea o di Dottorato**. Un'altra parte importante del lavoro con gli studenti riguarda l'attività di **tutoraggio per le matricole** e per gli studenti fino al terzo anno presso il Polo di Terni. Lo studente viene accolto e seguito nelle sue esigenze per agevolare il percorso accademico.

La partecipazione a importanti progetti di ricerca ha permesso la nascita di sinergie con le industrie locali e con altri gruppi di ricerca nazionali e internazionali. Tali attività sono inserite nei nostri filoni di ricerca e ci permettono di sviluppare gli hardware e i software necessari avendo il feedback diretto delle aziende interessate. Tali attività permettono inoltre di creare un legame diretto con le imprese del territorio e in molti casi coinvolge anche i nostri studenti, che si ritrovano a contatto diretto con il mondo del lavoro.

Per le **attività di ricerca** l'obiettivo principale è stato lo **sviluppo di tecniche diagnostiche non distruttive sui materiali**, in particolare lo sviluppo del progetto: "**Sistema di Imaging iperspettrale per tecniche avanzate di diagnostica non distruttiva sui materiali**". Questo implica l'applicazione di diverse tecniche fisiche (imaging iperspettrale, ultrasuoni, termografia, laser scanner multispettrale, correnti indotte, imaging magnetico, picchiattore per analisi acustiche), su materiali differenti (metalli, fucinati di grandi dimensioni, materiali compositi, *food* con e senza *packaging*, plastiche, inquinanti non metallici), con soluzioni hardware e software dedicate ad ogni applicazione. In particolare la mia attenzione è rivolta all'applicazione (generazione, interazione, rilevazione) di particolari segnali elettrici (Chirp lineare e non, sequenza di Galois, sequenza pseudo-random, MLS) o di tecniche di manipolazione del segnale (Lock-In) per l'incremento del rapporto segnale-rumore al fine di aumentare le capacità di ispezione di ciascuna tecnica in esame. **I risultati raggiunti sono stati verificati sperimentalmente sia in laboratorio che presso gli impianti industriali di importanti aziende, quali Società delle Fucine S.r.l.(ThissenKrupp Group), Colussi S.p.a., Fornaci DCB S.p.A., Gentilini S.r.l., Siemens AG.**

3. Attività didattica

Insegnamento di LABORATORIO DI ELETTRONICA (4 CFU) [L08B] per il corso di laurea di laurea in INGEGNERIA INDUSTRIALE (L-9)

Insegnamento di LABORATORIO DI ELETTRONICA (4 CFU) [LM33] per il corso di laurea di laurea magistrale in INGEGNERIA INDUSTRIALE (LM-86) L08B

- Assistenza agli studenti per chiarimenti sugli argomenti trattati nel corso.
- Assistenza agli studenti nello svolgimento delle Tesi di Laurea.
- Assistenza agli studenti per le attività di laboratorio.
- Partecipazione a sessioni di esame dei Corsi di Laboratorio di Elettrotecnica, Elaborazione per la Diagnostica non Distruttiva dei Materiali, Elettrotecnica.
- Partecipazione a sessioni di esame di Laurea.
- Assistenza agli studenti nello svolgimento delle Tesi di Dottorato.





4. Attività di tutoraggio per i nuovi studenti

Durante questo periodo ho potuto seguire le attività e gli avanzamenti delle matricole assegnatemi ad inizio anno per le attività di tutoraggio. Le comunicazioni avvengono principalmente per email e di persona, a scelta degli studenti. Le difficoltà riscontrate sono poche o nulle e hanno riguardato solamente qualche incomprensione dei regolamenti riguardanti gli esami e le propedeuticità degli stessi. Per gli anni futuri è previsto un incremento di questo tipo di attività, sarà pertanto richiesto agli studenti di presentarsi obbligatoriamente in taluni casi, per verificare l'andamento del cammino accademico.

5. Pubblicazioni Scientifiche rilevanti nel periodo di riferimento

- L. Senni et al., Book: "Ultrasonic Nondestructive Evaluation Systems", © Springer International Publishing Switzerland 2015. DOI 10.1007/978-3-319-10566-6_9. CHAPTER 9.
- L. Senni et al., Book: "Ultrasonic Nondestructive Evaluation Systems", © Springer International Publishing Switzerland 2015. DOI 10.1007/978-3-319-10566-6_9. CHAPTER 11.
- L. Senni et al., Book: "Ultrasonic Nondestructive Evaluation Systems", © Springer International Publishing Switzerland 2015. L. Senni et al., DOI 10.1007/978-3-319-10566-6_9. CHAPTER 12.
- P.Burrascano, S.Laureti, M.Ricci, L.Senni, D.A.Hutchins. "Efficient modelling of Nonlinear Ultrasonic NDT Systems", BiNDT 2015.
- Luigi Battaglini, Marco Ricci, Luca Senni: "Frequency Modulated Continuous Wave Ultrasonic Radar", 18th International Conference on Digital Signal Processing (DSP2013), July 1-3, 2013, Santorini, Greece.
- M. Ricci, L. Senni, P. Burrascano, R. Borgna, S. Neri, M. Calderini, "Pulse-compression ultrasonic technique for the inspection of forged steel with high attenuation", Insight - Non-Destructive Testing and Condition Monitoring, vol. 54, n. 2 (2012).
- M.Ricci, S.Callegari, S.Caporale, M.Monticelli, L.Battaglini, M.Eroli, L.Senni, R.Rovatti, G.Setti, P.Burrascano."Exploiting Non-Linear Chirp and Sparse Deconvolution to Enhance the performance of Pulse-Compression Ultrasonic NDT".
- M.Ricci, P.Burrascano, L.Senni, S.Neri, R.Borgna, M. Calderini. "Ultrasonic Inspection Of Forgings Through Pulse Compression Technique: Analysis Of The Performances And Comparison With Pulse-echo Technique". Milano, 23/10/2015, XVI Congresso AIPnD.
- P.Burrascano; S.Laureti; D.A. Hutchins; M. Ricci; L. Senni; "A pulse compression procedure for the measurement and characterization of non-linear systems based on exponential chirp signals," in Ultrasonics Symposium (IUS), 2015 IEEE International , vol., no., pp.1-4, 21-24 Oct. 2015 doi: 10.1109/ULTSYM.2015.0435.
- G. Silipigni; P. Burrascano; D.A. Hutchins; S. Laureti; R. Petrucci; L. Senni; L. Torre; M. Ricci; "Application of pulse-compression to infrared thermography non-destructive testing of composites and thermo-plastic materials"; Perugia, 12 Novembre 2015; A.I.VE.L.A. XXIII Annual Meeting.
- P.Burrascano; S.Laureti; M.Ricci; L.Senni; "Accurate modelling of Hysteretic Systems for an efficient energetic conversion", Icrera.
- L.Senni; P.Burrascano; M.Ricci; "Multispectral laser imaging for advanced food analysis"; Submitted 29/12/2015 to Journal of Food Engineering.





6. Attività di ricerca di base in laboratorio e sue applicazioni

- Camera iperspettrale, spettroscopia per immagini:

La tecnologia dell'imaging iperspettrale raccoglie ed elabora le informazioni provenienti da tutto lo spettro elettromagnetico. Proprio come l'occhio umano vede la luce visibile in tre bande (rosso, verde e blu), e divide lo spettro in un numero molto maggiore di bande. I sensori iperspettrali esaminano gli oggetti utilizzando una vasta porzione dello spettro elettromagnetico: alcuni lasciano 'impronte spettrali' uniche in tutto lo spettro elettromagnetico. Queste 'impronte digitali' sono conosciute come firme spettrali e consentono l'identificazione dei materiali che compongono l'oggetto che si sta esaminando. Si studiano oggi sensori e sistemi di elaborazione iperspettrali molto sofisticati che possono dare impulso in numerose applicazioni. Un esempio è la possibilità di determinare la composizione dei materiali utilizzando gli assorbimenti specifici dei composti, e l'alterazione degli stessi (degrado). Ulteriore aspetto di grande significatività è legato alla possibilità, oltre che di poter individuare la presenza o meno di discontinuità, anche di avere elementi di studio per analizzare la natura di tali discontinuità. A tal scopo è di cruciale importanza la scelta di un sensore che possa rilevare nella maniera più efficace non solo la temperatura dell'oggetto ma anche le bande di frequenza di emissione, permettendo così una completa caratterizzazione delle discontinuità. Tale analisi congiunta temperatura-frequenza è denominata imaging iperspettrale, ed è realizzata mediante apposite apparecchiature. Queste, nate inizialmente per applicazioni di natura militare, sono oggi passate ad una fascia di utilizzo che ne consente la possibile implementazione per scopi civili. Nel campo dei controlli sugli alimenti questa tecnica trova un posto rilevante in quanto permette la raccolta di un numero notevole di informazioni riguardanti i componenti chimici (quantità di grassi, zuccheri) così come possibili inquinanti non solidi la cui rilevazione mediante metodi chimici può altrimenti essere piuttosto laboriosa.

- Tecniche interferometriche e segnali codificati per i controlli non distruttivi ultrasonori:

L'uso degli ultrasuoni per la diagnostica non distruttiva (UT-NDT) in campo industriale gioca un ruolo di primaria importanza; nel caso in cui lo scopo dell'indagine sia il rilevamento di difettosità di piccole dimensioni, anche inferiori a 1 mm, oppure la detezione di anomalie in elementi di grandi dimensioni a grandi profondità (ad esempio fucinati per l'energia) si presentano effetti di cecità degli strumenti a causa dell'uso di hardware non idonei alle dimensioni dei difetti da analizzare o all'opacità del materiale dei componenti stessi. La tecnica generalmente usata è quella *Pulse-Echo (PuE)*, in cui per ovviare a tali limitazioni in genere sono necessari degli hardware con prestazioni molto elevate che permettano di trasferire segnali molto energetici sia in generazione che in acquisizione. Tale approccio, anche se permette di effettuare analisi accurate, sicuramente presenta degli svantaggi economici che spesso risultano incompatibili, a meno di alcune eccezioni, con il controllo industriale.

L'uso di segnali codificati come Chirp ed MLS, tipica della *Pulse Compression (PuC)*, permette un approccio differente a tale problematica infatti lo spettrogramma è il risultato di un processo deconvolutivo che vede eccitare il campione da analizzare con un segnale molto energetico che spalma il suo contributo energetico in un periodo temporale molto lungo, rispetto all'impulso tradizionalmente usato, andando a ridurre le caratteristiche degli amplificatori di segnale necessari, ma introducendo la necessità di avere elevati rate di generazione [100 M/s] ed elevati rate di acquisizione [100 M/s]. Orientandosi verso l'idea di poter ulteriormente ridurre le caratteristiche degli hardware in gioco il gruppo di Elettrotecnica operante a Terni ha perfezionato una tecnica di tipo interferometrico, FCWUT (Frequency Continuous wave Ultrasound Technique), che permette di ottenere delle informazioni sulle geometrie e sulle anomalie del campione sotto





test (SUT) con l'utilizzo di segnali codificati, come Lin-C (Chirp Lineare) o Exp-C (Chirp Esponenziale). Le tecniche perfezionate esulano dall'approccio deconvolutivo del matched-filter e vanno a considerare gli effetti di interferenza tra il segnale di riferimento ed il segnale ottenuto in uscita dal sistema da analizzare, che nel caso degli ultrasuoni è composto da una sonda trasmittente (TX-P) ed una sonda ricevente (RX-P) accoppiate al SUT (Sample Under Test). L'ottimizzazione del sistema di misura passa attraverso alcuni passi fondamentali, quali: la scelta dei segnali di eccitazione (necessari elevati valori di B·T per avere alte risoluzioni), la scelta delle sonde ultrasonore idonee, dispositivi di misurazione e di eccitazione. Grande attenzione va posta poi nell'analisi del segnale risultante le cui caratteristiche lo rendono perfetto per una elaborazione con la *Chirp Zeta-Trasform* (CZT) che ne massimizza la risoluzione in modo da compensare gli effetti degli hardware con ridotte performance. Per i segnali si è scelto l'uso di segnali codificati di tipo chirp, le sonde generalmente usate in ambito industriale sono 2-5-10 Mhz, relativamente ai dispositivi si sta lavorando per integrare sia la generazione che il mixing del segnale in un unico dispositivo hardware ed acquisire il segnale con una scheda di acquisizione con una banda comparabile a quella del chirp inviato. Le applicazioni della FCWUT vedono grandi potenzialità in ambito industriale per il rilevamento di spessori con grande risoluzione, analisi di saldature su componenti metallici, verifica degli effetti di delaminazione nei materiali compositi e analisi di difettosità in generale; le minori performance degli hardware necessari permettono di mantenere contenuti i costi e le dimensioni di realizzazione di strumenti di misura ad hoc che implementino tale tecnica, favorendo così un ulteriore utilizzo delle tecniche di controllo della qualità della produzione ampliando così il settore industriali ad elevato contenuto tecnologico.

- Segnali per ultrasuoni a contatto/air coupled:

Tra i segnali adatti alle tecniche di *pulse compression* per applicazioni NDT con ultrasuoni, i Chirp sono tra i codici più utilizzati. Sono disponibili diverse tipologie con caratteristiche differenti: esistono chirp lineari, non lineari o esponenziali. In particolare in questo lavoro abbiamo utilizzato il Chirp lineare, un segnale armonico dove la frequenza varia linearmente col tempo. La manipolazione di frequenza può essere crescente (up-chirp) oppure decrescente (down-chirp). La scelta di questo tipo di codice risiede nel fatto che i segnali modulati linearmente in frequenza offrono le migliori prestazioni per l'incremento del SNR e gli effetti di attenuazione. Nello specifico, le prove sono state eseguite generando un Chirp lineare con frequenza minima prossima ai 50 kHz fino ad una frequenza massima regolabile, passando per la frequenza centrale della banda del trasduttore. Questo filone di ricerca trova molto interesse da parte delle industrie in applicazioni di varia natura, in particolare sono state approfondite le possibilità di applicazione per l'ispezione ad ultrasuoni in fucinati ad elevata dissipazione (in collaborazione con Società delle Fucine): individuazione dei parametri di misura e messa a punto di una tecnica di ispezione ad ultrasuoni in fucinati di grandi dimensioni ad elevata dissipazione con realizzazione di hardware dedicato. L'obiettivo principale del progetto consiste nell'individuare una procedura che consenta di migliorare l'ispezione ultrasonora dei fucinati riuscendo ad individuare un minor minimo difetto rilevabile, rispetto alla tecnica *Pulse-Echo*. Il primo passo per raggiungere questo obiettivo riguarda l'incremento del rapporto segnale rumore rispetto alla tecnica convenzionale. Le due strade sulle quali abbiamo concentrato i nostri sforzi per riuscire ad incrementare tale rapporto sono: mediante un opportuno hardware (amplificatori in generazione/ricezione), e agendo semplicemente sul software sviluppandolo in modo tale da poter applicare le tecniche di *pulse compression*. Il proseguimento delle attività ha riguardato la messa a punto di un sistema unico di detezione – localizzazione – reportistica dei possibili difetti all'interno dei fucinati. Lo sviluppo porterà entro un paio di anni alla creazione di uno strumento unico





che permetta l'analisi e l'individuazione del difetto, il posizionamento all'interno del fucinato, la referenziazione su di una immagine 2D, e la conseguente emissione di una report automatizzato.

Attualmente l'interessamento del colosso mondiale SIEMENS AG alle tematiche della pulse compression ha portato ad una importante collaborazione per la "Standardization of the Pulse-Compression Ultrasonic Method developed by the University of Perugia". Il progetto ha come obiettivo la standardizzazione del metodo sviluppato dal nostro gruppo di ricerca riguardante i metodi ultrasonori di rilevazione mediante tecniche di compressione dell'impulso. L'accordo, tuttora in corso, prevede quindi la definizione di procedure di misura standard da poter applicare al di fuori dell'ambito di ricerca in termini di segnali di eccitazione, procedure di elaborazione del segnale, tarature hardware, sviluppo software. La collaborazione comporta lo svolgimento di attività presso il Polo di Terni e presso i laboratori SIEMENS di Monaco di Baviera e di Berlino, dove la SIEMENS custodisce i campioni che allo stato dell'arte fanno da riferimento mondiale per le misurazioni mediante tecnica ad ultrasuoni non distruttiva.

- Laser nel vicino infrarosso, tecniche di lock-in e ricostruzione immagini:

La spettroscopia nel vicino infrarosso (NIR) viene utilizzata per indagare in modo non distruttivo le proprietà chimico-fisiche dei materiali. Essa è un valido metodo per l'analisi qualitativa e quantitativa di molti prodotti nell'industria alimentare e presenta numerosi vantaggi rispetto alle metodiche chimiche tradizionali: è infatti piuttosto rapida, non è distruttiva e non inquina l'ambiente in quanto non prevede l'uso di solventi chimici o reagenti. Per questa ricerca è stato utilizzato un sistema laser nel vicino infrarosso per rilevare corpi estranei e per valutare la capacità di penetrazione del laser, avente diverse lunghezza d'onda e potenza, su alcuni prodotti alimentari e non solo. Le quattro lunghezze d'onda scelte sono tutte all'interno del range denominato comunemente vicino infrarosso (per la precisione 850, 1050, 1300, 1550 nm), e i laser utilizzati sono di bassa potenza. L'attraversamento di un materiale causerà necessariamente un brusco calo nell'ampiezza del segnale, che avrà intensità pari o inferiori al rumore misurato. Per riuscire a rilevare tali segnali sono state sviluppate delle tecniche avanzate di lock-in via software. La tecnica lock-in è utilizzata per rilevare e misurare segnali molto piccoli, che possono essere rilevati anche se oscurati da un rumore migliaia di volte più grande. Lo scopo principale del lock-in è quello di respingere i segnali di rumore e individuare il componente ad una frequenza e fase specifica. Questa metodologia è basata su una tecnica nota come "rivelazione sensibile di fase", che richiede un riferimento di frequenza. Tipicamente un campione viene eccitato da un segnale a frequenza fissa ed il lock-in rileva la risposta dal campione alla frequenza di riferimento. Unici prerequisiti per l'utilizzo di questa tecnica sono la periodicità del segnale da misurare e la possibilità di disporre di un segnale sincrono con esso. Tale necessità non rappresenta affatto un limite, poiché nelle condizioni più comuni di misura è spesso lo stesso fenomeno fisico che genera il segnale da misurare ad essere modulato periodicamente. Con le informazioni rilevate puntualmente attraverso il campione e con l'aiuto di un movimentatore (plotter) che permette di eseguire una scansione dei campioni, è possibile infine ricostruire delle immagini dei campioni basate sui dati raccolti durante la misura, dal processo di misura si ottengono infatti quattro matrici che rappresentano ognuna i valori di potenza in uscita relativi ai quattro laser. Tramite l'elaborazione MATLAB è possibile estrapolare l'immagine bidimensionale del campione analizzato. Per facilitare ancora di più l'individuazione dei difetti è stata sviluppata un'analisi multi spettrale, assegnando a tre dei quattro laser un colore primario. Sommando su un'unica matrice i tre valori per ogni pixel si ottiene un'unica immagine RGB che permette di evidenziare nettamente l'eventuale difetto ed in alcuni casi di capire quale lunghezza d'onda ha maggiori valori di trasmissione. Su questo filone di ricerca è stata attivata una collaborazione con la società Biscotti P. Gentilini S.r.l. per lo "sviluppo di un'avanzata tecnica di diagnostica





senza contatto a infrarossi per l'intercettazione di particelle solide estranee nei prodotti da forno e validazione prototipale piena scala con ispezione continua su linea tipo per fette biscottate". L'obiettivo dichiarato è testualmente: "Avviare un'attività di ricerca per definire una metodologia di ispezione capace di individuare nel prodotto 'fetta biscottata' la presenza di oggetti estranei in vetro, legno e plastica. Sarà realizzata un'apparecchiatura prototipale da laboratorio, validata da sperimentazioni sulla linea di produzione, adeguata per una efficace introduzione stabile della tecnologia in linea di produzione".

