

ACOPERIȘURILE BIOSOLARE

Soluție optimă pentru integrarea infrastructurii verzi
și a energiei fotovoltaice în mediul urban

ACOPERIȘURILE BIOSOLARE

**Soluție optimă pentru integrarea infrastructurii verzi
și a energiei fotovoltaice în mediul urban**



CUPRINS

Introducere	4
Reglementările UE	5
Acoperișurile biosolare	5
Efectul de răcire a vegetației asupra panourilor PV	6
Performanța energetică crescută a acoperișurilor biosolare	7
Impact asupra microclimatului urban	8
Beneficii pentru clădire	11
Biodiversitate și servicii ecosistemice.....	12
Adaptarea climatică	12
Analiza tipologiilor de acoperiș.....	14
Soluția adecvată pentru condițiile climatice din România.....	14
Exemplu de calcule performanță.....	15
Concluzii.....	16
Recomandări.....	17
Integrarea explicită a acoperișurilor biosolare în legislația națională și locală	17
Stimulente economice diferențiate	17
Standardizare tehnică și ghiduri de proiectare	17
Integrarea în politicile urbane și de planificare.....	18
Abordare bazată pe ciclul de viață (LCA) în evaluarea proiectelor	18
Cercetare, monitorizare și transfer de cunoștințe	18
Bibliografie	19

Introducere

Integrarea sistemelor fotovoltaice cu acoperișuri verzi, cunoscută sub denumirea de acoperiș biosolar, reprezintă una dintre cele mai mature și validate soluții multifuncționale pentru mediul urban contemporan. Acest articol prezintă o analiză extinsă, detaliată și bine documentată a acoperișurilor biosolare, bazată pe un volum mare de studii experimentale, modele energetice, evaluări economice și analize ale ciclului de viață. Sunt analizate mecanismele fizice și biologice care stau la baza sinergiei dintre vegetație și panourile fotovoltaice, impactul asupra eficienței energetice, asupra microclimatului urban, biodiversității și managementului apelor pluviale. Rezultatele sintetizate indică o creștere a producției de energie fotovoltaică cuprinsă între 0,8% și 18%, reduceri ale temperaturii de operare ale panourilor de până la 20°C, economii energetice ale clădirii de până la 6,8 kWh/m² anual și beneficii ecologice substanțiale. Analizele demonstrează că, deși investiția inițială este mai ridicată, balanța cost-beneficiu pe durata ciclului de viață este net favorabilă acoperișurilor biosolare, justificând adoptarea lor ca soluție standard în contextul reglementărilor europene emergente.

Urbanizarea accelerată, creșterea cererii de energie și pierderea biodiversității constituie provocări serioase pentru mediul construit. Proiecțiile Națiunilor Unite indică faptul că populația globală va atinge aproximativ 10 miliarde de locuitori până în 2050, iar peste 80% din populația europeană va trăi în orașe. În paralel, consumul de energie al sectorului rezidențial este estimat să crească cu aproximativ 48% între 2012 și 2040 (1).

Clădirile joacă un rol central atât în consumul energetic, cât și în degradarea ecosistemelor urbane. Acoperișurile reprezintă suprafețe extinse, adesea subutilizate, care pot fi transformate în infrastructură productivă. În ultimele două decenii, două tehnologii s-au impus ca soluții majore pentru acoperișuri sustenabile: acoperișurile verzi și sistemele fotovoltaice. În mod tradițional, acestea au fost tratate ca soluții concurente, competiția pentru suprafața de acoperiș fiind accentuată de reglementările recente ale Uniunii Europene privind obligativitatea instalării panourilor fotovoltaice.

Literatura științifică demonstrează însă că această opoziție nu este justificată. **Integrarea celor două tehnologii într-un sistem biosolar generează sinergii care depășesc performanțele fiecărei soluții analizate separat (2–4).**



Reglementările UE

Directivele europene privind performanța energetică a clădirilor impun ca toate clădirile noi să fie proiectate astfel încât să optimizeze potențialul de generare a energiei solare. Începând cu 2026–2031, în funcție de tipul clădirii și de suprafață, instalarea panourilor fotovoltaice va deveni obligatorie acolo unde este fezabilă tehnic și economic.

Această abordare, deși justificată din perspectiva decarbonizării, riscă să conducă la o marginalizare a infrastructurii verzi urbane dacă este implementată într-o logică monofuncțională. Acoperișurile biosolare oferă o soluție compatibilă cu cerințele legislative, permițând instalarea sistemelor fotovoltaice fără a sacrifica funcțiile ecologice ale acoperișurilor verzi.

Acoperișurile biosolare

Un acoperiș biosolar este definit ca un sistem integrat care **combină un acoperiș verde și un sistem fotovoltaic** montat deasupra stratului vegetal, o soluție constructivă care permite formarea de microclimate și habitat divers.

Panourile sunt ridicate deasupra vegetației, permițând pătrunderea luminii, circulația aerului și accesul pentru mentenanță. Zonele umbrite create de panouri favorizează dezvoltarea unor comunități vegetale diferite față de zonele complet expuse, sporind biodiversitatea.

