

Le coltri vegetali nel settore residenziale

Il verde è da tempo un elemento di progetto nell'architettura degli edifici e nel decoro urbano delle città, ma il suo utilizzo è stato prevalentemente decorativo. Oggi, le realizzazioni di coltri vegetali sugli edifici vengono considerate veri e propri componenti edilizi che mitigano il microclima delle aree urbane e il comfort interno degli edifici e risultano particolarmente efficaci durante i periodi di caldo intenso poiché le coperture verdi agiscono da strato isolante per le superfici dell'edificio. Per valutare gli effetti delle coltri vegetali, l'ENEA ha avviato la realizzazione di un edificio dimostrativo presso il Centro Ricerche Casaccia. L'attività progettuale intende definire, in termini non soltanto energetici, ma anche biologici, gli effetti microclimatici dell'uso delle coltri vegetali in verticale

DOI 10.12910/EAI2018-039

di **Carlo Alberto Campiotti, Germina Giagnacovo, Luca Nencini e Matteo Scoccianti, ENEA;**
Luciano Consorti, CIRPS - Sapienza Università di Roma; Carlo Bibbiani, CIRAA - Università di Pisa

Nelle aree geografiche mediterranee, i consumi di energia elettrica per la climatizzazione estiva di edifici (pubblici, residenziali e commerciali) costituiscono circa il 30% dei consumi complessivi e le previsioni mostrano una tendenza in crescita. In particolare, i consumi energetici medi di un edificio sono stimati in circa 200.000 kJ/m³ per il riscaldamento nel periodo invernale (periodo sotto riscaldato) e in circa 1"0.000 kJ/m³ per la climatizzazione

nei periodi estivi (periodo eccessivamente riscaldato).

Gli obiettivi dell'Unione Europea, espressi già con il "Libro verde sull'Efficienza Energetica" nel 2005 e con la Direttiva 2002/91/CE sulle prestazioni energetiche degli edifici (*Energy Performance of Building Directive*), che ha previsto l'estensione della valutazione delle prestazioni energetiche di un edificio anche al regime estivo (come sottolineato dalla sostituzione del concetto di "prestazione termica invernale" con

quello più ampio di "prestazione energetica globale"), sono quelli di contenere i consumi energetici sia per il riscaldamento invernale che per la climatizzazione estiva.

Un ulteriore avanzamento nella direzione dell'efficienza energetica sulla climatizzazione degli edifici si è avuto con la Direttiva 2010/31/UE, che prevede che gli edifici costruiti dopo il 31 dicembre 2020 dovranno essere ad energia "quasi zero" (le pubbliche amministrazioni già dal 2018 dovranno attenersi alla costruzione



di edifici ad energia “quasi zero”). Infine, con la Direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, recepita dall'Italia con il Decreto legislativo 4 luglio 2014, la Commissione Europea ha stabilito un quadro comune di misure per una strategia a lungo termine per la ristrutturazione degli edifici residenziali e commerciali, sia pubblici che privati. In questo contesto, l'Unione Europea, ai fini della riduzione dei consumi di riscaldamento e di raffreddamento, con la COM(2013) 249 *final*

“Infrastrutture verdi – Rafforzare il capitale naturale in Europa”, ha sottolineato l'importanza per il settore dell'edilizia di soluzioni basate sulle infrastrutture verdi, i.e.: coltri vegetali sugli edifici nelle aree urbane, giardini pensili, corridoi verdi, piantumazioni nelle città di siepi ed alberi, in quanto possono contribuire a migliorare l'efficienza energetica degli edifici oltre che a diminuire le emissioni di gas a effetto serra e la percentuale di particolato nelle città (il settore delle costruzioni è respon-

sabile nell'UE del 36% di emissioni di CO₂).