Per la detezione di inquinanti all'interno delle fette biscottate, la termografia permette una analisi d'insieme del campione, sfruttando sia in fase di eccitazione che di acquisizione dei dispositivi che permettono di 'vedere' il campione nel suo insieme: da una parte una lampada illumina una faccia della fetta biscottata, e dall'altra una termocamera con sensore da 320 x 256 pixels permette di acquisire l'intera immagine del campione (o di più campioni contemporaneamente). Il sistema è interfacciato e pilotato mediante PC, con software appositamente sviluppato su piattaforma LabView per la gestione dei segnali di eccitazione e delle immagini in acquisizione. Con la consegna del rapporto finale si è conclusa positivamente l'attività di ricerca lasciando presso lo stabilimento della Biscotti P. Gentilini S.r.l. di Roma una strumentazione prototipale che permette l'acquisizione delle immagini e la successiva elaborazione inducendo il blocco della linea di produzione qualora si riscontri la presenza di difettosità non previste all'interno dei prodotti analizzati.

- Termografia:

Tutti i corpi emettono radiazione elettromagnetica in dipendenza dalla propria temperatura; dalla misura della radiazione emessa da un corpo può quindi essere ricavata la sua temperatura senza alcun contatto. La termografia sfrutta la capacità di alcuni dispositivi di rivelare l'intensità della radiazione nella zona termica dello spettro elettromagnetico dell'infrarosso (0,75 μm - 1000 μm). Nell'approssimazione che un corpo reale sia un perfetto corpo nero, cioè un perfetto emettitore di radiazione, è quindi possibile dedurre la sua temperatura dalla misura della radiazione emessa. Fondamentalmente, la termocamera rileva la radiazione elettromagnetica emessa da ogni punto dell'oggetto e la rappresenta in un'immagine. La termografia infrarossa è quindi una tecnica di misura non invasiva per immagini della temperatura superficiale dei corpi. Per l'adattamento di questa tecnologia alle esigenze più difficili sono state sviluppate diverse tecniche avanzate utilizzo: termografia attiva (consiste nell'analisi delle immagini acquisite in seguito all'eccitazione del campione mediante una sorgente esterna capace di generare una differenza di temperatura, questa può essere di natura ottica, meccanica, induttiva). Termografia impulsata/Lock-In Thermography/ Step Heating Thermography, riguarda particolari forme di eccitazione del campione (che può essere un singolo impulso o una serie nota) e manipolazione del segnale (come visto nel caso delle tecniche di Lock-In).

L'utilizzo della termografia con eccitazioni di tipo ottico mediante sequenze pseudo ortogonale viene sperimentata per l'analisi dei difetti dei laminati in materiale composito in collaborazione con il gruppo di scienza dei materiali del Polo Scientifico-Didattico di Terni. Su questo filone di ricerca è stata attivata una collaborazione con la società Fornaci DCB – Pierino Branella - S.p.A per la detezione mediante tecniche diagnostiche non distruttive delle 'filature' nei laterizi ottenuti mediante il processo per estrusione, e il controllo del livello di riempimento con materiali termo-isolanti dei laterizi finiti. Questa attività di ricerca si è conclusa con la consegna del rapporto finale contenente la descrizione degli obiettivi raggiunti durante il progetto di ricerca, ovvero la determinazione di un sistema che mediante l'utilizzo di sonde ad ultrasuoni *air coupled* permette la valutazione in continuo del grado di riempimento di laterizi con materiali termicamente isolanti (segatura o simili), e di un altro sistema operante mediante l'analisi di immagini termografiche raccolte all'uscita dell'estrusore dei laterizi (con temperature attorno ai 100° C) che permette l'individuazione delle





cosiddette 'filature', tipici difetti insiti nel processo dell'estrusione e che determina lo scarto del prodotto in quanto non raggiunge le caratteristiche richieste.

7. Partecipazione a Progetti di ricerca

Alcune delle attività svolte e descritte nella prima parte del presente documento sono state portate avanti nell'ambito di collaborazioni all'interno di progetti che coinvolgono diversi gruppi di ricerca universitari e importanti aziende italiane. Tali collaborazioni sono necessarie per la comprensione delle problematiche reali delle imprese coinvolte e per la condivisione delle conoscenze con gli altri gruppi di ricercatori

Prin 2011 ultrasuoni (conclusione progetto): l'attività del primo anno di contratto ha riguardato in parte anche la fase finale del progetto PRIN il cui contenuto è sintetizzato nella realizzazione di un sistema innovativo Multi-Input Multi-Output (MIMO) operante ad ultrasuoni con trasduttori piezoelettrici accoppiati in aria, e quindi non direttamente a contatto con il pezzo da analizzare. La progettazione del sistema è tale da consentire il raggiungimento dei seguenti obiettivi fondamentali: a) garantire un elevato rapporto segnale / rumore (SNR) per tutte le misurazioni 1D anche con segnali a bassa potenza di eccitazione; b) permettere l'utilizzo simultaneo di molteplici sorgenti e ricevitori ultrasonori minimizzando contestualmente il loro rispettivo cross-talk; c) definire l'immagine della zona sotto controllo. L'idea alla base della presente proposta è l'utilizzazione di specifici gruppi di codici numerici pseudo casuali (Pseudo-Noise, PN): in particolare prevediamo di impiegare le m-sequenze e le relative famiglie di codici Gold e Kasami. L'adozione di sequenze pseudo-ortogonali (PN: Pseudo Noise) in sistemi MIMO ad ultrasuoni, aumentando il SNR e consentendo più eccitazioni simultaneamente, porta infatti a migliorare sia la risoluzione nella individuazione dei difetti che il tempo di misura. Tecniche di elaborazione in grado di assicurare un significativo incremento del rapporto segnale/rumore sono ancora più necessarie con l'adozione di trasduttori che operano in assenza di accoppiamento diretto. Mentre l'accoppiamento in aria è un indubbio vantaggio in termini di semplicità e ripetibilità della misura, e quindi un beneficio significativo in vista della applicazione di metodi di controllo per la produzione di massa e la linea di controllo, esso provoca una perdita di sensibilità dei trasduttori a causa della doppia interfaccia (sonda-aria e aria-campione).

ResTa Umbria – Colussi: Una parte delle attività di questo primo anno ha riguardato la prosecuzione fino al termine del progetto portato avanti con Colussi S.p.A., il cui oggetto è la creazione di un sistema per la detezione di particelle inquinanti di natura non metallica. La necessità di prosecuzione del progetto, regolarmente richiesta e ottenuta, ha permesso di concludere le attività di ricerca e di lavorare alla richiesta di brevetto su quanto prodotto nei due/tre anni di ricerca.

POR-FESR Lazio 2007/2013 – Regione Lazio – Gentilini: L'oggetto è quello descritto precedentemente "Studio e sviluppo di un'avanzata tecnica di diagnostica senza contatto a infrarossi per l'intercettazione di particelle solide estranee nei prodotti da forno e validazione prototipale piena scala con ispezione continua su linea tipo per fette biscottate", ed in questa fase finale ha riguardato la messa a punto del sistema laser multispettrale per analisi in laboratorio e del sistema termografico prototipale in linea di produzione, nonché la stesura della relazione finale sul biennio delle attività di ricerca.

POR-FESR Lazio 2007/2013 – Regione Lazio – DCB: Progetto di ricerca dal titolo "Studio e sviluppo di un innovativo blocco in laterizio per la realizzazione di murature da tamponamento ecocompatibile e ad alte





UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PERUGIA

POLO SCIENTIFICO DIDATTICO DI TERNI

prestazioni termiche” all’interno del quale sono previsti degli studi per la determinazione del livello di riempimento dei laterizi forati, e per la detezione di particolari difetti di produzione nel processo di estrusione dei laterizi: le filature. Ambedue gli obiettivi sono stati raggiunto con successo, sono stati validati da misure in linea di produzione, ed infine descritti nella relazione finale del progetto di ricerca.

8.a Spin-Off

Tra i fondatori dello Spin-off denominato CADET-LAB (Circuits and Algorithms for Diagnostics, Evaluation and Testing). L’impresa produce e commercializza una gamma di prodotti hardware e software per le applicazioni ultrasonore di diagnostica non distruttiva dei materiali. I prodotti utilizzano tecniche avanzate di elaborazione dei segnali, in particolare algoritmi di compressione dell’impulso, per aumentare la sensibilità e il rapporto segnale/rumore dei test non-distruttivi in quelle applicazioni dove la natura dell’oggetto ispezionato ne rende critica l’analisi. L’impresa implementa tali tecniche di elaborazione realizzando hardware ottimizzati per le applicazioni richieste da specifici settori di mercato quali industrie siderurgiche, grandi fucinati, industria alimentare. Le tecniche di compressione d’impulso sono state sviluppate in ambito radar. Recentemente sono state riportate in letteratura prime applicazioni sperimentali nel campo della diagnostica non distruttiva di sistemi e materiali. Ci proponiamo di immettere sul mercato prodotti HW e SW già ottimizzati per applicazioni specifiche, mettendo a frutto i risultati di tali sperimentazioni. Il know-how che il gruppo costituente ha nei test non-distruttivi e nell’elaborazione dei segnali garantisce la realizzazione di prodotti più performanti rispetto a quanto oggi disponibile.

8.b Brevetti

È stata presentata la domanda di brevetto (numero domanda RM2012A000377) recante, tra gli altri, il nome di Luca Senni, per un sistema di rilevamento inquinanti in prodotti da forno in collaborazione con la Colussi S.p.A. Tale brevetto è stato sviluppato nell’ambito della convenzione di ricerca descritta nel paragrafo riguardante i progetti di ricerca.

In Fede

Luca Senni



Attività scientifica e didattica svolta come ricercatore confermato in ruolo

Anni accademici di riferimento: 2014/15, 2015/16, 2016/17

Attività relativa al triennio 21 febbraio 2014 / 20 febbraio 2017

Università degli Studi di Perugia

Al direttore del Dipartimento di Ingegneria,
Università degli Studi di Perugia

Oggetto: Attività scientifica e didattica svolta in ruolo come Ricercatore Universitario per il dott. Giuseppe Baruffa – triennio 2014/2017

Il sottoscritto Giuseppe Baruffa, nominato ricercatore universitario (settore ING-INF/03), con decorrenza dal 1 febbraio 2005, presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Perugia, ha maturato il triennio utile ai fini del giudizio di conferma in data 20 febbraio 2008.

La conferma in ruolo è stata ricevuta nell'agosto 2008, con decorrenza dal 21 febbraio 2008.

Il resoconto dell'attività per gli anni 2008-2011 è stato sottoposto nel marzo 2011 al giudizio del Consiglio della Facoltà di Ingegneria, Università degli Studi di Perugia.

Il resoconto dell'attività per gli anni 2011-2014 è stato sottoposto nel marzo 2014 al giudizio del Consiglio del Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Perugia.

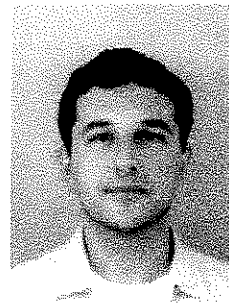
In adempimento agli obblighi previsti dall'articolo 31, 2° comma, del D.P.R. 382/1980, il sottoscritto chiede alle SS. VV. di esprimere un giudizio sull'attività scientifica e didattica svolta nel triennio 2014-2017.

SOMMARIO

<u>1. INFORMAZIONI PERSONALI</u>	<u>2</u>
1.1. POSIZIONE ATTUALE E RICERCA SVOLTA	2
<u>2. ATTIVITÀ SCIENTIFICA</u>	<u>2</u>
2.1. INDICATORI DI MERITO SCIENTIFICO	2
2.2. POSIZIONI ACCADEMICHE	3
2.3. ESPERIENZE COME REVISORE	3
2.4. OGGETTO DELL'ATTIVITÀ DI RICERCA SCIENTIFICA	3
2.5. PARTECIPAZIONE A PROGETTI DI RICERCA	4
2.6. INCONTRI, CONVEGNI E CONFERENZE NAZIONALI E INTERNAZIONALI	7
<u>3. ATTIVITÀ DIDATTICA</u>	<u>7</u>
3.1. INSEGNAMENTI PER AFFIDAMENTO UFFICIALE	7
3.2. SUPERVISIONE DI LAVORI DI TESI	8
3.3. ALTRE ATTIVITÀ CORRELATE	9
3.4. ALTRE ATTIVITÀ PROFESSIONALI	9
<u>4. PUBBLICAZIONI</u>	<u>9</u>
4.1. RIVISTE INTERNAZIONALI CON REVISORI	9
4.2. CONFERENZE INTERNAZIONALI CON REVISORI	9
4.3. RAPPORTI PER PROGETTI DI RICERCA ("DELIVERABLE")	9

1. Informazioni personali

Nome Giuseppe Baruffa
Data di nascita 19 dicembre 1970, Perugia
Indirizzo di lavoro Dipartimento di Ingegneria (DI),
 Università degli Studi di Perugia, via G. Duranti 93, IT-06125 Perugia, Italia
Telefono +39-075-5853627 (ufficio),
 +39-075-5853654 (fax)
 +39-347-3033059 (cellulare),
E-mail giuseppe.baruffa@unipg.it (e-mail principale)
baruffa@libero.it (e-mail secondaria)
<http://dsplab.diei.unipg.it/> (sito internet)



1.1. Posizione attuale e ricerca svolta

Ricercatore confermato afferente al Dipartimento di Ingegneria¹ (DIEI), Università degli Studi di Perugia, inquadrato nel s.s.d. ING-INF/03 (telecomunicazioni) e area 09/F2.

La mia attività di ricerca è svolta in collaborazione con il gruppo di telecomunicazioni, in particolare nel laboratorio di Digital Signal Processing,² insieme ai colleghi Paolo Banelli, Mauro Femminella, Fabrizio Frescura, Gianluca Reali e Luca Rugini.

Principalmente mi occupo di due ambiti di ricerca nel settore delle telecomunicazioni: elaborazione delle immagini e del video e tecniche di trasmissione digitale per broadcasting.

Per quanto riguarda la parte dell'elaborazione delle immagini e del video, mi occupo di codifica congiunta di canale e di sorgente, con ambiti che vanno dalla codifica wavelet per alta definizione all'allocazione dei bit di sorgente e di canale per l'ottimizzazione della qualità ricevuta in caso di trasmissione su canali che introducono errori.

Per quanto concerne l'attività legata al broadcasting, mi occupo soprattutto dei sistemi DVB di prima e seconda generazione, in particolare del sistema DVB-T1/2.

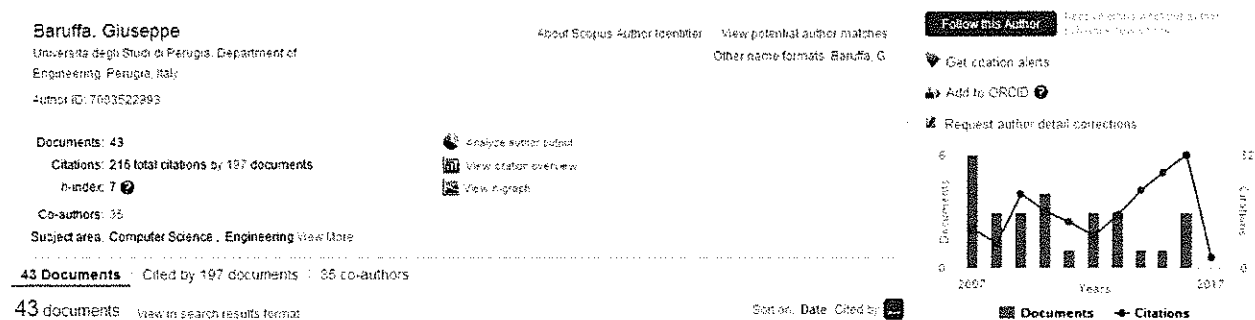
2. Attività scientifica

Nel seguito viene presentata l'attività scientifica, di carattere sia accademico che professionale.

2.1. Indicatori di merito scientifico

2.1.1. Elsevier Scopus

Si riporta in seguito il profilo personale estratto dalla pagina Scopus di Elsevier.³



2.1.2. Google Scholar

Si riporta in seguito il profilo personale estratto dalla pagina Google Scholar.⁴

¹ <http://www.diei.unipg.it/>

² <http://dsplab.diei.unipg.it/>

³ <http://www.scopus.com/authorid/detail.url?authorid=7603522993>

⁴ <http://scholar.google.com/citations?user=9Zybb50AAAAJ>



Giuseppe Baruffa

University of Perugia
Image Processing, Digital Video Broadcasting, Video Compression
Email verificata su unipg.it - Home page



Google Scholar



Crea il tuo profilo

Titolo	1-20	Citata da	Anno
Effects of HPA nonlinearity on frequency multiplexed OFDM signals	P. Banelli, G. Baruffa, S. Ciochanski	107	2001
DSP based OFDM demodulator and equalizer for professional DVB-T receivers		44	1999

Indici citazioni	Tutte	Dal 2012
Citazioni	424	193
Indice H	9	7
i10-index	8	5



2.2. Posizioni accademiche

02/2005-presente Ricercatore confermato afferente al Dipartimento di Ingegneria Elettronica e dell'Informazione (DIEI) presso la facoltà di Ingegneria, Università degli Studi di Perugia, inquadrato nel s.s.d. ING-INF/03 (telecomunicazioni). Conferma ricevuta nell'agosto 2008, con decorrenza dal 21 febbraio 2008.

