

🇬🇧 Polymer coating cools down buildings

🇮🇹 I rivestimenti polimerici che rinfrescano le strutture edili

Yuan Yang, Jyotirmoy Mandal - UNIVERSITY OF COLUMBIA

🇬🇧 With temperatures rising and heat-waves disrupting lives around the world, cooling solutions are becoming ever more essential. This is a critical issue especially in developing countries, where summer heat can be extreme and is projected to intensify. But common cooling methods such as air conditioners are expensive, consume significant amounts of energy, require ready access to electricity, and often require coolants that deplete ozone or have a strong greenhouse

Fig. 1 Illustration showing how passive daytime radiative cooling (PDRC) involves simultaneously reflecting sunlight and radiating heat into the cold sky to achieve a net heat loss. The process, which is spontaneous, can cool down structures to sub-ambient temperatures

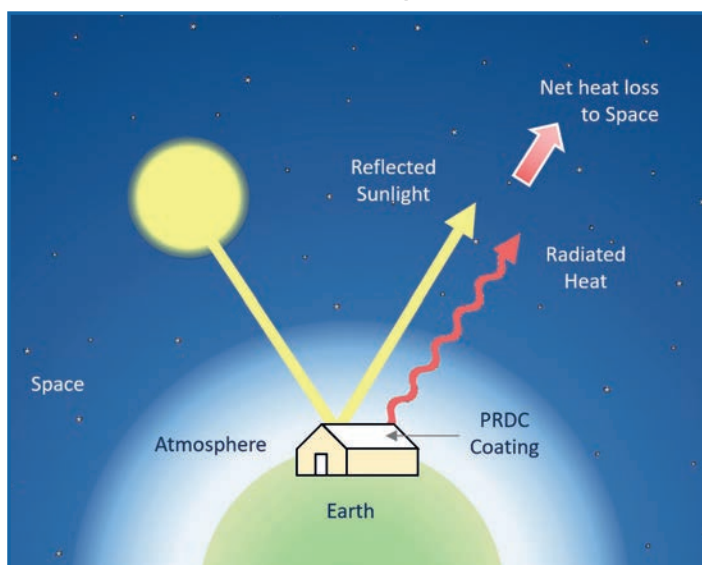


Fig. 1 L'illustrazione mostra come il raffreddamento radiante passivo quotidiano (PDRC) provoca la riflettanza simultanea della luce del sole e l'irraggiamento del calore nell'atmosfera fredda causando una perdita di calore netta. Il processo, naturale, può raffreddare strutture fino a raggiungere temperature ambientali inferiori

🇮🇹 Con l'innalzamento delle temperature e le correnti di calore che stanno cambiando sempre di più la vita in tutto il mondo, le soluzioni per ridurre le temperature sono ormai diventate essenziali. Si tratta di una tematica critica, in particolare nei paesi in via di sviluppo dove le temperature nella stagione estiva possono essere estreme e dove potrebbero aumentare ulteriormente. Inoltre, i comuni sistemi di raffreddamento come il condizionamento dell'aria sono molto costosi, i consumi energetici molto elevati senza parlare dell'esigenza di aver un accesso immediato all'energia elettrica e di refrigeranti che provocano il "buco dell'ozono" oppure l'effetto serra.

Un'alternativa a queste tecniche refrigeranti ad alto consumo energetico è il raffreddamento radiante passivo quotidiano (PDRC), un fenomeno in cui una superficie si raffredda spontaneamente riflettendo i raggi solari e irraggiando il calore nell'atmosfera più fredda. PDRC è molto efficace se una superficie presenta una riflettanza solare elevata che riduce al minimo l'assorbimento del calore dei raggi solari oltre ad avere un'alta emittanza termica che aumenta al massimo la perdita di flusso termico radiante nell'atmosfera. Se R e ϵ sono sufficientemente elevati, può aver luogo una perdita di calore netta, anche in condizioni di esposizione ai raggi solari.

Lo sviluppo della tecnica PDRC nella vita reale si è rivelato critico, infatti, molte proposte recenti sono complesse o costose e non possono essere attuate o applicate su tetti ed edifici, dotati di forme e strutture differenti. Finora, le pitture bianche, poco costose e facili da applicare, sono state il prodotto di riferimento per PDRC. Queste stesse, tuttavia, contengono pigmenti che assorbono i raggi UV e non riflettono bene le lunghezze d'onda più elevate, tali per cui la loro prestazione risulta modesta. I ricercatori della facoltà di Ingegneria della Columbia University hanno ideato un rivestimento polimerico PDRC per esterni di alta prestazione dotato di vuoti d'aria di dimensione nano-micrometrica, che funge da rinfrescante naturale dell'aria e che