Su questi obiettivi si collocano il Patto dei Sindaci del 2008 (*The Covenant of Mayors*) e il *Global Covenant of Mayors for Climate and Energy* del 2017, per il Clima e l'Energia, mirati entrambi a sostenere tutte le azioni per accelerare la decarbonizzazione dei territori dell'Unione Europea. Tra gli obiettivi, il sostegno allo sviluppo di piani di azione (*Action plan*) per migliorare la sostenibilità energetica e ambientale dei territori e delle città

e il sostegno alle misure per sensibilizzare gli enti locali, le associazioni e i cittadini sulla necessità di fronteggiare gli effetti del cambiamento climatico quali fenomeni meteorologici estremi i.e.: precipitazioni violente e ondate di calore eccessivo. A supporto di queste misure, l'Italia con la Strategia Energetica Nazionale 2017 (SEN), ha previsto il raggiungimento di obiettivi che integrino ambiente, clima, energia, coerentemente con la COP 21 di Parigi. Tutti i settori sono interessati: trasporti, agricoltura, industria e costruzioni, ma l'apporto maggiore è previsto per il settore degli edifici residenziali.

Le coltri vegetali per migliorare l'efficienza energetica degli edifici

Il verde è da sempre un elemento di progetto nell'architettura degli edifici e nel decoro urbano delle città, ma fino a poco tempo fa il suo utilizzo era soltanto a scopo decorativo. Oggi, invece, le realizzazioni di coltri vegetali sugli edifici, definite tecnicamente "Green Walls (GW)" o "Pareti Verdi", vengono considerate nel mondo delle costruzioni un vero e proprio componente edilizio. Gli effetti delle coltri vegetali in termini di mitigazione del microclima che caratterizza le aree urbane e il comfort interno degli edifici risultano particolarmente efficaci durante i periodi di caldo intenso poiché le coperture verdi agiscono da strato isolante per

Tipologia vegetali	CO ₂ sequestrata per anno	Bibliografia
Piante erbacee	4,38 kg/m ²	Taiz & Zeiger. 2006
Piante arbustive	8,76 kg/m ²	Schaefer, Rudd Vala. 2004
Piante rampicanti	6,57 kg/m ²	Daniel Roeher, Jon. Laurenz. 2008

Tab. 1 Valori della quantità di CO₂ sequestrata dalle coltri vegetali

le superfici dell'edificio: esse aumentano l'efficacia di isolamento poiché ostacolano l'eccesso di radiazione solare incidente sulla superficie delle costruzioni.

Parte della radiazione solare, inoltre, viene utilizzata dalla pianta come calore latente per sostenere il fenomeno della traspirazione fogliare (la traspirazione di 1000 litri di acqua consente un assorbimento di energia fino a 700 kWh sotto forma di calore latente) e per il processo della fotosintesi clorofilliana. Da sottolineare, inoltre, il contributo delle piante nel sequestrare l'anidride carbonica (CO₂), attraverso il fenomeno della fotosintesi clorofilliana. In Tabella 1, ai fini delle politiche ambientali di riduzione della CO₂, è riportata la quantità di CO₂ mediamente sequestrata per anno dalle diverse tipologie di essenze vegetali utilizzabili per le coltri vegetali sugli edifici [5], [6].

Per valutare gli effetti delle coltri vegetali sugli edifici ai fini del miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici, l'ENEA, attraverso il Programma RDS (Ricerca di Siste-

ma Elettrico) del Ministero Sviluppo Economico ha avviato un programma di ricerca e sperimentazione che ha previsto la realizzazione di un edificio dimostrativo presso il Centro Ricerche Casaccia. L'attività progettuale ha l'obiettivo di definire, in termini non soltanto energetici, ma anche biologici, gli effetti microclimatici dell'uso delle coltri vegetali applicate sugli edifici (Figura 1).

I vantaggi in termini di miglioramento dell'efficienza energetica dovuti all'impiego di sistemi vegetali sono valutati in un risparmio dei costi annuali del 3-10% per la riduzione di energia utilizzata per il riscaldamento e dell'8-15% per la riduzione di energia elettrica utilizzata per il raffrescamento degli spazi interni degli edifici. Per valutare l'effetto di schermatura della radiazione solare incidente sulle pareti di un edificio dotato di coltre vegetale, è stato definito l'indice *costante verde* (K_v) [1], [7], calcolato secondo la formula:

$$\text{Costante verde} = K_v = \frac{(T_{pn} - T_{pp})}{(T_{pn} - T_{ae})}$$

da cui $T_{pn} - T_{pp} = K_v (T_{pn} - T_{ae})$;

con:

T_{pp} = Temperatura parete schermata dalla coltre vegetale

T_{pn} = Temperatura parete non schermata dalla coltre vegetale



Fig. 1 Prototipo della parete-verde sull'edificio dimostrativo del Centro Ricerche ENEA Casaccia

Calcoli sulla valutazione del flusso termico che penetra all'interno dell'edificio

Il flusso termico totale (Q_{tot}) trasmesso attraverso una parete a facce piane e parallele, in condizioni di regime stazionario e per unità di superficie, può essere espresso come somma del *contributo convettivo* (Q_1) e del *contributo radiante* (Q_2). In particolare:

$$Q_{tot} = Q_1 + Q_2 = \text{flusso termico totale } W/m^2;$$

avendo esplicitato:

$$Q_{\#} = U (T_{ae} - T_{ai}); \quad Q_2 = U \left(\frac{a \cdot I}{h_e} \right); \quad \text{da cui: } Q_{tot} = U (T_{ae} - T_{ai}) + U \cdot \left(\frac{a \cdot I}{h_e} \right)$$

ove:

$$U = \text{trasmittanza} \left[\frac{W}{m^2K} \right]; \quad a = \text{assorbimento (UNI TS 11300-1/2014);}$$

$a = 0,3$ pareti chiare;

$a = 0,6$ pareti medie;

$a = 0,9$ pareti scure;

$$I = \text{irraggiamento } [W]; \quad h_e = \text{fattore di adduzione} \left[\frac{W}{m^2K} \right].$$

In presenza di coltre vegetale, si riduce, proporzionalmente al fattore K_v , il flusso termico totale (Q_{tot}), ovvero il contributo radiante (Q_2) del flusso. Indicando con ΔQ , la variazione di flusso termico che attraversa la coltre vegetale, rispetto alla parete nuda, si può scrivere:

$$\text{da cui se: } \Delta Q = U \cdot K_v \cdot \left(\frac{a \cdot I}{h_e} \right)$$

$K_v = 0$ abbiamo $\Delta Q = 0$

Non vi è effetto di riduzione del flusso termico entrante.

$K_v = 1$ abbiamo $\Delta Q = U \left(\frac{a \cdot I}{h_e} \right)$

La riduzione del flusso termico entrante è massima.

In prima approssimazione, come valore massimo ottenibile in fase stazionaria, la riduzione del flusso termico dovuta a una coltre vegetale è pari a circa il 44% del flusso termico entrante nell'edificio.

T_{ae} = Temperatura aria esterna

La costante verde K_v varia tra 0 ed 1 e, in prima approssimazione, se:

- K_v vale zero (0), la coltre non esercita alcuna schermatura, pertanto, in condizioni estive, la temperatura della faccia esterna (T_{pe}), che assorbe completamente la radiazione solare, risulta essere uguale alla (T_{pn}), ovvero maggiore sia della temperatura dell'aria esterna (T_{ae}) che della temperatura dell'aria interna (T_{ai});

- K_v vale uno (1), la coltre esercita completa schermatura, pertanto, in condizioni estive, la temperatura della faccia esterna (T_{pe}), risulta essere uguale alla temperatura dell'aria esterna (T_{ae}).

Attraverso le azioni progettuali svolte in collaborazione con le Università di Pisa e Bari sono stati rilevati i seguenti valori nei confronti delle essenze vegetali sotto elencate:

Pandorea jasminoides "variegata"
($K_v = 0,95$)

Partenocissus quinquefolia
($K_v = 0,85$)

Hedera helix
($K_v = 0,83$)

Lonicera hall prolific
($K_v = 0,81$)

Rhyncospermum jasminoides
($K_v = 0,81$)

I calcoli sulla valutazione del flusso termico che penetra all'interno dell'edificio sono illustrati nel riquadro a fianco.

