

Living Wall Systems: Verso la sostenibilità economico-ambientale. Ricerche e sperimentazioni.

Original

Living Wall Systems: Verso la sostenibilità economico-ambientale. Ricerche e sperimentazioni.

Living Wall Systems: toward the environmental and economic sustainability. Research and experimental development / Giordano, Roberto; Montacchini, Elena; Tedesco, Silvia. - In: VALORI E VALUTAZIONI. - ISSN 2036-2404. - 16(2016), pp. 25-34.

Availability:

This version is available at: 11583/2734235 since: 2021-02-12T15:19:32Z

Publisher:

Dei Tipografia del Genio Civile

Published

DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

rivista della
siev
Società Italiana
di Estimo e
Valutazione
*Semestrale anno IX
numero 16 - maggio 2016*

valori e valutazioni

teorie ed esperienze


TIPOGRAFIA DEL GENIO CIVILE

Editoriale 1

ESPERIENZE

Le coperture piane con inverdimento estensivo su edifici esistenti. Parte Seconda - Aspetti economici..... 5
Paolo Rosato, Edino Valcovich, Carlo Antonio Stival, Raul Berto, Giovanni Cechet

Living Wall Systems: verso la sostenibilità economico ambientale. Ricerche e sperimentazioni..... 29
Roberto Giordano, Elena Montacchini, Silvia Tedesco

DIBATTITO E APPROFONDIMENTO

Il Market Comparison Approach (MCA) nella pratica estimativa forestale..... 39
Claudio Acciani, Vincenzo Fucilli, Francesco Bozzo, Alessandro Petrontino, Ruggiero Sardaro

L'analisi del costo ottimale per la definizione di strategie di progettazione energetica: il caso di un "nearly-Zero Energy Building" 61
Verena Marie Barthelmes, Cristina Becchio, Marta Bottero, Stefano Corgnati

La riqualificazione energetica degli edifici monumentali. Un protocollo di indagine e caso studio..... 49
Pierfrancesco Fiore, Antonio Nesticò, Maria Macchiaroli

INFORMAZIONE E DOCUMENTAZIONE

ATTIVITÀ DELL'ASSOCIAZIONE

Seminario SIEV "L'influenza sui percorsi valutativi dell'Enciclica Laudato Si" 77
Francesca Abastante

Editorial	1
------------------------	---

EXPERIENCES

Horizontal extensive green roofs in existing buildings. Part Two - Economic features	3	Living Wall Systems: toward the environmental and economic sustainability. Research and experimental development	25
<i>Paolo Rosato, Edino Valcovich, Carlo Antonio Stival, Raul Berto, Giovanni Cechet</i>		<i>Roberto Giordano, Elena Montacchini, Silvia Tedesco</i>	

ANALYSIS AND DEBATE

The Market Comparison Approach (MCA) for the valuation of woodlands	35	Cost-optimal analysis for the definition of energy design strategies: the case of a “nearly-Zero Energy Building”	57
<i>Claudio Acciani, Vincenzo Fucilli, Francesco Bozzo, Alessandro Petrontino, Ruggiero Sardaro</i>		<i>Verena Marie Barthelmes, Cristina Becchio, Marta Bottero, Stefano Corgnati</i>	
The energy improvement of monumental buildings. An investigation protocol and case studies	45		
<i>Pierfrancesco Fiore, Antonio Nesticò, Maria Macchiaroli</i>			

INFORMATION

SOCIETY ACTIVITIES

SIEV Conference “The influence of the Papal Encyclical Laudato Si’ on the evaluation paths” ...	71
<i>Francesca Abastante</i>	

Living Wall Systems: verso la sostenibilità economico-ambientale. Ricerche e sperimentazioni

Roberto Giordano*, Elena Montacchini*,
Silvia Tedesco*

parole chiave: Living Wall System (LWS), approccio sistemico alla progettazione e produzione, ciclo di vita, valutazione della sostenibilità, norma tecnica

Abstract

Gli involucri vegetati e in particolare le Living Wall System (LWS) stanno attualmente riscontrando l'attenzione di un numero sempre maggiore di soggetti, professionisti e non, privati e pubblici.

Il miglioramento del microclima, la diluizione di inquinanti dell'aria, il controllo dei flussi energetici, l'incremento del comfort acustico sono solo alcune delle potenzialità e dei vantaggi a scala urbana e edilizia attribuibili ai sistemi LWS, indagati dalla letteratura scientifica internazionale e testimoniati da realizzazioni progettuali in diversi contesti.

Nonostante il crescente interesse per questa tecnologia e per i benefici correlati, le LWS presentano oggi in Italia una diffusione ancora limitata. Le ragioni sono riconducibili principalmente a tre fattori: costi di realizzazione e manutenzione ancora molto elevati; mancanza di dati scientifici relativi ad alcune prestazioni; assenza di strumenti normativi e di incentivazione economico-finanziaria, disponibili invece in altri contesti europei e internazionali, in grado di promuoverne l'utilizzo.

L'articolo, partendo dall'individuazione di alcuni ele-

menti critici che limitano le potenzialità di sviluppo delle LWS, definisce alcune linee di ricerca e approcci operativi finalizzati alla valutazione della sostenibilità economico-ambientale e all'ottimizzazione di tali sistemi.

In particolare, viene descritta un'esperienza di sperimentazione e sviluppo industriale condotta dal Dipartimento di Architettura e Design del Politecnico di Torino finalizzata alla realizzazione di un sistema di parete vegetata a basso impatto ambientale e a costo contenuto, risultato di un approccio sistemico alla progettazione e produzione, legato all'intero ciclo di vita.

Illustra inoltre le attività di approfondimento condotte in collaborazione con lo spin off Growing Green srl dello stesso Politecnico indirizzate allo sviluppo di alcuni strumenti e metodi innovativi per la quantificazione di benefici ambientali e sociali e all'implementazione dei relativi dati di letteratura.

Riporta, infine, indirizzi normativi funzionali alla diffusione delle LWS, attraverso l'elaborazione di una proposta di norma tecnica per la progettazione, installazione e manutenzione di pareti verdi.

1. INTRODUZIONE

I sistemi di verde verticale garantiscono una serie di bene-

fici, a scala urbana e edilizia, riconosciuti dalla letteratura scientifica internazionale: miglioramento del microclima (Candelari et al., 2014), diluizione di inquinanti dell'aria

(Weinmaster, 2009), controllo dei flussi energetici (Raji *et al.*, 2015), incremento del comfort acustico (Azkorra *et al.*, 2015). Tali sistemi, classificati in base alla tecnica costruttiva e alle principali caratteristiche, possono essere suddivisi in: Green Façades - in cui le piante, rampicanti o decumbenti, crescono in piena terra e si sviluppano su una struttura di supporto - e Living Wall - sistemi tecnologici, modulari o continui, rivestiti da specie vegetali il cui apparato radicale si sviluppa su superficie verticale (Manso e Castro-Gomes, 2015).

Sebbene siano documentati i vantaggi relativi all'utilizzo di sistemi di verde verticale, recenti ricerche, basate su analisi di Life Cycle Assessment (LCA) e su Analisi Costi Benefici (ACB), hanno rilevato alcune problematiche legate alla loro sostenibilità ambientale e economica.

In particolare studi LCA (Ottelé *et al.*, 2014; Patrizi *et al.* 2012; Mir, 2011) utilizzati per calcolare e confrontare l'impatto ambientale in fase di produzione, uso, manutenzione e dismissione dei più comuni sistemi di verde verticale hanno messo in evidenza che le Living Wall System (LWS) risultano avere i maggiori impatti, a causa dei materiali utilizzati (fase di produzione) e della loro durabilità (fase d'uso).

