

## Managing heat in plastics

Michael Sommer, Business Development Manager Plastic - GROLMAN



M. Sommer



Heat management is a major challenge in many applications, including those in electronics, aerospace and automotive. Many solutions available today are based on metal conductors used in compounds or as heat sinks attached to parts that need temperature control. Often these solutions consist of a metal such as aluminum (which has a thermal conductivity of 100 W/mK) or a plastic filled with metal flakes, graphite or carbon black.

One drawback in these cases is that the parts are electrically conductive too and they are heavy. Some solutions exist for creating thermally conductive and electrically insulating plastic parts, however the hardness of some additives used can damage processing equipment or tools. Control of temperature in combination with electrical insulation is a demand that arises

from applications where devices have to be connected directly to the electric source or are in direct contact with the user. The requirements for weight reduction specially in new vehicles drive the use of plastics.

This article shows that there is a way to make thermoplastic and thermoset parts thermally conductive while maintaining electrical isolation by using boron nitride (BN) as an additive in the compound. Previous investigations have demonstrated the possibility of substituting aluminum heat sinks with thermally conductive plastics using theoretical modeling approaches for simple geometries. For more realistic heat sink geometries, finite element analysis was used to determine the steady state temperature distribution. Momentive Performance Materials Inc. produces BN and has developed powder grades specifically for use in plastics.

The hexagonal crystal structure of BN, which is similar to carbon, is also soft and lubricious, therefore there is no negative impact on processing equipment or tools.

And because it is white, BN allows full color

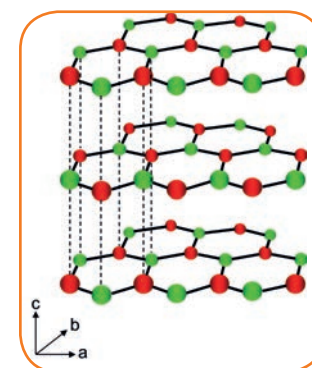


Fig. 1 - Boron Nitride's structure  
Struttura del Nitruro di Boro

## La gestione del calore nelle materie plastiche

Michael Sommer, Business Development Manager Plastic - GROLMAN



La gestione del calore è una problematica ragguardevole in molte applicazioni, inclusi i settori dell'elettronica, quello aerospaziale e quello automotive. Molti dei rimedi al surriscaldamento, oggigiorno, si basano su conduttori metallici usati all'interno dei compounds, o come dissipatori di calore in contatto con le parti che necessitano di un controllo termico. Spesso queste soluzioni fanno uso di un metallo come l'alluminio (che ha una conducibilità termica di 100 W/mK) o di un materiale plastico riempito di scaglie metalliche, grafite o nero di carbonio. Un inconveniente, in questi casi, è che le parti stesse sono elettro-conduttive e

sono pesanti. Esistono alcune soluzioni per creare componenti plastiche che siano termo-conduttive ma elettricamente isolanti, però la durezza di alcuni additivi può danneggiare i macchinari e gli strumenti di processo. Il controllo della temperatura in combinazione con l'isolamento elettrico è una necessità di quelle applicazioni in cui i dispositivi devono essere direttamente collegati alla sorgente elettrica o sono in diretto contatto con l'utilizzatore. I requisiti di leggerezza richiesti specialmente nei nuovi veicoli ci suggeriscono di utilizzare le materie plastiche. Questo articolo mostra che c'è un modo per rendere termo-conduttibili le parti termoplastiche o termoindurenti, e nel contempo mantenere

l'isolamento elettrico. Lo si può fare per mezzo del nitruro di boro (BN), da usarsi come additivo nel compound. Alcune ricerche precedenti hanno dimostrato la possibilità di sostituire i dissipatori di calore in alluminio con materie plastiche termo-conduttive, utilizzando l'approccio dei modelli teorici per geometrie semplici. Per geometrie di radiatori più realistiche, è stata usata l'analisi degli elementi finiti per determinare la distribuzione di temperatura in stato stazionario.