2.3. Esperienze come revisore

2014-presente Revisore per riviste e conferenze d'ambito internazionale (tra parentesi, l'anno nel quale sono stato revisore per la conferenza o per almeno un numero della rivista):

- Elsevier Digital Signal Processing (2014, 2015, 2016)
- Radioengineering (2015, 2016, 2017)
- Elsevier Optik (2017)
- IEEE Signal Processing Letters (2015, 2016)
- IEEE Multimedia (2016)
- Wiley Wireless Communications and Mobile Computing (2016)
- IEEE Transactions on Vehicular Technology (2016)
- International Conference on Computer Vision Theory and Applications, VISAPP (2017,2016)
- EURASIP Journal on Advances in Signal Processing (2015, 2016)
- Elsevier Signal Processing: Image Communication (2016)
- IET Signal Processing (2014, 2015)
- Elsevier Neurocomputing (2015)
- IEEE Transactions on Broadcasting (2014, 2015)
- EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking (2014)
- IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology (2014)
- IEEE Communications Letters (2014)
- IEEE Symposium on Wireless Communication Systems, ISWCS (2014)

2.4. Oggetto dell'attività di ricerca scientifica

I temi dell'attività di ricerca riguardano i sistemi di trasmissione per il broadcasting audio/video digitale, lo studio teorico degli effetti non lineari in sistemi di trasmissione multipoint, algoritmi per ricevitori Software Radio e, come attività principali, aspetti legati alla trasmissione di flussi multimediali su canali wireless. L'attività di ricerca è stata svolta soprattutto con i colleghi della sezione Telecomunicazioni, presso il Dipartimento di Ingegneria Elettronica e dell'Informazione, Università degli Studi di Perugia.

2.4.1. Sistemi di trasmissione per il broadcasting digitale

Nell'articolo [R3], risultante dal lavoro svolto nel progetto di ricerca europeo ARTEMOS, sono presentati i risultati relativi alla progettazione e sviluppo di un modulatore DVB-T real-time che sfrutti la potenza di calcolo di una CPU general-purpose e adotti un dispositivo ETTUS USRP N210 per l'emissione del segnale a radiofrequenza. Usando tecniche di parallelizzazione su thread multipli e di vettorizzazione con istruzioni di tipo SIMD, si è riusciti a dimostrare la fattibilità del sistema usando una CPU multi-core di tipo Intel Core i7 a 3 GHz, sfruttando meno del 25% del carico della CPU stessa ed una occupazione di memoria inferiore a 170 MB. Il segnale emesso dal sistema è stato validato usando sia ricevitori professionali che apparecchi off-the-shelf, con piena compatibilità.

Nell'articolo [R2] sono state studiate le prestazioni del sistema televisivo digitale terrestre di seconda generazione DVB-T2 in caso di ricezione su canale in mobilità. Questa situazione è in particolare stata affrontata con lo standard DVB-T2-Lite, che rispetto al DVB-T2 *full* richiede una minore capacità di calcolo ed è particolarmente appetibile per ricevitori portatili. Le

prestazioni di questi due sistemi sono state studiate nel canale mobile di tipo TU6, grazie all'utilizzo di un simulatore allo strato fisico realizzato dal team del prof. Ulrich Reimers dell'Università tecnica di Braunschweig (Germania).⁵ La nostra ricerca ha dimostrato che l'uso di particolari tecniche mirate all'incremento della diversità raccolta, quali il *sub-slicing* e il *time interleaving*, forniscono un importante contributo per il funzionamento ottimale di DVB-T2 e DVB-T2-Lite. In questo caso, l'incremento di latenza nella decodifica del segnale TV ricevuto è più che compensato dal guadagno prestazionale in termini di rapporto C/N. In aggiunta alle tecniche citate, anche l'interleaving di tipo inter-frame, utilizzabile in caso di trasmissione di PLP multipli, fornisce un vantaggio in termini di C/N significativo, in speciale modo a basse velocità del ricevitore mobile. Infine, abbiamo dimostrato come alle alte velocità del ricevitore mobile, l'adozione di tassi di codifica aggiuntivi permetta al DVB-T2-Lite di incrementare il suo guadagno C/N rispetto al DVB-T2. Come già detto, tale lavoro è stato svolto e scritto in collaborazione con l'ing. Slimani del gruppo di ricerca di Braunschweig.

2.4.2. Algoritmi per l'interfaccia di livello fisico in sistemi riprogrammabili

Lo *spectrum sensing* per scopi di monitoraggio spettrale è stato affrontato in [C1]. In questo articolo viene illustrato il paradigma dello Spectrum Sensing as a Service (*S³aaS*): dei sensori spettrali eterogenei comunicano tramite un sistema di trasporto messaggi distribuito con un database scalabile, ove immagazzinano i risultati delle sessioni di sensing. Tramite un'interfaccia SQL è poi possibile recuperare questi dati e visualizzarli per tutte le analisi del caso.

2.4.3. Elaborazione dell'immagine e trasmissione di flussi multimediali

2.4.3.1. Trasmissione wireless per immagini/video

In [R1] si è esteso il lavoro pubblicato ad ICIP 2012,⁶ presentando molti più dettagli matematici riguardanti il processo di ottimizzazione Lagrangiano. Inoltre, sono stati presentati dei risultati di simulazione con sequenze video e su altri tipi di canale wireless, quali l'AWGN e il Rayleigh scorrelato. Inoltre, è stato presentato un metodo pratico per tradurre i valori ottimali del profilo di protezione in code rate precise nel caso si utilizzino codici di Reed-Solomon.

In [C2] sono state fatte ulteriori simulazioni: in particolare, si è verificata la resistenza dell'algoritmo di allocazione del profilo UEP quando non siano note con sufficiente precisione le caratteristiche del canale di trasmissione.

2.5. Partecipazione a progetti di ricerca

Viene elencata la partecipazione a diversi progetti di ricerca, sia nazionali che internazionali.

2.5.1. Progetti sottomessi ma non accettati

2.5.1.1. Progetto di dipartimento Ingegneria UniPG S-DAD - bando 2014

Sottomesso dal sottoscritto, finanziamento richiesto di 2500 EUR.

In questo progetto, Sistema Drone-AntiDrone (S-DAD), si vuole proporre la possibilità di fondere le informazioni provenienti dai domini acustico ed elettromagnetico per aumentare la capacità di rivelazione dei droni volanti. In aggiunta, si vorrebbe dimostrare la fattibilità di un sistema che abbia anche capacità di difesa passiva, installando a bordo un dispositivo per il disturbo elettromagnetico.

Gli obiettivi da raggiungere da parte di questo progetto sono due: definizione e sviluppo di un algoritmo robusto per la rilevazione multi-dominio delle "firme" audio e RF generate dal drone rogue nella zona della stazione di rilevazione; studio di fattibilità per l'installazione a bordo di un drone di un sistema per la generazione di interferenze RF "ragionate" sul bersaglio da colpire.

Grazie a questo progetto, si potrà dunque dimostrare la fattibilità di tutta una serie di algoritmi di signal processing innovativi per la rivelazione congiunta multi-dominio. In aggiunta, il progetto e i suoi risultati potrebbero essere presentati agli attori interessati nello scenario prospettato, come agenzie governative nazionali o europee per la sicurezza del volo o della difesa.

2.5.1.2. Progetto PRIN 2015

"*Monitoraggio delle grandezze chiave dei processi idrodinamici fluviali mediante l'uso integrato di metodi e tecnologie avanzate no-contact con sperimentazione in laboratorio ed in campo (MIRAGGIO)*". Coordinatore del Progetto: prof.ssa Donatella Termini; responsabile di Unità di Ricerca: ing. Federico Alimenti. Costo del progetto: 978 kEUR.

Le variazioni ambientali e la complessità idrodinamica e geomorfologica dei corsi d'acqua, determinano frequenti situazioni di rischio idrogeologico (come i recenti eventi in Liguria, Toscana e Sicilia). In risposta alle alterazioni generate dal cambiamento climatico e dalle pressioni antropiche, il corso d'acqua subisce evoluzioni su diversa scala spazio-temporale. Per la definizione di metodologie predittive delle situazioni di rischio è necessario individuare strumenti di monitoraggio, valutazione e controllo di parametri idraulici chiave. La letteratura evidenzia la necessità di sviluppare nuove tecniche di misura per le grandezze chiave (velocità e livello idrico) nella rappresentazione dei processi fluviali. Le tecniche di misura tradizionali, basate sulla misura

⁵ <https://www.ifn.ing.tu-bs.de/en/ifn/cm/>

⁶ G. Baruffa, F. Frescura, P. Micanti, B. Villani, "An optimal method for searching UEP profiles in wireless JPEG 2000 video transmission", IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON IMAGE PROCESSING (ICIP 2012), pagg. 1645-1648, Orlando, Florida, settembre 2012.

intrusiva del profilo di velocità, hanno lo svantaggio di non poter essere usati durante eventi estremi. Il presente progetto (MIRAGGIO) intende quindi contribuire a migliorare le capacità scientifiche e tecnologiche per il monitoraggio continuo, efficace ed accurato, e a costi non elevati, delle grandezze chiave per il controllo dell'evoluzione morfodinamica e la mitigazione degli eventi estremi. L'idea di base è legata alle recenti ricerche condotte dai gruppi di ricerca delle unità coinvolte che hanno evidenziato come l'uso integrato di tecnologia avanzata e modellistica idraulica può far superare il limite del monitoraggio con le tecniche tradizionali e migliorare la conoscenza dei processi fluviali. In particolare si è visto, da una parte, come dalla misura della velocità superficiale è possibile, mediante modellistica entropica, ricostruire con sufficiente accuratezza il solido di velocità della corrente e quindi la portata per qualsiasi condizione di piena e di sito fluviale, dall'altra come l'utilizzo di traccianti consenta di analizzare l'idrodinamica della vegetazione sommersa prospettando l'uso di tale tecnica nell'analisi delle strutture idrodinamiche, come le correnti secondarie. Il progetto quindi propone l'innovativo uso accoppiato di peculiari sensori non-contact (radar e ottici), a bordo di sistemi APR (Aeromobili a Pilotaggio Remoto), comunemente detti "droni", e la modellistica entropica al fine di monitorare, anche con l'uso di traccianti fluorescenti, i processi idro-morfologici che si generano in alveo e nelle aree perifluviali. Il sensore radar è particolarmente adatto per la misura del livello idrico e della velocità superficiale durante eventi eccezionali anche nelle ore notturne; il sensore ottico è particolarmente adatto per il rilievo di dettaglio della distribuzione spaziale della velocità superficiale, delle strutture di turbolenza e delle dinamiche evolutive anche su più ampie scale spazio-temporali. A tal fine saranno realizzati innovativi sensori multi-funzione radar/radiometro che ad oggi non sono stati mai stati proposti e sono assolutamente originali. Sarà sperimentato un prototipo di drone in grado di avere a bordo tali strumentazioni.

2.5.1.3. *Progetto "Miniaturised Ka-band FSS transponder for small satellites" 2016*

Progetti PST-ESA-2016-01-ACP - Coordinato da PicoSAT Srl e dall'ing. Federico Alimenti (Università di Perugia), finanziato per un importo complessivo di EUR 15.000,00.

In questo progetto ci si proponeva di sviluppare la parte rigenerativa di bordo per un nanosatellite, utilizzando tecniche software radio implementate su FPGA.

2.5.2. Progetti di ricerca accettati locali

2.5.2.1. *Progetto di Dipartimento di Ingegneria UniPG ALBA - bando 2014*

"ALgorithms and technologies for Big dAta and internet of things", 2014-2017, coordinato dal prof. Gianluca Reali (Università di Perugia), finanziato per un importo complessivo di EUR 15.000,00.

Il presente progetto di ricerca focalizza sulle fasi di produzione, condivisione e analisi di big data, investigando in particolare lo sviluppo di algoritmi di calcolo distribuiti per quanto riguarda la condivisione e l'analisi. La caratteristica di tali algoritmi è quella di essere eseguiti in parallelo da più calcolatori comunicanti attraverso una rete. Gli obiettivi specifici del progetto sono i seguenti:

Sul fronte della produzione saranno considerati due ambiti strategici. Il gruppo di Elettronica (ING-INF/01) farà riferimento alla sensoristica come tecnologia abilitante dell'IoT. Si propone di sviluppare la linea di ricerca relativa alla realizzazione di sensori a bassissimo costo fabbricati su materiali a base di cellulosa. Tra le varie possibilità verrà messo a punto un sensore radar Doppler operante nelle microonde il quale, se collegato alla rete Internet, potrà fornire dati interessanti relativi alla presenza e all'attività del personale all'interno di edifici (home and building automation). Il gruppo di Macchine (ING-IND/08) produrrà e farà uso di database massivi relativi alla ricerca sperimentale e numerica nell'ambito dei motori a combustione interna: immagini del fronte di fiamma e di altri parametri caratterizzanti la combustione collezionati ad alta frequenza di campionamento durante il funzionamento e dati di output relativi a simulazioni di Computational Fluid Dynamics tridimensionale.

Sul fronte della condivisione, il gruppo di Telecomunicazioni (ING-INF/03) si occuperà del trasferimento di big data mediante protocolli di distribuzione basati sul caching dinamico e sul paradigma CDN (Content Distribution Network). Il funzionamento dei protocolli sarà schermato e reso disponibile agli altri gruppi mediante una interfaccia cloud. Gli algoritmi di ottimizzazione dei protocolli saranno studiati in collaborazione con il gruppo di Elettrotecnica (ING-IND/31).

Sul fronte dell'analisi di big data, il gruppo di Informatica (ING-INF/05), si occuperà della progettazione di un algoritmo distribuito per la visualizzazione automatica di reti di dati di grandi dimensioni, ossia di grandi collezioni di dati relazionati, che possono essere modellati attraverso una struttura a grafo. Nonostante siano stati descritti in letteratura diversi algoritmi per il calcolo automatico di diagrammi di grandi grafi (dell'ordine di qualche decina di migliaia di nodi), lo studio di algoritmi distribuiti capaci di scalare a reti di dimensione superiore è ancora in fase embrionale e risulta per lo più inesplorato.

2.5.3. Progetti di ricerca accettati internazionali

2.5.3.1. *DVB-TX-IRIS WISHFUL - WISHFUL First Open Call for Extensions*

"Wireless Software and Hardware platforms for Flexible and Unified radio and network control (WISHFUL)",⁷ 2015-2017, coordinato da Spilios Giannoulis (IMEC, Gent, Belgio), con un budget complessivo per l'unità di ricerca pari a 56 kEUR.

⁷ <http://www.wishful-project.eu/>

Nell'ambito dei sistemi software radio cognitivi, un ruolo importante è rivestito dalla trasmissione di segnali video su canali senza fili. Il trasporto di segnali video deve perciò rispettare requisiti importanti in termini di qualità visiva ricevuta e adozione di ricevitori standard a basso costo.

Il progetto DVB-TX-IRIS ha incorporato una funzionalità di trasmissione video digitale in uno dei testbed del progetto di ricerca europeo H2020 chiamato WiSHFUL, utilizzando in particolare la piattaforma SDR IRIS sviluppata da Trinity College Dublin (TCD). In particolare, il progetto consiste nell'integrazione di un trasmettitore SDR DVB-T all'interno di un modulo IRIS disponibile liberamente a tutti i programmatori ed utenti della piattaforma. Poiché IRIS usa i ben noti dispositivi ETTUS USRP N210, l'integrazione della code base DVB-T all'interno del codice UPI di WiSHFUL IRIS è stata portata a termine con successo con una durata di 6 mesi. Il risultato principale del progetto consiste in un trasmettitore DVB-T il cui segnale può essere ricevuto con successo da ricevitori commerciali, come televisori o chiavette DVB-T USB.

Il codice sviluppato è disponibile nel repository GitHub del progetto WiSHFUL

https://github.com/wishful-project/module_iris/tree/master/dvb-tx-iris

Personale dell'UdR coinvolto: Paolo Banelli, Giuseppe Baruffa, Luca Rugini.

2.5.3.2. *FP-6 IST ARTEMOS 2011*

"*Agile RF Transceivers and Front-Ends for Future Smart Multi-Standard Communications Applications (ARTEMOS)*"⁸, 2011-2014, coordinato da Thomas Simonis e Klaus-Michael Koch (DMCE GmbH & Co KG), con un budget complessivo per l'unità di ricerca pari a 900 kEUR.

Questo progetto mira a sviluppare innovative architetture e tecnologie per futuri prodotti di comunicazione radio. Queste nuove architetture e tecnologie saranno in grado di gestire sistemi multi-standard con elevata modularità, un basso consumo di potenza, alta affidabilità, alta integrazione, bassi costi. Questo non solo richiede l'uso di architetture RF basate su tecnologia CMOS e/o BiCMOS, ma anche necessità di integrare in un unico sistema altre tecnologie come ad esempio quella MEMS. In questo ambito, le principali innovazioni proposte per questo progetto riguardano la ricerca di architetture radio, agili in frequenza, dotate di filtri sintonizzabili, da poter essere facilmente implementate in tecnologie integrate.

Ciò richiederà un attento studio e simulazione di innovative soluzioni circuitali e nuove tecnologie (induttori ad alto Q on-chip, condensatori MEMS accordabili, interruttori MEMS e risonatori accordabili o BAW / filtri SAW e processi integrati di dispositivi passivi). La complessità richiede nuovi avanzamenti nelle tecniche di simulazione e modellazione di aspetti dedicati tali da rendere tali tecnologie più facilmente accessibili.

Gli obiettivi chiave generali proposti dal consorzio ARTEMOS sono:

- Proposta di architetture innovative per sistemi multibanda (più di dieci bande), multi-mode, multi-standard (standard: GSM / EDGE / WCDMA / LTE / LTE-A, BT, WLAN, Digital Broadcast, GNSS) basati su Systems-on-Chip e di soluzioni adatte per l'implementazione a livello nanometrico.
- Sviluppo e caratterizzazione di RF MEMS, filtri sintonizzabili, circuiti di antenna, stadi di amplificazione. Tutti i sistemi dovranno rispecchiare i requisiti di basso costo, banda larga, alta gamma dinamica ed alta efficienza.