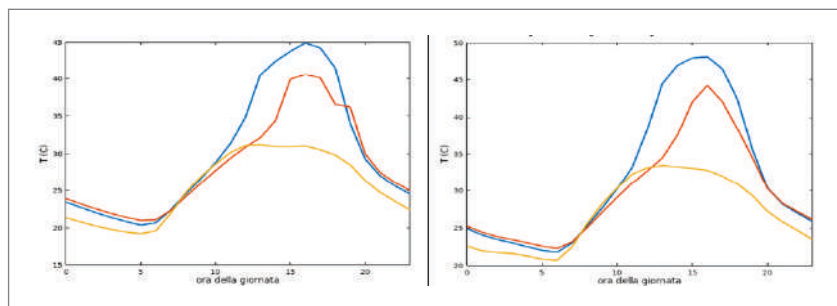


Fig. 2 Dati raccolti sull'edificio dimostrativo del Centro ENEA Casaccia. Temperatura media della parete Sud Ovest nei mesi di luglio (a sinistra) e agosto (a destra). Blu: temperatura della zona esposta al sole; Rosso: temperatura della zona protetta dalla coltre verde. Giallo: temperatura dell'aria

In accordo con quanto riportato nel riquadro, si è visto che la coltre vegetale riduce, proporzionalmente al fattore K_v , il differenziale del flusso termico entrante nelle pareti dell'edificio, come si evince dalla Figura 2. Sulla base delle valutazioni finora effettuate, il flusso termico puntuale che penetra all'interno dell'edificio, durante le ore di massima insolazione, si riduce, proporzionalmente al fattore K_v , fino al 44%. In particolare, la differenza di temperatura media superficiale nei mesi di luglio e agosto della parete schermata rispetto a quella priva di coltre vegetale negli stessi mesi risulta di circa 7 °C.

Coltri vegetali per migliorare l'efficienza energetica dei sistemi di climatizzazione

Le coltri vegetali risultano di particolare interesse per migliorare l'efficienza energetica dei sistemi di condizionamento soprattutto nei periodi di caldo intenso. In particolare, nei sistemi di condizionamento a compressione diretta, la temperatura di condensazione del gas refrigerante (t_{cond}) è vincolata alla temperatura dell'aria esterna (t_1) che li attraversa, pertanto, un aumento della temperatura dell'aria

esterna determina un aumento della temperatura e della pressione di condensazione del gas refrigerante. Viene altresì aumentato il rapporto di compressione (pressione di mandata gas refrigerante/pressione di aspirazione gas refrigerante), e dunque l'assorbimento di potenza elettrica (W). In definitiva, una temperatura dell'aria più elevata provoca una diminuzione della resa frigorifera e quindi un consumo maggiore di elettricità. Le coltri vegetali quando utilizzate a copertura dei sistemi di condizionamento localizzati sui solai esterni, soprattutto quelli impiegati dai supermercati e dagli uffici, contribuiscono a mantenere condizioni inferiori di temperatura dell'aria che circonda le macchine di condiziona-

mento (Figura 4) che, in ultima analisi, migliorano l'efficienza energetica dei sistemi di condizionamento con vantaggi energetici, ambientali ed economici [2], [3].

Conclusioni

L'integrazione diffusa di vegetazione nelle città sostiene lo sviluppo di processi di riqualificazione energetica degli edifici e contribuisce al raggiungimento degli obiettivi previsti dalle diverse Direttive europee sulla efficienza energetica, il risparmio di energia e la protezione dell'ambiente. La presenza di vegetazione sugli edifici scherma la radiazione solare, riduce la temperatura media radiante delle costruzioni e aumenta l'umidità delle aree urbane attraverso il processo dell'evapotraspirazione delle piante. Inoltre, le coltri vegetali filtrano la quota delle polveri inquinanti, incrementano la biodiversità e contribuiscono al riequilibrio del ciclo dell'acqua meteorica e della regimazione dell'afflusso delle acque piovane verso le reti di drenaggio urbano. Vengono riconosciuti anche benefici estetici per gli edifici e psicologici per i cittadini. La costruzione di pareti verdi, in linea generale, si può applicare in aree industriali, centri-semi-periferie delle città,