Momentive Performance Materials Inc. produce BN e fornisce dei gradi in polvere specifici per le materie plastiche. La struttura cristallina esagonale del BN, simile a quella del carbonio, è

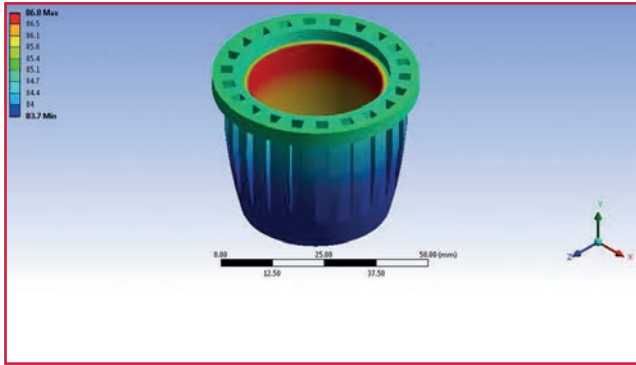


Fig. 2 - LED housing with metal heat sink and plastic insert  
*Alloggiamento per lampade LED con radiatore metallico e inserto plastico*

freedom for the user. With these unique properties, BN can be the best overall choice for use in thermal management applications where electrical insulation is also required. One typical application for BN-filled plastics is LED lamps for residential use. To enable the highest efficiency of the LED chip, it needs to stay cool. Early bulbs were manufactured with a housing that included a plastic insert around the LED bottom section and was covered with a metal heat sink (Fig. 2). Using Momentive BN powder in a polymer, this multi-part, costly construction can be

redesigned using plastic for both the housing and the heat sink. The comparison of the heat transfer between a metal and a plastic heat sink is shown in Figure 3. When comparing two different constructions for an LED bulb housing, Figure 4 shows that a housing made from BN-filled plastic (on the right) is 13°C cooler and 45 – 60% lighter than the aluminum housing (on the left). By utilizing the design freedom of plastics, adding just one extra fin to a heat sink will result in a lower temperature at the heat source, as shown in Figures 5 and 6. The current work further explores this concept for other relevant heat sink geometries. A load of 3W was applied to the top surface of a circular heat sink in a static convection environment. The steady state temperature

distributions for all circular heat sink cases are shown below. The dimensions of the three heat sinks are identical – the only difference is the number of fins between the aluminum and plastic heat sinks. Figure 7 shows the baseline case of the aluminum heat sink. Figure 8 shows a plastic heat sink with a thermal conductivity of 5 W/mK and Figure 9 shows a plastic heat sink with a thermal conductivity of 3 W/mK.

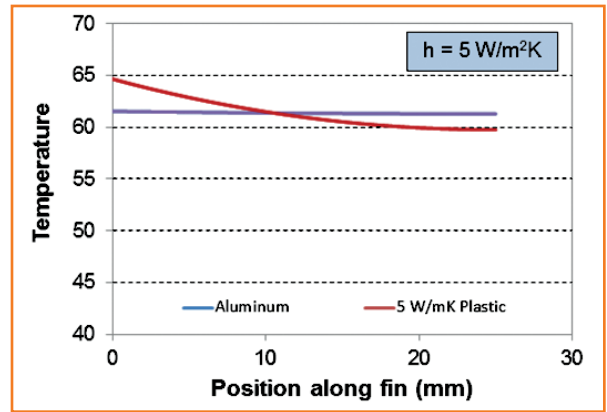


Fig. 3 - Temperature comparisons between aluminum and BN filled plastic heat sinks  
*Confronto di temperature tra dissipatori termici in alluminio e in materiale plastico additivato BN*

