

In primo piano:

- ECT2017 assegnato a Padova
- Un ampio *reportage* sull'ICT-ECT2015
- Narducci e Fabrizio entrano nel *board* della *European Thermoelectric Society*

L'Editoriale

di Giovanni Pennelli

I fenomeni termoelettrici sono conosciuti e studiati fin dalla fine del XIX secolo. Recentemente, la crescente richiesta di energia, nonché l'esigenza sempre più pressante di svincolarsi dai mezzi di produzione energetica basati sui combustibili fossili, ha dato nuovo impulso alla ricerca sugli argomenti collegati alla termoelettricità. Ma cosa significa fare ricerca sul tema della termoelettricità? Quale preparazione di base è richiesta? In realtà, la ricerca sulla termoelettricità è largamente interdisciplinare, e coinvolge numerosi settori di ambito scientifico-tecnologico. La messa a punto di materiali innovativi e lo studio delle loro proprietà chimiche e chimico-fisiche, con particolare attenzione ai fenomeni di trasporto elettrici e termici, riveste senz'altro un ruolo di fondamentale importanza. Tuttavia, l'obiettivo di ottenere un

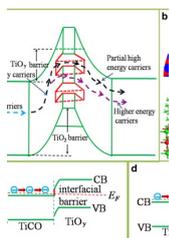
fattore di merito più alto possibile (cosa caratterizza un materiale? Il fattore ZT o il parametro Z?) non è l'unico elemento nella ricerca termoelettrica. Innanzitutto, per quanto riguarda il materiale, bisogna tener conto di fattori ambientali (il materiale non deve inquinare), economici e sociali: un materiale basato su elementi rari (e quindi costoso) e magari disponibili solo in aree limitate farebbe nascere problematiche geopolitiche, come quelle analoghe (e ben note) nate per il petrolio, o per il litio (ricordiamo la "guerra" per le batterie dei nostri cellulari). Dal punto di vista più prettamente scientifico-tecnologico, le proprietà termoelettriche del materiale non sono l'unico argomento di ricerca da affrontare. Infatti, la strada per passare da un buon materiale (con alto ZT) ad un dispositivo utilizzabile per applica-

zioni pratiche è lunga e coinvolge numerose tematiche di ricerca fisiche ed ingegneristiche. Innanzitutto, il materiale deve essere stabile ad alte temperature e nel tempo. Poi, deve essere possibile il drogaggio complementare (cioè sia di tipo n che di tipo p), così da beneficiare dell'effetto-somma dei coefficienti di Seebeck. Di primaria importanza è la possibilità di realizzare contatti elettrici stabili ed efficienti.

Anche ammesso di ottenere un dispositivo termoelettrico efficiente, un suo impiego pratico coinvolge numerose altre tematiche di ricerca tipicamente ingegneristiche. I due aspetti fondamentali, connessi alla realizzazione di un sistema termoelettrico, coinvolgono rispettivamente problematiche di fisica tecnica (trasmissione del calore) e problemati-

(Continua a pagina 5)

Bollettino dell'Associazione Italiana di Termoelettricità



Energy filtering in eterostrutture ossidiche

Ibridi organico-inorganico di tipo n in composti di intercalazione



L'apertura dell'ICT/ECT 2015

Breakthrough!

Neanche in questo bimestre mancano le segnalazioni dai giornali *high-tier* sul termoelettrico.

El-Kahdi pubblica su [Nat. Comm.](#) un lavoro sullo scattering coerente di fononi in film ultrasottili di silicio poroso. Sulla stessa rivista [Sun et al.](#) presentano evidenze di un incremento del coefficiente Seebeck associato alla forte dipendenza dalla temperatura della mobilità dei portatori di carica. Maldovan discute invece su [Nat. Mater.](#) la possibilità di

controllare la conducibilità termica di un materiale con meccanismi interferenziali; mentre [Koumoto](#) mostra la possibilità di realizzare ibridi organico-inorganico di tipo n con composti di intercalazione di TiS_2 . David Cahill firma su [Nat. Phys.](#) un lavoro sull'effetto Seebeck *spin-dependent*. Infine una collaborazione cino-giapponese descrive su [NPG Asia](#) un fenomeno di *energy filtering* in eterostrutture ossidiche.