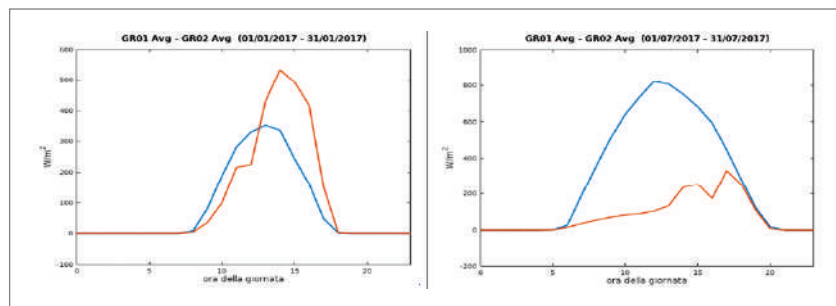


Fig. 3 A sinistra: mese di gennaio; a destra: mese di luglio. Confronto fra le intensità medie della radiazione incidente nel corso della giornata, rilevata dai sensori posti sul tetto dell'edificio (linea blu) e sulla parete Sud Ovest (linea rossa)

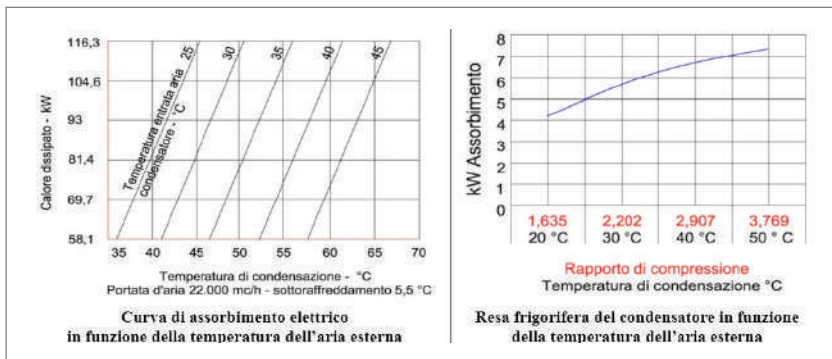


Fig. 4 Influenza della temperatura dell'aria esterna sull'efficienza energetica dei condizionatori

edifici residenziali (quartieri nuovi) e comunali (soprattutto scuole). Lo sviluppo di linee guida per migliorare l'efficienza energetica degli edifici mediante la realizzazione di coltri vegetali disposte in orizzontale e in verticale rappresenta uno

degli obiettivi prioritari del progetto in corso presso il Centro Ricerche Casaccia, anche nella prospettiva di sviluppare la progettazione di edifici *future proof* – a prova di futuro – per contrastare il cambiamento climatico. Le azioni di ricerca e sperimentazione

sviluppate dal Dipartimento Unità Efficienza Energetica dell'E-NEA risultano funzionali anche alla definizione di Piani di sviluppo nazionali, in linea con il position paper dell'Alliance to Save Energy "Energy Efficiency: A Tool for Climate Change Adaptation", in particolare per valorizzare i sistemi vegetali non soltanto in funzione di decoro urbano ma soprattutto come tecnologia naturale capace di migliorare la sostenibilità energetica ed ambientale dei territori, di contrastare i mutamenti climatici e di favorire la maggiore resilienza per le città.

Per saperne di più:
carloalberto.campiotti@enea.it

BIBLIOGRAFIA

1. C.A. Campiotti, E. Schettini, G. Alonzo, C. Viola, C. Bibbiani, G. Scarascia Mugnozza, I. Blanco, G. Vox. Building green covering for a sustainable use of energy. *Journal of Agricultural Engineering* 2013; volume XLIV(s2):e50
2. G. Parolini, Del Monaco A., Fontana D.M., *Fondamenti di Fisica Tecnica*. Ed. Utet, 1983
3. C. Pizzetti, *Condizionamento dell'aria e refrigerazione* voll. 1 e 2. Ed. Ambrosiana, 2012
4. Roehrer D., Jon. Laurenz. *Greening the Urban Fabric: Contribution of green surfaces in reducing CO₂ emissions*. LA '08, Algarve, Portugal, June 11-13, 2008
5. Schaefer, V., Rudd, H., Vala, J. 2004. *Urban Biodiversity*. Captus Press, Ontario, 2004
6. Taiz L., Zeiger, E., *Plant Physiology*, Sinauer Associates, Inc, Sunderland, MA, 2006
7. Vox G., I. Blanco, S. Fuina, C.A. Campiotti, G. S. Mugnozza, E. Schettini. Evaluation of wall surface temperatures in green facades. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability*. Volume 170 Issue 6, December 2017, pp. 334-344