

An Overview on the Performance over time of Cool and Green Roofs as Countermeasures to Urban Heat Islands

Riccardo Paolini^{a,b*}

^a *Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle costruzioni e Ambiente costruito, Politecnico di Milano, Via Ponzio 31, 20133, Milano*

^b *Heat Island Group, Environmental Energy Technologies Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, 1 Cyclotron Road, 94720 Berkeley, California, USA*

Highlights

The solar spectral reflectance of roofing membranes naturally exposed was measured for 30 months, at given intervals.
The hygrothermal performance of a sedum green roof was monitored for the same period.
Membranes with initial albedo greater than 0.80 lose more than 0.25 after 2.5 years of exposures.
The green roof performance strongly depends on its soil moisture content and vegetation conditions.
Any comparison between green and cool roofs needs to be carried out in their context of application, over time.

Abstract

In the last decades progressively growing efforts were spent to identify strategies and to develop tools and techniques helpful to design sustainable, resilient, and low energy built environments. Green and high albedo roofs have been proved as effective countermeasures to urban heat islands, but their performance may vary over time and depending on the environmental conditions. Herein, an overview on recent advances about performance assessment of green and cool roofs is presented, after experimental activity and numerical modelling.

Keywords

Built Environment, Urban Heat Island, Cool roof, Green roof, Building envelope

* Corresponding author. Tel.: +39-02-2399-6015; e-mail: riccardo.paolini@polimi.it; RPaolini@LBL.gov

1. INTRODUZIONE

Dalla crisi petrolifera del 1973, la ricerca nel settore delle costruzioni e degli impianti termici si è concentrata sul risparmio energetico [1], specialmente del patrimonio edilizio in area urbana, dove vive più della metà (in Italia circa il 70%) della popolazione mondiale, con un aumento previsto fino all'80%, previsto entro il 2050 in Europa [2]. Perciò, gli edifici non possono essere progettati e simulati disgiunti dal contesto, ma devono essere studiati come una rete innestata nel tessuto urbano [3, 4]. Gli edifici urbani, inoltre, hanno un fabbisogno energetico maggiore per il raffrescamento e minore per il riscaldamento di edifici posti in un'adiacente area non urbana, nelle medesime condizioni climatiche e di utilizzo [5–8]. Complessivamente in media il fabbisogno energetico degli edifici urbani rispetto a quelli extraurbani è del 13% in più per il raffrescamento, e mediamente del 20% in più, sempre per la climatizzazione estiva, per ogni grado in più della temperatura in area urbana rispetto a quella extraurbana, che indica l'intensità dell'isola di calore [9]. Nel contesto italiano, considerando edifici a destinazione terziaria il fabbisogno energetico per il riscaldamento è calcolato pari al 15-70% (a seconda dell'involucro e delle scelte progettuali) maggiore in area urbana che in area non urbana, mentre per il riscaldamento è ridotto dal 30% al 60% [10, 11]. In aggiunta, nel caso di edifici progettati per sfruttare la ventilazione naturale, queste differenze sono esacerbate. Ciò accade poiché nelle città la ventilazione naturale, appunto, risulta inefficace, in ragione della velocità del vento ridotta dalla rugosità aerodinamica urbana e perché, in condizioni estive, per l'inerzia termica e la conformazione dell'ambiente costruito, nel tardo pomeriggio e di notte le temperature restano elevate]. Sono, infatti, le ore del giorno in cui l'intensità dell'isola di calore è massima [12; pari a circa 5°C a Milano, ad esempio [13]. I tetti a verde e le coperture ad alta albedo sono stati proposte come possibili contromisure, ma la loro prestazione nel tempo non è ancora investigata estensivamente in Letteratura. In questo lavoro si presentano i risultati di campagne sperimentali di lungo termine volte a quantificare la prestazione nel tempo di materiali “cool” e di coperture a verde.

2. STATO DELL'ARTE

Per mitigare i microclimi urbani, diverse soluzioni sono state studiate e proposte in Letteratura, fra cui un appropriato sfruttamento degli ombreggiamenti degli alberi, la disposizione di aree verdi in posizioni strategiche, pavimentazioni stradali ad alta albedo, e la limitazione delle emissioni di calore da attività umane [14]. Inoltre, è stato dimostrato che diverse tecnologie d'involucro edilizio sono efficaci per ridurre il fabbisogno energetico per la climatizzazione e per mitigare le isole di calore. Fra queste vi sono i “cool roofs”, cioè coperture ad alta albedo [15,16], e le coperture a verde, che riducono anche il deflusso delle acque meteoriche in eccesso [17]. Tuttavia, lo sporco e l'invecchiamento possono ridurre il potenziale dei “cool roofs”. Ad esempio, dopo due anni di esposizione naturale in ambiente urbano, per membrane impermeabilizzanti con riflettanza solare iniziale maggiore di 0.80 si ha una perdita in riflettanza pari a 0.14 a Roma e pari a 0.22 a Milano [18]. Decrementi di riflettanza dello stesso ordine di grandezza per materiali