Certamente da segnalare

anche un [Chem. Mater.](#) di Snyder sui sistemi Zintl della famiglia $\text{Eu}_{11}\text{Cd}_{6-x}\text{Zn}_x\text{Sb}_{12}$; e un interessante lavoro su MOF a bassa conducibilità termica e alto coefficiente Seebeck apparso recentemente su [Adv. Mater.](#).

ICT/ECT 2015

Si è appena chiusa a Dresda la 13a edizione della European Conference on Thermoelectrics, svoltasi quest'anno congiuntamente con la 34a International Conference on Thermoelectrics. Come ormai di regola, anche quest'anno il numero di iscritti ha registrato un incremento rispetto alla precedente edizione, con un totale di 754 pre-iscritti di cui 216 studenti e una discreta rappresentanza femminile (149). Non trascurabile la delegazione italiana, considerati i tempi (11 - più gli *expats*) - e sorprendente quella giapponese, che con 127 iscritti è risultata solo di poco inferiore alla rappresentanza tedesca.

Il convegno si è aperto con il saluto del Ministro di Stato

della Sassonia per la Scienza seguito da quello di Juri Grin, padrone di casa. Don Morelli, presidente della [ITS](#), ha quindi tenuto la prima *keynote* centrata sulla *Next Big Idea*. Dopo aver ripercorso le idee che hanno fatto la storia della termoelettricità (che riassumiamo nel riquadro a pagina 5), la prima *prossima grande idea* descritta è di natura metodologica, legata all'ingresso delle tecniche computazionali nella progettazione di nuovi materiali. Per il resto, cinque sono state le frontiere indicate, alcune decisamente non ovvie. I significativi risultati industriali collegati all'utilizzo della tetraedrite come materiale termoelettrico (un importante risultato del lavoro dello stesso Morelli) hanno introdotto nel

settore TE il concetto di *geomimetics*, cioè il diretto impiego di minerali nei dispositivi termoelettrici - come pure lo sviluppo di materiali sintetizzabili per via idrotermale. A seguire, appare promettente lo sviluppo di PGEC diversi dalle sketturiditi e comunque prive di strutture a *cage*. Anche apparentemente più audace l'idea di recuperare le leghe metalliche contenenti lantanidi nei dispositivi Peltier per applicazioni (almeno inizialmente) in ambito criogenico. I sistemi a valenza intermedia (da non confondere con i sistemi a valenza mista) come YbAl_2 , ScAl_2 , YbCu_2Ge_2 e YbNi_2Ge_2 hanno già evidenziato risultati abbastanza interessanti, anche se evidentemente il proble-

(Continua a pagina 4)

Anno 2, Numero 3

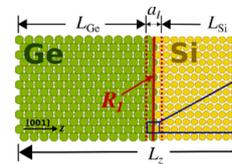
Done in Italy

In questo bimestre il numero di pubblicazioni di scuola italiana è piacevolmente elevato. Cominciamo questa minirassegna con una *review* apparsa sullo *Eur. Phys. J. B* in un numero speciale dedicato al silicio termoelettrico e firmata da [Giovanni Pennelli](#), 'Top-down fabrication of silicon nanowire devices for thermoelectric applications: properties and perspectives'. [Bruno Lorenzi](#) firma invece un lavoro sulla efficacia dell'accoppiamento termoelettrico-fotovoltaico pubblicato dal *J. Electr. Mater.* dal titolo 'Analysis of Thermal Losses for a Variety of Single-Junction Photovoltaic Cells: An Interesting Means of Thermoelectric Heat Recovery'. [Luciano Colombo](#) ha pubblicato invece sul *Phys. Rev. B* un interessante

studio computazionale sulle resistenze termiche di contatto intitolato 'Thermal boundary resistance at Si/Ge interfaces determined by approach-to-equilibrium molecular dynamics simulations'. Fresco di stampa (elettronica) il *Materials Today Proceedings* dell'ECT 2014 che presenta due lavori di scuola IENI sui silicuri: [A. Ferrario et al.](#), 'Mechanical and Electrical Characterization of Low-resistivity Contact Materials for Mg₂Si'; e [C. Fanciulli et al.](#), 'Fast Sintering of Thermoelectric Silicide Powders Using Open Die Pressing Technique'. Lo stesso numero della rivista ospita tre lavori di Dario Narducci, su [leghe silicio-boro](#) ('Compact Model for Thermoelectric Power Factor Enhancement by

Energy Barriers in a Two-phase Composite Semiconductor'), sulla [diffusività di boro in holey silicon](#) ('Boron Diffusion in Silicon in the Presence of Grain Boundaries and Voids') e sulla [geometria di un dispositivo TEG](#), 'Explicitly Accounting for the Heat Sink Strengths in the Thermal Matching of Thermoelectric Devices. A Unified Practical Approach'. Complimenti a tutti gli autori.

