



Ricerca di Sistema elettrico

Attività di diffusione dei risultati e collaborazioni internazionali

Paola Delli Veneri, Giorgio Graditi

ATTIVITÀ DI DIFFUSIONE DEI RISULTATI E COLLABORAZIONI INTERNAZIONALI

Paola Delli Veneri, Giorgio Graditi
ENEA

Settembre 2017

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2016

Area: Generazione di energia elettrica con basse emissioni di carbonio

Progetto: B.1.2 "Ricerca su tecnologie fotovoltaiche innovative"

Obiettivo: Comunicazione e diffusione dei risultati

Responsabile del Progetto: Paola Delli Veneri, ENEA



Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	6
2.1 ATTIVITÀ SVOLTE NEL “PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEMS PROGRAMME” DELLA IEA.....	6
2.2 PUBBLICAZIONI E PRESENTAZIONI A CONVEGNI	8
3 CONCLUSIONI.....	10

Sommario

L'attività di diffusione della ricerca è stata svolta attraverso la presentazione dei risultati in convegni, conferenze, workshop e tramite pubblicazioni su riviste internazionali con l'obiettivo di dare visibilità ai risultati della ricerca verso un'ampia platea. In particolare la partecipazione a conferenze ha consentito un confronto con gli altri gruppi di ricerca del settore, fondamentale per il progresso delle stesse attività condotte sulla tematica del fotovoltaico. Inoltre è stata garantita la partecipazione italiana all'Implementing Agreement "Photovoltaic Power System" della IEA in modo da rendere disponibili e pubblici i risultati degli studi condotti in questo ambito.

1 Introduzione

La diffusione dei risultati delle attività relative al piano annuale di realizzazione 2016 sullo sviluppo di tecnologie fotovoltaiche innovative è stata svolta utilizzando differenti canali in modo da ampliare al massimo la platea di riferimento.

La promozione delle attività nel settore di appartenenza è stata effettuata utilizzando i tipici canali quali conferenze tematiche, riviste specializzate nazionali ed internazionali, mentre grazie all'aggiornamento del sito web con la pubblicazione on-line dei report realizzati è stato possibile raggiungere una platea più ampia, favorendo la possibile creazione di nuove collaborazioni nazionali sul tema. In questo senso anche le collaborazioni con svariate università sancite da accordi di collaborazione sottoscritti nell'ambito del progetto favoriscono la creazione di una rete di collaborazione a livello nazionale che da un lato contribuisce a incrementare l'impatto del progetto e dall'altro stabilisce ulteriori canali di comunicazione capillare sul territorio nazionale. Inoltre è stata garantita la partecipazione italiana all'Implementing Agreement "Photovoltaic Power System" della IEA in modo da rendere disponibili e pubblici i risultati degli studi condotti in questo ambito.

In questo rapporto viene descritto il lavoro svolto sulla diffusione dei risultati e sulle attività di collaborazione internazionali. Le attività sono state incentrate su tre punti: 1) partecipazione al programma della IEA - *Photovoltaic Power Systems Programme*; 2) pubblicazioni su rivista e proceedings di conferenza; 3) partecipazioni a conferenze e convegni nazionali ed internazionali.

2 Descrizione delle attività svolte e risultati

2.1 Attività svolte nel “Photovoltaic Power Systems Programme” della IEA

Il **Task 14** “High Penetration of PV Systems in Electricity Grids” si colloca nell’ambito delle traiettorie di ricerca del Programma IEA PVPS (Photovoltaic Power Systems Programme) con l’obiettivo di affrontare le seguenti tematiche: i) studio e analisi delle problematiche tecniche per l’interfacciamento dei generatori fotovoltaici alla rete elettrica; ii) individuazione di funzionalità avanzate e servizi ancillari di rete e di utente; iii) sviluppo di soluzioni tecnologiche e di sistema atte a favorire una maggiore penetrazione del fotovoltaico nelle reti elettriche di trasmissione e distribuzione. ENEA, rappresentata da Giorgio Graditi in qualità di membro italiano dell’IEA PVPS Task 14, ha contribuito ai lavori con particolare attenzione alle attività di cui si riporta di seguito una sintesi.