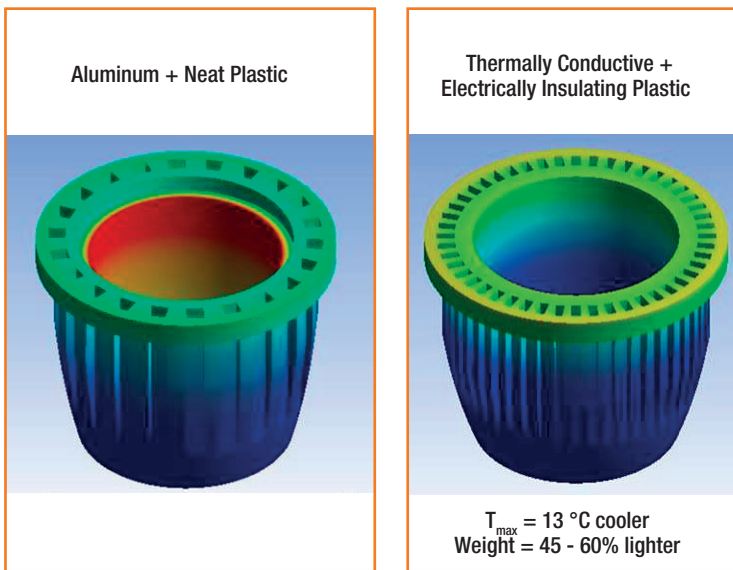


Fig. 4 - Comparison of aluminum / plastic LED housing versus BN-filled plastic housing / *Confronto tra alloggiamenti LED - alluminio / plastica vs. materiale plastico additivato BN*

*morbida e liscia, per cui non c'è alcun impatto negativo sui macchinari e sugli strumenti di processo. Ed essendo bianco, il BN permette la più completa libertà di colore all'utilizzatore. Grazie a queste proprietà uniche, il BN può essere la migliore scelta in assoluto per l'uso in applicazioni di gestione termica ove sia richiesto anche l'isolamento elettrico. Tipiche applicazioni di materie plastiche riempite con BN sono le lampade a LED per uso residenziale. Per permettere la più alta efficienza dei LED, il chip deve restare freddo. Le prime lampade venivano fabbricate con un alloggiamento che includeva un inserto plastico intorno alla sezione inferiore del LED, coperto con un dissipatore di calore a matrice metallica (Fig. 2). Grazie al BN in polvere di Momentive additivato al polimero, quello che in origine sarebbe un assemblato multi-componente e costoso può essere riprogettato. Come? Impiegando materiale plastico sia per l'alloggiamento sia per la componente di dissipazione termica. Il confronto di trasferimento di calore tra le due soluzioni (metallo vs. plastica al BN) è illustrato in Figura 3. Comparando i due diversi tipi di manifattura per un alloggiamento di lampade LED, la Figura 4 mostra che quella basata sul BN (a destra) è 13°C più*



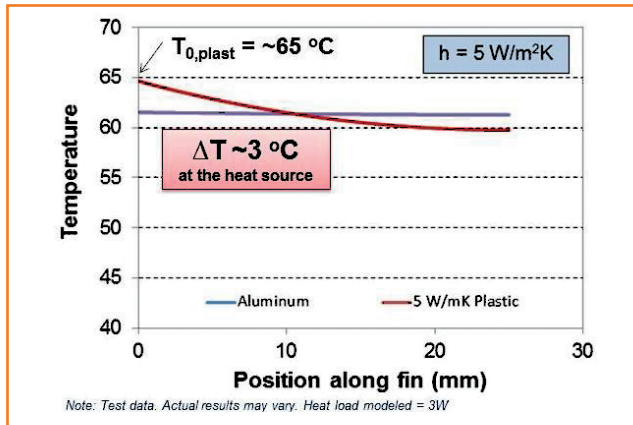


Fig. 5 - Aluminum and plastic heat sinks  
Dissipatori termici in alluminio e plastica

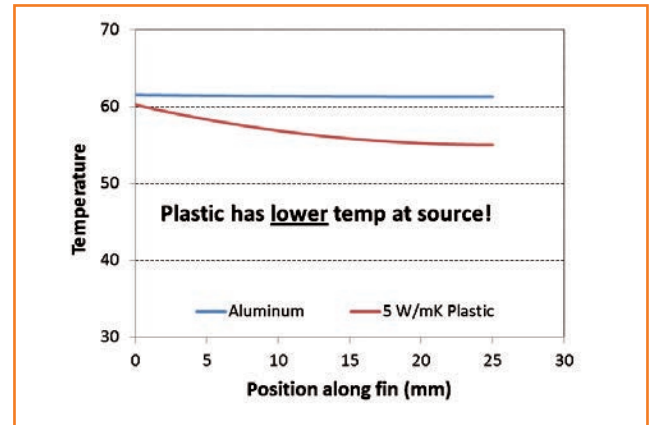


Fig. 6 - Efficiency of 6 fin aluminum heat sink versus 7 fin BN-plastic heat sink  
Efficienza di un dissipatore a 6 alette in alluminio vs. uno a 7 in materiale plastico additivato BN