Segnaliamo infine due lavori di non-soci, 'Feasibility of a photovoltaic-thermoelectric generator: Performance analysis and simulation results', pubblicato dalla *IEEE Trans. Instrum. Meas.*; e 'Unconventional co-existence of plasmon and thermoelectric activity in In:ZnO nanowires', apparso su *RSC Adv.*



Resistenze termiche di contatto in sistemi Si/Ge

GMZ Energy
acquisita
dalla Evident
Thermoelectrics

Padova si aggiudica l'ECT 2017

Doppio successo per l'AIT sulla scena europea. [Dario Narducci](#) è entrato nel *board* della *European Thermoelectric Society*, dove ha sostituito Matteo Codecasa, assu-

mendo l'incarico di tesoriere dell'ETS. E Padova si aggiudica l'edizione 2017 della *European Conference on Thermoelectrics*, superando la concorrenza di S. Pie-

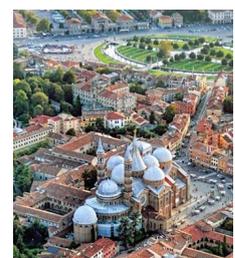
troburgo. [Monica Fabrizio](#), cui si deve l'ottimo risultato, entra quindi anch'essa di diritto nel *board* dell'ETS come *leading organizer* dell'ECT 2017.

Industria e dintorni

La notizia del bimestre non è forse tra le migliori, ed è chiacchiata la *GMZ Energy* ha chiuso i battenti ed è stata acquisita dalla concorrente *Evident Thermoelectrics*. Fatale alla GMZ, nata nel 2006 come innovatore fotovoltaico, anche se l'azienda aveva

stabilito partnership con diverse aziende, tra cui Honda, per lo sviluppo congiunto di tecnologie in nuove aree applicative, GMZ ha pagato il costo di errori strategici sul solare termico e forse di una scelta di materiali termoelettrici ad alto

costo anche se performanti come gli half-Heusler a base di Hf e Co. La necessità di moduli più piccoli per il recupero del calore nelle caldaie murali e nelle marmitte, ha introdotto ulteriori complessità e oneri di progettazione.



Padova ospiterà l'ECT 2017

Bollettino dell'Associazione Italiana di Termoelettricità



A Dresda più di 700 partecipanti e 600 lavori presentati.

Molti spunti di riflessione all'ICT/ECT 2015



Una immagine da Dresda 2015

ICT/ECT 2015

(Continua da pagina 2)

ma della riduzione della conducibilità termica resta una sfida significativa. Da ultimi (ma non ultimi), i materiali a cambiamento di fase come Ge_4SbTe_5 paiono meritare attenzione per i prossimi anni. Curiosa (e forse non interamente giustificata) l'assenza nella relazione di Morelli di qualsiasi riferimento ai materiali organici. Nella discussione che è seguita Heindricks (JPL) ha fatto notare come la prossima grande idea che maggiormente impatterebbe sullo sviluppo di applicazioni industriali dei generatori termoelettrici è esterna all'arena dei materiali ad alti ZT, restando legata alla disponibilità di dissipatori termici più economici di quelli correntemente disponibili [$\approx 10 \text{ \$/}(W/K)$].

Dopo la relazione di Morelli, la seconda *keynote* di Antoine Maignan, presidente della [ETS](#), è stata l'occasione per una lunga e completa analisi della produzione scientifica europea nel settore termoelettrico, che si è chiusa evidenziando le criticità poste da Horizon2020 alla comunità termoelettrica europea, e rispetto alla quale l'ETS si muoverà nei prossimi mesi premendo per una correzione di rotta da parte della DG.