ad alta albedo sono documentati anche negli Stati Uniti [19]. Inoltre, anche se la propensione di un materiale a subire una riduzione di riflettanza dovuta all'invecchiamento può essere studiata con una procedura accelerata in laboratorio [20, 21], non sono ancora state sviluppate alternative economiche che possano completamente risolvere il problema, poiché anche i materiali funzionalizzati e fotocatalitici subiscono un deprezzamento delle loro prestazioni [22,23]. Anche i tetti verdi non offrono tutti e in modo costante le stesse prestazioni, che dipendono dalla vegetazione e dallo strato di coltura, come dalle condizioni ambientali e dall'irrigazione [24, 25].

3. METODO

3.1. Esperimento

In un primo esperimento, una selezione di materiali per gli strati di tenuta di coperture continue e discontinue, fra cui membrane impermeabilizzanti e tegole, è stata esposta nell'aprile 2012 sul tetto di un edificio del Politecnico di Milano, lontano da sorgenti specifiche di inquinamento (Figura 1). La loro riflettanza UV-Vis-NIR, fra 250 e 2500 nm, è stata misurata prima dell'esposizione e dopo 3, 6, 12, 18, 24, e 30 mesi con un Perkin Elmer Lambda 950, con una sfera d'integrazione di 150 mm di diametro. La riflettanza solare è stata quindi integrata secondo la norma ASTM E 903.



Figura 1. Telai con i campioni esposti presso il Politecnico di Milano.

In un secondo esperimento invece, sono stati monitorati i flussi termici all'intradosso e le temperature agli interfacce fra gli strati, e il contenuto d'acqua nel terreno di coltura di un tetto verde (da aprile 2012). con sedum su lapillo vulcanico, realizzato su un edificio affianco a quello dove ha luogo l'esposizione naturale. Il tetto verde ha albedo pari a 0.15. In aggiunta, su una parcella accanto a quella con il tetto verde con sedum, in agosto 2014 è stata posizionata una membrana bianca (albedo = 0.77) sopra 15 cm di terreno, per avere la stessa massa termica del tetto verde (Figura 2). Due sensori di temperatura tipo Pt100 sono stati posizionati uno 2 cm sotto la membrana, e uno in superficie, sotto un fazzoletto realizzato con la stessa membrana. La

medesima membrana bianca è stata posizionata anche sopra 6 cm di polistirene espanso estruso, sempre equipaggiata con una sonda di temperatura superficiale. Per quanto concerne il tetto verde, la temperatura è misurata 2 cm al di sotto della vegetazione con una sonda a penetrazione, mentre l'albedo è misurata con un CMA 11 Kipp & Zonen.



Figura 2. Copertura a verde in sedum su lapillo vulcanico, con l'albedometro posizionato sopra il campo (a sinistra); e membrana impermeabilizzante (albedo 0.77) con sonde di temperatura, sopra il terreno o sopra 6 cm di polistirene espanso estruso (a destra).

3.2. Simulazioni numeriche

Sono state eseguite simulazioni numeriche di scambio termico e trasporto di acqua in fase liquida e di vapore, con il software WUFI Plus 5.3 (26), che risolve con il metodo dei volumi finiti di controllo il bilancio entalpico e idrico, con proprietà termiche e di trasporto di massa variabili in funzione di temperatura e contenuto d'acqua. Il modello è stato recentemente adattato per simulare i tetti verdi, e validato con misure effettuate a Holzkirchen (Germania) e Milano (27).

4. RISULTATI E DISCUSSIONE

Dopo 30 mesi di esposizione naturale, si vede che le membrane impermeabilizzanti con albedo iniziale maggiore sono quelle che soffrono un deprezzamento maggiore della loro prestazione ottica, perdendo anche più di 0.25 (Figura 3sx). Eseguendo una regressione su tutti i dati misurati, si calcola che una membrana con riflettanza solare iniziale pari a 0.80, dopo due anni e mezzo, ha riflettanza di poco superiore a 0.56. Calcolando le temperature superficiali per coperture isolate e non isolate, si vede come trascurare lo sporco comporti una sottostima delle temperature superficiali di picco di una copertura piana anche di più di 16°C (Figura 3dx).