Analisi condotte attraverso l'applicazione di ACB, finalizzate a valutare i benefici e i costi sociali, espressi in termini monetari, di soluzioni progettuali con ricadute positive sulla collettività, documentano come le LWS siano poco sostenibili dal punto di vista economico. Lo studio di Rosasco e Perini (2014) mette in evidenza che i costi di fornitura e installazione del sistema, quelli relativi alla manutenzione delle piante, del sistema di supporto e dell'impianto di irrigazione e i costi imputabili alla rimozione del sistema al termine della vita utile non vengono compensati dai benefici economici "diretti"¹, legati al committente, né da quelli "indiretti"², relativi alla collettività.

Secondo gli autori, nelle diverse fasi del ciclo di vita, le voci di costo più rilevanti sono riconducibili a: materiali e componenti dei pannelli e loro posa in opera, nell'ambito dei costi di costruzione; sostituzione dei pannelli per deterioramento del geotessile esterno, nei costi di manutenzione; disassemblaggio e trasporto dei materiali in discarica, nei costi legati al fine vita (Rosasco e Perini, 2014).

Nella maggioranza dei casi le LWS infatti sono realizzate con una stratigrafia complessa, che prevede un elevato numero di materiali, elementi e componenti, con ricadute sia a livello economico sia di impatto ambientale nelle diverse fasi del ciclo di vita.

Nonostante siano documentati i benefici ecologici ed ener-

getici e nel complesso le prestazioni ambientali delle LWS, i dati riportati in letteratura sono spesso frammentati e variabili in funzione della tecnologia e del contesto climatico di riferimento (Perez *et al.*, 2014; Feng e Hewage, 2014). Inoltre la mancanza di informazioni relative ad alcuni benefici - come l'incremento della biodiversità o il benessere psicoperceptivo - non permette di restituire uno scenario esaustivo in sistemi di valutazione della sostenibilità che adottino un approccio Life Cycle Thinking³.

A questo si aggiunge l'assenza di un quadro normativo di riferimento, che da un lato impedisce di stabilire degli standard a cui i produttori devono uniformarsi; dall'altro non favorisce la diffusione delle LWS con forme di incentivazione economica e detrazione fiscale (con conseguente riduzione dei costi per il committente) al pari, ad esempio, degli interventi volti al risparmio energetico (es. incremento dell'isolante termico, sostituzione di serramenti, ecc.).

A fronte di queste considerazioni, al fine di superare alcune barriere alla diffusione nel settore edilizio di una tecnologia con tante potenzialità, risulta necessario:

1. ottimizzare i processi che caratterizzano il ciclo di vita delle LWS, a partire dalle fasi di progettazione e produzione, al fine di ridurre sia gli impatti ambientali sia i costi;
2. individuare strumenti e metodi per quantificare benefici sociali e ambientali che possono essere correlati a rientri di tipo economico;
3. sviluppare strumenti di regolamentazione funzionali all'estensione per le LWS di incentivi fiscali.

2. OTTIMIZZARE LE FASI DI PROGETTAZIONE E PRODUZIONE DI LWS

Secondo i requisiti previsti dallo standard tecnico europeo CEN/TC 350 - "Sustainability of construction works", la valutazione della fase di produzione di un prodotto edilizio è da considerarsi fondamentale per minimizzare gli impatti ambientali, attraverso la riduzione del numero di materiali e componenti impiegati e l'ottimizzazione dell'utilizzo di materie prime e materie prime seconde.

Oltre alla fase di produzione, è necessario considerare gli impatti a fine vita, affinché materiali e componenti non debbano essere smaltiti come rifiuti speciali e pericolosi.

Questo approccio, necessario per assicurare la complessiva compatibilità ambientale dei componenti fino all'intero sistema edificio, ha evidenti ricadute anche sulla riduzione dei costi di produzione e di dismissione.

Nel seguito viene descritto un progetto di ricerca sperimentale e sviluppo industriale, condotto dal Politecnico di Torino, finalizzato alla realizzazione di un nuovo sistema

¹ Si intendono benefici economici diretti il risparmio energetico per il riscaldamento e il raffrescamento, l'incremento del reddito da locazione, la durata del rivestimento di facciata.

² Si intendono benefici economici indiretti quelli di tipo ambientale e sociale, come la riduzione dell'emissione di CO₂ per il minor consumo energetico e i minori costi sanitari a causa della maggiore salubrità dell'aria.

³ Life Cycle Thinking è un approccio per la valutazione degli impatti di un sistema (prodotto, processo o servizio), inclusi i costi, in tutte le fasi del ciclo di vita.

di parete vegetata a basso impatto ambientale e a costo contenuto, risultato di un approccio sistemico alla progettazione e produzione, legato all'intero ciclo di vita.

2.1 LWS ad alte prestazioni: un caso studio

Il progetto di ricerca GRE_EN_S⁴ ha avuto come obiettivo la progettazione, la realizzazione e il monitoraggio di un sistema LWS modulare, costituito da materiali selezionati da filiere di recupero di scarti industriali, nell'ottica di ridurre la quantità complessiva di materiali e semilavorati, ottimizzare le fasi di assemblaggio, garantire elevate prestazioni in fase di esercizio, ridurre le operazioni di manutenzione e limitare gli impatti a fine vita.

Il progetto, che ha visto il coinvolgimento di più organismi di ricerca⁵ e di partner industriali⁶, ha previsto quattro fasi fondamentali.

Fase 1. Selezione di materiali e prodotti, nell'ottica di individuare materie prime seconde a basso impatto ambientale (Giordano *et al.*, 2014) e a costo contenuto, in grado di sostituirsi a quelle generalmente utilizzate. L'approccio legato al ciclo di vita è stato adottato nello specifico per:

- lo strato di accrescimento delle piante, costituito da un substrato a base cocco miscelato a scarti di produzione di feltrini sottosedici sminuzzati;
- lo strato isolante, realizzato attraverso l'assemblaggio di scarti della lavorazione di solette in sughero per scarpe;
- lo strato di rivestimento, realizzato con un feltro in polipropilene riciclato al 70%.

Fase 2. Selezione di specie vegetali in funzione della loro agevole adattabilità alla maggior parte dei climi ed esposizioni.

Fase 3. Progettazione e produzione di prototipi, realizzati e testati nelle loro prestazioni di tipo tecnologico, fisico-tecnico, agronomico e ambientale e su requisiti legati al ciclo di vita, con particolare riferimento alla dematerializzazione, al disassemblaggio, all'ottimizzazione della vita utile dei prodotti e alle relative procedure di riciclo e reimpiego.

Fase 4. Monitoraggi energetico-ambientali, effettuati attraverso due modalità: in apposite celle di prova in condizioni ambientali controllate; in un edificio campione, suddiviso in due parti indipendenti, una realizzata con il sistema parete GRE_EN_S, l'altra, utilizzata come benchmark, con tipiche tecnologie di rivestimento leggere (Fig. 1).

⁴ Progetto GRE_EN_S, GREen ENvelope System, finanziato nell'ambito dei Fondi europei POR-FESR 2007-2013.

⁵ Il Dipartimento di Agraria dell'Università degli Studi di Torino (AGRO.SEL.VITER), il Dipartimento di Architettura e Design (DAD) e il Dipartimento di Energetica (DENERG) del Politecnico di Torino.