The maximum temperature for the aluminum heat sink and the 3W/mK plastic heat sink was the same (69°C), whereas the hottest spot on the 5 W/mK plastic heat sink was 11°C cooler (58°C). This demonstrates that a thermally conductive plastic made from Momentive's BN with a small design change can achieve the same performance or even result in a lower maximum temperature versus a heat sink

made from aluminum. As weight is often a challenge in many applications, choosing plastic has the added benefit of enabling weight reductions of 30 – 55%. The above examples used finite element analysis to demonstrate the possibility of substituting aluminum heat sinks with thermally conductive plastics for various heat sink geometries in convection-limited environments. Further analysis showed that

BN-filled plastics may also perform adequately in forced convection conditions.

#### WHAT DOES HEAT MANAGEMENT MEAN FOR NEW APPLICATIONS?

The change in powertrain design for new vehicles is leading to the integration of more electrical and electronic parts in cars. Hybrid technology or fully electric cars require a larger number of devices to be around the



fredda oltre che dal 45% al 60% più leggera di quella a base di alluminio (a sinistra). Usando i gradi di libertà di progettazione consentiti con le materie plastiche, l'aggiunta anche di una sola aletta al radiatore comporterà una minore temperatura alla sorgente, come illustrato in Figura 5 e in Figura 6. Questo lavoro esplora ulteriormente il concetto per altre geometrie di radiatori, come spieghiamo di seguito. È stato applicato un carico di 3W sulla superficie superiore di un radiatore circolare in condizioni di convezione statica. Le distribuzioni stazionarie di temperatura per le varie casistiche sono illustrate qui sotto. Le dimensioni dei tre radiatori sono identiche – l'unica differenza è il numero di alette tra le soluzioni in alluminio e quelle in plastica. La Figura 7 mostra la linea di base, relativa al caso di un dissipatore in alluminio. La Figura 8 mostra un dissipatore in plastica

con conducibilità termica di 5 W/mK e la Figura 9 fa vedere una soluzione tecnica in plastica con conducibilità termica di 3 W/mK.

La temperatura massima del caso in alluminio (Figura 7) e di quello in plastica da 3W/mK (Figura 9) è la stessa (69°C), mentre il punto più caldo del radiatore plastico da 5 W/mK è 11°C più freddo (58°C). Questo dimostra che una materia plastica termo-conduttiva additivata con il BN Momentive può fornire le stesse prestazioni dell'alluminio o addirittura migliori, attraverso un semplice aggiornamento del disegno della struttura. Poiché in molte applicazioni il peso costituisce un problema, la scelta della plastica conferisce un ulteriore valore aggiunto perché consente riduzioni di peso dal 30% al 55%. Gli esempi appena descritti hanno fatto uso dell'analisi degli elementi finiti per dimostrare la possibilità di sostituire radiatori in alluminio con materie plastiche termo-conduttive,

su varie geometrie e in condizioni o ambienti a convezione limitata. Ulteriori analisi hanno mostrato che le materie plastiche riempite con BN possono comportarsi adeguatamente anche in condizioni di convezione forzata.