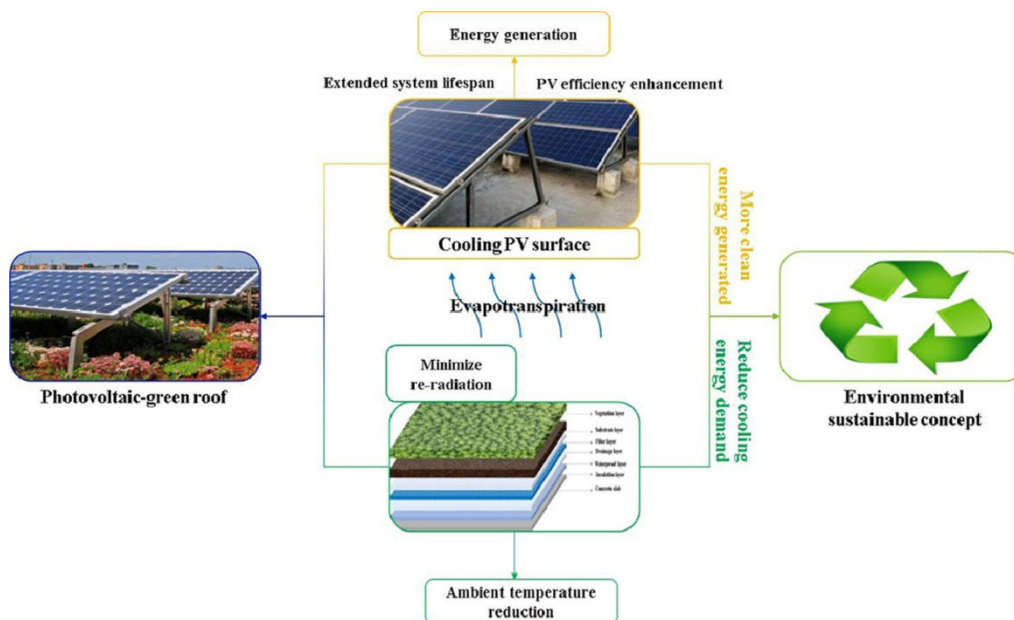


fig.01.: Funcționarea acoperișului biosolar, sursa: A systematic review of photovoltaic-green roof systems

Efectul de răcire a vegetației asupra panourilor PV

Performanța celulelor fotovoltaice este puternic dependentă de temperatura de operare. Pentru modulele cristaline, coeficientul de temperatură este de aproximativ $-0,5\%/^{\circ}\text{C}$ (5). Astfel, o creștere a temperaturii celulei cu 10°C poate conduce la o reducere a randamentului cu circa 5%. Pe acoperișurile convenționale bituminoase sau din beton, temperaturile de suprafață pot depăși frecvent $70\text{--}90^{\circ}\text{C}$ în zilele de vară (6).

Vegetația reacționează fundamental diferit la radiația solară comparativ cu suprafețele minerale. O parte semnificativă a energiei incidente este transformată în flux de căldură latentă prin evapotranspirație, reducând acumularea de căldură sensibilă. Acest mecanism explică de ce **acoperișurile verzi rămân considerabil mai reci decât suprafețele albe sau bituminoase**, chiar și atunci când acestea din urmă au un albedo ridicat (7).

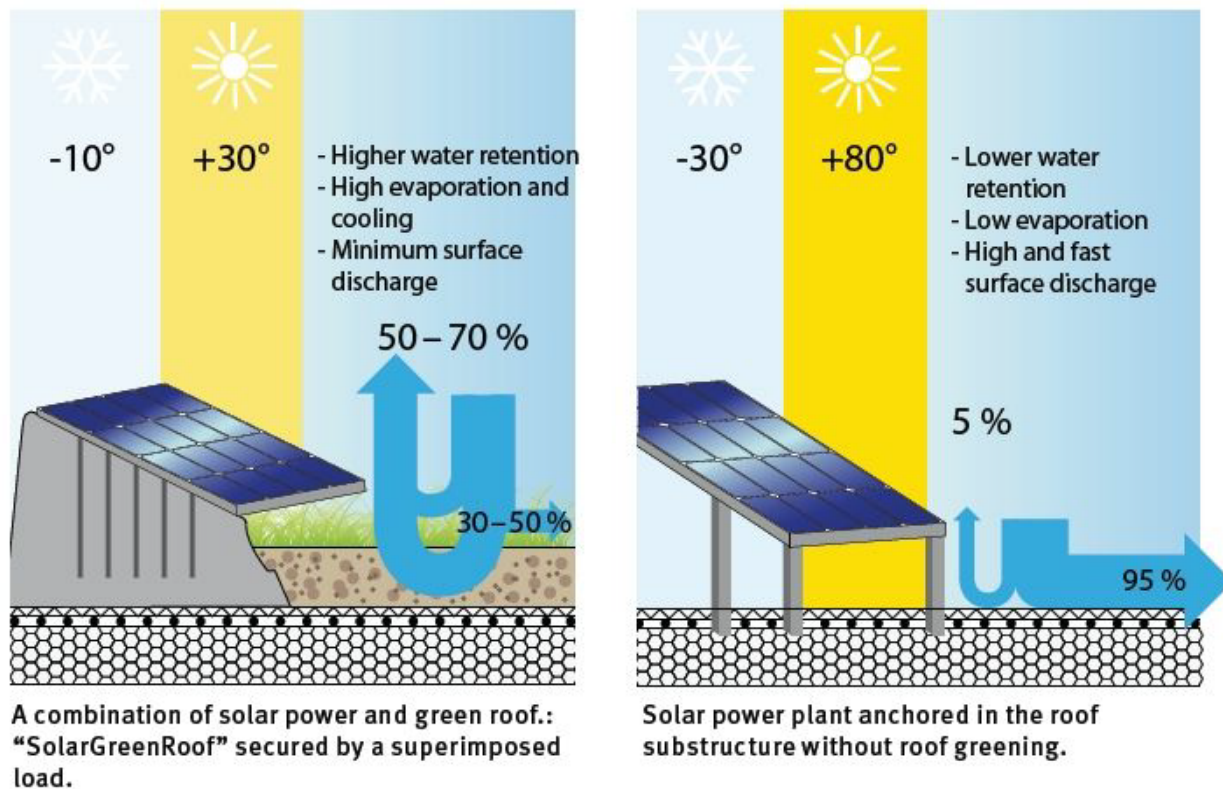


fig.02.: Reducerea temperaturilor pe acoperișul biosolar, sursa: greenrooftechology.com

Studiile experimentale arată că prezența unui substrat vegetat de aproximativ 8 cm sub un sistem fotovoltaic poate reduce temperatura medie lunară a suprafeței acoperișului cu circa $4,5^{\circ}\text{C}$ vara (8). În alte cazuri, diferențele de temperatură între acoperișurile verzi și cele convenționale au ajuns până la 20°C (9).