⁶ CEIT, azienda specializzata in sistemi assemblati a secco, coinvolta relativamente al suo brevetto di parete modulare BYBOX®; 13 RICREA, operante nel settore del riutilizzo di materiali destinati al disuso, all'abbandonamento e al macero; SAFI-TECH, specializzata in geotessuti e feltri.



Figura 1 Edificio campione utilizzato per i monitoraggi situato a Environment Park, Torino (I)

I parametri monitorati hanno riguardato le temperature superficiali e i flussi termici, estivi ed invernali, il coefficiente di assorbimento acustico, la diluizione di TVOC (Total Volatile Organic Compound) e l'indice LAI (Leaf Area Index), utilizzato nella correlazione tra variabili energetiche e ambientali. I risultati del monitoraggio hanno evidenziato l'efficienza del sistema parete (Giordano *et al.*, 2013).

La tabella 1 riassume le principali caratteristiche e prestazioni che sono state oggetto di progettazione e sviluppo industriale (Tab. 1); la tabella 2 confronta le caratteristiche del sistema GRE_EN_S con quelle medie di soluzioni simili in commercio⁷ (Tab. 2).

2.2 Dalla ricerca al trasferimento tecnologico: Growing Green srl - Spin off del Politecnico di Torino

La sinergia e la collaborazione tra partner di ricerca e partner industriali e i risultati acquisiti durante la ricerca hanno costituito le premesse per lo sviluppo di una nuova impresa: lo spin off Growing Green srl, incubato presso l'I3P (Incubatore di Imprese Innovative del Politecnico di Torino), che progetta e realizza pareti vegetate per interni e per esterni, modulari ed ecocompatibili. Parte integrante delle attività della Growing Green è il lavoro di ricerca che la società conduce per la prototipazione di nuove soluzioni, lo sviluppo di brevetti, l'ottimizzazione dei processi produttivi. Lo spin off si pone dunque l'obiettivo di collocarsi sul mercato con prodotti semplificati e standardizzati, realizzati con un numero limitato di materiali, sottostrutture e impianti, caratterizzati da connessioni reversibili ed una complessiva compatibilità ambientale del sistema.

⁷ L'indagine di mercato, svolta con il supporto dell'Incubatore Imprese Innovative del Politecnico di Torino, è stata condotta nell'ambito del Business Plan, finalizzato alle attività di trasferimento tecnologico.

Tabella 1 - Caratteristiche del sistema parete GRE_EN_S

DIMENSIONI E PESO	
Dimensioni modulo base	50x50x3,5 cm
Peso medio	18 kg/m ²
MATERIALI	
STRATO DI CONTENIMENTO DEL TERRICCIO E DELLE PIANTE Geotessile composito costituito da uno strato superficiale in fibra di poliestere accoppiato ad un feltro agugliato termofissato realizzato in fibra di polipropilene riciclata al 70%	
SUBSTRATO Cocco, viscosa naturale, feltrini sottosedea sminuzzati	
SOTTOSTRUTTURA DI ANCORAGGIO DEI MODULI Orditura metallica realizzata in acciaio zincato 10/10 BYBOX®, con funzione di supporto dei moduli GRE_EN_S connessi sul lato esterno con sistema di aggancio/sgancio rapido per consentire l'ispezionabilità e l'eventuale sostituzione senza l'ausilio di utensili	
IMPIANTO DI IRRIGAZIONE Integrato	
PRESTAZIONI AMBIENTALI	
PRESTAZIONI TERMICHE (con Lonicera) <i>Inverno</i> - I moduli vegetati funzionano come uno strato di isolante termico con spessore 3 ÷ 5 cm e $\lambda=0,04$ W/mK <i>Estate</i> - Differenza di temperatura superficiale esterna di poco misurata sul verde e sull'intonaco tradizionale, in relazione al controllo del fenomeno UHI, pari a 20°C (riduzione del flusso di calore in ingresso con conseguente riduzione dei consumi energetici per la climatizzazione)	
PRESTAZIONI ACUSTICHE (con Lonicera) Alle medie ed alte frequenze i valori del coefficiente di assorbimento acustico sono paragonabili a materiali altamente fonoassorbenti ($\alpha=0.9$)	
QUALITÀ DELL'ARIA (con Lonicera) Tendenza alla diluizione dei TVOC (prove effettuate in ambiente indoor)	
COSTI	
<i>Costi di produzione</i> ridotti grazie all'utilizzo di materiali derivanti da riciclo/riuso.	
<i>Costi di installazione</i> contenuti grazie alla tecnologia sviluppata, che consente facilità di trasporto e rapidità di montaggio (sistema a secco, elementi modulari, sganci rapidi), nonché la reversibilità del sistema.	
<i>Costi di manutenzione</i> limitati grazie anche al basso fabbisogno idrico (2 l/ora m ²) e al numero limitato di potature di contenimento annue (2 potatura/anno) per le specie testate (Lonicera, Bergenia, Heuchera).	

Tabella 2 - Confronto caratteristiche del sistema GRE_EN_S con quelle medie di soluzioni simili in commercio

	GRE_EN_S	Soluzioni simili di rivestimento vegetale (media)
Prezzo	400 €/ m ²	750 €/ m ²
Spessore	3,5-10 cm	10-20 cm
Peso	18 kg/ m ²	> 50 kg/ m ²
Prestazioni ambientali	Monitorate termiche, acustiche, qualità dell'aria	-

Svolge inoltre attività di disseminazione, di scambio di dati e informazioni con Organismi di ricerca operanti a livello internazionale sul tema del verde verticale, di collaborazione con enti pubblici al fine di incoraggiare e supportare la diffusione delle LWS (individuazione di strumenti di pianificazione, retrofitting, public procurement, ecc.).

3. VALUTARE I BENEFICI AMBIENTALI E SOCIALI

Per valutare la sostenibilità delle LWS occorre considerare complessivamente i benefici diretti e indiretti che questi sistemi sono in grado di garantire e rapportarli ai costi nel ciclo di vita.

Tuttavia, alcuni di questi benefici non sono sufficientemente supportati da dati quantitativi di riferimento. Tale mancanza è riconducibile alla difficoltà di quantificare alcune prestazioni, di natura ambientale e sociale, e all'assenza di strumenti e metodi di riferimento che ne consentano la valutazione (Hui e Chung, 2015; Feng e Hewage, 2014).

La tecnologia LWS realizzata all'interno del progetto di ricerca GRE_EN_S è stata oggetto di successivi studi condotti in collaborazione tra gli autori e la Growing Green srl. In particolare sono stati indagati i benefici ambientali legati al miglioramento della qualità dell'aria indoor, attraverso monitoraggi in laboratorio e in situ, e quelli sociali legati all'individuo e alla collettività, attraverso la rielaborazione di studi di letteratura.

Il lavoro ha portato allo sviluppo di strumenti e metodi (protocolli di monitoraggio della qualità dell'aria in cella di prova e in ambiente indoor, indicatori di sostenibilità sociale), che costituiscono un primo riferimento per quantificare i benefici e correlarli a rientri di tipo economico.

3.1 Protocolli di monitoraggio della qualità dell'aria in cella di prova e in ambiente indoor

A partire dagli studi scientifici condotti dalla NASA alla fine degli anni '80 (Wolverton *et al.*, 1989), la letteratura scienti-

fica evidenza la capacità delle piante di "purificare" l'aria negli ambienti confinati (Liua *et al.*, 2007). Infatti le piante non solo sono in grado, attraverso la fotosintesi clorofilliana, di assorbire anidride carbonica e di rilasciare ossigeno, ma molte di esse riescono a diluire i Composti Organici Volatili (VOC)⁸. I VOC vengono infatti assorbiti dalle foglie e convogliati dal fusto alle radici, dove alcuni batteri ed enzimi (metilofili) li assorbono, li metabolizzano e li rendono inattivi.