#### COSA SIGNIFICA GESTIRE IL CALORE IN NUOVE APPLICAZIONI?

Le nuove generazioni di propulsori per autoveicoli stanno portando a un sempre più alto grado di integrazione di componenti elettriche ed elettroniche. La tecnologia ibrida e le macchine totalmente elettriche richiedono un più elevato numero di dispositivi intorno ai sistemi di controllo, alle batterie e ai propulsori. In generale, ci sono diverse zone delle automobili dove la questione del calore è critica, come si vede in Figura 10. Un'area termicamente critica è l'alloggiamento della batteria nelle auto elettriche



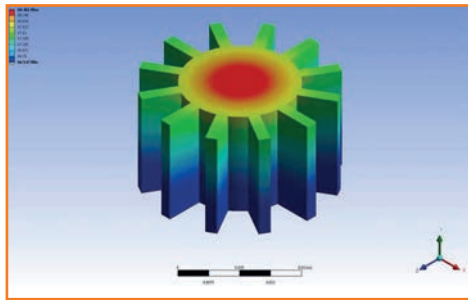


Fig. 7 - Circular heat sink – baseline case with aluminum  
Radiatore circolare - linea di base, caso in alluminio

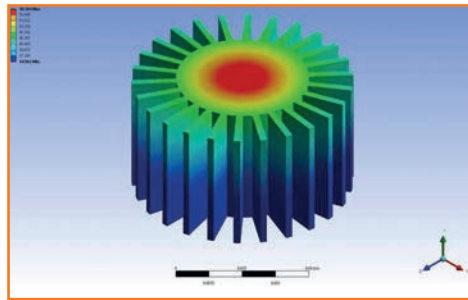


Fig. 8 - Circular heat sink case with 5 W/mK plastic  
Radiatore circolare in materiale plastico a conducibilità termica 5 W/mK

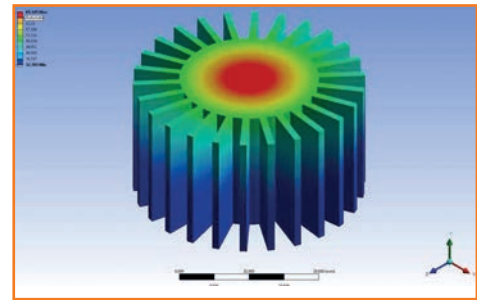


Fig. 9 - Circular heat sink case with 3 W/mK plastic  
Radiatore circolare in materiale plastico a conducibilità termica 3 W/mK

controls, batteries or powertrain. In general, there are several areas in cars where thermal management is critical, as shown in Figure 10. One critical area for heat management is battery housings in fully electric or hybrid cars. The housing protects the battery, which is often underneath the car, from stones, water and dirt. The housing needs to be electrically isolating to avoid short outs in the battery and powertrain. It should be noted that battery efficiency is increased when temperature is managed well throughout the charging and discharging processes. For applications such as housings for batteries, electronic parts or catalyst protection

in a vehicle, good thermal management helps to take heat away from critical areas. The battery pack in an electric-powered or hybrid car is often between the passenger cabin and the floor, as shown in Figure 11.

Lead batteries that are used in most gasoline and diesel cars today do not have the same thermal management challenges as high efficiency nickel-metal hydride (NiMH) batteries. The charging of these NiMH power packs is done via the braking system and the momentum when driving force

is not required, therefore they get quite hot during the movement of the vehicle, as they are permanently charged and discharged. In some electric cars and many city buses, a separate engine supplies electrical power to those cells. The charging unit in a vehicle also carries a heat load when in use. This is another area where BN-filled plastics can



o in quelle ibride. L'alloggiamento (o sede) protegge la batteria (che in molti casi è sotto l'auto) da pietre, acqua e sporcizia. La sede deve essere elettricamente isolata per evitare cortocircuiti nella batteria e nel propulsore. Va fatto notare che l'efficienza della batteria aumenta quando la temperatura è ben gestita durante i processi di caricamento e scaricamento della batteria stessa. Un buon controllo termico aiuta a rimuovere il calore in eccesso dalle zone critiche in punti sensibili quali gli alloggiamenti di batterie e di parti elettroniche o le protezioni dei catalizzatori nei veicoli. Il pacchetto batterie di un'auto elettrica o ibrida, di solito, è posto tra la cabina passeggeri e il pavimento, come illustrato in Figura 11. Le batterie al piombo usate nella maggior parte delle auto diesel e a benzina, oggi, non presentano le stesse problematiche delle batterie