Performanța energetică crescută a acoperișurilor biosolare

Literatura indică o îmbunătățire consistentă a performanței sistemelor fotovoltaice instalate pe acoperișuri verzi:

- creșteri de 6,5–8,3% pe acoperișuri verzi extensive comparativ cu bitum (10,11)
- creșteri de aproximativ 2,6% datorate exclusiv răcirii prin evaporare (12)
- intervale generale de creștere între 0,8% și 8% raportate în sinteze largi (13)
- creșteri punctuale ale producției totale de energie de până la 13–18% în studii comparative pe clădiri similare (14,15)

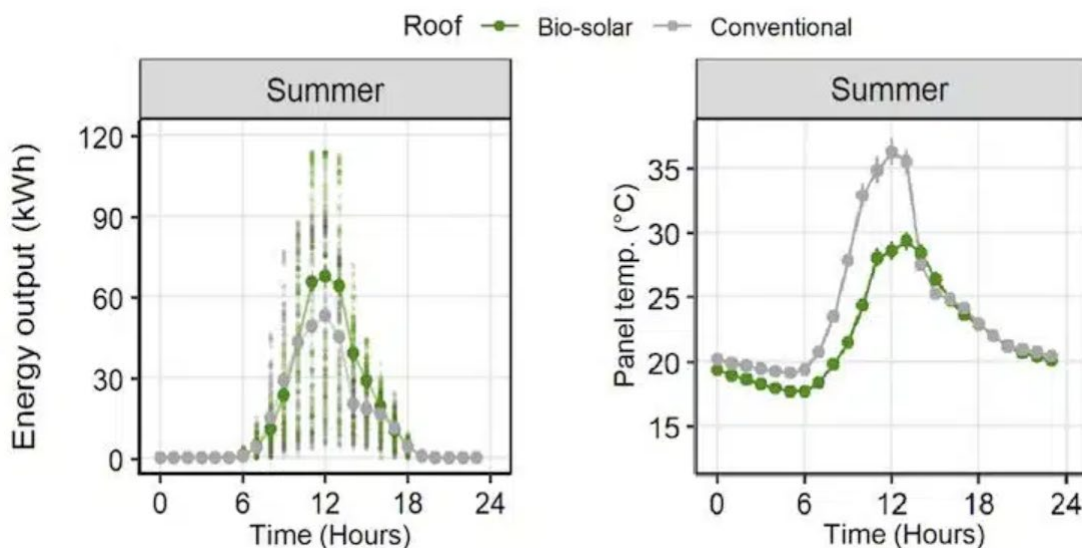


Fig. 03.: Diferențe de performanță pe o clădire din Sydney, pe o parte instalat cu PV conventional, pe cealaltă cu system biosolar, cercetare condusă de dr. P. Irga, sursa: energymatters.com.au

Utilizarea panourilor fotovoltaice bifaciale, în special în configurații verticale est-vest, permite valorificarea radiației reflectate de substratul vegetal. Studiile indică creșteri de randament de până la 17% atunci când sunt utilizate plante cu frunze argintii și substraturi deschise la culoare, comparativ cu acoperișurile verzi standard (16).



fig.04.: Panouri bifaciale montate pe vertical, sursa: livingarchitecturemagazine.com

Impact asupra microclimatului urban

Instalațiile fotovoltaice dense pot genera un efect de insulă de căldură fotovoltaică, cu temperaturi nocturne cu 3–4°C mai ridicate față de zonele naturale (17). Integrarea vegetației reduce acest efect prin reintroducerea fluxurilor de căldură latentă și prin stabilizarea temperaturilor diurne și nocturne.

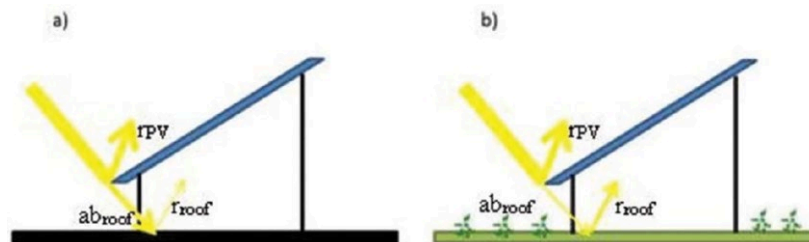


Fig. 05.: Ilustrație a absorbției (ab) și a reflecției (r) luminii pe un acoperiș convențional (a) și unul verde (b) cu panouri fotovoltaice. Un acoperiș verde transformă radiația mai puțin absorbită în căldură sensibilă și, prin urmare, rămâne mai răcoros. Valorile absorbției acoperișurilor verzi și convenționale bazate pe Saiz et al. (2006), sursa: <https://www.researchgate.net/>

În literatura de specialitate există dovezi clare că, în ciuda avantajelor clare ale panourilor fotovoltaice pentru generarea de energie regenerabilă, acestea **pot contribui la intensificarea efectului de insulă de căldură urbană (UHI)** atunci când sunt instalate pe scară largă pe acoperișurile urbane. Acest fenomen este uneori denumit „fotovoltaic heat island effect” sau PVHI, și este relevant pentru evaluarea microclimatului urban în proiectele de acoperișuri ecologice. (24)

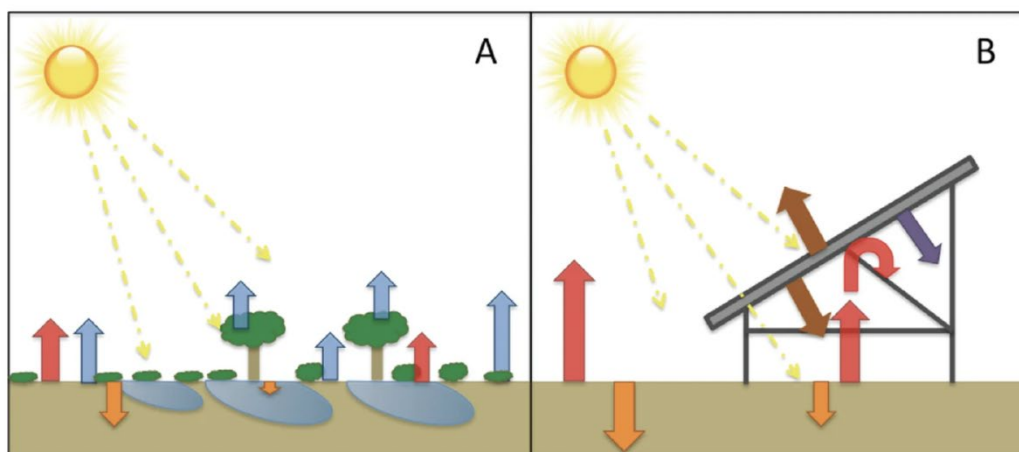


Fig. 06.: Ilustrație a schimbului de energie la amiază. Presupunând rate egale de energie provenită de la soare, trecerea de la (A) un ecosistem vegetal la (B) o instalație fotovoltaică (PV) va modifica semnificativ dinamica fluxului de energie din zonă. În cadrul ecosistemelor naturale, vegetația reduce captarea și stocarea căldurii în sol (săgeți portocalii), iar apa infiltrată și vegetația eliberează fluxuri de energie latentă care disipă căldura în timpul tranziției de la apă la vapori de apă în atmosferă prin evapotranspirație (săgeți albastre). Aceste fluxuri de căldură latentă sunt reduse dramatic în instalațiile fotovoltaice tipice, ceea ce duce la fluxuri de căldură sensibilă mai mari (săgeți roșii). Sunt prezentate, de asemenea, re-radiația de energie din panourile fotovoltaice (săgeată maro) și energia transferată în electricitate (săgeată violet). Sursa: barrongafford.org