Le ricadute sono evidenti: una migliore qualità dell'aria ha effetti sulla salute e sul benessere, riduce i fenomeni di cefalea, l'arrossamento degli occhi, migliora la concentrazione e il rendimento sul lavoro (Fjeld, 2002; Bergs, 2002).

Numerose ricerche sulla diluizione degli inquinanti si sono susseguite, riportando dati sperimentali relativi all'utilizzo di piante in vaso all'interno degli edifici (Orwell *et al.*, 2006; Burchett *et al.*, 2010). Pochi studi fanno invece riferimento specifico all'applicazione di Living Wall System in ambiente indoor (Hum e Lai, 2007).

In tali sistemi vi è generalmente una maggiore densità di piante (e di foglie) per metro quadrato, ma una minore quantità di substrato, che influenza lo sviluppo dell'apparato radicale (e della comunità batterica sulle radici). Per valutare le potenzialità di diluizione dei sistemi LWS occorre inoltre considerare anche tutti gli altri materiali di cui sono costituiti.

Innanzitutto è necessario poter disporre di un riferimento metodologico che, al pari di quanto avviene per altri prodotti impiegati in edilizia, stabilisca le modalità con cui eseguire le prove, sia in laboratorio sia in situ.

Se infatti si dispone della serie di norme UNI EN ISO 16000 per determinare le emissioni di composti organici volatili da prodotti da costruzione e da prodotti di finitura, non esiste attualmente una norma analoga per la valutazione di prodotti, che pur essendo "da costruzione", prevedono uno strato realizzato con materiale vivo, come le LWS.

A questo proposito, nell'ambito delle attività di ricerca, sono stati sviluppati due specifici strumenti di riferimento:

1. Protocollo per il monitoraggio dei VOC in cella di prova di emissione (ProMo_TC).
2. Protocollo per il monitoraggio dei VOC in ambiente indoor (ProMo IAQ).

Il protocollo denominato ProMo_TC (Test Cell Monitoring Protocol) fa riferimento alla norma UNI EN ISO 16000-10:2006⁹ ed è strutturato in due parti.

⁸ I VOC (formaldeide, benzene, toluene, xilene, tricloroetilene, ammoniaca, alcoli e acetone) sono inquinanti, spesso cancerogeni, presenti in ambiente indoor in misura da due a cinque volte superiore rispetto all'outdoor rilasciati da finiture, arredi e oggetti di uso quotidiano.

⁹ UNI EN ISO 16000-10:2006 - Aria in ambienti confinati - Determinazione delle emissioni di composti organici volatili da prodotti da costruzione e da prodotti di finitura - Metodo in cella di prova di emissione.

Nella PARTE I viene definito l'obiettivo specifico del monitoraggio, la normativa di riferimento, alcuni termini e definizioni.

Nella PARTE II viene descritta la procedura di monitoraggio, per esempio attraverso le specifiche relative a:

- Strumentazioni e attrezzature (sensore VOC, data taker, camera e cella di prova, ecc.).
- Condizioni ambientali (temperatura $T = 23^{\circ}\text{C} \pm 2$; umidità relativa $UR = 50\% \pm 5$; livello di illuminamento ciclo diurno (12 ore) e ciclo notturno (12 ore); velocità dell'aria compresa nel range 0,003 m/s - 0,3 m/s).
- Materiale vegetale (acclimatamento in camera di prova per 7gg ed irrigazione fino a saturazione).
- Dosaggio VOC e fasi del campionamento (fase 1 - warm up degli strumenti a cella vuota, per la verifica del rumore di fondo; fase 2 - valutazione delle perdite dalla cella per fuoriuscita dai giunti o per assorbimento di una quantità nota di inquinante; fase 3 - rimozione della sostanza inquinante e ripristino delle condizioni iniziali in cella; fase 4 - monitoraggio con la sola presenza di piante; fase 5 - monitoraggio con la presenza di piante e l'esposizione a un dosaggio prestabilito di inquinante).

Il protocollo ProMo_IAQ (Indoor Air Quality Monitoring Protocol) è invece finalizzato alla valutazione della qualità dell'aria negli ambienti interni in relazione all'emissione di composti organici volatili (VOC) da prodotti da costruzione e da prodotti di finitura e alla progettazione, realizzazione e controllo degli interventi di bonifica attraverso l'uso della vegetazione. Il protocollo fa riferimento alla norma UNI EN ISO 16000-1:2006¹⁰ e descrive la procedura di monitoraggio. In particolare illustra:

- Acquisizione dei dati relativi all'edificio, per individuare le potenziali fonti di inquinamento indoor presenti nei locali (caratteristiche dell'edificio, potenziali sorgenti esterne di inquinamento, procedure di gestione e manutenzione).
- Rilievo della situazione in loco, per individuare le unità spaziali campione e integrare i dati con ispezioni visive di ambienti, attrezzature, arredi e impianti.
- Indagini strumentali e procedure per: valutare il livello di VOC all'interno di unità spaziali campione; studiare l'andamento della concentrazione di VOC in funzione di variabili ambientali quali temperatura, umidità indoor e outdoor; valutare la variazione di VOC in seguito all'inserimento di una parete vegetata.

Per effettuare i monitoraggi all'interno delle unità spaziali, il protocollo comprende anche una scheda di rilevamento che consente di registrare i dati climatici e di utilizzo dei locali.

¹⁰ UNI EN ISO 16000-1:2006 - Aria in ambienti confinati - Aspetti generali della strategia di campionamento.

Entrambi i protocolli di monitoraggio sono stati utilizzati per valutare le potenzialità del sistema parete GRE_EN_S nell'abbattimento dei composti organici volatili. Il campionamento dell'aria è stato effettuato in cella di prova ($V=1\text{ m}^3$) per valutare la concentrazione di VOC per unità di volume e in due uffici simili per dimensioni e caratteristiche (superficie utile lorda= 189 m^2 , volume= 50 m^3 , superficie vetrata d'involucro esposta a nord= 13 m^2 , utilizzo dei locali = 8 h/gg , climatizzazione= 8 h/gg). In cella di prova è stato inserito 1 m^2 di pannelli vegetati e 2 m^2 in ogni ufficio (Figg. 2 - 3).



Figura 2 - Moduli GRE_EN_S in fase di monitoraggio in cella di prova



Figura 3 - Moduli GRE_EN_S in fase di monitoraggio in locali ad uso ufficio

I monitoraggi sono stati effettuati con sensori in grado di misurare i composti organici volatili totali (TVOC), espressi in parti per milione (ppm).

I risultati sperimentali conseguiti hanno evidenziato la tendenza alla diluizione dei TVOC, sebbene non siano ancora disponibili dati sulle potenzialità di riduzione della concentrazione di singoli composti organici volatili. Documentano inoltre la capacità dell'apparato epigeo delle piante di diluire gli inquinanti, anche in presenza di un substrato di ridotto spessore e peso.

Al di là dei risultati specifici ottenuti dalla sperimentazione, i protocolli di monitoraggio costituiscono uno strumento di riferimento per l'implementazione di studi relativi alle LWS e all'assorbimento di inquinanti.