ad alta efficienza al nichel-metallo idruro (NiMH). Il caricamento di questi pacchetti NiMH è effettuato attraverso il sistema di frenata e nel momento in cui non è richiesta forza propulsiva, pertanto essi diventano piuttosto caldi durante la marcia del veicolo perché vengono continuamente caricati e scaricati. In alcune auto elettriche e in molti autobus urbani, un motore a parte fornisce potenza elettrica alle celle. L'unità di carica di un veicolo, quando in uso, porta con sé un carico termico. Questa è un'altra area dove le plastiche al BN possono aiutare a tenere sotto controllo i picchi di temperatura, evitando rischi per gli utenti. La Figura 12 riporta l'immagine di un'unità di carica. L'interesse nella tecnologia delle celle a combustibile aumenterà finché aumenterà

anche la sensibilità ambientale nel minimizzare le emissioni di CO<sub>2</sub>. Una cella a combustibile ha bisogno di una sede che sia resistente all'acqua ed elettricamente isolante, e dovrà avere a che fare con il calore sviluppato dalla reazione tra l'idrogeno (H<sub>2</sub>) e l'ossigeno (O<sub>2</sub>) a formare acqua sulla membrana. L'efficienza della cella a combustibile è anche determinata dalla gestione termica; bisogna mantenere la medesima temperatura in tutta la cella per prevenire la distruzione della cella stessa a causa del carico di calore. Ciò è particolarmente critico perché la reazione 2H<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> -> 2H<sub>2</sub>O è

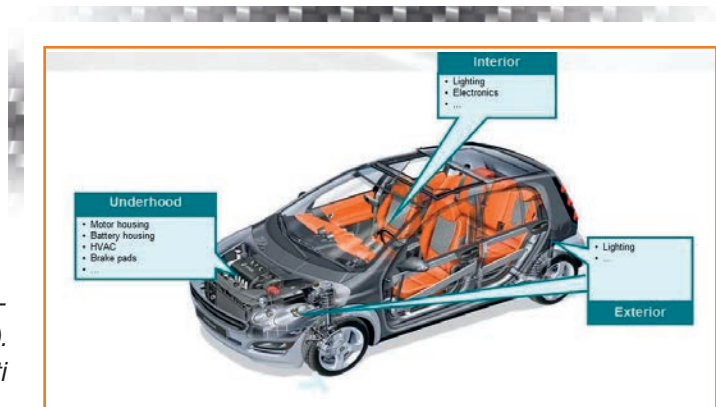


Fig. 10 - Critical areas for heat management in vehicles  
Zone termicamente critiche nei veicoli



Fig. 11 - Battery housing of an electric car  
*Alloggiamento batteria in un'auto elettrica*



Fig. 12 - Charging unit of an electric car  
*Unità di carica di un'auto elettrica*



help to manage the temperature peak so that there is no danger for the user. Figure 12 shows such a charging unit.

Interest in fuel cell technology will grow as the desire for minimizing CO<sub>2</sub> emissions from cars grows. A fuel cell needs a housing that is water resistant, electrically isolating and will manage the heat inside from the reaction of hydrogen (H<sub>2</sub>) and oxygen (O<sub>2</sub>) into water at the membrane. Also, the efficiency of the fuel cell is determined by thermal management. The same temperature must be maintained throughout the cell in order to prevent destruction of the cell through thermal loading. This is particularly challenging since the

2H<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> -> 2H<sub>2</sub>O reaction is highly exothermic, therefore a large quantity of heat is generated within the fuel cell. The next generation of rechargeable batteries will be lithium (Li) ion, which also requires good heat management. These will not only be used in vehicles, they are already commonly used in computers, cameras and measuring devices. To protect the battery and the device, good thermal management is a must. Another critical area of thermal management in the car is the headlamp. While the reflectors are

mostly injection molded from Bulk Molding Compound (BMC) or thermoplastics, the housing of the headlamp has to manage the heat from standard halogen or xenon bulbs. Due to thermal stability, BMC is typically chosen for the reflector, whereas the housing behind the reflector is often molded from polypropylene (Fig. 13). When LED headlamps start widely replacing those technologies in use today, it will increase the need for excellent heat management, not only for the reflector but also for the housing. LED lamps are very sensitive to heat – the higher the temperature, the less effective the LED chips