Lo stato attuale e l’evoluzione del fotovoltaico in Italia

Al 31 dicembre 2016 gli impianti fotovoltaici installati in Italia risultano 732.053, cui corrisponde una potenza pari a 19,3 GW. Gli impianti di piccola taglia (potenza inferiore o uguale a 20 kW) costituiscono oltre il 90% del totale degli impianti installato in Italia e rappresentano il 20% della potenza complessiva nazionale.

Rispetto al 2015, gli impianti entrati in esercizio nel corso del 2016 sono aumentati di circa il 10%, registrando un incremento del 27,5% della potenza installata annualmente. Gli impianti entrati in esercizio nel corso del 2016 hanno una potenza media (8,6kW) superiore rispetto a quella registrata nel biennio precedente. Tuttavia la taglia media complessiva nazionale continua a decrescere, attestandosi ad un valore di circa 27kW.

La quasi totalità degli impianti installati in Italia (oltre il 97%) sono collegati alla rete in bassa tensione; il restante 3% è collegato alla rete di media tensione (circa 2,7%) ed alla rete di alta tensione (0,3%) per una potenza complessiva installata pari ad oltre il 58% di quella totale.

Inoltre, è da evidenziare che la maggior parte degli impianti entrati in esercizio nel corso del 2016 sono impianti di piccola taglia (potenza di qualche kW) collegati alla rete in bassa tensione.

Alla fine del 2016, circa il 79% degli impianti installati afferiscono al settore domestico, mentre la maggior parte della potenza (51%) è relativa al settore industriale. Per quanto riguarda gli impianti installati nel corso del solo anno 2016, l’85% delle unità produttive è riconducibile al settore domestico. Il 90% dei 382 MW installati si suddivide tra il settore domestico (40%) e il settore terziario (41%).

L’installazione incrementale di impianti fotovoltaici nel 2016 non ha comportato apprezzabili variazioni nella distribuzione territoriale, che rimane pressoché invariata rispetto all’anno precedente. In particolare, la maggiore concentrazione di impianti si rileva nelle regioni del Nord (54% circa del totale), mentre nel Centro è installato circa il 17% e nel Sud il restante 29%.

Nel 2016 la produzione energetica degli impianti fotovoltaici in Italia ha raggiunto 22.104 GWh; per il primo anno si registra una diminuzione (circa il 3,7%) della produzione rispetto all’anno precedente, verosimilmente dovuta in primis a un minor irraggiamento solare disponibile.

Si tratta di dati positivi, in linea con i target prefissati dalle agende strategiche europee e nazionali in campo energetico, che rendono il nostro Paese tra i leader mondiali per la diffusione del fotovoltaico, in termini di potenza (potenza totale installata, numero di impianti, penetrazione per segmento di mercato, modalità di connessione alla rete) e produzione di energia elettrica (produzione totale di energia elettrica, percentuale media di copertura alla domanda, punte massime di copertura del fabbisogno). Il quadro generale è stato completato con l’analisi dell’evoluzione dello scenario normativo italiano e delle potenziali barriere alla diffusione, su larga scala, della tecnologia fotovoltaica, conseguenti anche all’incertezza del quadro regolatorio di riferimento.

Integrazione del fotovoltaico nelle reti elettriche (Smart Grid)

L'integrazione delle fonti rinnovabili nelle reti elettriche è uno degli argomenti più discussi in campo internazionale con riferimento al processo di evoluzione dell'approvvigionamento sempre più basato sul mix energetico. Il crescente e costante aumento della generazione da fonte rinnovabile, in particolare da solare fotovoltaico, ha determinato la necessità di "rivedere" l'infrastruttura elettrica sia dal punto di vista dei suoi componenti e sottosistemi, sia in termini di strategie di controllo e gestione.