Per raggiungere gli obiettivi ARTEMOS, la struttura generale del progetto è organizzata in cinque principali attività. Le prime tre sono racchiuse in una macroattività definita come "System Architecture & Control" che comprende:

- Active blocks for Agile RF Solutions
- Tuneable Passive Front-End Solutions
- Modem Functions

Queste tre attività forniranno i blocchi funzionali alla quarta attività che si occuperà dell'implementazione di un dimostratore. Inoltre, un'attività dedicata alla Metodologia e strumenti di simulazione supporterà parallelamente ciascun livello di progettazione. Infine, il lavoro tecnico e scientifico è stato suddiviso in sette differenti pacchetti di lavoro (WP1-WP7) distinguendo in essi le diverse attività.

In particolare, il mio lavoro si è concentrato nel WP4, *Modem Functions*. Questo obiettivo riguarda lo sviluppo di algoritmi per sistemi di trasmissione di segnali video e verrà svolto attraverso una cooperazione con Thales Communication Italia. Le attività verranno svolte nell'ambito di WP4 e sono inserite nel cluster "Digital Broadcasting", definito dal progetto ARTEMOS.

UNIPG si occuperà di sviluppare gli algoritmi di modulazione per lo standard DVB-T (e, in particolare, DVB-T e DVB-T2). In aggiunta verranno messi a punto i necessari algoritmi di codifica di canale e quelli relativi al processing in banda-base del segnale. Tali algoritmi saranno validati attraverso schede a basso costo (quali, ad esempio, schede di sviluppo ETTUS) basate su architetture "Software Defined Radio". In questo caso la maggiore sfida di R&D consiste nell'efficienza di calcolo (algoritmi in tempo reale) e nella conseguente ottimizzazione del codice. Altro aspetto scientificamente rilevante è la possibilità di validare gli algoritmi mediante schede ETTUS Software-Defined Radio.

Durante il progetto è stato compilato il rapporto di lavoro per il WP4, Deliverable 4.4 [D2], ed è stato pubblicato l'articolo [R3].

⁸ <http://www.artemos.eu/>

2.6. Incontri, convegni e conferenze nazionali e internazionali

2.6.1. Partecipazione come membro di comitato

- VISAPP 2017 - 12th International Conference on Computer Vision Theory and Applications, Porto, Portogallo, 27 febbraio-1 marzo 2017 (program co-chairs: Francisco Imai, Canon U.S.A. Inc., Innovation Center, United States, and Alain Tremeau, Université Jean Monnet in Saint Etienne, France).⁹ Membro del *program committee*.
- VISAPP 2016 - 11th International Conference on Computer Vision Theory and Applications, Roma, Italia, 27-29 febbraio 2016 (program co-chairs: Sebastiano Battiato, Università degli Studi di Catania, and Francisco Imai, Canon U.S.A. Inc., Innovation Center, United States).¹⁰ Membro del *program committee*.
- VISAPP 2015 - 10th International Conference on Computer Vision Theory and Applications, Berlino, Germania, 11-14 marzo 2015 (program co-chairs: Sebastiano Battiato, Università degli Studi di Catania, and Francisco Imai, Canon U.S.A. Inc., Innovation Center, United States).¹¹ Membro del *program committee*.
- VISAPP 2014 - 9th International Conference on Computer Vision Theory and Applications, Lisbona, Portogallo, 5-8 gennaio 2014 (program chair: Sebastiano Battiato, Università degli Studi di Catania).¹² Membro del *program committee*.

2.6.2. Partecipazione come oratore

- IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2015), San Diego, California, dicembre 2015, presentazione orale dell'articolo "*Soft-Output Demapper with Approximated LLR for DV-B-T2 Systems*" [C3].

3. Attività didattica

Nel seguito è presentata l'attività didattica, svolta presso l'Università di Perugia, nei settori d'insegnamento del s.s.d. ING-INF/03.

3.1. Insegnamenti per affidamento ufficiale

3.1.1. Corsi di laurea magistrale

3.1.1.1. Elaborazione Digitale dei Segnali (9 CFU)

Docente incaricato dell'insegnamento di "Elaborazione Digitale dei Segnali" (9 CFU) per il corso di laurea Magistrale in Ingegneria Elettronica per l'Internet-of-Things, per l'A.A. 2016/17, del Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Perugia.

Obiettivi

Al termine del corso gli studenti saranno in grado di scegliere opportunamente i parametri per il campionamento e quantizzazione dei segnali; comprendere e progettare filtri numerici FIR ed IIR; comprendere, simulare e progettare schemi di stima spettrale basati sull'impiego di DFT/FFT sia per segnali stazionari che per segnali non stazionari; comprendere, simulare e progettare schemi di conversione della frequenza di campionamento con tecnica diretta e polifase; comprendere, simulare e progettare schemi di analisi spettrale parametrica e non parametrica.

Contenuti

Richiami sul campionamento ideale. Conversioni A/D e D/A. Quantizzazione, Rumore di quantizzazione – Quantizzazione Ottima, Quantizzazione non uniforme - Companders.

Generalità sull'elaborazione dei segnali. Segnali tempo-discreto, analogici, digitali. Sistemi di elaborazione tempo-discreto. Stabilità e Causalità. Sistemi lineari invarianti alla traslazione (LTI). Sistemi descritti da equazioni alle differenze lineari a coefficienti costanti.

Spettro in Frequenza – DTFT. Campionamento della trasformata di Fourier. Trasformata di Fourier discreta (DFT). Calcolo della IDFT. Fast Fourier Transform. Convoluzione circolare. Uso della DFT/FFT nell'analisi spettrale dei segnali determinati. Uso della DFT/FFT nell'analisi spettrale di segnali stazionari, Periodogramma. Risoluzione. DFT tempo-variante per segnali non-stazionari. Spettrogramma.

Progetto di filtri FIR con l'uso di finestre. Progetto Filtri FIR con la Finestra di Kaiser. Progetto Filtri con il metodo del campionamento in Frequenza. Tecniche di Progetto di filtri.

Trasformata Z. Proprietà fondamentali, Regione di Convergenza, Causalità e Stabilità, Spettro in Frequenza, Trasformata Z inversa, Descrizioni Equivalenti dei Filtri Digitali, Funzione di Trasferimento, Risposta Sinusoidale, Risposta Regime

⁹ <http://www.visapp.visigrapp.org/ProgramCommittee.aspx?y=2017>

¹⁰ <http://www.visapp.visigrapp.org/ProgramCommittee.aspx?y=2016>

¹¹ <http://www.visapp.visigrapp.org/ProgramCommittee.aspx?y=2015>

¹² <http://www.visapp.visigrapp.org/ProgramCommittee.aspx?y=2014>

Stazionario, Risposta al Transitorio, Progettazione Filtri con piazzamento di poli e zeri: Filtri del Primo Ordine, Risuonatori Parametrici ed Equalizzatori, Filtri Notch e Filtri Comb.

Interpolazione e sovra-campionamento. Progetto di Filtri Interpolatori: forma diretta, forma polifase. Esempi di progetto: DAC equalization, Multistage Equalization. Decimazione. Convertitore di sampling rate. Quantizzatori Noise Shaping.

Analisi spettrale non parametrica: Introduzione, Analisi spettrale non parametrica, Stima della potenza di segnali correlati gaussiani, risoluzione spettrale e dispersione, la dispersione della stima spettrale, La polarizzazione della stima spettrale, il periodogramma, la stima dell'autocorrelazione. Analisi Spettrale Parametrica, Introduzione, Analisi tutti zeri (MA), troncamento della funzione di autocorrelazione, analisi tutti poli (AR), La stima spettrale AR, Predizione lineare, Errore di predizione, Predizione lineare e analisi AR, Allungamento del predittore, La ricorsione di Levinson, Vantaggi computazionali, Filtro a traliccio non ricorsivo.

Testi consigliati

- S. Orfanidis, "Introduction to Signal Processing", Prentice Hall
- S. Orfanidis, "Optimum Signal Processing", Prentice Hall
- M. H. Hayes, "Statistical Digital Signal Processing and Modeling", John Wiley & Son

Modalità di verifica del profitto

Una prova d'esame concorre alla formazione del voto. L'obiettivo della prova è di verificare la conoscenza teorica e pratica degli argomenti presentati durante le lezioni. La prova consiste in un colloquio (prova orale a stimolo aperto con risposta aperta) della durata approssimativa di 1h, da svolgersi in corrispondenza di una delle date indicata nel calendario d'esame. Il voto conclusivo sarà assegnato in base alla conoscenza degli argomenti rilevata durante la prova orale.

3.1.1.2. *Elaborazione dei Segnali Multimediali (9 CFU)*

Docente incaricato dell'insegnamento di "Elaborazione dei Segnali Multimediali" (9 CFU) per il corso di laurea Magistrale in Ingegneria Informatica e dell'Automazione, per l'A.A. 2010/11, e per il corso di laurea Magistrale in Ingegneria Elettronica e delle Telecomunicazioni, per gli A.A. 2011/12, 2012/13, 2013/14, 2014/15, e 2015/16 del Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Perugia.

Obiettivi

Il corso si propone di fornire agli studenti gli strumenti necessari per gestire ed elaborare segnali discreti di tipo multimediale, ovverosia composti da elementi sia visivi che uditivi. Particolare approfondimento è dato a temi nell'ambito dell'elaborazione digitale delle immagini.

Contenuti

Introduzione (2 ore). Introduzione al corso.

Fondamenti di immagini digitali (24 ore). Segnali bidimensionali, sistemi bidimensionali, trasformata di Fourier bidimensionale, filtri bidimensionali, campionamento bidimensionale, trasformata discreta bidimensionale.

Miglioramento e restauro delle immagini (12 ore). Percezione visiva umana, colore, metriche di qualità, miglioramento nel dominio dello spazio, miglioramento nel dominio della frequenza, modelli di degradazione e restauro.

Wavelet e multirisoluzione (12 ore). Interpolazione e decimazione, banchi di filtri, codifica sottobanda, trasformate wavelet continue e discrete.

Compressione delle immagini (22 ore). Paradigma di compressione, trasformata, quantizzazione, codifica entropica. Sequenze di immagini. Standard di codifica di sorgente: JPEG, JPEG 2000, MPEG-2, H.264 AVC.

Testi consigliati

- Lucidi delle lezioni (forniti dal docente)
- R. C. Gonzalez, R. E. Woods, Digital Image Processing, 3° edizione, Prentice Hall, 2008
- M. Vetterli, J. Kovacevic, Wavelets and Subband Coding, On-line, 2007

Modalità di verifica del profitto

L'esame è composto da due prove. La prima prova consiste nella preparazione di una tesina personalizzata riguardante uno degli argomenti trattati a lezione, nella quale dovrà essere approntato un programma in Matlab o in C. In alternativa, può essere sostenuta una prova scritta. La seconda prova è invece un esame orale che verterà sulla comprensione degli argomenti presentati durante il corso. Il voto finale sarà formulato in base ad una media pesata dei voti ottenuti nelle singole prove.

3.2. Supervisione di lavori di tesi

Sono stato correlatore e supervisore per le tesi di laurea triennale presso i corsi di laurea di Perugia.

3.2.1. Relatore3.2.1.1. Laurea triennale

- i) Michele Michelsanti, “*La pellicola nell'era digitale: studio e realizzazione di algoritmi per la generazione della grana in immagini digitali*”, relatore, 17 settembre 2015.
- ii) Claudio De Felice, “*Studio di sistemi Software Radio e implementazione su piattaforma Gnu Radio - USRP*”, relatore, 16 luglio 2014. Correlatore della tesi: prof. Paolo Banelli.

3.3. Altre attività correlate

- 2014- Membro della Commissione Orientamento per il Consiglio Intercorso in Ingegneria dell'Informazione dell'Università degli Studi di Perugia. Nell'ambito dei lavori della commissione mi sono occupato soprattutto della preparazione dei pieghevoli pubblicitari dei corsi di laurea e dell'aggiornamento del video pubblicitario del corso di studi triennale. Inoltre ho coordinato le visite degli studenti delle scuole superiori durante gli *Open Days* offerti dal Dipartimento.
In collaborazione con la prof.ssa Martellotti, delegato di Ateneo per l'Orientamento dell'Università degli Studi di Perugia, ho anche sviluppato i due siti web usati per l'orientamento delle future matricole, “SettembreOrienta”¹³ e “Ateneo al Centro”.¹⁴
- 26/02/2013-10/2016 Membro della Commissione per i Piani di Studio per il Consiglio Intercorso in Ingegneria dell'Informazione dell'Università degli Studi di Perugia.

3.4. Altre attività professionali

- 2013 Collaborazione con Svantek Italia s.r.l. (progettazione di sistemi digitali) di Melzo (MI), come consulente sul progetto e realizzazione di un software per l'analisi e visualizzazione dei dati provenienti da strumenti di misura fonometrica.

4. Pubblicazioni

Sono presentati tutti i lavori pubblicati, suddivisi per tipologia, in ordine decrescente per anno di pubblicazione. Nel caso delle riviste, si fornisce anche il valore dell'*Impact Factor* (IF) e il quartile di riferimento (Q) per l'anno di pubblicazione.¹⁵

4.1. Riviste internazionali con revisori

- [R1] G. Baruffa, F. Frescura, “*Adaptive error protection coding for wireless transmission of Motion JPEG 2000 video*,” EURASIP JOURNAL ON IMAGE AND VIDEO PROCESSING, vol. 2016, no. 1, pagg. 1–20, dicembre 2016, online da marzo 2016 (IF 2014: 0.736. Engineering, Electrical & Electronic 2014: 175/249-Q3).
- [R2] D. A. Samo, M. Slimani, G. Baruffa, L. Rugini, “*A performance study of DVB-T2 and DVB-T2-Lite for mobile reception*,” DIGITAL SIGNAL PROCESSING, vol. 37, n. 2, pagg. 35–42, febbraio 2015 (IF 2013: 1.495. Engineering, Electrical & Electronic 2013: 98/248-Q2).
- [R3] G. Baruffa, L. Rugini, P. Banelli, “*Design and Validation of a Software Defined Radio Testbed for DVB-T Transmission*,” RADIOENGINEERING, vol. 23, n. 1, pagg. 387–398, aprile 2014 (IF 2014: 0.653. Engineering, Electrical & Electronic 2014: 184/249-Q3).

4.2. Conferenze internazionali con revisori

- [C1] G. Baruffa, M. Femminella, M. Pergolesi, G. Reali, “*A Cloud Computing Architecture for Spectrum Sensing as a Service*”, in INTERNATIONAL CONFERENCE ON CLOUDIFICATION OF THE INTERNET OF THINGS (CIOT 16), Parigi, Francia, dicembre 2016.
- [C2] G. Baruffa, F. Frescura, “*Adaptive Error Protection for the Streaming of Motion JPEG 2000 Video over Variable Bit Error Rate Channels*,” IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MULTIMEDIA (ISM 2015), pagg. 1–4, Miami, FL, USA, dicembre 2015.
- [C3] G. Baruffa, L. Rugini, “*Soft-Output Demapper with Approximated LLR for DVB-T2 Systems*,” IEEE GLOBAL TELECOMMUNICATIONS CONFERENCE (GLOBECOM 2015), pagg. 1–6, San Diego, CA, USA, dicembre 2015.

4.3. Rapporti per progetti di ricerca (“deliverable”)

- [D1] P. Banelli, G. Baruffa, L. Rugini, “*Open Call 1Extension Report: DVB-T software radio transmitter eXtension for IRIS (DVB-TX-IRIS)*”, WISHFUL, cofinanced by EU under work programme H2020, 2015.

¹³ <http://settembreorienta.unipg.it>

¹⁴ <http://ateneo.al-centro.unipg.it>

¹⁵ Il valore è stato inserito con l'IF rilevato nell'anno di pubblicazione. Con il termine “rilevato” si intende “reperito dal sito web di ISI Web of Knowledge” (<http://www.isiknowledge.com/>). Qualora il dato non fosse disponibile, è stato inserito il valore per l'anno disponibile più vicino.

- [D2] R. Marsalek, T. Kratochvil, J. Bartyzal, M. Simandl, F. Iorio, A. Di Cola, I. De Francesco, F. Barcio, P. Banelli, G. Baruffa, L. Rugini, "*D4.4 Module (This deliverable includes the software blocks to control the RF and the baseband: algorithms of drivers dedicated to improve the performances of the transceivers)*", n. D 4.4, ARTEMOS, cofinanced by ENIAC under work programme 2010 SP2 (wireless communication), 2014.

Autorizzo il trattamento dei miei dati personali ai sensi della legge 675/96.

In fede

Perugia, 22 novembre 2017

Giuseppe Baruffa

Al Direttore
Dipartimento di Ingegneria
Università degli Studi di Perugia
Via Duranti 93
06125 Perugia

Oggetto: Relazione sul complesso delle attività didattiche, di ricerca e gestionali svolte dal Dott. Marco Corradi (begli anni accademici 2013-2014, 2014-2015, 2015-2016 (in parte), 2016-17 (in parte)), Settore disciplinare: 08/B2, in qualità di Ricercatore confermato in servizio presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Perugia dal 3 gennaio 2005.

Il sottoscritto dottore ingegnere **Marco Corradi**, nato a Terni il 25 settembre 1971, ricercatore nel settore scientifico disciplinare 08/B2 (Scienza delle Costruzioni) presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Perugia, considerato che è stato in aspettativa senza assegni dal 1 giugno 2016 al 31 gennaio 2017, negli ultimi quattro anni accademici (dal 2013-14 al 2016-17) ha svolto le attività scientifiche riguardanti le seguenti problematiche:

- Studio di soluzioni di rinforzo di strutture in legno inflesse senza l'uso di matrici polimeriche utilizzando pultrusi a base di fibra di vetro.
- Studio di isolatori antisismici con metalli a memoria di forma.
- Studio del comportamento nel tempo di materiali compositi per applicazioni civili e meccaniche attraverso prove di invecchiamento ed esposizione a raggi ultravioletti.
- Uso di connettori trasversali con malte ad espansione per il collegamento trasversale di muri a più paramenti.