Un studiu recent bazat pe simulări cu EnergyPlus arată fără echivoc că instalarea panourilor fotovoltaice **crește impactul asupra insulei de căldură urbană** pentru toate tipurile de acoperiș modelate, inclusiv cele verzi și cele conventionale, atât vara, cât și iarna. Autorii concluzionează că panourile PV alterează bilanțul energetic al acoperișurilor și cresc emisiile de căldură către atmosferă, ceea ce poate intensifica încălzirea locală a mediului construit. (24)

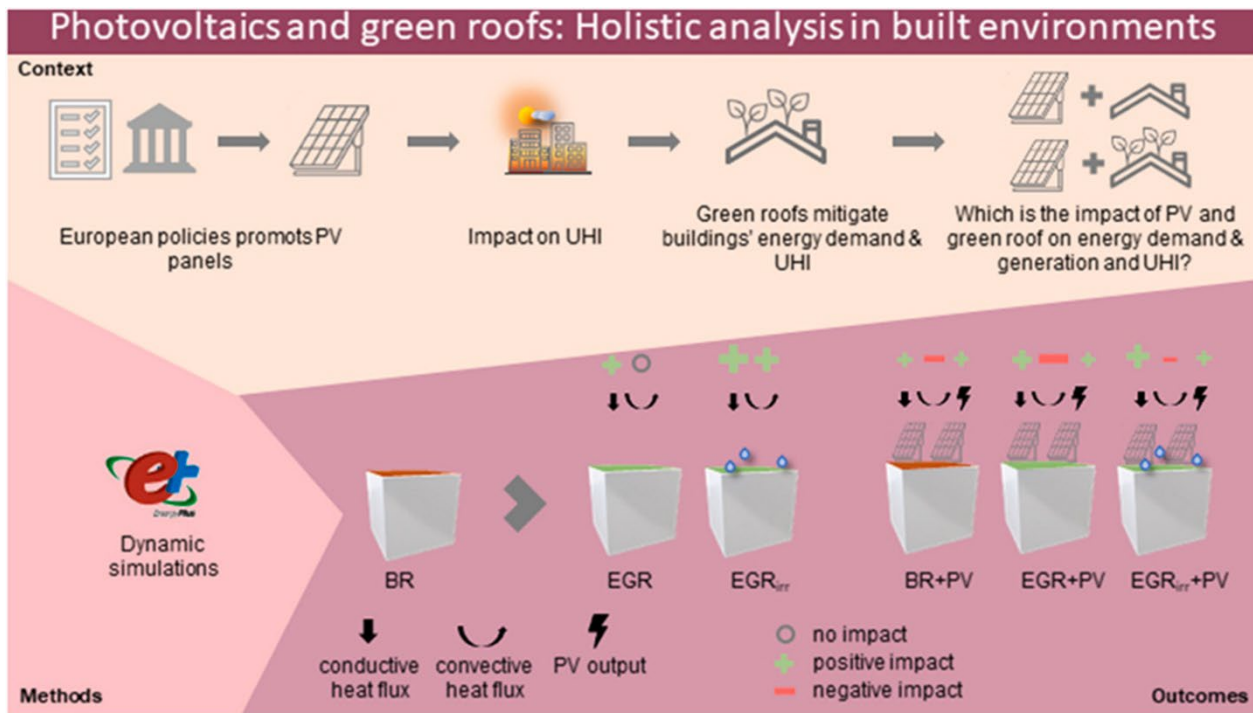


fig.07.: Impactul diferitelor tipuri de sisteme PV pe Insule de Căldură Urbană (UHI), sursa: Photovoltaics and green roofs Holistic analysis in built environments

Datele experimentale și modelările climatice din Tokyo indică un efect PVHI semnificativ: modelările arată un **creștere a temperaturii aerului de până la ~0,20 °C în după-amiaza sezonului cald** în zonele urbane cu acoperișuri PV compare cu scenariu fără aceste instalații. Efectul este dependent de morfologia urbană (înălțimea clădirilor, lățimea străzilor), dar rămâne o contribuție clar cuantificată la încălzirea urbană locală. (35)

Experimentele de teren din Hong Kong raportate în literatura de specialitate demonstrează, de asemenea, că aerul de deasupra acoperișurilor echipate cu PV poate fi **cu peste 4 °C mai cald în zilele însorite** decât cel de deasupra acoperișurilor fără panouri. Această diferență accentuată a temperaturii aerului este un indicator direct al efectului PVHI și justifică preocupările privind impactul local al PV asupra microclimatului urban. (8)

Mecanismele fizice din spatele acestui efect sunt legate de modul în care panourile fotovoltaice:

- **absorb și transformă** o parte a radiației solare în căldură în loc de energie electrică, reținând mai multă energie decât suprafețele naturale sau vegetate;
- **scad albedo-ul local**, favorizând absorbția radiației;
- **emit căldură** în atmosferă într-un mod diferit față de vegetație sau suprafețe reflectorizante;
- pot reduce răcirea radiativă nocturnă, ceea ce contribuie la temperaturi relativ mai ridicate pe timpul nopții în zone dense de PV. (48)