In particolare, in linea con la diffusione delle micro reti energetiche e delle Smart Grid sono state affrontate le problematiche relative all'integrazione in rete di un numero elevato di generatori fotovoltaici, individuando anche alcune delle misure ed azioni atte a favorirne la penetrazione in rete, quali:

- migliorare l'accuratezza dei sistemi di previsione della producibilità dei generatori solari fotovoltaici (forecasting) al fine di ridurre la capacità di riserva necessaria nel caso delle fonti convenzionali.
- aumentare la flessibilità di generazione con impianti (ad esempio cicli combinati a gas) in grado di accendersi e spegnersi più volte con rapidità.
- favorire l'erogazione di servizi ancillari di rete.
- sostenere lo sviluppo di soluzioni combinate fotovoltaico-accumulo energetico nell'ottica sia di poter limitare e/o superare la criticità legata alla non programmabilità della produzione energetica, sia di contribuire al bilanciamento di domanda e offerta, fornendo elettricità istantaneamente quando serve a vantaggio dell'affidabilità e economicità del servizio.
- espandere le linee di trasmissione/distribuzione eliminando colli di bottiglia e rendendo quindi possibili nuovi scambi "dinamici" di energia.
- pianificare lo sviluppo delle reti tenendo in considerazione il significativo incremento della generazione distribuita (soprattutto impianti di piccola taglia in edilizia residenziale e industriale).

Tecnologie e sistemi di conversione avanzati

In linea con gli obiettivi del Task 14, sono state studiate possibili soluzioni tecnologiche e di sistema per lo sviluppo di convertitori "smart" per l'immissione in rete dell'energia prodotta dagli impianti fotovoltaici e per l'erogazione di servizi ancillari di rete (regolazione tensione e frequenza). L'obiettivo da perseguire è anche quello di incrementare l'efficienza di conversione, mediante l'utilizzo di nuove configurazioni topologiche, di materiali innovativi e nuovi dispositivi switching, e di migliorare l'affidabilità di tali dispositivi e, quindi, la producibilità complessiva di impianto. In questo contesto, ENEA ha messo a disposizione le competenze e l'esperienza, maturata nel corso degli anni, nella modellazione, progettazione e caratterizzazione di convertitori DC-DC e micro-inverter per applicazioni fotovoltaiche.

Il **Task 15** "Enabling framework for BIPV acceleration" si colloca nell'ambito delle linee di ricerca del Programma IEA PVPS (Photovoltaic Power Systems Programme) con l'obiettivo di indagare le tematiche relative all'impiego del fotovoltaico negli edifici, e, in particolare, di favorire le condizioni affinché il potenziale di applicazione sia sfruttato nel modo migliore.

ENEA, rappresentata da Alessandra Scognamiglio come esperto italiano dell'IEA PVPS Task 15, contribuisce ai lavori in maniera trasversale, fornendo soprattutto un contributo al Subtask A, che si occupa di costruire un database di progetti realizzati, ed al Subtask B, che riguarda lo sviluppo di business models.

Con questa finalità ENEA ha partecipato al meeting tenutosi ad Uppsala dal 4 al 7 settembre 2017, ed ha, nel corso dell'anno, interagito con altri partecipanti italiani al Task, segnatamente GSE ed EURAC.

Le attività del Subtask A saranno a breve raccolte in una pubblicazione in formato digitale.

2.2 Pubblicazioni e presentazioni a convegni

Di seguito si riportano le pubblicazioni e le presentazioni a congressi.