Sulla base di tali studi possono essere sviluppati specifici indicatori di tipo quali-quantitativo da trattare con opportune tecniche proprie della valutazione economica. Tali indicatori possono, ad esempio, consentire la valutazione della riduzione dei costi sanitari a carico della collettività per la cura di pazienti affetti da patologie respiratorie, causate dalla bassa qualità dell'aria in ambienti indoor. Si tratta di esternalità positive che in particolare i soggetti pubblici dovrebbero considerare nelle procedure di assegnazione degli appalti, in una logica di valutazione di un'offerta economicamente qualificata che tenga conto dei vantaggi diretti e indiretti associati all'impiego delle LWS.

3.2 Indicatori di sostenibilità sociale

Le tecnologie legate all'utilizzo progettuale della vegetazione sono in grado di rispondere ad una molteplicità di indicatori, non soltanto di tipo ambientale, ma anche di tipo sociale.

In letteratura sono ampiamente dimostrati gli effetti terapeutici della natura: esiste infatti evidenza scientifica che pazienti ospedalizzati che possono godere della presenza della vegetazione abbiano tempi di recupero dalla malattia più ridotti, con conseguenti minori costi sanitari a carico della collettività, e in generale siano caratterizzati da migliori condizioni psicologiche (cambiamenti positivi nell'umore e riduzione dello stress) e fisiologiche, ad esempio, la regolarizzazione della pressione sanguigna e del battito cardiaco (Ulrich, 2008). Altri studi (Ulrich, 1981) suggeriscono inoltre che le persone in genere preferiscono la visione di ambienti naturali piuttosto che ambienti costruiti artificiali o altamente urbanizzati. Nei luoghi di lavoro, per esempio, l'esposizione ad elementi naturali migliora la soddisfazione dei lavoratori, l'entusiasmo e la concentrazione, aumenta la capacità di generare idee creative, riduce la frustrazione e l'assenteismo (Bringsli-mark *et al.*, 2009).

In relazione agli aspetti sociali, il lavoro di ricerca condotto dagli autori ha portato allo sviluppo di alcuni indicatori caratterizzanti le LWS, relativi ai seguenti benefici:

- Estetici e psicologici. Il valore psicologico ed estetico delle LWS è legato alla loro visibilità (maggiore rispetto a

quella delle coperture verdi), che si traduce in significativi benefici sul benessere emotivo.

- Educativi e culturali. La presenza del verde costituisce un elemento di grande importanza dal punto di vista culturale, sia perché può favorire la conoscenza della botanica e più in generale delle scienze naturali e dell'ambiente presso i cittadini, sia per l'importante funzione didattica, in particolare in ambito scolastico.
- Di interazione e coesione sociale. Le LWS possono diventare spazi collettivi, in cui grazie al lavoro e all'incontro di volontari, alla condivisione di esperienze e saperi, alla cura condivisa, vengono sviluppati nuovi network e legami a livello di comunità locale, che concorrono alla riqualificazione fisica e sociale di aree urbane.
- Produttivi e occupazionali. La gestione del verde può contribuire allo sviluppo economico locale, sia in termini di produzione agricola sia in termini di formazione di professionalità specifiche e di posti di lavoro.

A ogni beneficio corrispondono uno o più di indicatori. Nelle tabelle seguenti si riportano alcuni esempi, strutturati sulla base di: obiettivo della valutazione, metodologia adottata, individuazione dell'indicatore, suggerimenti per la sua monetizzazione (Tabb. 3 - 5).

Tabella 3 - Indicatori di valutazione correlati al miglioramento delle condizioni di benessere negli uffici

ASPETTI ESTETICI E PSICOLOGICI (esempio uffici)	
Obiettivo	Valutare l'impatto psicoemotivo delle LWS sugli utenti diretti di edifici ad uso ufficio. La valutazione considera l'incremento del rendimento lavorativo e la riduzione dell'assenteismo.
Metodologia	Rielaborazione di dati da letteratura scientifica internazionale relativa all'impatto che la vista di LWS genera sul benessere psicoperceptivo (concentrazione, capacità di problem solving, ecc.).
Indicatore/i ¹¹	Aumento del rendimento rispetto ad analoga situazione in assenza di LWS: 8%. Riduzione dell'assenteismo rispetto ad analoga situazione in assenza di LWS: 5%.
Monetizzazione	A un maggiore rendimento corrisponde un minore numero di ore per il raggiungimento degli obiettivi lavorativi stabiliti. Analoghe considerazioni valgono per la riduzione dell'assenteismo.

¹¹ Dati desunti da http://www.academia.edu/1326234/Living_Walls_and_Their_Potential_Contribution_to_Sustainable_Urbanism_in_Brisbane [febbraio 2016].

Tabella 4 - Indicatori di valutazione correlati alla produzione di specie orticole-aromatiche in ambiente urbano

PRODUZIONE AGRICOLA	
Obiettivo	Valutare la capacità produttiva di una LWS. La valutazione considera la quantità di prodotti commestibili annui per m ² di superficie esposta in modo ottimale in relazione alle caratteristiche climatiche e alle colture specifiche del luogo.
Metodologia	Rielaborazione di dati da letteratura scientifica internazionale sul rendimento di coltivazioni su tetto verde di tipo estensivo (spessore < 10 cm) e trasposizione dei dati sulle LWS.
Indicatore	Produzione agricola media a km 0: 1,35 kg/m ² anno ¹²
Monetizzazione	A ogni kg di prodotto corrisponde un ricavo, dato dal prezzo di vendita meno i costi di produzione. La valutazione potrebbe comprendere la riduzione dei trasporti legati alla distribuzione e i conseguenti benefici in termini di costi energetici e ambientali.

Tabella 5 - Indicatori di valutazione correlati agli aspetti occupazionali

CREAZIONE DI POSTI DI LAVORO	
Obiettivo	Valutare il fabbisogno annuale di manutenzione delle LWS. La valutazione considera le ore uomo necessarie annualmente per mantenere un m ² di superficie e la prospettiva di crescita delle LWS, espressa in m ² per abitante (in Europa nel 2030: 2,5 m ² /ab ¹³)
Metodologia	Rielaborazione di dati da letteratura scientifica internazionale sulle prospettive di diffusione delle LWS e di crescita del mercato. Indagini di mercato su contratti di fornitura servizi per la valutazione del fabbisogno manutentivo delle LWS.
Indicatore	Fabbisogno annuale di manutenzione: 1,3 ore/ m ² anno ¹⁴
Monetizzazione	Il fabbisogno annuale di manutenzione può essere convertito in numero di persone impiegate (creazione di posti di lavoro).

¹² Dato desunto da <http://www.arccjournal.org/index.php/repository/article/view/358> [febbraio 2016].

¹³ Dato rielaborato da <http://urbangreeninfrastructure.org/downloads/efb-white-paper-market-report-2015/> [febbraio 2016].

¹⁴ Dato elaborato dagli autori sulla base delle ore medie necessarie per potature, sostituzione di specie vegetali, dosaggi di sostanze fertilizzanti, settaggi e controlli su una parete a media difficoltà manutentiva.

Il lavoro di ricerca, tuttora in corso, rappresenta un primo contributo per una valutazione sistemica delle LWS, che includa benefici sociali e li correli ad aspetti economici. Tale correlazione non può prescindere dal metodo di valutazione adottato (LCA, ACB, ecc.) (Hoogmartens *et al.*, 2014). Gli approfondimenti relativi alla “monetizzazione” dovranno dunque essere specificati, di volta in volta, con metodologie di calcolo appropriate rispetto agli obiettivi dell’analisi e affrontati in stretta collaborazione con esperti delle discipline valutative.