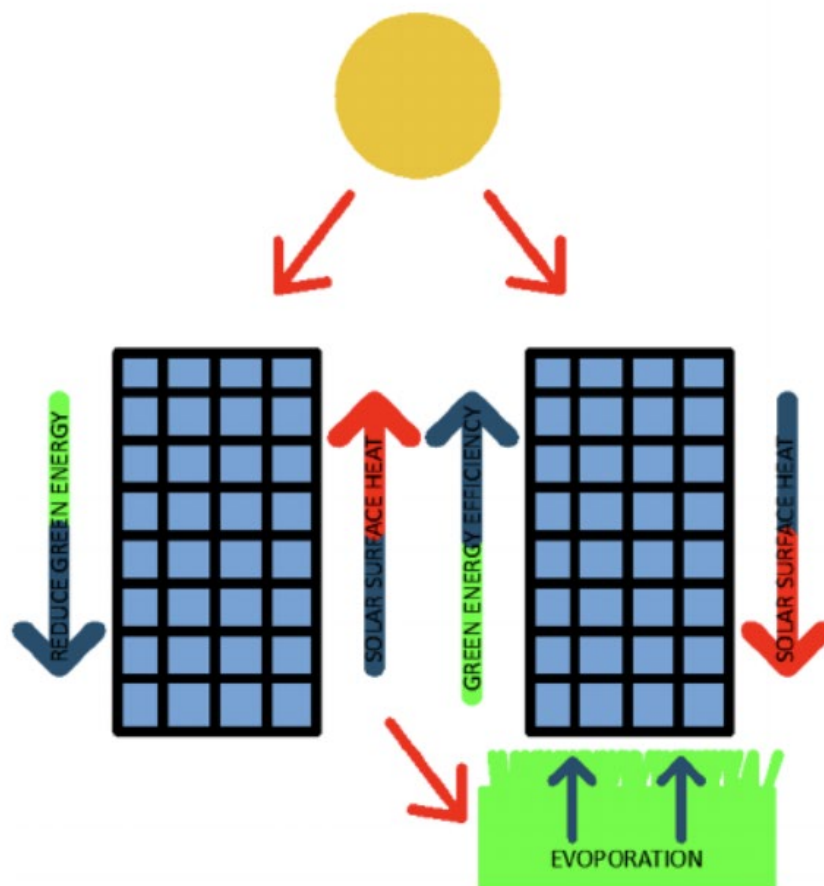


Fig. 08.: Diferența majoră în funcționarea sistemelor, sursa: researchgate.net

Este important de precizat că aceste efecte nu negă beneficiile energetice ale PV-ului, ci evidențiază un **trade-off între producția de energie și managementul microclimatului urban** atunci când panourile sunt instalate în lipsa măsurilor compensatorii. Acesta este un argument puternic în favoarea integrării PV cu vegetația (cum se realizează în acoperișurile biosolare) deoarece stratul vegetal poate atenua parțial încălzirea locală prin **evapotranspirație și răcire pasivă**, contracarând astfel efectul PVHI. (8)

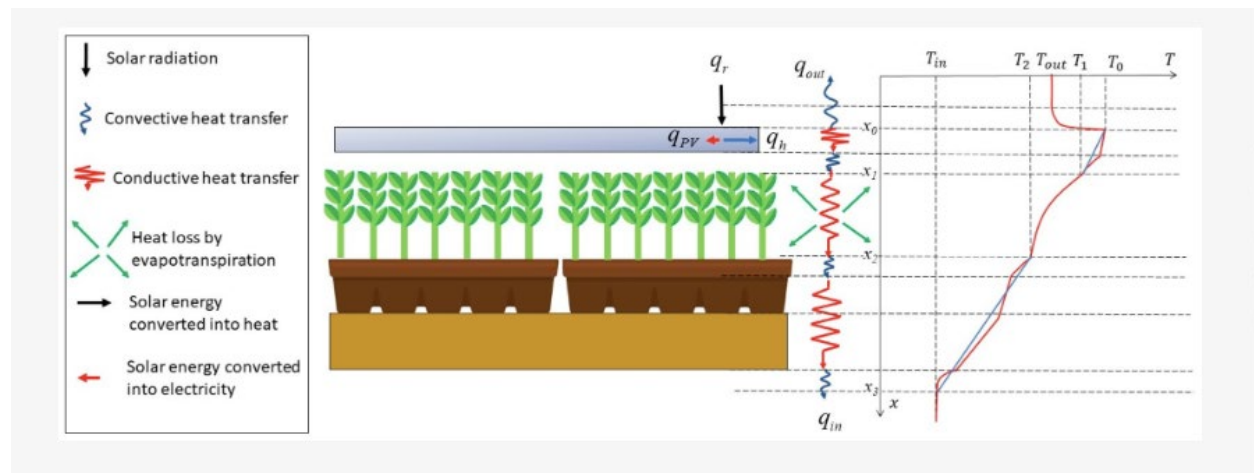


Fig. 09.: Mecanismul de transfer termic și absorbție a căldurii în DR. Radiația solară incidentă q_r [W/m²] este absorbită sub formă de electricitate q_{PV} [W/m²] (săgeată neagră) și căldură q_h [W/m²] (săgeată albastră). Fluxul de căldură interior q_{in} [W/m²] și fluxul de căldură exterior q_{out} [W/m²] sunt legate de cantitatea de pierdere de căldură prin evapotranspirație (săgeată verde), vânt și radiația solară difuză convertită în căldură. Profilul de temperatură este construit presupunând un echilibru cvasi-static, iar gradientele de temperatură prezentate în albastru sunt calculate din valorile U ale PV și GR.

Beneficii pentru clădire

Acoperișurile biosolare contribuie la:

- reducerea necesarului de răcire și încălzire;
- economii energetice cuprinse între 2,0 și 6,8 kWh/m² anual (18);
- reducerea emisiilor cu 0,44–1,5 kg CO₂e/m²;
- prelungirea duratei de viață a hidroizolației de 2–3 ori (19).

Biodiversitate și servicii ecosistemice

Studiile arată că acoperișurile biosolare pot susține o biodiversitate remarcabilă:



- până la 18 specii de albine sălbatice identificate pe acoperișuri biosolare din Viena (20);
- creșteri de până la 9 ori ale diversității insectelor și de 4 ori ale avifaunei în studii australiene (21);
- formarea de microhabitate variate datorită umbririi, diferențelor de umiditate și grosimii substratului.

Adaptarea climatică

Acoperișurile biosolare joacă un rol esențial în adaptarea orașelor la intensificarea fenomenelor meteorologice extreme, în special a precipitațiilor torențiale. Stratul vegetal și substratul mineral asociat permit retenția temporară a unei părți semnificative din apa pluvială, reducând scurgerile de suprafață și întârziind debitele de vârf. Studiile indică rate de retenție între **50% și 80%** pentru acoperișurile verzi extensive, valori care se mențin și în cazul configurațiilor biosolare corect proiectate.