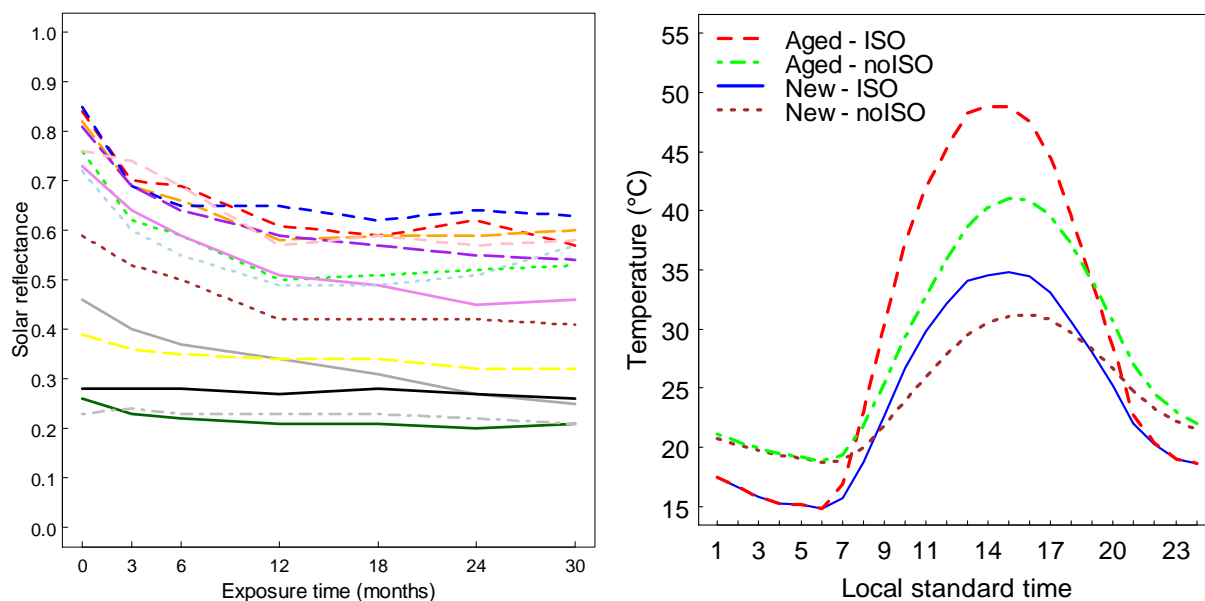


Figura 3. Riflettanza solare delle membrane esposte in funzione del tempo di invecchiamento naturale (sx); temperature superficiali calcolate per il 21 luglio a Milano per una copertura piana isolata o no, con una membrana bianca nuova o invecchiata (dx).

Confrontando le temperature misurate 2 cm sotto la vegetazione del tetto verde con quelle 2 cm sotto la membrane bianca si nota come in alcuni periodi è il tetto verde a presentare la temperatura sub-superficiale più elevata, quando il contenuto d'acqua è minimo, mentre quando il contenuto d'acqua nel terreno è superiore al 10% il tetto verde offre una temperatura inferiore a quella del tetto bianco (Figura 4). Si tratta comunque di differenze modeste. Nei giorni di pioggia e con cielo coperto ovviamente le due prestazioni non si distinguono. Inoltre confrontando la temperatura della membrana sopra isolante e sopra il terreno, si può apprezzare una differenza di circa 2°C, che identifica la rilevanza della massa termica del tetto verde, e che indica come alcuni confronti presenti in letteratura fra tetto verde e tetto bianco trascurino questo aspetto.