effect. An alternative to these energy-intensive cooling methods is passive daytime radiative cooling (PDRC), a phenomenon where a surface spontaneously cools by reflecting sunlight and radiating heat to the colder atmosphere. PDRC is most effective if a surface has a high solar reflectance (R) that minimizes solar heat gain, and a high, thermal emittance (ϵ) that maximizes radiative heat loss to the sky. If R and ϵ are sufficiently high, a net heat loss can occur, even under sunlight. Developing practical PDRC designs has been challenging: many recent design proposals are complex or costly, and cannot be widely implemented or applied on rooftops and buildings, which have different shapes and textures. Up to now, white paints, which are inexpensive and easy to apply, have been the benchmark for PDRC. White paints, however, usually have pigments that absorb UV light, and do not reflect longer solar wavelengths very well, so their performance is only modest at best. Researchers at Columbia Engineering

have invented a high-performance exterior PDRC polymer coating with nano-to-microscale air voids that acts as a spontaneous air cooler and can be fabricated, dyed, and applied like paint on rooftops, buildings, water tanks, vehicles, even spacecraft—anything that can be painted. They used a solution-based phase-inversion technique that gives the polymer a porous foam-like structure. The air voids in the porous polymer scatter and reflect sunlight, due to the difference in the refractive index between

the air voids and the surrounding polymer. The polymer turns white and thus avoids solar heating, while its intrinsic emittance causes it to efficiently lose heat to the sky.

The team, Yuan Yang, assistant professor of materials science and engineering; Nanfang Yu, associate professor of applied physics; and Jyotirmoy Mandal, lead author of the study and a doctoral student in Yang's group (all department of applied physics and applied mathematics)—built upon earlier work that demonstrated that simple plastics and polymers, including acrylic, silicone, and PET, are excellent heat radiators and could be used for PDRC. The challenges were how to get these normally transparent polymers to reflect sunlight without using silver mirrors as reflectors and how to make them easily



può essere fabbricato, pigmentato e applicato come una pittura, su tetti, edifici, cisterne d'acqua, veicoli e anche navicelle spaziali o qualsiasi altro oggetto verniciabile. Essi hanno adottato una tecnica a inversione di fase che fornisce al polimero una struttura porosa simile alla schiuma. I vuoti d'aria nel polimero poroso propagano e riflettono la luce, a causa delle differenze dell'indice di rifrazione fra i vuoti d'aria e il polimero circostante. Il polimero diventa bianco ed evita il surriscaldamento solare, mentre la sua emittanza intrinseca determina la perdita di calore nell'atmosfera.

Il team, Yuan Yang, assistente professore di scienza dei materiali e ingegneria; Nanfang Yu, professore associato di fisica applicata e Jyotirmoy Mandal, primo autore di questo lavoro di ricerca e ancora uno studente dottorando del gruppo Yang (dipartimento di fisica applicata e matematica applicata) hanno rielaborato le ricerche precedenti per dimostrare che le semplici plastiche e i polimeri, compresi gli acrilici, siliconici e PET sono

Fig. 2-3 When exposed to the sky, the porous polymer PDRC coating reflects sunlight and emits heat to attain significantly cooler temperatures than typical building materials or even the ambient air



Fig. 1 Quando il rivestimento polimerico poroso è esposto all'atmosfera, esso riflette i raggi solari ed emette calore fornendo così temperature più fresche nell'aria e nell'ambiente di quelle ottenibili con i materiali da costruzione tipici

eccellenti radiatori di calore e che possono essere utilizzati per PDRC. La grande sfida è consistita nel capire come questi polimeri trasparenti potessero riflettere i raggi del sole senza utilizzare specchi d'argento come riflettenti e comprendere come allinearli facilmente.

Hanno deciso quindi di utilizzare l'inversione di fase perché è una tecnica semplice per realizzare vuoti d'aria che propagano la luce nei polimeri. I polimeri e i solventi vengono già utilizzati nelle pitture e il metodo della Columbia Engineering sostituisce in effetti i pigmenti della pittura bianca con i vuoti d'aria che riflettono tutte le lunghezze d'onda della luce solare, dagli UV agli infrarossi.

“Questa semplice ma fondamentale modificazione produce



deployable. They decided to use phase-inversion because it is a simple, solution-based method for making light-scattering air-voids in polymers. Polymers and solvents are already used in paints, and the Columbia Engineering method essentially replaces the pigments in white paint with air voids that reflect all wavelengths of sunlight, from UV to infrared. “This simple but fundamental modification yields exceptional reflectance and emittance that equal or surpass those of state-of-the-art PDRC designs, but with a convenience that is almost paint-like”, says Mandal.