În contextul schimbărilor climatice, aceste funcții devin critice pentru orașele europene, unde infrastructura de canalizare este adesea subdimensionată pentru episoadele de ploi intense. Integrarea panourilor fotovoltaice nu diminuează capacitatea de retenție, iar umbrirea parțială poate reduce evapotranspirația excesivă în perioadele de secetă, contribuind la stabilitatea vegetației.

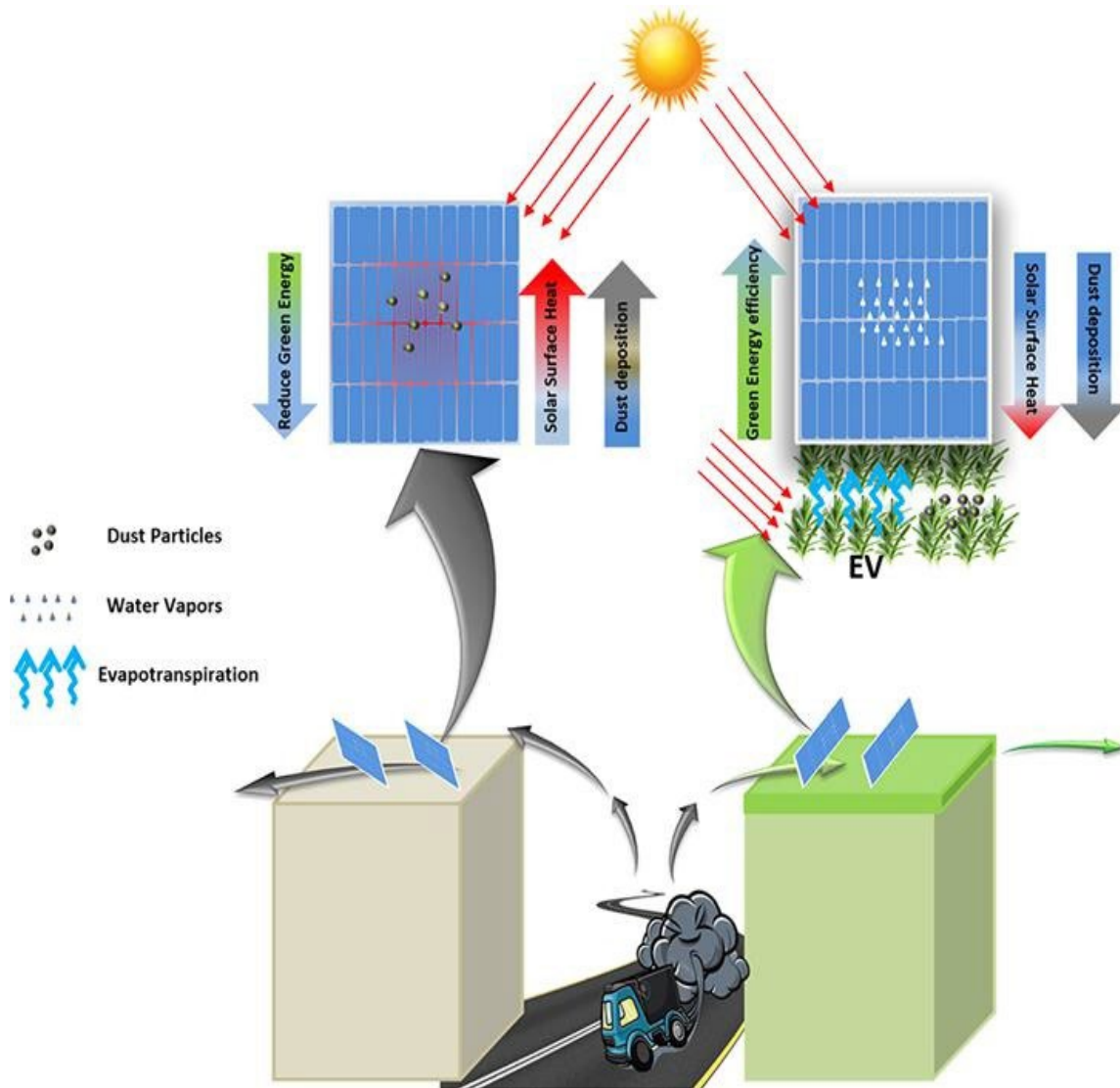


Fig. 10.: Rolul vegetației în reducerea supraîncălzirii panourilor solare, sursa: Photovoltaic-green roofs A review of benefits, limitations, and trends

Analiza tipologiilor de acoperiș

Pentru a evidenția avantajele cumulative ale acoperișurilor biosolare, este utilă o comparație sistematică între principalele tipologii de acoperiș utilizate în prezent.

Această comparație evidențiază caracterul unic al acoperișului biosolar, **singura soluție care oferă simultan producție de energie regenerabilă și servicii ecosistemice semnificative.**

Tip acoperiș	Producție energie	Reducere UHI	Biodiversitate	Retenție apă	Durată hidroizolație
Acoperiș convențional	0	Negativ	Negativ	0-5%	15-25 ani
Acoperiș verde	0	Ridicată	Ridicată	50-80%	40-60 ani (↑2-3x)
PV convențional	Valori normale conform PV	Negativ	Negativ	0-5%	15-25 ani
Biosolar	Ridicată (↑0,8-18%)	Ridicată	Ridicată	45-75%	40-60 ani (↑2-3x)

Tabel 11. Comparație între tipologii de acoperiș (valori orientative din literatura de specialitate)

Soluția adecvată pentru condițiile climatice din România

România și Europa Centrală se caracterizează printr-un climat temperat-continental, cu veri calde, episoade frecvente de caniculă și precipitații concentrate în intervale scurte. Temperaturile ridicate din lunile de vară favorizează supraîncălzirea acoperișurilor convenționale, reducând eficiența sistemelor fotovoltaice montate direct pe suprafețe minerale.

Regimul pluviometric, marcat de alternanța între perioade de secetă și ploi torențiale, accentuează necesitatea unor soluții de retenție și întârziere a scurgerii apelor.

Acoperișurile biosolare răspund ambelor provocări, oferind atât răcire pasivă, cât și gestionare durabilă a apelor pluviale.