Terminata la plenaria il

convegno si è suddiviso in tre sessioni parallele. È ovviamente impossibile dare conto delle più di 600 relazioni, tra orali e poster. Molta attenzione è stata dedicata alle problematiche metrologiche, tra i round-robin test sviluppati dal Fraunhofer e dal NIST e le tecniche di misura presentate da Linseis e Netzsch. Linseis ha presentato un sistema idoneo alla caratterizzazione completa di film sottili cresciuti su un chip proprietario; mentre Netzsch ha presentato un sistema per la misurazione automatizzata e contemporanea del coefficiente termoelettrico e della resistività elettrica di materiali massivi. [Garcia-Canadas](#) ha invece relazionato sull'impiego della spettroscopia di impedenza per la caratterizzazione completa (σ - α - κ) di materiali termoelettrici. [Ren](#) ha discusso infine l'impiego di una nuova forma di figura di merito più adeguata alla descrizione di sistemi operanti su grandi differenze di temperatura.

Interessante la relazione di Burkov sui siliciuri che, oltre ad aver coperto Mg_2Si e $\text{Mg}_2(\text{Si}, \text{Sn})$, ha dedicato spazio a siliciuri meno comuni come il [Fe₂Si](#). Nella sua invited Koumoto ha invece posto attenzione sui [composti di intercalazione TiS₂-organico](#) che hanno mostrato figure di merito

[fino a 0.35 a 413 K](#). Sullo stesso versante ma su un piano decisamente più teorico, Woods ha proposto un meccanismo di trasporto, detto di *fluctuation-induced tunnelling*, che potrebbe essere prevalente sul comune trasporto polaronico negli ibridi organici fortemente drogati (come il PEDOT:PSS). Molto interessante anche la relazione di [Mukaiida](#) sui nanocompositi PEDOT-MoO_x e sulla marcata anisotropia dei suoi film. Un meccanismo di *electron funnelling* in composti metallo-semiconduttore è stato invece proposto da James Ma, mentre [Snyder](#) ha relazionato sulla cosiddetta *valleytronics*, mostrando come una opportuna ingegnerizzazione della struttura elettronica dei materiali possa dar luogo ad un incremento del fattore di potenza attraverso una modulazione della massa efficace dei maggioritari.

Anche se la maggior parte delle presentazioni relative ai materiali si sono focalizzate sui materiali massivi, *quantum dots*, nanofili e *nanolayer* hanno avuto il loro spazio. Davila ha mostrato un interessante lavoro sviluppato dall'ETHZ finalizzato alla realizzazione di *array* verticali di nanofili di silicio cresciuti con strategie bottom-up (VLS) su super-

(Continua a pagina 5)

Anno 2, Numero 3

ICT/ECT 2015

(Continua da pagina 4)

fici *patternate* di silicio. Zianni ha descritto le proprietà di nanofili a sezione modulata. Più critica la tesi sostenuta da Wang, che ha espresso un forte scetticismo sulla scalabilità delle nanostrutture per applicazioni energetiche. [Chao](#) ha invece presentato un lavoro in cui nanoparticelle di silicio sono interconnesse con cappanti organici poliaromatici.

Sul versante dei nuovi materiali, al di là degli auspici di Morelli, poche sono state le novità. Chen ha speso l'ultima parte della sua *invited* discutendo delle potenzialità del fosforene. Altro è mancato, in questa edizione.

Nelle plenarie conclusive Mahan, premiato con il *2015 ICT Outstanding Achievement Award*, ha discusso il ruolo dello *space-charge effect* sulla termopotenza dei semiconduttori nel limite di temperatura nulla; e sull'importanza dei meccanismi di *phonon drag* anche a temperatura ambiente nel silicio. A seguire, Nielsch e Takao Mori hanno descritto i programmi nazionali tedesco e giapponese sulla termoelettricità. La chiusura del convegno è naturalmente spettata a Grin che ha dato appuntamento per l'ECT 2016 a Lisbona dal 20 al 23 settembre 2016; e a Wuhan (Cina) dal 29 maggio al 2 giugno 2016 per l'ICT 2016.

Le sette magnifiche idee nella storia del termoelettrico

1. riduzione della conducibilità termica in presenza di celle elementari di grande taglia e con atomi di elevata massa
2. uso delle soluzioni solide per ridurre la conducibilità termica
3. uso delle nanoinclusioni (Slack, PRB 1957)
4. PGEC e sketturiditi
5. *quantum confinement* (Dresselhaus, 1993)
6. strutture gerarchiche (Kanatzidis, Chen)
7. effetti di anarmonicità

L'Editoriale

(Continua da pagina 1)

che connesse con la corretta gestione della potenza elettrica resa disponibile dal dispositivo. Il primo aspetto affronta l'ottimizzazione del flusso termico che deve mantenere calda una faccia del dispositivo da una parte, e deve provvedere all'allontanamento del calore di scarto dalla faccia fredda. Il problema è mantenere un grande salto termico (differenza di temperatura) con dimensioni meccaniche in gioco dell'ordine di qualche millimetro. Il secondo aspetto è connesso alla potenza elettrica da inviare sul carico utilizzatore, la cui corretta gestione consente di ottenere efficienze energetiche ottimali. Questa tematica è simile (ma diversa da molti punti di vista) con i sistemi di ottimizzazio-

ne della potenza elettrica fornita dai pannelli fotovoltaici, oggetto di intensa ricerca negli ultimi anni.