Le indagini sperimentali sopra riportate hanno consentito la pubblicazione di oltre 20 pubblicazioni tecniche, molte delle quali su riviste internazionali primaria importanza nel settore con elevato *impact factor*. Inoltre il sottoscritto ing. Marco Corradi, facente parte dei Consigli di Corso di laurea in Ingegneria Industriale e Meccanica ha svolto la seguente attività didattica:

Tesi di laurea:

Il sottoscritto negli ultimi tre anni accademici è stato correlatore o relatore di circa 10 tesi di laurea presso i corsi di Laurea (sia laurea triennale che specialistica) in ingegneria Civile, Energetica e Industriale dell'Università degli Studi di Perugia.

Attività di Insegnamento

Anno Accademico **2013/2014** in qualità di **docente responsabile** dell'insegnamento:

- Scienza delle Costruzioni per il corso di laurea trienn. in Ingegneria Industriale (6 cfu).
- Laboratorio di Scienza delle Costruzioni per il corso di laurea in Ingegneria Industriale (4 cfu)

Anno Accademico **2014/2015** in qualità di **docente responsabile** dell'insegnamento:

- Scienza delle Costruzioni per il corso di laurea trienn. in Ingegneria Industriale (6 cfu).
- Laboratorio di Scienza delle Costruzioni per il corso di laurea in Ingegneria Industriale (4 cfu)
- Modulo di Complementi di Meccanica delle Strutture per il corso di laurea Mag. in ingegneria Meccanica (5 cfu)

Anno Accademico **2015/2016** in qualità di **docente responsabile** dell'insegnamento:

- Scienza delle Costruzioni per il corso di laurea in Ingegneria Industriale (6 cfu).
- Complementi di Meccanica delle Strutture per il corso di laurea Mag. in ingegneria Meccanica (6 cfu)

Anno Accademico **2016/2017** in qualità di **docente responsabile** dell'insegnamento:

- Scienza delle Costruzioni per il corso di laurea in Ingegneria Industriale (6 cfu).
- Modulo (parte teorica) di Complementi di Meccanica delle Strutture per il corso di laurea Mag. in ingegneria Meccanica (4 cfu)

ATTENDANCE AT CONFERENCES (2013-2017)

1. MURICO 2017 (*Mechanics of Masonry Structures Strengthened With Composite Materials*), 28-30 June 2017, Bologna, Italy.
2. 16th IBMAC *International Brick and Block Masonry Conference*, Padua, Italy, 26-30 June 2016.
3. ECCOMAS Congress 2016, Crete Island, Greece, 5-10 June 2016.
4. 3rd SHATIS *International Conference Structural Health Assessment of Timber Structures*, Wroclaw, Poland, 9-11 September 2015.
5. 12th *North American Masonry Conference*, Denver, Colorado, USA, 17-20 May 2015.

Dr Marco Corradi, PhD

Department of Engineering, University of Perugia 93 Via Duranti Perugia 06125 (Italy)
marco.corradi@unipg.it, fax +39 (0) 75 585 3897 cell. +39 339 5949 770

6. 4th MURICO *Mechanics of masonry structures strengthened with composite materials modelling, testing, design, control*, Ravenna, Italy, 9-11 September 2014.
7. 12th CST *Computational Structures Technology*, Naples, Italy, 2-4 September 2014.
8. 10th ETC *Engineering Computational Technology*, Naples, Italy, 3-5 September 2014.
9. 14th *Structural Faults + Repair 2014, [Concrete, Materials and Conservation-2014]*, Imperial College, London, UK, 8-10 July 2014.
10. 15th ANIDIS *Italian National Conference for Earthquake Engineering*, Padua, Italy, 30 June-4 July 2013.

PUBLICATIONS (2013-2017)

Articles (International Journals)

1. Pupsys, T., Corradi, M., Borri, A., & Amess, L. (2107). Reversible tensile strengthening of full-scale timber beams with mechanically attached GFRP composite plates. *Key Engineering Materials*, ISSN: 1662-9809, doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.747.212, 747: 212-219.
2. Corradi, M., Borri, A., Righetti, L. & Speranzini E. (2017). Uncertainty analysis of FRP reinforced timber beams. *Journal of Composites, part B*, Elsevier, ISSN 1359-8368, doi: 10.1016/j.compositesb.2017.01.030, 113: 174-84.
3. Castori, G., Borri, A., De Maria, A., Corradi, M., & Sisti, R. (2017). Seismic vulnerability assessment of a monumental masonry building, *Engineering Structures*, Elsevier, ISSN 0141-0296, doi: 10.1016/j.engstruct.2017.01.035, 136: 454-65.
4. Corradi, M., Borri, A., Poverello, E., & Castori, G. (2017). The use of transverse connectors as reinforcement of multi-leaf walls. *Materials and Structures*, Springer, ISSN: 1359-5997, doi: 10.1617/s11527-016-0977-3, 50(2): 1-14.
5. Corradi, M., Borri, A., Castori, G., & Sisti, R. (2016). The Reticulatus method for shear strengthening of fair-faced masonry, *Bulletin of Earthquake Engineering*, Springer, ISSN 1570-761X, doi 10.1007/s10518-016-0006-5: 1-25.
6. Righetti, L., Edmondson, V., Corradi, M., & Borri, A. (2016). Fibreglass grids as sustainable reinforcement of historic masonry, *Materials*, MDPI, ISSN 1966-1944, doi:10.3390/ma9070603, 9(7), 603.
7. Speranzini, E., Agnetti, S., & Corradi, M. (2016). Experimental analysis of adhesion phenomena in fibre-reinforced glass structures. *Journal of Composites, part B*, Elsevier, ISSN 1359-8368, doi: 10.1016/j.compositesb.2016.06.074, 101: 155-166.
8. Sisti, R., Corradi, M., & Borri, A. (2016). An experimental study on the influence of composite materials used to reinforce masonry ring beams. *Construction and Building Materials*, Elsevier, doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.06.120, 122: 231-241.
9. Buratti, C., Belloni, E., Lunghi, L., Borri, A., Castori, G., & Corradi, M. (2016). Mechanical characterization and thermal conductivity measurements by means of a new 'small hot-box' apparatus: innovative insulating reinforced coatings analysis. *Journal of Building Engineering*, Elsevier, ISSN: 2352-7102, doi: 10.1016/j.jobbe.2016.05.005, 7: 63-70.
10. Corradi, M., Borri, A., Castori, G., & Speranzini, E. (2016). Fully reversible reinforcement of softwood beams with unbonded composite plates, *Composite Structures*, Elsevier, ISSN 0263-8223, doi: 10.1016/j.compstruct.2016.04.014, 149: 54-68.
11. Righetti, L., Corradi, M., Borri, A., Castori, G., Sisti, R., & Osofero, A.I. (2016). Durability of GFRP grids for masonry structures, *International Journal of Forensic Engineering*, Inderscience, ISSN 1744-9944, doi: 10.1504/IJFE. 2016.075990, 3 (1-2): 164-179
12. Borri, A., Castori, G., & Corradi, M. (2016) Behavior of thin masonry arches repaired using composite materials. *Journal of Composites, part B*, Elsevier, ISSN 1359-8368, doi: 10.1016/j.compositesb.2015.09.008, 87:311-321.
13. Borri, A., Corradi, M., Sisti, R., Buratti, C., Belloni, E., & Moretti, E. (2015). Masonry wall panels retrofitted with thermal-insulating GFRP-reinforced jacketing. *Materials and Structures*, Springer, ISSN: 1359-5997, doi: 10.1617/s11527-015-0766-4, 49(10): 3957-3968.

14. Corradi, M., Borri, A., Castori, G., & Coventry, K. (2015). Experimental analysis of dynamic effects of FRP reinforced masonry vaults, *Materials*, MDPI, ISSN 1966-1944, doi: 10.3390/ma8074034, 8:8059-8071.
15. Righetti, L., Corradi, M., & Borri, A. (2015). Basalt FRP spike repairing of wood beams, *Fibers*, MDPI, ISSN 2079-6439, doi: 10.3390/fib3030323, 3:323-337.
16. Corradi, M., Righetti, L., & Borri, A. (2015). Bond strength of composite CFRP reinforcing bars in timber, *Materials*, MDPI, ISSN 1966-1944, doi: 10.3390/ma8074034, 8:4034-4049.
17. Borri, A., Corradi, M., Castori, G., & De Maria, A. (2015) A method for the analysis and classification of historic masonry, *Bulletin of Earthquake Engineering*, Springer, ISSN 1570-761X, doi: 10.1007/s10518-015-9731-4, 1-19.
18. Borri, A., Castori, G., & Corradi, M. (2015) Behavior of masonry columns repaired using small diameter cords. *Key Engineering Materials*, ISSN 1662-9795, doi: 10.4027/www.scientific.net/KEM624.254, 624:254-265.
19. Borri, A., Castori, G., Corradi, M., & Sisti, R. (2015) Ageing problems of GFRP grids used for masonry reinforcement. *Key Engineering Materials*, ISSN 1662-9795, doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM624.413, 624:413-420.
20. Borri, A., Castori, G., Corradi, M., & Speranzini, E. (2015) Durability analysis for FRP and SRG composites in civil applications. *Key Engineering Materials*, ISSN 1662-9795, doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM624.421, 624:421-428.
21. Borri, A., Castori, G., & Corradi, M. (2015). Determination of shear strength of masonry panels through different tests. *International Journal of Architectural Heritage*, Francis and Taylor, ISSN 1558-3058, doi: 10.1080/15583058.2013.804607, 9(8):913-927.
22. Borri, A., Castori, G., & Corradi, M. (2014). Strengthening of fair face masonry columns with steel hooping, *Materials and Structures*, Springer, ISSN: 1359-5997, doi: 10.1617/s11527-014-0376-6, 47(12):2117-2130.
23. Osofero, A.I., Corradi, M., & Borri, A. (2014). Experimental study of bond strength between titanium bar and lime-based mortar. *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering*, ISSN: 0899-1561, doi:10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001139.
24. Borri, A., Corradi, M., & Speranzini, E. (2013). Bending tests on natural fiber reinforced fir wooden elements. *Advanced Materials Research*; ISSN: 1662-8985, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.778.537, 778: 537-544.
25. Borri, A., Corradi, M., & Speranzini, E. (2013). Reinforcement of wood with natural fibers. *Journal of Composites, part B*; ISSN 1359-8368, Elsevier, doi: 10.1016/j.compositesb.2013.04.039, 53:1-8.
26. Borri, A., Corradi, M. & Castori, G. (2011). Rinforzo intradossale di archi in muratura con lamine pultruse in FRP. Atti del XIV Convegno Nazionale *L'ingegneria Sismica in Italia*, Bari, 18.08-22.09.2011, ISBN 978-88-7522-040-2.
27. Borri, A., Corradi, M., Speranzini, E. & Giannantoni, A. (2011). Un modello per lo studio del comportamento meccanico della muratura rinforzata con la tecnica del Reticolatus. Atti del XIV Convegno Nazionale *L'ingegneria Sismica in Italia*, Bari, 18.8-22.9.2011, ISBN 978-88-7522-040-2.
28. Borri, A., Corradi, M. & Castori, G. (2012). Confinamento di colonne murarie con mattoni "faccia a vista". Atti del V Convegno Nazionale su Crolli, Affidabilità Strutturale, Consolidamento, Pisa, 15-17.11.2012, 427-436, ISBN 978-88-89972-34-2.
29. Borri, A., Corradi, M. & Speranzini, E. (2012). Effetto del rinforzo in fibre naturali sulle travi in legno di abete. Atti del V Convegno Nazionale su Crolli, Affidabilità Strutturale, Consolidamento, Pisa, 15-17.11.2012, 437-446, ISBN 978-88-89972-34-2.
30. Borri, A., Castori, G. & Corradi, M. (2013). La valutazione della resistenza a taglio di pannelli tramite prove sperimentali. Atti del XV Convegno Nazionale *L'ingegneria Sismica in Italia*, Padova, 30.06-04.07.2013.
31. Borri, A., Corradi, M., Castori, G. & Vetturini, R. (2013). Tecniche di intervento per il recupero di volte in folio. Atti del XV Convegno Nazionale *L'ingegneria Sismica in Italia*, Padova, 30.06-04.07.2013.
32. Borri, A., Corradi, M., Castori, G. & Sisti, R. (2013). Tecniche innovative di rinforzo di murature storiche. Atti del XV Convegno Nazionale *L'ingegneria Sismica in Italia*, Padova, 30.06-04.07.2013.
33. Borri, A., Castori, G. & Corradi, M. (2013). Utilizzo di trefoli metallici per il rinforzo di colonne murarie con mattoni "faccia vista". Atti del XV Convegno Nazionale *L'ingegneria Sismica in Italia*, Padova, 30.06-04.07.2013.

CITATIONS INDICES

Google Scholar, Accessed on 28 October 2017

	All	Since 2012
Citations	1709	1273
h-index*	21	20
i10-index**	32	28

* *h-index* is the largest number *h* such that *h* publications have at least *h* citations. The second column has the "recent" version of this metric which is the largest number *h* such that *h* publications have at least *h* new citations in the last 5 years.

** *i10-index* is the number of publications with at least 10 citations. The second column has the "recent" version of this metric which is the number of publications that have received at least 10 new citations in the last 5 years.

IMPACT FACTORS of PUBLICATION JOURNALS

Impact factors of Journals where Author publications appeared:

<i>Applied Sciences (MDPI)</i>	Impact Factor 2016 1.68/5-year 1.91
<i>Construction and Building Materials (Elsevier)</i>	Impact Factor 2013 2.29/5-year 2.82
<i>Composites, part B (Elsevier)</i>	Impact Factor 2013 2.14/5-year 2.65
<i>Composites Science and Technology (Elsevier)</i>	Impact Factor 2013 3.33/5-year 4.14
<i>Composite Structures (Elsevier)</i>	Impact Factor 2013 3.29/5-year 2.82
<i>International Journal Architectural Heritage (Taylor&Francis)</i>	Impact Factor 2013 0.37/5-year 0.58
<i>Journal of Materials in Civil Engineering (ASCE)</i>	Impact Factor 2013 0.96/5-year 1.21
<i>Materials and Structures (Springer)</i>	Impact Factor 2013 1.18/5-year 1.65
<i>Materials (MDPI)</i>	Impact Factor 2016 2.65/5-year 3.24
<i>Bulletin of Earthquake Engineering (Springer)</i>	Impact Factor 2013 1.56/5-year 1.69

Rimanendo a disposizione per ogni chiarimento si inviano

Distinti saluti,

Perugia, 31.10.2017



Attività scientifica della dott.ssa Pisana PLACIDI

(Anni accademici di riferimento: 2014/15, 2015/16, 2016/17-
Attività relativa al triennio 26 giugno 2014 / 25 giugno 2017).

Keywords

Progettazione di sistemi elettronici, sistemi "embedded", sistemi "ciberfisici" (*Cyber-Physical Systems*), progettazione di circuiti elettronici integrati dedicati al controllo e alla lettura di sensori per esperimenti di fisica delle alte energie, sistemi e circuiti digitali, *Lab-on-Chip*, *Smart sensors*, *Microsensors*, *Bio-sensors*, *IoT*, *Bioengineering*, modellazione di sistemi elettrici e termici, tecnologie microelettroniche, sistemi a logica programmabile e *Programmable Systems on Chip*, *Field Programmable Gate Array* (FPGA).

Interessi scientifici attuali

- Sistemi "embedded" e "ciberfisici"
- Sistemi elettronici e circuiti elettronici integrati dedicati al controllo e alla lettura di sensori per esperimenti di fisica delle alte energie.
- Simulazione e verifica di sistemi complessi ad alto livello.
- Progettazione dell'elettronica di un *Lab-on-Chip* per la rivelazione di infezioni virali.
- Sensori e interfacciamento di sensori con microcontrollori e con *Programmable System on Chip*.
- Reti di sensori, con particolare riguardo agli standard adottati nel settore degli "Smart Sensor".
- Progettazione di sistemi elettronici basati su circuiti logici programmabili.
- Sensori innovativi per il riconoscimento del DNA.
- Progettazione dell'elettronica per la misurazione dello stato di carica di "batterie a flusso".

Metriche dell'attività scientifica

i. Abilitazione Nazionale e VQR

Ha ottenuto l'abilitazione scientifica nazionale alle funzioni di professore universitario di seconda fascia nel settore concorsuale 09/E3 - ELETTRONICA nella I tornata del 2012 (esiti pubblicati il 4 febbraio 2014). L'età accademica è pari a 23 anni (prima pubblicazione - atti di convegno internazionale 10 luglio 1995).

Grazie al valore della terna degli indicatori richiesti per l'abilitazione e all'esito della VQR la Dott.ssa Pisana PLACIDI è stata selezionata come membro del Collegio dei Docenti del Dottorato del Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Perugia negli anni 2014, 2015, 2016 e 2017.

ii. Metriche relative alle citazioni dei lavori (aggiornate al 25 giugno 2017; database di riferimento *Web of Science* e *Scopus*)

La dott.ssa Pisana PLACIDI ha pubblicato, nel corso della sua attività, oltre 150 lavori scientifici sottoposti a "peer review" (di cui oltre 60 pubblicati su riviste e contributi in volumi).

Il numero di articoli a rivista indicizzati e catalogati come ARTICLE è 57, come REVIEW è 2 e come PROCEEDINGS PAPER è 61 in *Web of Science (WOS)*, mentre in *Scopus* il numero di quelli indicizzati e catalogati come ARTICLE è pari a 45 (in quest'ultimo database i lavori estesi di abstract presentati a conferenza e pubblicati su rivista vengono catalogati come "conference paper" e pertanto sono esclusi dal numero riportato).

	WOS*	Scopus*
Results found (number of items)	97	101
Sum of the Times Cited	5374	5320
Sum of Times Cited without self-citations	5272	
Citing Articles	5179	
Citing Articles without self-citations	5124	
Average Citations per item	55,4	
h-index	12	15

*Dati estratti il 3 lug. 2017

Relativamente all'attività degli ultimi 5 anni (ovvero a partire dal 2012) e 10 anni (ovvero a partire dal 2007) considerando i dati estratti il 4 maggio 2017

Paper 5 anni (su rivista)	Citazioni 10 anni	H-index 10 anni
12	165	7
WOS=30	WOS=5040	SCOPUS=10
SCOPUS=29	SCOPUS=4918	WOS=9

Pisana Placidi: orcid.org/0000-0002-5408-5180

Attività di ricerca

L'attività di ricerca svolta dalla dott.ssa Pisana Placidi, nel periodo di riferimento, può essere inquadrata in alcune tematiche principali che vengono, di seguito, brevemente descritte. I riferimenti bibliografici fanno riferimento alla sezione "Lista dei lavori pubblicati" di seguito riportata in questo documento (nella lista le pubblicazioni vengono elencate seguendo l'ordine temporale in cui sono state pubblicate).

i. Progettazione, realizzazione e caratterizzazione dell'elettronica dedicata al controllo e alla lettura di una famiglia di rivelatori di radiazione integrati in tecnologia CMOS per applicazioni di fisica delle alte energie e per applicazioni medicali. (Attività svolta nell'ambito dei progetti: "CMS", "RAPID", "SEED", "RIPARI").