4. PROMUOVERE LO SVILUPPO DI NORME PER FAVORIRE LA DIFFUSIONE DELLE LWS

In ambito internazionale numerose amministrazioni pubbliche negli ultimi anni hanno adottato politiche, linee guida, programmi di supporto ed incentivi economici per diffondere il verde verticale in ambito urbano. In molte realtà è in aumento non solo l’interesse per le coperture, ma anche quello per i sistemi d’inverdimento verticale, in relazione ai molteplici benefici che questi possono apportare. Tali politiche si riflettono sul mercato, in costante crescita¹⁵.

In Italia invece, sebbene alcuni regolamenti edilizi abbiano introdotto l’impiego del verde integrato nel progetto, prendendo in considerazione, oltre alle coperture, anche l’inserimento di verde rampicante in facciata, non vengono promosse soluzioni di LWS.

Una delle principali barriere di mercato è rappresentata dalla assenza di strategie e politiche che consentano di implementare l’utilizzo di questa tecnologia.

In particolare non esistono norme di riferimento né agevolazioni fiscali che, al pari di quanto avviene per le coperture verdi¹⁶, consentano la diffusione delle LWS.

Occorre dunque prevedere strumenti che ne sostengano l’impiego, a partire da approcci normativi di tipo tecnico, sulla base dei quali costruire una base di informazioni condivise.

Nel paragrafo successivo si riporta un lavoro di ricerca¹⁷ finalizzato alla definizione di una norma tecnica specifica per le LWS.

4.1 Dalla UNI “tetti verdi” alla proposta di norma tecnica “pareti verdi”

Per l’elaborazione della norma tecnica “pareti verdi”, dal punto di vista metodologico, è stato adottato come prin-

¹⁵ Come dimostrato dai dati della European Federation Green Roofs & Walls che documentano che nel 2030 per ogni abitante dell’Unione Europea saranno disponibili 5 m² di superficie vegetata tra tetti e facciate verdi.

¹⁶ Le coperture verdi hanno come riferimento la norma UNI11235:2015 e sono soggette a detrazioni di imposta del 65% per interventi di nuova costruzione o di riqualificazione energetica.

¹⁷ Lavoro condotto dagli autori in collaborazione con lo spin off Growing Green srl e l’arch. Alessandra Perone.

cipale riferimento la norma UNI 11235:2015 *Istruzioni per la progettazione, l’esecuzione, il controllo e la manutenzione di coperture a verde*, che aggiorna la norma UNI del 2007.

La similitudine, sebbene parziale, tra le due tecnologie, è resa possibile dal fatto che le LWS presentano requisiti prestazionali e funzionali spesso comparabili con quelli relativi ai tetti verdi.

Nello specifico sono state individuate:

1. le analogie/differenze, tra il sistema copertura verde e il sistema LWS, in relazione ai temi della progettazione, esecuzione, controllo e manutenzione;
2. in caso di difformità, le proposte di adattamento e/o integrazione della norma specifiche per i sistemi LWS.

Il campo di applicazione della norma fa riferimento alle LWS continue e modulari, leggere e pesanti, comprendendo quindi tutte le possibili soluzioni tecnologiche attualmente disponibili sul mercato.

Introduce inoltre le specifiche relative a sistemi indoor e sistemi outdoor che, a differenza delle coperture, caratterizzano il verde verticale.

Oltre alla definizione del campo di applicazione, delle differenti tipologie e della terminologia specifica, la proposta di norma sviluppa gli aspetti più propriamente legati alla progettazione. Illustra infatti, attraverso disegni tecnologici di dettaglio, le stratigrafie tipo e le principali connessioni con l’edificio, come l’attacco a terra, quello con il serramento, con la copertura e l’eventuale sistema di recupero dell’acqua di fertirrigazione. Specifica inoltre tutti i materiali e componenti principali (elemento portante, di tenuta, di irrigidimento, struttura di supporto, elemento di contenimento, strato culturale, vegetazione, impianto di fertirrigazione) (Fig. 4).

Dedica, infine, ampio spazio al tema della manutenzione, che costituisce un aspetto di particolare rilievo nelle LWS,

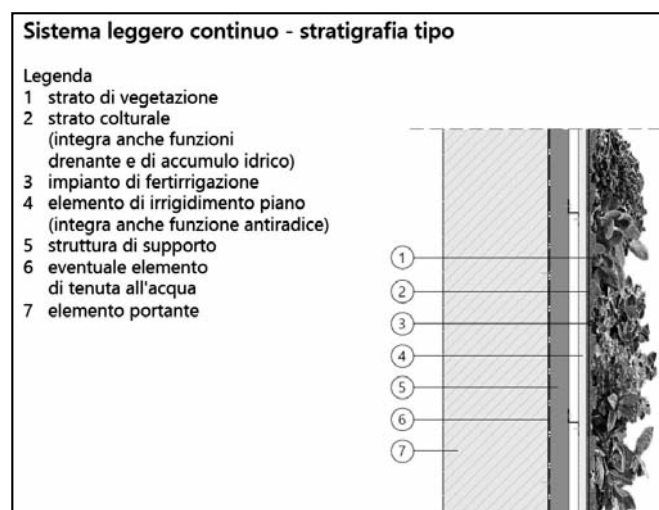


Figura 4 - Esempio di stratigrafia tipo per il sistema leggero continuo (disegno di A. Perone)

se si considera che le problematiche derivanti da gestione e cura non adeguate sono percepite come fallimento della tecnologia, concorrendo a limitarne la diffusione.

Nello specifico la proposta di norma evidenzia la necessità di redigere, da parte del produttore, un documento di uso e manutenzione in relazione al prodotto installato che consenta di mantenere in efficienza e in salute il sistema.

Tale documento deve prevedere tutte le attività programmatiche relative ai controlli ordinari (ispezioni visive, verifica della continuità e stabilità di approvvigionamento idrico ed elettrico), alla manutenzione delle specie vegetali (potature di contenimento, trattamento di parassitosi, sostituzione di eventuali piante in stato di sofferenza vegetativa) e alla manutenzione dell'impianto di fertirrigazione, con i relativi settaggi e dosaggi (verifica periodica della corretta funzionalità di tutte le parti del sistema, controllo e ripristino delle sostanze fertirriganti, composizione del concime, regolazioni stagionali).

Questo lavoro rappresenta la prima fase di un percorso indirizzato all'elaborazione di uno strumento di regolamentazione, utile per colmare un vuoto normativo e garantire sicurezza, qualità e standardizzazione nel settore delle LWS.

Ad oggi infatti le LWS sono sistemi tecnologici caratterizzati da un'offerta industriale molto diversificata, le cui prestazioni sono fortemente influenzate dalle caratteristiche tecniche dei differenti sistemi. Una norma specifica può costituire una guida operativa per progettisti, produttori e installatori, nonché un utile riferimento per le amministrazioni da richiamare nei capitolati e negli strumenti che disciplinano gli appalti pubblici.

5. CONCLUSIONI E PROSPETTIVE

Il verde verticale, pur riscontrando un interesse sempre più diffuso tra i vari attori del processo edilizio, rappresenta una tecnologia relativamente recente, con un mercato ancora limitato.

I limiti maggiori alla diffusione sono di tipo economico-finanziario, legati prevalentemente agli elevati costi di realizzazione e gestione e all'assenza di forme di regolamentazione e incentivazione.