Fare ricerca sul tema della termoelettricità coinvolge quindi numerosi aspetti di fisica, chimica, tecnologia e ingegneria termica ed elettronica. L'Associazione Italiana di Termoelettricità brilla per ricchezza e varietà di capacità e di *skills* scientifico-tecnologici dei diversi gruppi coinvolti. Questo è molto positivo poiché nella nostra rete ci sono le conoscenze scientifico-tecniche che possono consentirci di affrontare tutte le problematiche fin qui illustrate, per andare dal materiale di partenza al prodotto finito/sistema, pronto per essere commercializzato.

A mio parere, la nostra rete è una buona base per proporre progetti di

ricerca altamente innovativi, che possono eventualmente promettere TRL molto elevati — e non come “promessa elettorale”, ma con tutte le prospettive di mantenere l'impegno grazie alle potenzialità e capacità oggettivamente dimostrati. Il problema, casomai, è per quei bandi di ricerca che richiedono un elevato TRL in ingresso ...

Questo spazio è a disposizione di tutti i soci che desiderino proporre riflessioni alla nostra comunità. Per intervenire nel dibattito da queste colonne o per proporre altre tematiche di rilievo per la comunità termoelettrica contattare [Giovanni Pennelli](#).

Associazione Italiana di Termoelettricità

Presidente: Dario Narducci
Segretario Generale: Monica Fabrizio
Comitato Esecutivo: Stefano Boldrini, Carlo Fanciulli, Giovanni Pennelli
Consiglio Direttivo: Umberto Anselmi-Tamburini, Simone Battiston, Alberto Castelleri, Bruno Lorenzi, Antonella Rizzo

Posta elettronica:
associtalte@gmail.com
Twitter: @AIT_ItTS
Sito web: ait.ieni.cnr.it
AIT è anche su [Facebook](#) e su [LinkedIn](#)



L'Associazione Italiana di Termoelettricità

Dallo Statuto dell'AIT:

“La Associazione ha lo scopo di promuovere lo studio e la ricerca nel settore dei fenomeni termoelettrici e delle loro applicazioni e in particolare (a) di favorire e incrementare la ricerca scientifica nel settore della termoelettricità; (b) di divulgare la conoscenza dei fenomeni termoelettrici e l'importanza delle loro applicazioni nel quadro del benessere e del progresso nazionale, europeo e mondiale; (c) di attivare e mantenere relazioni con associazioni, società ed organizzazioni nazionali di altri paesi aventi analoghi scopi e con la European e la International Thermoelectric Society; (d) di promuovere e favorire lo studio dei fenomeni termoelettrici nelle università e nelle scuole di ogni ordine e grado.”

AIT su
Internet:
ait.ieni.cnr.it

Come iscriversi all'AIT

Il modulo di iscrizione è [scaricabile](#) dalla rete.

Sono disponibili tre livelli di associazione:

- socio junior, riservato a chi ha fino a 35 anni e a quanti, indipendentemente dall'età, non abbiano un lavoro né fisso né temporaneo al momento dell'iscrizione (la borsa di dottorato *non* è un lavoro -- né temporaneo né tanto meno fisso). La quota di iscrizione è di 25 €;

- socio attivo, con una quota di iscrizione pari a 50 €;
- socio sostenitore, con una quota di iscrizione di 100 € — una forma associativa pensata per chi volesse (e potesse) sostenere con uno sforzo speciale la crescita dell'AIT.

Tutti i soci (juniores, attivi e sostenitori) partecipano alla attività dell'Associazione con gli stessi diritti e doveri.

Come meglio specificato nel modulo di iscrizione, la quota associativa può essere saldata con bonifico bancario. Su richiesta verrà rilasciata una ricevuta di pagamento oltre ovviamente alla tessera associativa.