L'esperienza maturata presso il CERN di Ginevra (Svizzera) sulla progettazione di circuiti integrati misti (analogico/digitali) principalmente utilizzati nelle applicazioni di fisica delle alte energie [J2], [J3], [J7], [J12] è confluita nell'anno 2000 nell'attività di ricerca dedicata alla progettazione, realizzazione e caratterizzazione di sensori di radiazione a matrice di pixel attivi integrati in tecnologia CMOS submicrometrica. L'approccio innovativo proposto in questa attività di ricerca è legato all'integrazione dell'elemento sensibile ad una singola particella ionizzante in un substrato di tipo CMOS "convenzionale". Tale integrazione consente di compensare la ridotta sensibilità di substrati CMOS standard alla generazione di carica per effetto di ionizzazione, rispetto a substrati ad elevata resistività usualmente impiegati in tale ambito. In questo contesto, l'obiettivo è stato quello di trarre vantaggio dai progressi recentemente ottenuti nelle applicazioni di sensori CMOS nel campo della radiazione visibile, estendendone l'impiego alla rivelazione di singole particelle, modificandone e ottimizzandone la struttura in funzione delle specifiche operative e funzionali caratteristiche della radiazione stessa. In particolare, è stato possibile ottenere significativi vantaggi (rispetto a classi analoghe di sensori) in termini di risoluzione e rapporto segnale/rumore, grazie *i*) all'integrazione di elettronica di elaborazione "locale" associata a ciascun elemento sensibile (pixel); *ii*) all'utilizzo di modalità di lettura "intelligente" di un'intera matrice di pixel basata su architetture innovative specificamente dedicate alla rivelazione di singole particelle.

Negli ultimi anni la ricerca è stata focalizzata sull'uso di tali rivelatori di radiazione nell'ambito di una specifica applicazione medica: la Radiologia Interventistica (RI). Sono stati, infatti, utilizzati sensori CMOS a pixel attivi commerciali nella progettazione e realizzazione di un dosimetro real time indossabile, dotato di connessione wireless, da utilizzare nelle procedure di RI. In tale ambito il monitoraggio individuale riveste un ruolo importante nella radioprotezione degli operatori, attraverso la valutazione della dose efficace (corpo intero) e della dose equivalente (mani, braccia, gambe,

crystallino, tiroide). Tale dispositivo potrebbe consentire l'implementazione di una metodologia di monitoraggio on-line in grado di: *i)* gestire la posizione dell'operatore rispetto al paziente e i relativi tempi di esposizione, riducendo così la dose ricevuta durante il singolo intervento; *ii)* ridurre i tempi legati alla lettura dei dosimetri consentendo di gestire in modo efficiente un archivio delle dosi assorbite da ciascun operatore e di ottimizzare la pianificazione delle procedure nelle strutture sanitarie. Nell'ambito di tale attività ci si propone, dunque, di realizzare un dosimetro attivo il cui cuore è costituito da un sensore a pixel CMOS in grado di rivelare radiazioni X con energie dei fotoni comprese tra 10 e 100 keV. Durante la ricerca bibliografica iniziale, volta ad approfondire le problematiche relative alla radioprotezione, sono state anche raccolte informazioni sullo stato dell'arte delle tecnologie e dei dispositivi dosimetrici, al fine di acquisire informazioni sui punti di forza e di debolezza degli attuali prodotti disponibili sul mercato.

Successivamente è stata eseguita un'attività di convalida sperimentale, volta a selezionare il sensore commerciale da utilizzare come sensore di radiazione, e la progettazione e realizzazione del primo prototipo mediante l'utilizzo di "Components-Off-The Shelf" [C11], [J1], [J9]. Il prototipo è stato poi convalidato effettuando anche dei test su "fantoccio" in sala operatoria con parametri tipici di funzionamento dell'angiografo e dei test su operatore medico durante alcune procedure svolte presso le strutture ospedaliere coinvolte. L'attività sperimentale è proseguita con una caratterizzazione del nodo sensoriale [C6], [C7], [J13], [J18] e della rete di sensori [I1], [J11].

Il contributo individuale di Pisana PLACIDI in questa attività ha riguardato la stesura dei progetti, la supervisione e la proposizione di soluzioni circuitali, di architetture e di test di sistema. Nell'ambito del progetto "RAPID", Pisana PLACIDI si è occupata anche della supervisione di due studenti di dottorato, in qualità rispettivamente di relatore e correlatore.

ii. Progettazione di un ambiente flessibile di simulazione e verifica per le prossime generazioni di circuiti di lettura basati su pixel ibridi nella fisica delle alte energie. (Attività svolta nell'ambito dei progetti: "RD53", "Chipix65" e AIDA 2020).

Tale attività, iniziata nel 2013, ha riguardato inizialmente lo sviluppo di un ambiente di simulazione e verifica finalizzato alla valutazione delle prestazioni di differenti architetture digitali di circuiti integrati di rivelatori a pixel ibridi per esperimenti di fisica delle alte energie di prossima generazione [C3], [J4]. Le sfide tecniche connesse ad un aumento dei tassi di collisione delle particelle elementari previste per il Large Hadron Collider (HL-LHC) presso il CERN di Ginevra, infatti, incideranno significativamente sulla progettazione dell'elettronica dedicata alla lettura e al controllo dei sensori di radiazione e, pertanto, gli strumenti di progettazione adottati sino ad ora per scegliere l'architettura ottima risultano inadeguati [C8], [C10], [C13].

In tale scenario sembra molto promettente l'utilizzo di tecniche attualmente utilizzate nell'industria per la progettazione di sistemi complessi che richiedono la messa a punto di un ambiente che, durante la progettazione e la convalida sperimentale, consenta di verificare il comportamento del sistema e la bontà delle scelte progettuali dell'architettura, utilizzando una descrizione ad alto livello. Tale ambiente dovrebbe consentire di simulare il sistema completo o alcuni dei suoi blocchi circuitali prendendo in considerazione sia segnali di ingresso generati in modo casuale, con un controllo sui vincoli statistici, sia dati ottenuti mediante una simulazione Monte Carlo degli eventi fisici [J8]. Per la realizzazione di tale ambiente è stato utilizzato il *SystemVerilog*, uno dei linguaggi di descrizione e verifica hardware (*Hardware of Verification and Description Language*, HVDL) ampiamente utilizzato nella progettazione dei sistemi. Tale linguaggio permette la creazione di testbench complessi in maniera dinamica integrando le funzionalità dei linguaggi di descrizione hardware classici (VHDL e Verilog) e le tecniche della programmazione orientata a oggetti. In questo modo, da un lato si descrive un "Device Under Test" in maniera tradizionale come un modulo, mentre dall'altro è possibile implementare più ambienti di verifica (*Verification Environment*) i cui componenti sono istanze di classi. Infine, l'utilizzo della libreria *Universal Verification Methodology*, anch'essa ampiamente adottata in ambito industriale, consente un elevato grado di configurabilità. L'ambiente implementato è attualmente utilizzato dalla collaborazione "RD53" per la progettazione e verifica del primo prototipo del sistema per HL-LHC [J16], [J17].

Nell'ultimo anno, l'attività si è concentrata sulla progettazione di un primo prototipo e in particolare sullo studio, analisi e progettazione di architetture a basso consumo di potenza destinate a lavorare in

un ambiente particolarmente ostile a causa delle radiazioni [J20]. In particolare è stato messo a punto un flusso di analisi del consumo di potenza del sistema in cui sono presenti numerosi circuiti integrati alimentati attraverso uno schema di distribuzione della tensione di alimentazione seriale (al fine di consentire una maggiore granularità, diminuire le perdite di potenza via cavo e ridurre la quantità di materiale presente all'interno del rivelatore per diminuire l'impatto sugli eventi fisici che si vogliono osservare). La peculiarità di questo schema consiste nel fatto che il funzionamento richiede un consumo di corrente costante. Nel circuito di distribuzione dei segnali di alimentazione vengono, pertanto, utilizzati dei regolatori Low-Drop Out (LDO) per generare il livello di tensione di alimentazione richiesto e per "utilizzare" la corrente in eccesso, ovvero temporaneamente non richiesta dal carico. Pertanto, l'obiettivo dell'attività di progettazione del prototipo non è stato soltanto quello di ridurre il consumo medio di energia, ma anche quello di quantificare e limitare il più possibile le fluttuazioni di potenza legate al funzionamento della logica digitale. A tal scopo è stato necessario utilizzare una rete di filtri passa basso, la cui progettazione richiede una conoscenza delle variazioni di potenza in diverse finestre temporali (dipendentemente dalla presenza di una rete di disaccoppiamento). In particolare è stato necessario stimare: *i*) le variazioni di potenza contenute in un ciclo di clock (di durata minore di 25ns), che devono essere gestite mediante il disaccoppiamento su chip (non solo per la tipologia di alimentazione seriale ma anche per le cadute di tensione IR e i problemi di elettromigrazione causati da picchi di corrente brevi ed elevati); *ii*) le variazioni di potenza contenute in intervalli di tempo più grandi (inferiori in ogni caso a 1 / 10 μ s). In particolare, le variazioni che si verificano in quest'ultimo intervallo hanno ripercussioni sull'alimentazione di tutto il sistema e, pertanto, sono di maggiore interesse per la progettazione del singolo circuito integrato.

Nell'ambito del progetto "Chipix65" è stata individuata un approccio per determinare una strategia di condivisione ottimizzata della logica tra i pixel, dato che un'elaborazione efficiente dei dati acquisiti dai sensori viene ottenuta, nel rivelatore, raggruppando i pixel stessi in regioni che hanno in comune la "logica di buffering". In particolare è stata messa a punto un'architettura digitale innovativa della regione in grado di gestire latenze significative del trigger e velocità di trasmissione senza precedenti quali quelle previste per HL-LHC. Tale architettura garantisce un'efficienza superiore al 99% ad una velocità nominale di 3 GHz / cm² e 1 MHz di trigger rate con una latenza del trigger di 12.5 μ s [C12], [J15], [J21].

Infine, nell'ambito di tale attività è stata progettata anche la logica digitale di un sistema di lettura di sensori di radiazione, che sfrutta le potenzialità della logica programmabile di ultima generazione (in particolare *Field Programmable Gate Array*, FPGA) per la ricostruzione delle tracce delle particelle. Tale ricostruzione avviene attraverso una selezione efficiente di eventi rari da un enorme mole di dati. Il sistema proposto prevede la presenza di un elaboratore hardware dedicato e realizzato utilizzando le Memorie Associative. In particolare è stato progettato e realizzato un prototipo (chiamato *Pattern Recognition Mezzanine*) che consente [C4], [C9], [J10], [J14]: *i*) l'integrazione di più componenti all'interno di una singola scheda per aumentare la potenza di calcolo e ridurre la dimensione del sistema; *ii*) di ridurre il tempo di latenza per la selezione dei dati relativi al Trigger di "Level-1"; *iii*) di ottimizzare i comandi dedicati al controllo delle Memorie Associative.

Pisana PLACIDI in questa attività ha contribuito alla proposizione di soluzioni circuitali, di architetture e di test di sistema occupandosi anche della supervisione di tre diverse tesi di dottorato. Il contributo individuale ha riguardato, inoltre, la stesura dei diversi progetti sopra indicati e la responsabilità locale del progetto "Chipix65".

iii. Progettazione di circuiti per un lab-on-chip totalmente integrato dedicato alla diagnosi precoce di infezioni virali. (Attività svolta nell'ambito del progetto PRIN "ARTEMIDE").

L'obiettivo principale di quest'attività di ricerca (iniziata nell'anno 2013) consiste nella progettazione e realizzazione di un sistema dedicato alla diagnosi di infezioni virali causate da virus paradigmatici quali il Parvovirus B19V e Human Papillomavirus (HPV). Infatti, mentre in precedenza gli approcci per identificare gli agenti causanti di un'infezione sono stati limitati principalmente a singole molecole target, vi è attualmente una richiesta crescente di rivelazione "multiplex", dove con rivelazione multiplex in termini clinici si intende "rivelazione simultanea multi-canale".

L'attività specifica in cui è stata coinvolta la dott.ssa Pisana PLACIDI riguarda lo sviluppo di microsistemi stand-alone (Lab-on-Chip, LoC) che integrano tutte le funzionalità per la gestione della microfluidica e la rilevazione del segnale, al fine di eseguire il test biologico sul chip, svolgendo tutte le fasi di analisi, dalla preparazione del campione alla rilevazione dei biomarcatori. Uno degli elementi chiave nello sviluppo di un LoC in cui è integrata la gestione termica è legato al materiale del substrato su cui è stato fabbricato il dispositivo, spesso imposto dalle esigenze dell'applicazione finale. In genere il materiale scelto per applicazioni analitiche di chimica è il vetro e, pertanto, la caratterizzazione dei substrati di vetro risulta di particolare interesse per i LoC. L'attività è stata, così, inizialmente focalizzata sulla caratterizzazione termica accurata di alcuni riscaldatori a film sottile prodotti su substrati di vetro. In particolare sono stati presi in considerazione dei riscaldatori a serpentina in Cr/Al/Cr. Così, tecniche comunemente adottate per misurare la resistenza e la capacità termica di un microriscaldatore basato su silicio, sono state opportunamente modificate per prendere in considerazione le differenze fondamentali dei parametri termici di un riscaldatore prodotto su vetro. Al fine di ridurre il consumo di potenza sono state anche scavate delle trincee sul lato posteriore del riscaldatore, riuscendo così ad aumentare significativamente la resistenza termica e diminuire la capacità termica [C1],[C2],[C5], [J6]. Il comportamento di questi riscaldatori è stato anche simulato con buon accordo con le misure sperimentali [J5].

Il contributo individuale di Pisana PLACIDI in questa attività ha riguardato la stesura del progetto, la definizione delle specifiche del banco di misura di resistenza elettrica e termica in funzione della temperatura, la simulazione *Spice* dei sistemi elettrotermici.

Sintesi delle collaborazioni a progetti di ricerca

2014	<p>Titolo del progetto: “<i>Real-time Active Pixel Dosimetry (RAPID)</i>”. Progetto finanziato dall'INFN (Gruppo V).</p> <p>Unità di Ricerca: Università e Sezione INFN di Perugia, USL Umbria1 e USL Umbria2 dell'Umbria.</p>
2011 - 2014	<p>Titolo del progetto: “<i>Compact Muon Solenoid (CMS, http://cms.web.cern.ch/)</i>”. Progetto finanziato da CERN e Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN)</p> <p>Unità di Ricerca: collaborazione internazionale tra 172 Istituti di Ricerca / Università appartenenti a 40 nazioni diverse (http://cms.web.cern.ch/content/cms-collaboration).</p>
2014-2016	<p>Titolo del progetto: “<i>PRIN 2010: ARTEMIDE (Autonomous Real Time Embedded Multi-analyte Integrated Detection Environment): lab on-chip totalmente integrato per la diagnosi precoce di infezioni virali</i>”.</p> <p>Unità di Ricerca: CNR-IFAC (Firenze), Università di Bologna, Università La Sapienza (Roma), Università di Perugia, Università di Pisa e Università di Roma Tor Vergata. (01/02/2013 - 01/02/2016).</p>
2014-2015	<p>Titolo del progetto “SEAL: Smart&safe Energy-aware Assisted Living Smart domotics for safe and energy-aware assisted living”.</p> <p>Partner Industriali: BFT SpA, Elica SpA, Videotec SpA, Vimar SpA, EcamRicert Srl, Tecnowatt Srl); Partner Accademici: (Università di Padova, Università di Perugia, Università di Roma - Tor Vergata).</p>
2014-2017	<p>Titolo del progetto: “<i>RD53 Collaboration (http://rd53.web.cern.ch/RD53/)</i>”.</p> <p>Collaborazione guidata dal CERN.</p> <p>Unità di Ricerca: collaborazione internazionale (Unità di ricerca: INFN and Politecnico di Bari, Physikalisches Institut der Universität Bonn (Germany), CERN (Geneva, Switzerland), CPPM (Marseille, France), Fermilab (Chicago, United States), LBNL (Berkeley, Unites States), LPNHE (Paris, France), NIKHEF (Amsterdam, Netherlands), University of New Mexico (United States), University of Padova, University of Pavia and Bergamo, INFN and University of Pisa, INFN and University of Perugia, Paul Scherrer Institut (Switzerland), Rutherford Appleton Laboratory (United Kingdom), University of California Santa Cruz (United States) e INFN and University of Torino).</p>
2014-2017	<p>Titolo del progetto: “<i>Chipix65</i>” - Sviluppo di un pixel chip innovativo in tecnologia CMOS 65nm per altissimi flussi di particelle e radiazione agli esperimenti di HL_LHC e futuri collider di nuova generazione”. Finanziato dall'INFN (Gruppo V).</p> <p>Unità di Ricerca: Torino, Pavia, Padova, Bari, Perugia, Milano, Pisa, Lecce.</p>
2015-2017	<p>Attività di ricerca nell’ambito del Progetto europeo “AIDA 2020 (Horizon 2020 Research Infrastructures programme; WP4 Microelectronics and interconnections)”. http://aida2020.web.cern.ch/ (2015-2019).</p>
2015-2016	<p>Titolo del progetto: “<i>Misurazione dello stato di carica di Flow Batteries</i>”.</p> <p>Attività svolta nell’ambito di un progetto di Dipartimento “<i>Studio di fattibilità per l’applicazione delle batterie a flusso ai veicoli elettrici</i>”</p>
2015-2016	<p>Titolo del progetto: “<i>Mecca-Bio-Tronica: Un nuovo approccio integrato e multidisciplinare per lo studio, la gestione e la progettazioni di impianti biologici per l’energia e l’ambiente</i>”.</p> <p>Attività svolta nell’ambito di un progetto di Dipartimento.</p>
2016-2017	<p>Titolo del progetto: “<i>SEED</i>” - Studio e sviluppo di sensori di radiazione fabbricati in tecnologia LFoundry da 110 nm. Finanziato dall'INFN (Gruppo V).</p> <p>Unità di Ricerca: Perugia, Torino, Padova TiFPA, Lab.Naz. di Frascati.</p>

30.05.17-31-12-2019	Titolo del progetto: "RIPARI (Rivelatori Innovativi a Pixel per Applicazioni con Radiazioni Ionizzanti)" Progetto della Fondazione Cassa di Risparmio Perugia. Codice Progetto: 2017.0104.021 ricerca scientifica e tecnologica.
---------------------	--

Contratti di ricerca e attività di organizzazione, direzione e coordinamento

2013-2014	"1 st Deputy Team Leader of Perugia Unit" per la collaborazione RD53 (CERN, Ginevra)
2014-2017	Responsabile locale del progetto nazionale INFN "Chipix65", Gruppo V.
2014-2016	Correlatore del dottorando Daniel Magalotti, Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia. Titolo del progetto di ricerca: "Sistemi elettronici nell'ambito della Radiologia Interventistica e per applicazioni di Fisica delle Alte Energie", XXVIII Ciclo.
Nov. 2014-2017	Relatore della dottoranda Sara Marconi, Università degli Studi di Perugia. Titolo del progetto di ricerca: "Simulation and design optimization of hybrid pixel array logic for the HL-LHC extreme hit and trigger rates", XXX cycle.
Mar. 2015-2017	"University Supervisor" della dottoranda Sara Marconi nell'ambito del <i>Doctoral Student Programme</i> presso il CERN di Ginevra.