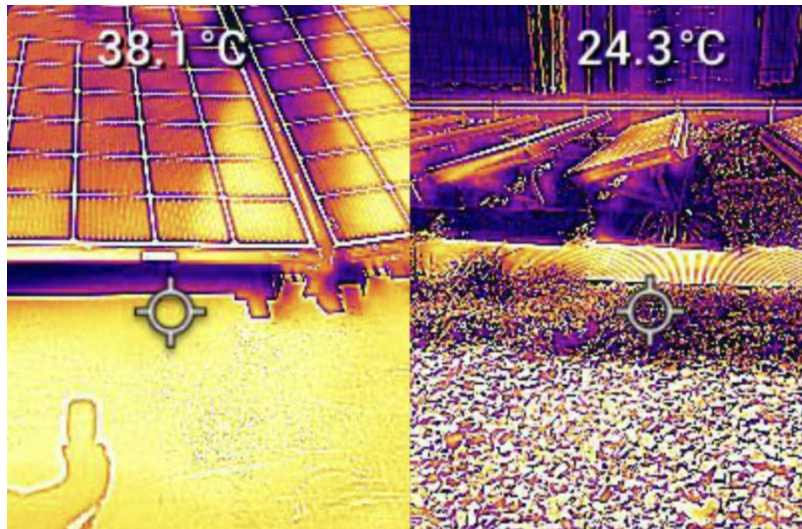


Fig. 12.: Diferențe semnificative de temperaturi pe un acoperiș cu PV, pe o parte instalat pe acoperiș convențional, pe cealaltă cu acoperiș verde. Sursa: abc.com.au

Implementarea viitoare a cerințelor europene privind instalarea obligatorie a sistemelor fotovoltaice creează un context favorabil pentru **adoptarea acoperișurilor biosolare**. În lipsa unor ghiduri explicite, există riscul generalizării soluțiilor PV monofuncționale. Integrarea biosolară permite conformarea cu cerințele energetice fără pierderea beneficiilor ecologice, fiind **deosebit de relevantă pentru clădirile comerciale, logistice și industriale**.

Exemplu de calcule performanță

Pentru a ilustra implicațiile energetice și economice ale unui acoperiș biosolar, este prezentat un studiu de caz orientativ, bazat pe intervale și valori raportate în literatura analizată.

Se consideră o clădire comercială cu o suprafață de acoperiș de 10.000 m².

- Suprafață ocupată de sistem biosolar: 7.000 m²
- Putere instalată: aproximativ 1 kWp / 7–8 m², rezultând ~900–1.000 kWp
- Producție anuală estimată: 1.100–1.300 kWh/kWp
- Producție anuală totală: ~1.050–1.300 MWh

Creșterea de randament datorată efectului biosolar, estimată la 5%, conduce la un surplus anual de 50–65 MWh comparativ cu un sistem PV convențional.

Concluzii

Analiza detaliată arată că acoperișurile biosolare sunt deosebit de potrivite pentru regiunile Europei Centrale și de Est, unde condițiile climatice accentuează atât pierderile de eficiență ale PV convențional, cât și presiunea asupra infrastructurii verzi urbane.

Informațiile prezentate în acest articol demonstrează că **acoperișurile biosolare reprezintă o soluție tehnologică fezabilă și optimă, capabilă să răspundă simultan obiectivelor energetice, climatice și ecologice ale mediului urban contemporan.** Integrarea acoperișurilor verzi cu sistemele fotovoltaice generează sinergii măsurabile, validate experimental, care conduc la creșterea randamentului energetic, la reducerea efectului de insulă de căldură urbană, la îmbunătățirea managementului apelor pluviale și la susținerea biodiversității urbane.

În contextul reglementărilor europene emergente care impun instalarea sistemelor fotovoltaice pe clădirile noi și renovate, abordările monofuncționale riscă să erodeze infrastructura verde urbană. Acoperișurile biosolare oferă o alternativă strategică, compatibilă cu cerințele legislative, dar superioară din perspectiva performanței pe ciclul de viață.

Acoperișurile biosolare permit utilizarea unei singure suprafețe urbane pentru a răspunde simultan mai multor obiective de interes public. Într-un context în care orașele trebuie să devină mai eficiente energetic, mai reziliente climatic și mai bogate în biodiversitate, politicile publice ar trebui să trateze acoperișurile biosolare nu doar ca soluții opționale, ci ca infrastructură urbană esențială.



Recomandări

Integrarea explicită a acoperișurilor biosolare în legislația națională și locală

Se recomandă ca legislația privind performanța energetică a clădirilor și strategiile de adaptare climatică **să includă explicit acoperișurile biosolare ca soluție prioritară pentru clădirile cu suprafețe mari de acoperiș**. În locul unei abordări care impune exclusiv instalarea de sisteme fotovoltaice, cadrul normativ ar trebui să promoveze soluții multifuncționale care integrează infrastructura verde.

În acest sens, ghidurile naționale de implementare a directivelor europene ar trebui să clarifice faptul că cerințele privind energia solară pot fi îndeplinite prin sisteme biosolare, fără penalizări administrative sau interpretări restrictive.

Stimulente economice diferențiate

Politicile de sprijin financiar ar trebui să reflecte beneficiile multiple ale acoperișurilor biosolare. Se recomandă:

- scheme de finanțare care recunosc atât producția de energie regenerabilă, cât și serviciile ecosistemice;
- granturi sau deduceri fiscale suplimentare pentru proiectele care combină PV cu acoperișuri verzi;
- integrarea acoperișurilor biosolare în criteriile de eligibilitate pentru fonduri europene destinate adaptării la schimbările climatice.

O astfel de abordare ar corecta dezechilibrul actual, în care soluțiile monofuncționale beneficiază de stimulente similare cu cele multifuncționale, în ciuda impactului lor diferit asupra mediului urban.

Standardizare tehnică și ghiduri de proiectare

Lipsa standardelor clare reprezintă un obstacol major în implementarea pe scară largă a acoperișurilor biosolare. Se recomandă elaborarea unor ghiduri tehnice naționale sau regionale care să includă:

- cerințe minime privind distanța panourilor față de vegetație
- criteriile de selecție a speciilor vegetale compatibile cu sistemele fotovoltaice
- soluții constructive care evită perforarea hidroizolației
- recomandări privind utilizarea panourilor bifaciale și a configurațiilor est-vest

-
- precizarea grosimii minime de substrat utilizat
 - nivel de hidratare minim pentru vegetație

Aceste ghiduri ar reduce incertitudinea tehnică și ar facilita adoptarea de către proiectanți și dezvoltatori.