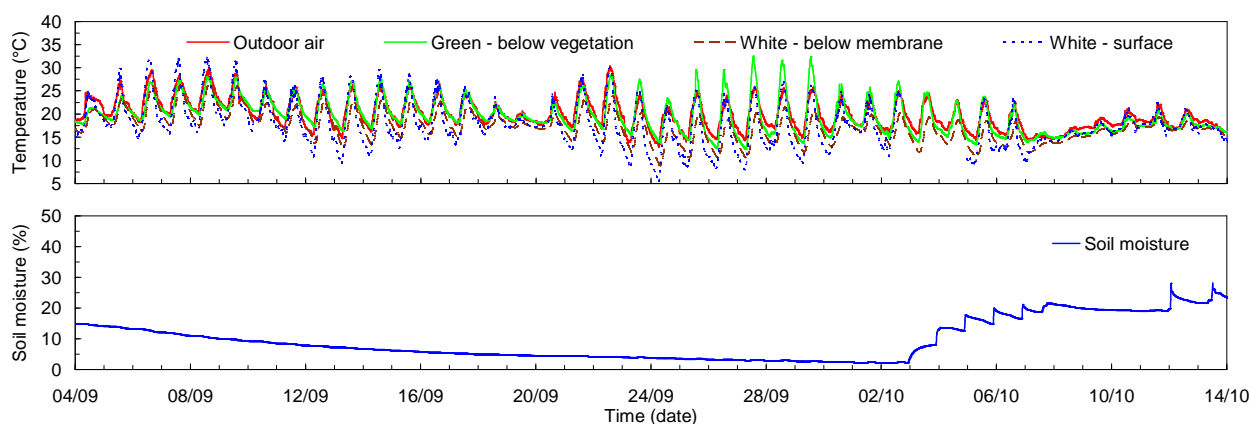


Figura 4. Sopra, temperatura 2 cm sotto la vegetazione del tetto verde, 2 cm sotto la membrana bianca, e superficiale della membrana bianca. Sotto, contenuto d'acqua nel terreno (volume di acqua su volume totale).

5. CONCLUSIONI

Sono stati presentati i risultati di campagne di esposizione a lungo termine di materiali per coperture, mostrando che materiali con riflettanza solare iniziale maggiore di 0.80, possono subire dopo pochi anni d'impiego perdite anche superiori a 0.25. Si è dimostrato che anche la prestazione dei tetti verdi dipende dalle condizioni ambientali, dallo stato della vegetazione e dal contenuto d'acqua nel terreno. Le prestazioni di tecnologie d'involucro per la mitigazione del microclima urbano e del fabbisogno per la climatizzazione estiva vanno quindi valutate nel tempo.

6. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] A. H. Rosenfeld, D. Hafemeister, *Energy-Efficient Buildings*, Scientific American, 1988, 78–85.
- [2] Department of economic and social affairs of the united nations population division (UNPD), *World Urbanization Prospects: The 2011 Revision* [Internet]. Presentation at the Center for Strategic and (2012) 318. Available from: http://esa.un.org/unpd/wpp/ppt/CSIS/WUP_2011_CSIS_4.pdf.
- [3] B. Bueno, L. Norford, G. Pigeon, R. Britter, *Combining a Detailed Building Energy Model with a Physically-Based Urban Canopy Model*, *Boundary-Layer Meteorol* (2011) 140, 471–89.
- [4] A. L. Pisello, J. E. Taylor, X. Xu, F. Cotana, *Inter-building effect: Simulating the impact of a network of buildings on the accuracy of building energy performance predictions*, *Build Environ* (2012) 58, 37–45.
- [5] S. Hassid, M. Santamouris, N. Papanikolaou, A. Linardi, N. Klitsikas, C. Georgakis et al., *Effect of the Athens heat island on air conditioning load*, *Energy Build* (2000) 32, 131–41.
- [6] M. Kolokotroni, I. Giannitsaris, R. Watkins, *The effect of the London urban heat island on building summer cooling demand and night ventilation strategies*, *Sol Energy* (2006) 80, 383–92.
- [7] R. Giridharan, M. Kolokotroni, *Urban heat island characteristics in London during winter*, *Sol Energy* (2009) 83, 1668–82.
- [8] R. Watkins, J. Palmer, M. Kolokotroni, *Increased temperature and intensification of the urban heat island: Implications for human comfort and urban design*, *Built Environ* (2007) 33, 85–96.
- [9] M. Santamouris, *On the energy impact of urban heat island and global warming on buildings*, *Energy Build* (2014) 82, 100–13.
- [10] T. Poli, L. P. Gattoni, R. Paolini, G. Pansa, M. Favaron, S. Pilati, *THE INFLUENCE OF THE URBAN HEAT ISLAND OVER BUILDING ENERGY DEMAND: THE CASE OF MILAN*. The seventh International Conference on Urban Climate [Internet]. Yokohama, Japan (2009). Available from: http://www.ide.titech.ac.jp/~icuc7/extended_abstracts/pdf/384633-1-090521000651-002.pdf.
- [11] T. Toppi, P. Zangheri, R. Paolini, *Simplified Method for Modification of Weather Data File for Energy Simulations within Urban Areas*. In: R. Paolini, editor. 8th Workshop and Meeting CIB W108 - Climate Change and the Built Environment [Internet]. Milan, Italy, Maggioli editore (2009) 65–70. Available from: <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB16454.pdf>.
- [12] T. R. Oke *The energetic basis of the urban heat island*, *Q J R Meteorol Soc* [Internet]. 1982;108:1–24. Available from: <http://dx.doi.org/10.1002/qj.49710845502>.
- [13] T. Poli, L. P. Gattoni, A. Mainini, G. Pansa, D. Zappalà, *Microclimate Change in Milan. Climate Data Analysis and Energy Effects on Buildings*. In: Joppolo CM, editor. *CLIMAMED 2007 ENERGY, CLIMATE AND INDOOR COMFORT IN MEDITERRANEAN COUNTRIES*. Genova, Italy, AICARR, Milano (2007) 155–64.
- [14] A. M. Rizwan, L. Dennis, C. Liu, *A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island*, *J Environ Sci* (2008) 20, 120–8.
- [15] R. Levinson, H. Akbari, *Potential benefits of cool roofs on commercial buildings: Conserving energy, saving money, and reducing emission of greenhouse gases and air pollutants*, *Energy Effic.* (2010) 3, 53–109.
- [16] A. H. Rosenfeld, H. Akbari, J. J. Romm, M. Pomerantz, *Cool communities: strategies for heat island mitigation and smog reduction*, *Energy and Buildings* (1998) 51–62.
- [17] T. Susca, S. R. Gaffin, G. R. Dell'osso, *Positive effects of vegetation: urban heat island and green roofs*. *Environ Pollut* [Internet]. 2011 [cited 2014 Jul 9];159(8-9):2119–26. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21481997>.
- [18] R. Paolini, M. Zinzi, T. Poli, E. Carnielo, A. G. Mainini, *Effect of ageing on solar spectral reflectance of roofing membranes: natural exposure in Roma and Milano and the impact on the energy needs of commercial buildings*, *Energy Build* [Internet]. 2014 Aug [cited 2014 Sep 4];84:333–43. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778814006501>.
- [19] M. Sleiman, G. Ban-Weiss, H. E. Gilbert, D. François, P. Berdahl, T. W. Kirchstetter et al., *Soiling of building envelope surfaces and its effect on solar reflectance—Part I: Analysis of roofing product databases*. *Sol Energy Mater Sol Cells* [Internet]. 2011 Dec [cited 2014 Sep 2];95(12):3385–99. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0927024811004600>.
- [20] R. Paolini, M. Sleiman, G. Terraneo, T. Poli, M. Zinzi, R. Levinson et al., *Solar spectral reflectance of building envelope materials after natural exposure in Rome and Milano, and after accelerated aging*. In: Muscio A, editor. *Third International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island*. Venice, Italy (2014) 498–509.