Tuttavia le potenzialità di crescita del mercato sono notevoli e possono essere assimilate a quanto avvenuto per i tetti verdi. In Europa i tetti verdi sono diventati una delle tecnologie impiegate non solo nella costruzione di nuovi edifici ma anche nel ben più consistente ambito nella riqualificazione energetico-ambientale dell'esistente grazie alle innovazioni introdotte nella progettazione e produzione – che hanno consentito di ridurre peso, spessore e costo –, alla presenza di standard qualitativi/quantitativi di riferimento e all'esistenza di meccanismi di regolamentazione e incentivazione promossi dalle pubbliche amministrazioni.

I risultati delle ricerche condotte e descritte nel presente articolo sono da considerare propedeutici a una maggiore diffusione delle tecnologie LWS nel mercato dell'edilizia.

La prima parte dell'articolo ha evidenziato come una LWS sia il risultato di un processo complesso di progettazione che richiede un livello di ottimizzazione delle fasi di produzione, uso e manutenzione. È altresì chiara l'importanza di operare in piena coerenza con l'approccio di *concurrent engineering* in termini di competitività e di affidabilità nel tempo. Si tratta, cioè, di immettere sul mercato tecnologie in grado di ridurre i costi connessi all'approvvigionamento e all'assemblaggio di materiali e componenti, e i costi legati alle procedure di manutenzione e sostituzione delle parti.

Al pari di quanto è avvenuto nel settore delle coperture verdi, alcune aziende, grazie anche a processi di trasferimento tecnologico sviluppati da organismi di ricerca, stanno lavorando affinché le LWS siano il risultato di una sinergia tra industria, scienze agronomiche e tecnologia dell'architettura. È di fatto in corso una transizione che porterà a percepire le LWS come una efficace soluzione in grado di migliorare le prestazioni dell'involucro edilizio al pari di quanto è avvenuto nel recente passato con altre tecnologie, come ad esempio il fotovoltaico.

L'articolo ha inoltre illustrato che accanto ai costi diretti vi sono esternalità positive, traducibili in vantaggi economici, valutabili attraverso metodi e indicatori di benessere e di comfort degli utenti. Alcune multinazionali (es. sede della Microsoft di Washington) hanno fatto ampio ricorso alla vegetazione come elemento in grado di aumentare il senso di benessere per gli occupanti e ridurre l'assenteismo imputabile allo svolgimento del lavoro in ambiente poco salubre, il tutto correlato da un aumento complessivo della produttività.

Di pari passo alcune municipalità "illuminate" (es. Londra) hanno investito diffusamente sulle LWS come elemento in grado di mitigare molti effetti caratteristici dell'ambiente antropizzato, comprendendo, cioè, che i costi sanitari a carico della collettività possono essere razionalizzati attraverso operazioni utili alla maggiore salubrità degli spazi esterni.

In tali contesti è necessario selezionare opportuni indicatori di valutazione economica da associare ai benefici ambientali. Si tratta altresì di stabilire, sulla base delle metodologie disponibili, come procedere alla valutazione delle economie o delle diseconomie esterne associate alla progettazione di un edificio dove si è utilizzata una LWS.

Infine è stato evidenziato il ruolo chiave che ricopre la normativa ai fini di una maggiore diffusione delle LWS.

La presenza di una norma tecnica per le LWS potrebbe condurre al suo riconoscimento come soluzione tecnologica di involucro o partizione, equipollente a quelle attualmente disponibili sul mercato. In particolare è necessario che alle LWS venga riconosciuto lo status di tecnologie finalizzate al risparmio energetico e alla salvaguardia dell'ambiente. Tale classificazione avrebbe come conseguenza la possibilità di utilizzare una LWS associando vantaggi fiscali ammortizzabili nel tempo.

In conclusione è credibile prevedere che operando in modo congiunto a livello di regolamenti, di incentivi, di sensibi-

lizzazione dei soggetti pubblici e privati e di miglioramento continuo del processo edilizio nel volgere di un decennio le LWS supereranno con successo le barriere descritte nell'articolo. Le LWS sono da considerare una tecnologia

attraverso la quale la natura si esprime; citando Pierre Auguste Renoir: "Vous arrivez devant le nature avec des théories, la nature flanque tout par terre". È probabile che ci siano vantaggi ancora tutti da scoprire.

* **Roberto Giordano, Elena Montacchini, Silvia Tedesco**, Dipartimento di Architettura e Design, Politecnico di Torino.
e.mail: roberto.giordano@polito.it, elena.montacchini@polito.it, silvia.tedesco77@gmail.com

Riferimenti bibliografici

AZKORRA Z., et al., *Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system for buildings*, Applied Acoustics, n. 89, 2015, pp. 46-56.

BERGS J., *Effect of healthy workplaces on well-being and productivity of office workers*, Proceedings of International Plants for People Symposium, Floriade, Amsterdam (NL), 2002.

BRINGSLIMARK, T., HARTIG, T., PATIL, G.G., *Psychological benefits of indoor plants in workplaces: putting experimental results into context*, HortScience, 2009, Vol. 42, pp. 581-587.

BURCHETT M., et al., *Greening the Great Indoors for Human Health and Wellbeing*, Final Report to Horticulture Australia Ltd, 2010 (scaricabile dal sito internet: http://www.ngia.com.au/Story?Action=View&Story_id=1897, consultato on line il 15 febbraio 2016).

CANDELARI E., et al., *Vertical Greening Systems and Urban Heat Island related aspects: outcomes of a research project*, Proceeding of the 3rd International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island, Venezia (I), 2014.

FENG H.B., HEWAGE K., *Lifecycle assessment of living walls: air purification and energy performance*, Journal of Cleaner Production, Vol. 69, 2014, pp.91-99.

FJELD T., *The effects of plants and artificial daylight on the well-being and health of office workers, school children and healthcare personnel*, Proceedings of International Plants for People Symposium, Floriade, Amsterdam (NL); 2002.

FREGONARA E., *Valutazione sostenibilità progetto. Life cycle thinking e indirizzi internazionali*, Franco Angeli, Milano, 2015.

GIORDANO R., MONTACCHINI E., TEDESCO S., *Life Cycle Approach to design, manufacturing and assessing a Living Wall System*, Techne, n. 5, 2013, pp. 184- 190.

GIORDANO R., MONTACCHINI E., TEDESCO S., *Eco-innovation based on Quick-Life Cycle Assessment in designing and manufacturing a Living Wall System*, Proceedings of the World Sustainable Building Conference SB14, October 2014, Barcelona.

HOOGMARTENS R., et al., *Bridging the gap between LCA, LCC and CBA as sustainability assessment tools*, Environmental Impact Assessment Review, n. 48, 2014, pp. 27 -33.

HUM R., LAI P., *Assessment of Biowalls: an overview of plant and microbial-based indoor air purification system*, 2007 (scaricabile dal sito: <http://www.queensu.ca/sustainability/sites/webpublish.queensu.ca.suswww/files/files/biowalls.pdf>, consultato on line il 15 febbraio 2016).

LIUA Y., et al., *Which ornamental plant species effectively*

remove benzene from indoor air', Atmospheric Environment, Vol. 41, 2007, pp. 650 - 654.

MANSO M., CASTRO-GOMES J., *Green wall systems: a review of their characteristics*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, n. 41, 2015, pp. 863 – 871.

MIR M.A., *Green Facades and Building Structures*, Master Thesis, Faculty of Civil Engineering, Delft University of Technology, Delft (NL), 2011 (scaricabile dal sito internet: <http://repository.tudelft.nl/view/ir/uuid/%3Af262c218-8801-4425-818f-08726dde5a6c/>, consultato on line il 15 febbraio 2016).