Integrarea în politicile urbane și de planificare

Autoritățile locale ar trebui să includă acoperișurile biosolare în strategiile de dezvoltare urbană durabilă, în special pentru:

- clădiri publice;
- zone comerciale și logistice;
- proiecte de regenerare urbană.

Introducerea unor cerințe minime sau a unor sisteme de punctaj favorabil pentru proiectele biosolare în planurile urbanistice ar putea accelera semnificativ adoptarea acestora.

Abordare bazată pe ciclul de viață (LCA) în evaluarea proiectelor

Evaluarea proiectelor ar trebui să se bazeze pe performanța pe ciclul de viață, nu exclusiv pe costurile inițiale. Soluțiile biosolare demonstrează performanțe superioare pe termen lung. **Se recomandă utilizarea indicatorilor LCA (amprentă de carbon, durată de amortizare energetică, impact asupra biodiversității) ca criterii obligatorii în evaluarea investițiilor publice și a proiectelor de mari dimensiuni.**

Cercetare, monitorizare și transfer de cunoștințe

Se recomandă susținerea programelor de cercetare aplicată și a proiectelor-pilot de acoperișuri biosolare, în special în contextul climatic al României. Monitorizarea pe termen lung a performanței energetice, ecologice și economice ar furniza date locale esențiale pentru optimizarea politicilor publice.

În paralel, considerăm necesară dezvoltarea de programe de formare pentru arhitecți, ingineri și autorități publice, pentru a asigura o implementare corectă și eficientă.

Bibliografie

- (1) Catalano, C., Baumann, N. Biosolar Roofs: A Symbiosis between Biodiverse Green Roofs and Renewable Energy
- (2) Shafique, M., Luo, X., Zuo, J. Photovoltaic-green roofs: A review of benefits, limitations, and trends
- (3) Irga, P. et al. Bio-solar green roofs increase solar energy output
- (4) Baumann, T. et al. Photovoltaic systems with vertically mounted bifacial PV modules in combination with green roofs
- (5) Green, M. et al. Solar cell efficiency tables
- (6) Köehler, M. et al. Green roofs and photovoltaic performance
- (7) Saiz, S. et al. Energy balance of green roofs
- (8) Chen, L. et al. Impacts of photovoltaics and integrated green roofs on urban climate
- (9) Irga, P. et al. Green roof improves solar panel efficiency
- (10) Henke, M. PV efficiency on green roofs
- (11) Gupta, R. et al. Performance improvement of PV on green roofs
- (12) Chemisana, D., Lamnatou, C. Photovoltaics and green roofs
- (13) Hui, S., Chan, A. Energy performance of PV-green roofs
- (14) Fleck, R. et al. Bio-solar roof case study, Sydney
- (15) Chen, Z. et al. Experimental comparison of PV-green roof systems
- (16) Baumann, T. et al. Bifacial PV modules on green roofs
- (17) Barron-Gafford, G. et al. The photovoltaic heat island effect
- (18) Jayasooriya, V. et al. Comparative analysis on the effectiveness of green roofs and photovoltaic panels as sustainable rooftop technologies
- (19) Fraunhofer ISE. Green-roof photovoltaics
- (20) Schindler, B. et al. Green roof and PV integration effects
- (21) Irga, P., Fleck, R. Urban biodiversity on biosolar roofs
- (22) Knut, P. et al. Survey of biosolar roofs in the world

-
- (23) Emilsson, T. et al. Photovoltaic on green roofs – Scandinavian way.
- (24) Houchmand, L.J. et al. Holistic analysis of PV and green roofs
- (25) Zheng, Y. Modeling the effect of green roof systems and photovoltaic panels for building energy savings to mitigate climate change
- (26) Fleck, R. et al. Bio-solar green roofs increase solar energy output: The sunny side of integrating sustainable technologies
- (27) Yu, Yeongseo Urban Biosolar Roof Design at Scale: Assessing Their Benefits and Trade-offs
- (28) Nash C. et al. Initial insights on the biodiversity potential of biosolar roofs: a London Olympic Park green roof case study
- (29) Baumann, T. et al.: Photovoltaic systems with vertically mounted bifacial PV modules in combination with green roofs
- (30) Bella Peacock: Green roof improves solar panel efficiency by 3.6% on average, study finds, PV Magazine Australia
- (31) Hickey, T. Jr., Boussetot, J. Ph.D.: Exploring The Potential of Rooftop Agrivoltaics
- (32) Houchmand, L. J. Influence of PV panels on convective heat flux in different roofs in the Mediterranean: Effects on the urban heat island
- (33) Bracha Schindler, Lior Blank, Shay Levy, Gyongyver Kadas, David Pearlmutter, Leon Blaustein - Integration of photovoltaic panels and green roofs: review and predictions of effects on electricity production and plant communities
- (34) Talwar, P. et al: A systematic review of photovoltaic-green roof systems in different climatic conditions focusing on sustainable cities and societies
- (35) Sun, Y. et al. The photovoltaic heat island effect in Tokyo: Morphological dependence and spatiotemporal dynamics of PV-induced urban warming
- (36) [Integrating green roof and photovoltaic systems – ginkgo sustainability | green roofs & living walls](#)
- (37) [Photovoltaic solar panels on green roofs: benefits | endesa](#)
- (38) [The benefits of biosolar roofs for urban infrastructure](#)
-

-
- (39) [A green roof or rooftop solar? You can combine them in a biosolar roof, boosting both biodiversity and power output](#)
 - (40) [Biosolar Roofs: Combining Green Roofs and Rooftop Solar Panels for a Sustainable Future](#)
 - (41) [Green roofs and solar panels: a winning combo for building owners](#)
 - (42) [Green-roof photovoltaics - Fraunhofer Ise](#)
 - (43) [Solar energy and green roofs: why it's a good idea](#)
 - (44) [Green roof or solar? Both is best](#)
 - (45) [Biosolar Roofs: Combining Green Roofs and Rooftop Solar Panels for a Sustainable Future](#)
 - (46) [A green roof or rooftop solar? You can combine them in a biosolar roof, boosting both biodiversity and power output](#)
 - (47) [Study finds green roofs make solar panels more efficient - abc news](#)
 - (48) [The Photovoltaic Heat Island Effect: Larger solar power plants increase local temperatures | Scientific Reports](#)