- [21] M. Sleiman, T. W. Kirchstetter, P. Berdahl, H. E. Gilbert, S. Quelen, L. Marlot et al., Soiling of building envelope surfaces and its effect on solar reflectance – Part II: Development of an accelerated aging method for roofing materials. *Sol Energy Mater Sol Cells* [Internet]. Elsevier; 2014 Mar [cited 2014 Aug 31];122:271–81. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0927024813006120>.
- [22] M. V. Diamanti, R. Paolini, M. Zinzi, M. Ormellese, M. Fiori, M. P. Pedferri, Self-cleaning ability and cooling effect of TiO₂ - containing mortars. *NSTI-Nanotech 2013*. Washington, USA (2013) 716–9.
- [23] A. G. Mainini, T. Poli, R. Paolini, M. Zinzi, L. Vercesi, Transparent Multilayer ETFE Panels for Building Envelope: Thermal Transmittance Evaluation and Assessment of Optical and Solar Performance Decay due to Soiling. *Energy Procedia* [Internet]. Elsevier B.V.; 2014 [cited 2015 Jan 6];48:1302–10. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1876610214004093>.
- [24] M. T. Simmons, B. Gardiner, S. Windhager, J. Tinsley, Green roofs are not created equal: the hydrologic and thermal performance of six different extensive green roofs and reflective and non-reflective roofs in a sub-tropical climate. *Urban Ecosyst* [Internet]. 2008 Jul 25 [cited 2014 Aug 4];11(4):339–48. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s11252-008-0069-4>.
- [25] M. Fiori, R. Paolini, T. Poli, Monitoring of eight green roofs in Milano. *Hygrothermal performance and microclimate mitigation potential*. 39th World Congress on Housing Science Changing Needs, Adaptive Buildings, Smart Cities. Milan, Italy, PoliScript, Milano (2013) 1365–1372.
- [26] H. M. Künel, Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components One- and two-dimensional calculation using simple parameters, *Physics* (1995) 1–65.
- [27] S. Freitas, N. Ramos, D. Zirkelbach, H. Kuenzel, B. Stoeckl, M. Fiori et al., Assessment of green roofs performance with numerical simulation tools and experimental measurements. In: Muscio A, editor. *Third International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island*. Venice, Italy (2014) 535–46.