Fig. 13 - Headlamp with reflector and window  
*Fanale con riflettore e finestra*



altamente esotermica, e pertanto genera un'enorme quantità di calore all'interno della cella. La prossima generazione di batterie ricaricabili sarà a ioni di litio (Li). Anche questa tecnologia richiede un'opportuna gestione del calore. Queste batterie non saranno usate soltanto negli autoveicoli, ma sono già comunemente utilizzate nei computer, nelle macchine fotografiche e negli strumenti di misura. Per proteggere tanto la batteria quanto i dispositivi è essenziale avere efficienti sistemi di gestione termica. Un altro segmento di rilievo del modo automobilistico è quello della fanaleria. Mentre i riflettori sono prevalentemente stampati a iniezione da BMC (Bulk Molding Compound) o da termoplastici, le sedi dei fanali devono fronteggiare il calore proveniente da lampade alogene standard o da lampade allo xeno. In virtù della stabilità termica, i BMC sono tipicamente

selezionati per i riflettori, mentre gli alloggiamenti che stanno dietro ai riflettori sono spesso stampati in polipropilene (Fig. 13). A mano che i fanali a LED cominciano a sostituire ampiamente le tecnologie in uso fino ad oggi, vi è una crescente necessità di una eccellente amministrazione dei flussi termici, non solo per quel che riguarda i riflettori ma anche per gli alloggiamenti. Le lampade a LED sono molto sensibili al calore: più alta è la temperatura, più bassa è l'efficacia dei chips degli stessi LED. Per spiegare la tematica con un esempio pratico, sono state esaminate due lampade a LED con alloggiamenti diversi e con conseguente distribuzione

termica diversa. Come visibile in Figura 14, il loro confronto mostra che la lampada con sede in plastica al BN (a destra) ha un profilo termico molto migliore rispetto a quella alloggiata in alluminio (a

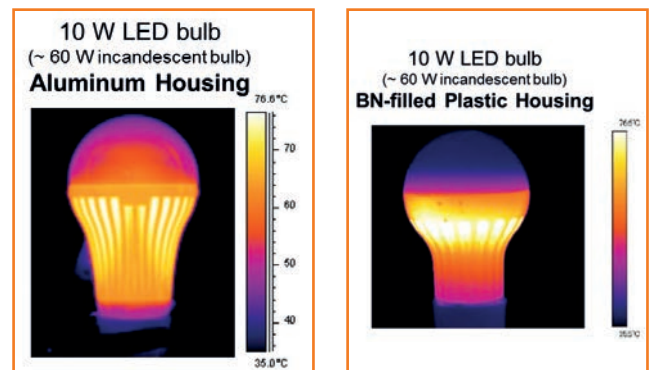


Fig. 14 - Temperature profile of LED bulbs with aluminum housing (left) and plastic housing (right)  
*Profilo termico di lampade a LED con alloggiamento in alluminio (sinistra) e in plastica al BN (destra)*



Fig. 15  
FieldPower® by Weidmüller  
is an energy  
(Photo: Courtesy of  
Weidmüller group)  
*FieldPower® by Weidmüller  
è una linea di gestione della  
distribuzione energetica (Foto  
su concessione del Gruppo  
Weidmüller)*



Fig. 16  
Cross section of push in  
contact  
(Photo: Courtesy of  
Weidmüller group)  
*Sezione trasversale di  
spina a contatto (Foto su  
concessione del Gruppo  
Weidmüller)*



insulating solutions will be used. A total heat management solution could entail a thermally conductive housing in combination with thermally conductive adhesives and other heat sink components. BN-filled plastics will likely play a substantial role in addressing

are. To show a practical example, two LED lamps were examined for thermal distribution. As seen in Figure 14, the comparison shows that the BN-filled plastic LED housing (on the right) has a much better temperature profile and similar peak temperature as the LED bulb with an aluminum housing (on the left).

New concepts for power generation are leading to new concepts for power distribution too. In times where more and smaller energy sources such as wind turbines, solar panels and fuel cells are installed, the connection of those sources becomes a challenge.