The researchers found their polymer coating’s high solar reflectance ($R > 96\%$) and high thermal emittance ($\epsilon \sim 97\%$) kept it significantly cooler than its environment under widely different skies, e.g. by 6°C in the warm, arid desert in Arizona and 3°C in the foggy, tropical environment of Bangladesh. “The fact that cooling is achieved in both desert and tropical climates, without any thermal protection or shielding, demonstrates the utility of our design wherever cooling is required”, Yang notes. The team also created colored polymer coatings with cooling capabilities by adding dyes. “Achieving a superior balance between color and cooling performance over current paints is one of the most important aspects of our work”, Yu notes. “For exterior coatings, the choice of color is often subjective, and paint manufacturers have been trying to make colored coatings, like those for roofs, for decades”.

The group took environmental and operational issues, such as recyclability, bio-compatibility, and high-temperature operability, into consideration, and showed that their technique can be generalized to a range of polymers to achieve these functionalities. “Polymers are an amazingly diverse class of materials, and because this technique is generic, additional desirable properties can be conveniently integrated into our PDRC coatings, if suitable polymers are available”, Mandal adds. “Nature offers many ways for heating and cooling, some of which are extremely well known and widely studied and others that are poorly known. Radiative cooling—by using the sky as a heat sink—belongs to the latter group, and its potential has been strangely overlooked by materials scientists until a few years ago”, says Uppsala University Physics Professor Claes-Göran Granqvist, a pioneer in the field of radiative cooling, who was not involved with the study. “The publication by Mandal et al. highlights the importance of radiative cooling and represents an important breakthrough by demonstrating that hierarchically porous polymer coatings, which can be prepared cheaply and conveniently, give excellent cooling even in full sunlight”. Yang, Yu, and Mandal are refining their design in terms of applicability, while exploring possibilities such as the use of completely biocompatible polymers and solvents. They are in talks with industry about next steps.



una riflettanza ed emittanza eccellenti che uguagliano o superano quelle dei progetti PDRC allo stato dell’arte, ma con il vantaggio che si tratta di qualcosa simile alla pittura”, ha affermato Mandal.

I ricercatori hanno riscontrato che l’elevata riflettanza solare ($R > 96\%$) ed emittanza termica ($\epsilon \sim 97\%$) del rivestimento polimerico mantenevano una temperatura più fresca dell’ambiente circostante, in varie condizioni meteorologiche, ad es. di 6°C nel deserto arido e caldo dell’Arizona e di 3°C nell’ambiente molto umido tropicale del Bangladesh. “Il fatto che il raffreddamento sia possibile sia in climi desertici che tropicali, senza ulteriori protezioni termiche o schermature, dimostra l’efficacia del nostro progetto, in qualsiasi luogo in cui sia richiesta una temperatura inferiore”, ha affermato Yang.

Il team ha poi realizzato rivestimenti polimerici colorati, dotati della funzione refrigerante, con l’aggiunta delle tinte. “Aver ottenuto un bilanciamento superiore fra colore e prestazione refrigerante rispetto ai prodotti vernicianti odierni è uno dei punti di forza del nostro lavoro”, ha commentato Yu. “Per quanto riguarda i rivestimenti per ambienti esterni, la scelta della tinta è spesso soggettiva e i produttori di pitture tentano da decenni di realizzare rivestimenti colorati come quelli per tetti”.

Il team ha preso in considerazione problematiche ambientali ed operative quali la riciclabilità, la biocompatibilità e l’operatività ad alte temperature e ha dimostrato che la loro tecnica può essere estesa ad una serie di polimeri, nell’intento di ottenere queste funzionalità. “I polimeri rappresentano una categoria unica di materiali e, poiché questa tecnica è generica, è possibile integrare convenientemente nei nostri rivestimenti PDRC altre proprietà, data la disponibilità dei polimeri adeguati”, ha aggiunto Mandal. “La natura offre molti sistemi di riscaldamento e di raffreddamento, alcuni dei quali sono ben noti e ampiamente studiati, al contrario di altri che sono scarsamente conosciuti. Il raffreddamento radiante, usando l’atmosfera come ricettacolo di calore, appartiene a quest’ultimo gruppo, ma le sue potenzialità sono state inspiegabilmente sottovalutate dagli esperti di materiali fino a qualche anno fa”, ha affermato il professore di Fisica Claes-Göran Granqvist dell’Università di Uppsala, pioniere nel campo del raffreddamento radiante, non coinvolto in questo studio. “La pubblicazione di Mandal et al. mette in luce l’importanza del raffreddamento radiante e rappresenta una vera e propria innovazione dimostrando che i rivestimenti polimerici porosi, che possono essere realizzati in economia e in modo adeguato, forniscono un eccellente raffreddamento anche in condizioni di totale esposizione alla luce solare”. Yang, Yu e Mandal hanno ridefinito il loro progetto in termini di applicabilità esplorando possibilità quali l’utilizzo di polimeri e solventi del tutto biocompatibili. Attualmente il team dialoga con l’industria in vista di prossimi sviluppi.