Pubblicazioni su rivista e in atti di Conferenza

1. N. Yaghoobi Nia, M. Zendejdel, L. Cinà, F. Matteocci and A. Di Carlo, A Crystal Engineering Approach for Scalable Perovskite Solar Cells and Modules Fabrication: Full Out of Glove Box Procedure, *Journal of Materials Chemistry A*, accettato per la pubblicazione.
2. La Ferrara V., De Maria A., Rametta G., Della Noce M., Mercaldo L. V., Borriello C., Bruno A., Delli Veneri P., ZnO nanorods/AZO photoanode for perovskite solar cells fabricated in ambient air, *Materials Research Express*, Volume 4, 8, 2017, n. 085025.
3. A. De Maria, V. La Ferrara, G. Rametta, L.V. Mercaldo, E. Bobeico, A. Bruno, F. Matteocci, A. Di Carlo and P. Delli Veneri, Effect of fabrication and measurement conditions on un-encapsulated perovskite solar cells, *Accettato su IET Conference Publications*.
4. Malerba, C., Valentini, M. and Mittiga, A. (2017), "Cation Disorder in $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ Thin Films: Effect On Solar Cell Performances", *Solar RRL*, 1700101, DOI: 10.1002/solr.201700101
5. Lucia V. Mercaldo, Eugenia Bobeico, Lurie Usatii, Marco Della Noce, Laura Lancellotti, Luca Serenelli, Massimo Izzi, Mario Tucci, Paola Delli Veneri, Potentials of mixed-phase doped layers in p-type Si heterojunction solar cells with ZnO:Al, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 169 (2017) 113-121.
6. Martini L, Serenelli L, Menchini F, Izzi M, Asquin R, de Cesare G, Caputo D, Tucci M (2017). COMPARISON BETWEEN A-SiOx:H AND A-Si:H AS PASSIVATION BUFFER LAYER FOR HETEROJUNCTION SOLAR CELLS. In: *Proceedings of 33rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*. p. 773-776, ISBN: 3-936338-47-7, Amsterdam, 25-29 September 2017, doi: 10.4229/EUPVSEC20172017-2AV.3.30
7. Serenelli L, Martini L, Imbimbo L, Asquini R, Menchini F, Izzi M, Tucci M (2017). Metastability of a-SiOx:H thin films for c-Si surface passivation. *APPLIED SURFACE SCIENCE*, vol. 392, p. 430-440, ISSN: 0169-4332, doi: 10.1016/j.apsusc.2016.09.026
8. Lancellotti L, Bobeico E, Castaldo A, Delli Veneri P, Lago E, Lisi N, Doping of multilayer graphene for silicon based solar cells, *Proceedings of 6th International Conference on Clean Electrical Power: Renewable Energy Resources Impact, ICCEP 2017* August 2017, Article number 8004735, 509-512.
9. G. De Martino, F. Pezzimenti, F. G. Della Corte, G. Adinolfi, G. Graditi, Design and Numerical Characterization of a Low Voltage Power MOSFET in 4H-SiC for Photovoltaic Applications, *PRIME 2017 - 13th Conference on PhD Research in Microelectronics and Electronics, Proceedings*, 10 July 2017, Article number 7974147, Pages 221-224
10. G. Adinolfi, G. Graditi, V. Palladino, Auxiliary Services provided by Smart Maximum Power Point Tracking Converters: state of art and implementations, *23rd International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, SPEEDAM 2016*, Capri, Italy, 22-24 June, 2016, pp. 1025-1029.
11. C. Cecati, H. Khali, M. Tinari, G. Adinolfi, G. Graditi, "Hybrid DC Nano Grid with Renewable Energy Sources and Modular DC/DC LLC Converter Building Block formerly: A DC/DC LLC Converter Module for Renewable Sources in Hybrid DC Nano Grids", *IET Power Electronics*, Volume 10, Issue 5, 21 April 2017, p. 536 – 544.