Sintesi dei servizi prestati negli Atenei, Enti o Istituti di ricerca internazionali e nazionali

dal 1995	Incarico di associazione tecnologica a titolo gratuito presso la sezione dell' <i>Istituto Nazionale di Fisica Nucleare</i> (INFN) di Perugia.
dal 1996	Associazione per le attività di ricerca dell'esperimento CMS al <i>CERN-Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire</i> (Ginevra, Svizzera).
dal 2000	Attività di collaborazione con l'istituto <i>CNR-IMM</i> (ex LAMEL) di Bologna.
dal 2008	Associazione scientifica al <i>Consorzio Nazionale Interuniversitario per le Telecomunicazioni</i> (CNIT), Unità di Ricerca dell'Università degli Studi di Perugia.
dal 2012	Responsabile della qualità del corso di Laurea in Ingegneria Informatica ed Elettronica dell'Università degli Studi di Perugia.
dal 2013	Membro del "Comitato di Indirizzo" del Corso di <i>Laurea di primo livello in Ingegneria Informatica ed Elettronica</i> , Corso di <i>Laurea magistrale in Ingegneria Elettronica e delle Telecomunicazioni</i> (attualmente in <i>Ingegneria Elettronica per Internet-of-Things</i>), Corso di <i>Laurea magistrale in Ingegneria Informatica e dell'Automazione</i> (attualmente in <i>Ingegneria Informatica e Robotica</i>).
dal 2013	Membro del Collegio Docenti del Corso di Dottorato in Ingegneria Industriale e dell'Informazione (l'appartenenza al Collegio si basa sul valore della terna degli indicatori richiesti e sull'esito della VQR).

dal 2014	Membro della commissione del Dipartimento di Ingegneria per la definizione delle procedure di gestione degli spazi comuni con il Dipartimento di Ingegneria civile ed ambientale.
2014	Membro della commissione esaminatrice per la procedura di selezione comparativa, per titoli e colloquio, per l'assegnazione di borse di studio e assegni di ricerca presso il Dipartimento di Ingegneria (Università degli Studi di Perugia).
Febb. 2015	Presidente della commissione giudicatrice per il conferimento del titolo Dottore di Ricerca in "Ingegneria dell'Informazione-XVII ciclo- Dottorato europeo Dott. Conti Elia", presso l'Università degli Studi di Perugia.
Nov. 2016	Membro della Giunta di Dipartimento.
Mar. 2017	Membro della commissione giudicatrice per il conferimento del titolo Dottore di Ricerca in "Tecnologie dell'Informazione-XIX ciclo- Dottorato europeo Dott. Concari Luca e Dott. Guerra Claudio", presso l'Università degli Studi di Parma.
dal 2013	Partecipa attivamente alle attività legate all'Orientamento degli studenti per i CdS dell'area Informazione del Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi Perugia.

Sintesi dell'attività di revisore scientifico per riviste e conferenze

Revisore scientifico per le riviste internazionali:

- "Sensors & Actuators: A. Physical", Elsevier Science, ISSN: 0924-4247
- "Sensors & Actuators: B. Chemical", Elsevier Science, ISSN: 0925-4005
- "Integration, the VLSI Journal", Elsevier Science, ISSN: 0167-9260
- "IEEE Transactions on Instrumentation & Measurement", IEEE Instrumentation and Measurement Society, ISSN:0018-9456
- "IEEE Sensor Journal", IEEE Sensors Council e IEEE Robotics and Automation Society, ISSN: 1530-437X
- "Building and Environment", Elsevier Science, ISSN: 0360-1323
- "Microelectronics Journal", Elsevier Science, ISSN: 0026-2692
- "IET Circuits, Devices & Systems", IET Research Journals, ISSN 1751-858X
- "Journal of Low Power Electronics (JOLPE)"
- "International Journal of Thermal Sciences", ISSN: 1290-0729.

Revisore scientifico per le conferenze internazionali:

- ICEDSA, IEEE International Conference on Electronics Design, Systems and Applications
- ISIEA, IEEE Symposium on Industrial Electronics & Applications
- I2MTC, IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference
- ISBELA, IEEE Symposium on Business, Engineering and Industrial Applications
- PrimeAsia2017, 2017 IEEE Asia Pacific Conference on Postgraduate Research in Microelectronics and Electronics (PrimeAsia)
- 2016 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits & Systems

Lista dei lavori pubblicati

(sottoposti a "Peer Review" e pubblicati nel periodo giugno 2014-maggio 2017)

Nella lista di seguito riportata le pubblicazioni vengono elencate seguendo l'ordine temporale in cui sono state pubblicate e utilizzando: "J" per le pubblicazioni su riviste internazionali e contributi in volume; "C" per le presentazioni e i poster a conferenze internazionali che prevedono la pubblicazione di articoli e/o abstract; "I" per le presentazioni e i poster a conferenze nazionali che prevedono la pubblicazione di articoli.

Riviste internazionali e contributi in volume (J)

- J1. [Conti-Springer-14]:
Conti E., Magalotti D., Placidi P., Bissi L., Paolucci M., Passeri D., Scorzoni A., Servoli L. (2014)
A Dosimetric Device Based on a CMOS Image Sensor for Interventional Radiology
Applications in Electronics Pervading Industry, Environment and Society, Lecture Notes in Electrical Engineering, Springer International Publishing, 2014, vol. 289, pp.113-120, 2014, June 2014 (ISBN 978-3-319-04369-2, DOI: 10.1007/978-3-319-04370-8_10).
- J2. [CMS collaboration-JINST-1-14]:
CMS collaboration (including Placidi P.) (2014)
Alignment of the CMS tracker with LHC and cosmic ray data
Journal of Instrumentation (JINST), vol. 9, pp. 1-55, June 2014 (ISSN: 1748-0221; DOI: 10.1088/1748-0221/9/06/P06009).
- J3. [CMS collaboration-JINST-2-14]:
CMS collaboration (including Placidi P.) (2014)
Description and performance of track and primary-vertex reconstruction with the CMS tracker
Journal of Instrumentation (JINST), JINST 9 P10009, October 2014 (DOI:10.1088/1748-0221/9/10/P10009).
- J4. [Marconi-JINST-14]:
Marconi S., Conti E., Placidi P., Christiansen J. and Hemperek T.(2014)
The RD53 collaboration's SystemVerilog-UVM simulation framework and its general applicability to design of advanced pixel readout chips
Journal of Instrumentation (JINST), JINST 9 P10005, October 2014 (DOI:10.1088/1748-0221/9/10/P10005).
- J5. [Scorzoni-IEEE TIM-15]:
Scorzoni A., Tavernelli M., Placidi P., Zampolli S. (2015)
Thermal Modeling and Characterization of a Thin-Film Heater on Glass Substrate for Lab-on-Chip Applications
IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 64, issue 5, pp. 1215-1222, May 2015. (ISSN: 0018-9456, DOI: 10.1109/TIM.2014.2364697).
- J6. [Scorzoni-S&A A-15]:
Scorzoni A., Caputo D, Petrucci G., Placidi P., Zampolli S., de Cesare G., Tavernelli M., Nascetti A. (2015)
Design and Experimental Characterization of Thin Film Heaters on Glass Substrate for Lab-on-Chip Applications
Sensors and Actuators A, vol 229 (2015), pp. 203-210, 15 June, 2015. (ISSN: 0924-4247; DOI: 10.1016/j.sna.2015.03.011, Available online 14 March 2015).
- J7. [CMS collaboration-NIM A-15]:
CMS Collaboration (including P.Placidi) (2015)
Impact of low-dose electron irradiation on n(+) p silicon strip sensors
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, vol.: 803 pp.: 100-112, Dec. 11, 2015. (DOI: 10.1016/j.nima.2015.08.026).
- J8. [Conti-JINST-16]:
Conti E., Marconi S., Christiansen J., Placidi P. and Hemperek T. (2016)
Simulation of digital pixel readout chip architectures with the RD53 SystemVerilog-UVM verification environment using Monte Carlo physics data
Journal of Instrumentation (JINST), January 2016, JINST 11 C01069, January 2016 (DOI: 10.1088/1748-0221/11/01/C01069).

- J9. [Servoli- Physica Medica-2016]
 Servoli L., Bissi L., Fabiani S., Magalotti D., Placidi P., Scorzoni A., Calandra A., Cicioni R., Chiochini S., Dipilato A.C., Forini N., Paolucci M., Di Lorenzo R., Cappotto F.P., Scarpignato M., Maselli A., Pentiricci A. (2016)
Personnel real time dosimetry in interventional radiology
Physica Medica, vol. 32, Issue 12, (2016), pp. 1724–1730, February 2016 (DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejmp.2016.11.006>).
- J10. [Magalotti-JINST-16]:
 Magalotti D., Alunni L., Biesuz N., Bilei G.M., Citraro S., Crescioli F., Fanò L., Fedi G., Magazzù G., Servoli L., Storchi L., Palla F., Placidi P., Rossi E. and Spiezia A. (2016)
A pattern recognition mezzanine based on associative memory and FPGA technology for level 1 track triggers for the HL-LHC upgrade
Journal of Instrumentation (JINST), JINST 11 C02063, February 22, 2016 (DOI: 10.1088/1748-0221/11/02/C02063).
- J11. [Magalotti-IEEE TIM-16]:
 Magalotti D., Placidi P., Dionigi M., Scorzoni A., Servoli L. (2016)
Experimental Characterization of a Personal Wireless Sensor Network for the Medical X-Ray Dosimetry
IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol.65, pp. 2002-2011, issue 99, pp.1-10, March 2016 Available online:
http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=7433450&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D7433450 (ISSN: 0018-9456, DOI: 10.1109/TIM.2016.2534661).
- J12. [CMS collaboration-JINST-16]:
 CMS collaboration (including Placidi P.) (2016)
Trapping in proton irradiated p+-n-n+ silicon sensors at fluences anticipated at the HL-LHC outer tracker
Journal of Instrumentation, Volume 11, April 2016, P04023 (DOI: doi:10.1088/1748-0221/11/04/P04023) (<http://stacks.iop.org/1748-0221/11/i=04/a=P04023>).
- J13. [Magalotti-IEEE TIM-M-16]:
 Magalotti D., Placidi P., Paolucci M., Scorzoni A., Servoli L. (2016)
Experimental Characterization of a Wireless Personal Sensor Node for the Dosimetry During Interventional Radiology Procedures
IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 6, issue 65, pp. 1070 - 1078, May 2016 (ISSN: 0018-9456, DOI: 10.1109/TIM.2015.2476279).
- J14. [Magalotti-NIM A-16]:
 Alunni L., Biesuz N., Bilei G.M., Citraro S., Crescioli F., Fanò L., Fedi G., , Magalotti D., Magazzù G., Servoli L., Storchi L., Palla F., Placidi P., Papi A., Piadyk Y., Rosi E., Spiezia A.(2016)
A pattern recognition mezzanine based on associative memory and FPGA technology for L1 track triggering at HL-LHC
Nuclear Instruments & Methods in Physics Research A (2015), vol. 824, July 11, 2016, pp. 284–286 (DOI:10.1016/j.nima.2015.09.086).
- J15. [Monteil-JINST-2016]
 Monteil E., Pacher L., Paternò A., Loddo F., Demaria N., Gaioni L., De Canio F., Traversi G., V. Re G., Ratti L., Rivetti A., Da Rocha Rolo M., Dellacasa G., Mazza G., Marzocca C., Licciulli F., Ciciriello F., Marconi S., Placidi P., Magazzù G., Stabile A., Mattiazzo S. and Veri C. (2016)
A prototype of a new generation readout ASIC in 65nm CMOS for pixel detectors at HL-LHC
Journal of Instrumentation, vol. 11, December 2016, pp C12044. (DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1748-0221/11/12/C12044>).
- J16. [RD53 Collaboration-JINST-2016]
 RD53 Collaboration (including Placidi P.) (2016)
Recent progress of RD53 Collaboration towards next generation Pixel Read-Out Chip for HL-LHC
Journal of Instrumentation, no.12, December 2016, pp. 1-10. (DOI:10.1088/1748-0221/11/12/C12058; <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-0221/11/12/C12058/meta>).
- J17. [Marconi-APPLEPIES-17]
 Marconi S., Conti E., Placidi P., Scorzoni A., Christiansen J. and Hemperek T. (2015)
A SystemVerilog-UVM methodology for the design, simulation and verification of

complex readout chips in High Energy Physics applications

Applications in Electronics Pervading Industry, Environment and Society, APPLEPIES 2015 (Springer Lecture Notes in Electrical Engineering bookseries), vol. 409, ppIX, 236, 03 January 2017 (ISSN: 1876-1100; DOI: 10.1007/978-3-319-47913-2_5).

- J18. [Magalotti-APPLEPIES-17]
Magalotti D., Placidi P., Servoli L., Scorzoni A., Fabiani S., Bissi L., Calandra A., Paolucci M. and Verzellesi G. (2017)
A Wireless Personal Sensor Node for Real Time Dosimetry of Interventional Radiology Operators
Applications in Electronics Pervading Industry, Environment and Society, APPLEPIES 2015 (Springer Lecture Notes in Electrical Engineering bookseries), vol. 409, ppIX, 236, 03 January 2017 (ISSN: 1876-1100; DOI: 10.1007/978-3-319-47913-2_1).
- J19. [Di Maria-Waste Management-17]
Di Maria F., Baratta M., Bianconi F., Placidi P., Passeri D. (2016)
Solid anaerobic digestion batch with liquid digestate recirculation and wet anaerobic digestion of organic waste: Comparison of system performances and identification of microbial guilds
Waste Management, vol. 59, pp.172-180, January 2017 (DOI: 10.1016/j.wasman.2016.10.039).
- J20. [Marconi-JINST-17]
Marconi S., Christiansen J., Karagounis M., Orfanelli S., Placidi P. (2017)
Advanced Power Analysis Methodology targeted to the Optimization of a Digital Pixel Readout Chip Design and its Critical Serial Powering System
Journal of Instrumentation, vol.12, pp. 1-8, February 2017. (DOI: 10.1088/1748-0221/12/02/C02017; <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-0221/12/02/C02017/pdf>).
- J21. [RD53 Collaboration-JINST-2017]
Paterno A., Monteil E., Pacher L., Demaria N., Panati S., Wheadon R., Ciciriello F., Marzocca C., De Robertis G., Loddo F., Licciulli F., Stabile A., Mattiazzo S., De Canio F., Gaioni L., Re V., Traversi G., Ratti L., Magazzu G., Marconi S., Placidi P., Della Casa G., Mazza G., Rivetti A., Da Rocha Rolo M. (2017)
A prototype of pixel readout ASIC in 65 nm CMOS technology for extreme hit rate detectors at HL-LHC
Journal of Instrumentation, vol. 12, C02043, February 2017 (DOI: 10.1088/1748-0221/12/02/C02043).
- J22. [CMS collaborationI-JINST-17]
CMS collaboration (including Placidi P.) (2017)
Test beam performance measurements for the Phase I upgrade of the CMS pixel detector
Journal of Instrumentation, vol. 12, May 2017 (DOI:10.1088/1748-0221/12/05/P05022).
- J23. [CMS collaborationII-JINST-17]
CMS collaboration (including Placidi P.) (2017)
P-Type Silicon Strip Sensors for the new CMS Tracker at HL-LHC
Journal of Instrumentation, vol. 12, June 2017 (DOI: 10.1088/1748-0221/12/06/P06018).

Conferenze internazionali (C)

- C1 [Scorzoni-Eurosensors-14]:
Scorzoni A., Tavernelli M., Placidi P., Valigi P., Zampolli S., Caputo D., Petrucci G., Nascetti A. (2014)
Improvement of the Thermal Resistance of Thin Film Heaters on Glass Substrate for Lab-on-Chip Applications
in Proc. of the *Eurosensors 2014*, September 7-10, 2014, Brescia, Italy, pp. 1-4.
- C2 [Nascetti-Eurosensors-14]:
Nascetti A., Colonia G., Caputo D., Tavernelli M., Placidi P., Scorzoni A., de Cesare G. (2014)
Multi-Channel Very-Low-Noise Current Acquisition System with On-board Voltage Supply for Sensor Biasing and Readout
in Proc. of the *Eurosensors 2014*, September 7-10, 2014, Brescia, Italy, pp. 1-4.