Also in electrical and electronics applications, heat control is becoming more important than ever. Devices have more functionality, more energy is flowing and the heat sources are

closer together, as systems become smaller and more powerful. Figures 15 and 16 show two applications where heat is involved.

FieldPower by Weidmüller Group is a comprehensive concept for distributing power throughout industrial systems and installations (Fig. 15). It can be used for building or industrial automation and also for energy distribution in cars. Figure 16 is a cross-section of a contact that is used for connecting power lines. Both figures are courtesy of the Weidmüller Group in Germany. These are examples of potential applications for BN-filled plastics.

When many different elements come together and create heat, the need to manage the overall temperature becomes critical. In these cases, thermally conductive and electrically

the overall thermal management challenges of various applications.

Many adhesives that are used for sealing heat sinks on electronic parts are already equipped with BN to ensure that the heat transfer from the electronic part or printed circuit board towards the heat sink is optimized.

Momentive Performance Materials Quartz division offers a broad range of state-of-the-art products including CoolFX Hybrid Filler grades. These can be used in a wide variety of polymers and applications. Momentive also has significant capacity and excellent resources to support new developments. Grolman Group and Momentive work closely with compounders, molders and end users to offer technical assistance and help solve technical challenges.

*sinistra), pur registrando – nei due casi – un picco termico simile. Nuovi concetti di generazione di potenza stanno portando ad altrettanto nuovi concetti di distribuzione di potenza. In un'epoca in cui vengono installate sorgenti di energia sempre più numerose e sempre più piccole (turbine eoliche, pannelli solari e celle a combustibile), la connessione di queste stesse fonti diventa sfidante. Anche nelle applicazioni elettriche ed elettroniche, il controllo del calore sta diventando più importante che mai. I dispositivi hanno sempre più funzioni, i flussi di energia sono sempre più rilevanti e le fonti di calore sono sempre più vicine tra loro, perché i sistemi sono sempre più piccoli e sempre più potenti. Le Figure 15 e 16 mostrano due applicazioni ove il calore gioca un ruolo importante. FieldPower by Weidmüller Group è un concetto integrato ovvero un dispositivo completo di distribuzione di potenza per i sistemi industriali e per talune*

*installazioni (Fig. 15). Può essere utilizzato nelle costruzioni, nell'automazione industriale, nella distribuzione dell'energia nelle automobili. La Figura 16 è una sezione trasversale di un contatto usato per connettere delle linee di potenza. Entrambe le immagini sono state concesse su cortesia del gruppo tedesco Weidmüller. Questi sono esempi di potenziali applicazioni di materie plastiche riempite con BN. Quando più elementi sono assemblati insieme e generano calore, la gestione delle temperature diventa critica. In questi casi, vengono implementate soluzioni che coniughino la conducibilità termica (e quindi la dispersione del calore) con le necessarie proprietà di isolamento elettrico. Un sistema di gestione totale del calore può quindi comportare un alloggiamento termo-conduttivo in combinazione con adesivi termo-conduttivi e con altre componenti di radiazione del calore. Le materie plastiche al BN, pertanto, giocano un ruolo*

*fondamentale nell'indirizzare gli stress termici tipici di molte applicazioni. Molti degli adesivi usati per sigillare i radiatori sui componenti elettronici sono già muniti di BN, al fine di assicurare l'ottimizzazione del trasferimento di calore dalle stesse parti elettroniche o dai circuiti stampati attraverso i dissipatori termici medesimi. La divisione Momentive Performance Materials Quartz offre un ampio spettro di prodotti d'avanguardia, inclusi i gradi CoolFX Hybrid Filler. Questi possono essere usati con una vasta gamma di polimeri e in molte applicazioni. Momentive ha anche ottime capacità e risorse d'eccellenza per promuovere nuovi sviluppi. Il gruppo Grolman e Momentive lavorano congiuntamente con i produttori di compound, con gli stampatori e con gli utilizzatori finali per fornire loro assistenza tecnica e per agevolarli nel trovare soluzioni alle problematiche di oggi.*