Presentazioni a convegni

1. V. La Ferrara, A. De Maria, Lucia V. Mercaldo, G. Rametta, A. Bruno, F. Matteocci, A. Di Carlo, P. Delli Veneri, Effect of HCl additive on the efficiency of $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ perovskite solar cells fabricated under high relative humidity, 26th International Photovoltaic Science and Engineering Conference, Singapore, 24 - 28 October 2016. (oral presentation)
2. Paola Delli Veneri, Nuove tecnologie e materiali per la produzione di elettricità da fotovoltaico, Key Energy - Rimini, 7 Novembre 2016, (oral presentation)
3. La Ferrara V, De Maria A, Rametta G, Mercaldo L V, Bruno A, Delli Veneri P, $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ solar cells WITH azo/zNo Nanorods ELectrode, International Conference of Materials and Advances technologies - ICMAT Conference 2017, Singapore, 18 – 23 June 2017. (Poster presentation)
4. Menchini, R. Chierchia, L. Serenelli, P. Mangiapane, E. Salza, L. Martini, and M. Tucci, Transition metal oxides as hole selective contacts for Silicon heterojunction solar cells, E-MRS 2017 Spring Meeting, 22-26 May 2017, Strasbourg (France) (poster presentation).
5. L. Martini, L. Serenelli, E. Bobeico, F. Menchini, M. Izzi, R. Asquini, G. de Cesare, M. Tucci, From a-Si:H to a-SiOx:H: the role of CO₂ and H₂ in PECVD deposition process, E-MRS 2017 Spring Meeting, 22-26 May 2017, Strasbourg (France) (poster presentation).
6. Antonella De Maria, Vera La Ferrara, Lucia V. Mercaldo, Annalisa Bruno, Gabriella Rametta, Fabio Matteocci, Aldo Di Carlo and Paola Delli Veneri, Un-encapsulated $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ solar cells under different relative humidity, 33th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 25 – 29 September 2017, Amsterdam (poster presentation).
7. E. Lamanna, F. Matteocci, E. Calabrò, A. Di Carlo, L. Serenelli, A. Mittiga, M. Izzi, M. Tucci, Optimization of Transport and Buffer layers for Tandem Perovskite/Silicon solar cells, PSCO, Oxford, United Kingdom from 18th – 20th September 2017 (oral presentation).
8. E. Calabrò, A. L. Palma, F. Matteocci, A. Di Carlo, Highly efficient Low Temperature Planar Perovskite Modules with an Aperture Area efficiency exceeding 10%, HOPV 2017, Losanna 21-24 maggio 2017 (oral presentation).
9. Malerba C., Valentini M., Mittiga A., "Annealing effect on CZTS solar cell", 7th EU Kesterite Workshop, 17- 18 November 2016 , Leuven (BE) (poster presentation).
10. Valentini M., Malerba C., Polimeni A., Mittiga A., "Stoichiometry effect on the order-disorder related Eg changes in $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ ", 7th EU Kesterite Workshop, 17- 18 November 2016 , Leuven (BE) (poster presentation).
11. Lucia V. Mercaldo, Eugenia Bobeico, Iurie Usatii, Marco Della Noce, Laura Lancellotti, Paola Delli Veneri, MoOx as dopant-free hole collector in p-type Si heterojunction solar cells, 33th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 25 – 29 September 2017, Amsterdam (poster presentation).
12. Lucia V. Mercaldo, Iurie Usatii, Eugenia Bobeico, Marco Della Noce, Laura Lancellotti, Luca Serenelli, Massimo Izzi, Mario Tucci, Paola Delli Veneri, Effect of nanocrystalline Si- and SiOx-based doped layers on p-type Si heterojunction solar cells with AZO as TCO, 33th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 25 – 29 September 2017, Amsterdam (poster presentation)
13. L. Martini, F. Menchini, M. Izzi, P. Mangiapane, E. Salza, D. Caputo, G. de Cesare, R. Asquini, M. Tucci,, Oxides for selective contacts in amorphous/crystalline heterojunction solar cells, Nanoenergy, 29/09/17 University of Rome Sapienza Italy (oral presentation)

3 Conclusioni

In questo report sono descritte le attività svolte per dare diffusione ai risultati conseguiti sullo sviluppo di tecnologie fotovoltaiche innovative. La diffusione dei risultati è stata curata con lo strumento maggiormente utilizzato dalla ricerca e cioè mediante la pubblicazione su riviste scientifiche e proceedings di Conferenza e mediante la partecipazione a Convegni/Conferenze di settore. Inoltre, nell'ambito delle Collaborazioni Internazionali previste dal PAR2016, l'ENEA ha partecipato alle attività sul Programma IEA "Photovoltaic Power Systems".