- C3 [RD53 Collaboration-Vertex-14]:
The RD53 Collaboration (including [Placidi P.](#)) (2014)
65 nm Technology for HEP: Status and Perspective
in Proc. of the *23rd International Workshop on Vertex Detector*, Macha Lake, The Czech Republic, September 15-19, 2014. **PoS - Proceedings of Science**. Available on-line:
http://pos.sissa.it/archive/conferences/227/043/Vertex2014_043.pdf.
- C4 [Magalotti-TWEPP-14]:
Magalotti D., Servoli L., [Placidi P.](#), Tiehui Ted LIU (2014)
A Pattern Recognition Mezzanine Based on Associative Memory and FPGA Technology for L1 Track Triggering at HL-LHC
Abstract of the *Twepp 2014, Topical Workshop on Electronics for Particle Physics*, September 22-26, 2014 (<https://indico.cern.ch/event/299180/session/11/contribution/38>).
- C5 [Scorzoni-Sensors-14]:
Scorzoni A., Tavernelli M., [Placidi P.](#), Valigi P., Nascetti A. (2014)
Accurate Analog Temperature Control of a Thin Film Microheater on Glass Substrate for Lab-on-Chip Applications
in Proc. of the *IEEE Sensors 2014*, November 2-5, 2014, Valencia, Spain, pp.1216-1219 (ISBN: 978-1-4799-0161-6).
- C6 [Magalotti-MMA-15]:
Magalotti D., [Placidi P.](#), Dionigi M., Scorzoni A., Bissi L., Servoli L. (2015)
A Wireless Personal Sensor Node for the Dosimetry of Interventional Radiology Operators
in Proc. of the *MeMeA 2015 – IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications*, May 7-9, 2015, Torino, Italy, pp. 196-200 (ISBN: 978-1-4799-6476-5).
- C7 [Magalotti-I2MTC-15]:
Magalotti D., [Placidi P.](#), Conti E., De Biagi M., Fabiani S., Bissi L., Paolucci M., Scorzoni A., Servoli L. (2015)
Design and Implementation of a Wireless Intelligent Personal Sensor Node for the Dosimetry of Interventional Radiology Operators
in Proc. of the *I2MTC 2015 – IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference*, May 11-14, 2015, Pisa, Italy, pp. 1159-1164 (ISBN: 978-1-4799-6113-9).
- C8 [RD53 Collaboration-MAD-15]:
The RD53 Collaboration (including [Placidi P.](#)) (2015)
The RD53 effort towards the development of a 65 nm CMOS pixel readout chip for extreme data rates and radiation levels
Abstract in the *Frontier Detector for Frontier Physics - 13th Pisa Meeting on Advanced Detectors*, May 24 – 30, 2015, La Biodola, Isola d'Elba (Italy) (Poster:
https://indico.cern.ch/event/395181/attachments/791450/1084872/RD53_poster_v4.pdf).
- C9 [Magalotti-FDFPh-15]:
Magalotti D., Annovi A., Biesuzg N. V., Citraro S., Fedi G., Gianetti P., Magazzù G., Palla F., [Placidi P.](#), Servoli L. (2015)
A pattern recognition mezzanine based on associative memory and FPGA technology for L1 track triggering at HL-LHC
Abstract in the *Frontier Detector for Frontier Physics - 13th Pisa Meeting on Advanced Detectors*, , May 24 – 30, 2015, La Biodola, Isola d'Elba (Italy).
- C10 [Chipix Collaboration-VERTEX-15]
The RD53 Collaboration (including [Placidi P.](#)) (2015)
RD 53 Status
Abstract of the *24th International Workshop on Vertex Detectors (VERTEX2015)*, June. 5, 2015, Santa Fe (USA).
- C11 [Servoli-IUPSEM-15]:
Servoli L., Paolucci M., Biasini M., Bissi L., Calandra A., Checcucci B., Chiochini S., Cicioni R., Conti E., Di Lorenzo R., Dipilato A.C., Fabiani S., Forini N., Magalotti D., Maselli A., Passeri D., Pentiricci A., [Placidi P.](#), Scarpignato M., Scorzoni A. (2015)
A wireless personal dosimeter for Interventional Radiology medical personnel
Abstract of the *IUPSEM 2015 – World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering (WC 2015)*, June 7 to 12, 2015, Toronto (Canada).
- C12 [Chipix Collaboration-IWASI-15]:
The Chipix Collaboration (including [Placidi P.](#)) (2015)
CHIPIX65: developments on a new new generation pixel readout ASIC in CMOS 65 nm

for HEP experiments

in Proc. of the *IWASI 2015- The International Workshop on Advances in Sensors and Interfaces*, June 18 – 19, 2015, Gallipoli (LE), pp. 49-54, Italy (DOI: 10.1109/IWASI.2015.7184947).

- C13 [RD53 Collaboration-PIXEL-2016]
RD53 Collaboration (including Placidi P.) (2016)
Recent progress of RD53 Collaboration towards next generation Pixel Read-Out Chip for HL-LHC
Abstract of the *8th International Workshop on Semiconductor Pixel Detectors for Particles and Imaging*, 5-9 September 2016, Sestri Levante (Italy).
- C14 [Marconi-ISSE-15]:
Marconi S., Conti E., Christiansen J., Placidi P. (2015)
Reusable SystemVerilog-UVM design framework with constrained stimuli modeling for High Energy Physics applications
in Proc. of the *IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE 2015)*, September 28-30, Rome (Italy), pp. 391 – 397 (DOI: 10.1109/SysEng.2015.7302788, ISBN: 978-1-4799-1920-8).
- C15 [Magalotti-TWEPP-15]:
Magalotti D., Alunni L., Biesuz N., Bilei G.M., Citraro S., Crescioli F., Fanò L., Fedi G., Magazzù G., Servoli L., Storchi L., Palla F., Placidi P., Rossi E. and Spiezia A. (2015)
A pattern recognition mezzanine based on associative memory and FPGA technology for level 1 track triggers for the HL-LHC upgrade
Abstract of *2015 Topical Workshop on Electronics for Particle Physics (TWEPP)*, September 28-October 3, 2015, Lisbon (Portugal).
- C16 [Conti-TWEPP-15]:
Conti E., Marconi S., Christiansen J., Placidi P., Hemperek T. (2015)
Simulation of Digital Pixel Readout Chip Architectures with the RD53 SystemVerilog-UVM Verification Environment Using Monte Carlo Physics Data
Abstract of the *2015 Topical Workshop on Electronics for Particle Physics (TWEPP)*, September 28- October 3, 2015, Lisbon (Portugal).
- C17 [Marconi-Twepp-2016]
Marconi S., Christiansen J., Karagounis M., Orfanelli S., Placidi P. (2016)
An Advanced Power Analysis Methodology targeted to the Optimization of a Digital Pixel Readout Chip Design and its Critical Serial Powering System
Abstract of the *2016 Topical Workshop on Electronics for Particle Physics (TWEPP)*, September 26-30, 2016, Karlsruhe Institute of Technology (Germany).
- C18 [RD53 Collaboration-VERTEX-16]
The RD53 Collaboration (including Placidi P.) (2016)
Design of analog front-ends for the RD53 demonstrator chip
in Proc. of *PoS Proceedings of Science, Vertex-2016-036*, 36 (2016), 25-30 September 2016 (https://pos.sissa.it/archive/conferences/287/036/Vertex%202016_036.pdf).
- C19 [RD53 Collaboration-Chipix-16]
Pacher L., Monteil E., Paternò A., Panati S., Demaria N., Rivetti A., Da Rocha Rolo M., Dellacasa G., Mazza G., Rotondo F., Wheadon R., Loddo F., Licciulli F., Ciciriello F., Marzocca C., Gaioni L., Traversi G., Re V., De Canio F., Ratti L., Marconi S., Placidi P., Magazzù G., Stabile A., Mattiazzo S. (2016)
A Prototype of a New Generation Readout ASIC in 65 nm CMOS for Pixel Detectors at HL-LHC
In Proc. of *PoS Proceedings of Science 054*, PoS Proceedings of Science 054, pp. 1-10, La Biodola, Isola d'Elba, ITALY, September 25-30, 2016 (https://pos.sissa.it/archive/conferences/287/054/Vertex%202016_054.pdf).
- C20 [Paternò-NSS-2016]
Paternò A., Pacher L., Demari N., Rivetti A., Dellacasa G., Marconi S. and Placidi P. (2016)
New Development on Digital Architecture for Efficient Pixel Readout ASIC at Extreme Hit Rate for HEP Detectors at HL-LHC
in Proc. of the *2016 IEEE NSS/MIC*, 29 October- 5 November 2016, Strasbourg (France) (to be published).
- C21 [Panati-NSS-2016]
Panati S., Paternò A., Monteil E., Pacher L., Demaria N., Rivetti A., Da Rocha Rolo M., Wheadon R., Rotondo F., Dellacasa G., Licciulli F., Loddo F., Ciciriello F., Marzocca C., Mattiazzo S., De Canio F., Gaioni L., Re V., Traversi G., Ratti L., Marconi S., Magazzù G., Stabile A., Placidi P.

(2016)

First Measurements of a Prototype of a New Generation Pixel Readout ASIC in 65 nm CMOS for Extreme Rate HEP Detectors at HL-LHC

in Proc. of the *2016 IEEE NSS/MIC*, Strasburgo, 29 October-5 November 2016 (to be published).

C22 [Conti-NSS-2016]

Conti E., Marconi S., Hemperek T., Christiansen J. and Placidi P. (2016)

Performance Evaluation of Digital Pixel Readout Chip Architecture Operating at Very High Rate through a Reusable UVM Simulation Framework

in Proc. of the *2016 IEEE NSS/MIC*, Strasbourg, 29 October-5 November 2016 (to be published).

C23 [Caputo-IWASI-2017]

Costantini F., Petrucci G., Lovecchio N., Di Fiore V., de Cesare G., Nascetti A, Caputo D., Ruggi A., Tedeschi L., Domenici C., Placidi P. and Scorzoni A. (2016)

Lab-on-glass system for DNA treatments

in Proc. of the *IWASI 2017*, Vieste (FG), June 15-16, 2017, Italy. (to be published).

C24 [Marconi -PRIME-2017]

S. Marconi , T. Hemperek, P. Placidi, A. Scorzoni³, E. Conti, J. Christiansen. (2017)

Low-power optimisation of a pixel array architecture

in Proc. of the *PRIME 2017*, Giardini Naxos-Taormina (Italy), June 12-15, 2017, pp . 201-204. (to be published).

Conferenze nazionali (I)

I1 [Servoli-AIFM-15]

Servoli L., Paolucci M., Pentiricci A., Placidi P., Magalotti D., Fabiani S., Calalndra A., Bissi L, Maselli A., Scarpignato M., Di Lorenzo R., cicioni R., Scorzoni A., Colleluori L., Chiocchini S., Forini N., Di Pilato A.C., Cappotto F.P. (2015)

Personnel Real Time Dosimetri in Interventional Radiology

in Proc of Abstract of the *AIFM 9° Congresso Nazionale*, 25-29 February 2015, Perugia, Italia.

Published *Physica Medica: European Journal of Medical Physics* , Volume 32 , 90 - 91

(<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejmp.2016.01.312>).

Attività didattica della dott.ssa Pisana PLACIDI

(Anni accademici di riferimento 2014/15; 2015/16; 2016/17-
Attività relativa al triennio 26 giugno 2014 / 25 giugno 2017).

a.a. 2013 - 2014 a.a. 2014 - 2015 a.a. 2015 - 2016	Professore incaricato del corso di "Sistemi Elettronici Embedded" (9 CFU), corso di Laurea Magistrale in <i>Ingegneria Elettronica e delle Telecomunicazioni</i> e corso di Laurea Magistrale in <i>Ingegneria Informatica e dell'Automazione</i> , presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Perugia.
a.a. 2016 - 2017	Professore incaricato del corso di "Sistemi Elettronici Embedded" (9 CFU), corso di Laurea Magistrale in <i>Ingegneria Elettronica per l'Internet-of-Things</i> e corso di Laurea Magistrale in <i>Ingegneria Informatica e Robotica</i> , presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Perugia.
a.a. 2013 - 2014 a.a. 2014 - 2015 a.a. 2015 - 2016 a.a. 2016 - 2017	Membro della commissione per la prova di esame degli insegnamenti a carico del SSD ING-INF 01, presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Perugia.
a.a. 2013 - 2014 a.a. 2014 - 2015 a.a. 2015 - 2016 a.a. 2016 - 2017	Tutor di studenti per il tirocinio esterno presso Aziende e Enti di ricerca.
a.a. 2013 - 2014 a.a. 2014 - 2015 a.a. 2015 - 2016 a.a. 2016 - 2017	Membro della commissione per gli esami di laurea in: <i>Ingegneria Elettronica</i> (v.o.), <i>Ingegneria dell'Informazione</i> , <i>Ingegneria Informatica ed Elettronica</i> presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Perugia.
a.a. 2013 - 2014 a.a. 2014 - 2015 a.a. 2015 - 2016 a.a. 2016 - 2017	Membro della commissione per gli esami di laurea specialistica/magistrale in: <i>Ingegneria Elettronica</i> , <i>Ingegneria Elettronica e delle Telecomunicazioni</i> e <i>Ingegneria Informatica e dell'Automazione</i> presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Perugia.
dal 2013	Preparazione e correzione delle prove scritte di Elettronica per l'Esame di Stato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Perugia.

Relatore o correlatore delle tesi di laurea di:

Santini MOUNES, "Progettazione del sistema MSduino per la generazione di One Time Password", settembre 2014. Ingegneria Informatica ed Elettronica. (relatore)

Francesco TRINCHINI, “**Progetto e ottimizzazione di un sistema a componenti discreti dedicato al controllo e lettura di un sensore di radiazione**”, settembre 2014. Corso di Laurea in Ingegneria dell'Informazione. (relatore)

Luca COLLELUORI, “**Progettazione e ottimizzazione dell'interfaccia grafica di un sistema dedicato al controllo e alla lettura di un sensore di radiazione per applicazioni di radiologia interventistica**”, novembre 2015. Corso di Laurea in Ingegneria Informatica ed Elettronica. (relatore)

Riccardo CAPPONI, “**Progettazione e sviluppo del sistema di controllo per un Lab-On-Chip**”, febbraio 2017. Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Elettronica e delle Telecomunicazioni dell'Università degli Studi di Perugia. (correlatore)

Andrea MARCOTULLI, “**Power consumption verification for a new generation pixel readout chip in High Energy Physics**”, aprile 2017. Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Elettronica e delle Telecomunicazioni dell'Università degli Studi di Perugia. (relatore)

Dichiarazione

La sottoscritta Pisana Placidi, nata a Gualdo Cattaneo (PG) il 01/08/1968 e residente in Perugia (PG), via M. Tassi 49, codice fiscale PLCPSN68M41E229G

DICHIARA

che le informazioni riportate nel presente rapporto triennale sono esatte e veritiere. e autorizza il trattamento dei dati personali ai sensi e per gli effetti della legge n. 675, 31/12/1996.

In fede

Perugia, 20 novembre 2017

(Pisana Placidi)

(All. n.1 - punto n. 23)

DICHIARAZIONE SOSTITUTIVA DI CERTIFICAZIONE
(artt.46 e 48 del D.P.R. 28.12.2000 n. 445)
DICHIARAZIONE SOSTITUTIVA DELL'ATTO DI NOTORIETÀ
(artt.47 e 48 del D.P.R. 28.12.2000 n. 445)

DICHIARA SOTTO LA PROPRIA RESPONSABILITÀ

Il sottoscritto (Cognome) CASTELLANI (Nome) BEATRICE
nato a PERUGIA (prov. PG) il 02/05/1983
residente a PERUGIA Via DELL'ACQUARO 35

consapevole delle responsabilità penali previste dagli artt. 75 e 76 del D.P.R. 445/2000 per le ipotesi di falsità in atti e dichiarazioni mendaci

DICHIARA

di non avere un grado di parentela o affinità, fino al quarto grado compreso o rapporto di coniugio con un professore appartenente al Dipartimento o alla Struttura che effettua la chiamata, ovvero con il Rettore, il Direttore Generale o un componente del Consiglio di Amministrazione dell'Università di Perugia (art. 18 - comma 1, lett. b) e c) legge 240/2010).

Si impegna, altresì, a comunicare eventuali mutamenti di stato concernenti i rapporti aventi ad oggetto la presente dichiarazione.

Il sottoscritto, ai sensi del D.lgs. 30.06.2003 n.196, dichiara di essere a conoscenza che i dati personali saranno raccolti dall'Università degli Studi di Perugia e trattati per assolvere agli scopi istituzionali ed al principio di pertinenza.

Pg 01/12/17
.....
(luogo e data)

IL DICHIARANTE

Beatrice Castellani
(firma per esteso e leggibile)

La presente dichiarazione non necessita dell'autenticazione della firma e sostituisce a tutti gli effetti le normali certificazioni richieste o destinate ad una Pubblica Amministrazione nonché ai gestori di pubblici servizi e ai privati che vi consentono.

Qualora la dichiarazione non venga sottoscritta in presenza del funzionario dell'Amministrazione accettante, alla stessa va allegata fotocopia di documento di identità in corso di validità.



(All. n. 2 - punto n. 23)

DICHIARAZIONE SOSTITUTIVA DI CERTIFICAZIONE
(artt.46 e 48 del D.P.R. 28.12.2000 n. 445)
DICHIARAZIONE SOSTITUTIVA DELL'ATTO DI NOTORIETÀ
(artt.47 e 48 del D.P.R. 28.12.2000 n. 445)

DICHIARA SOTTO LA PROPRIA RESPONSABILITÀ

Il sottoscritto
(Cognome)..... CINI (Nome)..... GIOVANNI
nato a PERUGIA (prov. PG.) il 10-10-1983
residente a PERUGIA Via P. DELLA MIRANDOLA 2

consapevole delle responsabilità penali previste dagli artt. 75 e 76 del D.P.R. 445/2000 per le ipotesi di falsità in atti e dichiarazioni mendaci

D I C H I A R A

di non avere un grado di parentela o affinità, fino al quarto grado compreso o rapporto di coniugio con un professore appartenente al Dipartimento o alla Struttura che effettua la chiamata, ovvero con il Rettore, il Direttore Generale o un componente del Consiglio di Amministrazione dell'Università di Perugia (art. 18 - comma 1, lett. b) e c) legge 240/2010).

Si impegna, altresì, a comunicare eventuali mutamenti di stato concernenti i rapporti aventi ad oggetto la presente dichiarazione.

Il sottoscritto, ai sensi del D.lgs. 30.06.2003 n.196, dichiara di essere a conoscenza che i dati personali saranno raccolti dall'Università degli Studi di Perugia e trattati per assolvere agli scopi istituzionali ed al principio di pertinenza.

PERUGIA 07-10-2017
.....
(luogo e data)

IL DICHIARANTE

fin. cini
.....
(firma per esteso e leggibile)

La presente dichiarazione non necessita dell'autenticazione della firma e sostituisce a tutti gli effetti le normali certificazioni richieste o destinate ad una Pubblica Amministrazione nonché ai gestori di pubblici servizi e ai privati che vi consentono.

Qualora la dichiarazione non venga sottoscritta in presenza del funzionario dell'Amministrazione accettante, alla stessa va allegata fotocopia di documento di identità in corso di validità.