ORWELL R., et al., *The potted-plant microcosm substantially reduces indoor air VOC pollution: II. Laboratory study*, Water, Air and Soil Pollution, Vol.177, 2006, pp. 59-80.

OTTELÉ M., et al., "Life cycle assessment (LCA) of green façades and living wall systems", in Pacheco-torgal F., et al., *Eco-efficient Construction and Building Materials*, Woodhead Publishing, Cambridge (UK), 2014, pp. 457-483.

PATRIZI N., et al., *Analisi del ciclo di vita di un sistema di giardino verticale*, Atti del VI Convegno della Rete Italiana LCA, Bari (I), 2012.

PEREZ G., et al., *Vertical Greenery Systems (VGS) for energy saving in buildings: a review*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, n. 39, 2014, pp. 139-165.

RAJI B., et al., *The impact of greening systems on building energy performance: A literature review*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, n. 45, 2015, pp. 610-623.

ROSASCO P., PERINI K., *Verifica di sostenibilità economica per sistemi di facciate verdi*, Valori e Valutazioni, n. 13, 2014, pp. 67-93.

SAM C.M., et al., *Study of embodied energy and carbon for indoor living walls*, Proceedings of the 13th Asia Pacific Conference on the Built Environment, Hong Kong, 2015.

ULRICH R.S., et al., *A review of the research literature on evidence-based healthcare design*, Health Environments Research & Design, Vol.1, 2008, pp. 61-125.

ULRICH R.S., *Natural versus urban scenes: Some psychophysiological effects*, Environment and Behavior, n. 13, 1981, pp. 523 - 556.

WEINMASTER M., *Are green walls as 'green' as they look? An Introduction to the various technologies and ecological benefits of green walls*, Journal of Green Building, Vol. 4, n. 4, 2009, pp. 3-18.

WOLVERTON, B.C., DOUGLAS, W. L., BOUNDS, K., *A study of interior landscape plants for indoor air pollution abatement*, NASA techdocs, 1989.

Living Wall Systems: toward the environmental and economic sustainability. Research and experimental development

Roberto Giordano*, Elena Montacchini*,
Silvia Tedesco*

key words: Living Wall System (LWS), Life Cycle,
Thinking approach, sustainability assessment,
technical standard

Abstract

Several stakeholders (public and private) are paying an increasing interest about Green Walls and particularly about the Living Wall Systems (LWSs).

The benefits of the use of vegetation in indoor environment, and in particular the use of Living Wall Systems, are demonstrated by the international scientific literature. Such benefits can be listed as follows: acoustic comfort, indoor air quality and dilution of pollutants, thermo hygrometric comfort, psycho-emotional well-being (improvement of cognitive skills, stress reduction and user satisfaction).

During the last years, the LWS' spread is confirmed by the increasing number of buildings featured by vegetation both on façades and on partitioning. Despite the interest about the vegetated technologies and their benefits, LWSs in Italy are seldom used.

The reasons are referable to three main causes: high initial and maintenances costs; absence of scientific data about some properties; lack of economic incentives as well as of technical standards aimed at encouraging a wider use of such system. These

standards are usually available in other European Countries.

According to critical issues described, the paper outlines some research activities in order to assess the LWS' environmental and economic sustainability.

Particularly the paper deals with an industrial research carried out by the Department of Architecture and Design (DAD) of Politecnico di Torino. The research was aimed at developing an environmental friendly and low cost LWS. A Life Cycle Thinking approach was adopted in order to plan and assess the LWS over its life cycle.

Furthermore, the paper describes a cooperation activity carried out by DAD and Growing Green. Growing Green is a small enterprise and a Politecnico di Torino's start up. The collaborative programme was focused on implement-advanced methods and tools enable to perform social and environmental data according to scientific state of art.

A proposal technical standard concerning the design as well as the proper construction and maintenance of LWSs is finally explained.

1. INTRODUCTION

The vertical greening systems allow several ecological benefits as proved by scientific studies and articles: Urban Heating Island (UHI) mitigation (Candelari *et al.*, 2014); indoor pollutants dilution (Weinmaster, 2009); improvement of envelope energy efficiency both in winter and summer time (Raji *et al.*, 2015); noise reduction (Azkorra *et al.*, 2015).

The vertical greening systems can be subdivided in two main systems: Green Façades and Living Walls. There is an evident distinction between Green Façades, where usually climbing plants grow along the wall covering it, and the most recent concept of Living Walls, which include materials and technology to support a wider variety of plants, creating a uniform growth along the wall surface.

Although vertical greening systems may be assumed as “comprehensive” systems in terms of environmental performances, recently some Life Cycle Assessment (LCA) studies as well as Cost Benefit Analysis (CBA) have highlighted ecological and economic problems in a number of stages over their life cycle.

The LCA studies were carried out on several kinds of vertical greenings systems (Ottel  et al., 2014; Patrizi *et al.*, 2012; Mir, 2011). With regards to Living Wall System (LWS) papers and articles pointed out the impact of two stages: the production systems (because of materials needed); the maintenance process (because of materials durability).

Concerning the CBA, a study (Rosasco and Perini, 2014) focused on economic assessment related to people social benefits shows how the LWSs can be assumed as poor cost-effective systems. Particularly the paper deals with the high cost incidence due to materials provision, vegetation and irrigation maintenance, cladding replacement (when needed) and final disposal (since LWSs are often made up with mixed materials difficult to disconnect each other’s, involving a time consuming waste process). On the whole the mentioned costs are not balanced by direct economic benefits¹, ascribed essentially to owners, and indirect economic benefits², related to community.

Particularly, noteworthy costs are attributable to: manufacturing processes (LWSs are often systems based on artisanal production); assembling and replacement procedures (periodically LWS’ materials deterioration occurs); end-of-life processes (materials are classified as special wastes).

¹ The direct economic benefits are: the energy saving related to the building heating and cooling needs; the rental incomes increasing; the cladding duration.

² The indirect economic benefits are those environmental and social such as the Carbon Dioxide (CO₂) reduction due to less energy consumption or the costs saving because of the better air quality.

In most cases, the LWSs are implemented with heterogeneous materials because the system needed to fulfil several technological requirements. The ecological and economic impacts in the life cycle of a LWS can be consequently very high.

Despite the state-of-the-art mentioned proves several ecological and energy benefits such benefits are often: tackled, separately, referred to particular climates and studied with different accuracy levels (Perez *et al.*, 2014; Feng e Hewage, 2014). This is about having a systemic approach in the assessment process consistent to a Life Cycle Thinking (LCT) approach³. Within LCT a more comprehensive assessment is achievable by taking into account positive and negative effects over the LWS’ life cycle.

Furthermore, the LWSs dissemination is constrained by the lack of a framework of rules, regulations and standards. On the one hand entrepreneurs do not have a reference to comply with; thus for most of LWSs a comparison is not feasible. On the other hand, such technical deficit cannot be matched to economic incentives. As consequence there is a less interest by the owners (e.g. the building retrofit projects have been encouraged by taxes reduction correlated to the energy saving potential due to the windows replacement or the improvement of some building systems insulation).

Consistently to the issues outlined, in order to overcome the barriers to construction market it is therefore necessary:

1. optimising resources and impacts as well as costs of LWS, from a better planning of production systems;
2. developing further methods and tools aimed at quantifying social and environmental benefits in order to get a closer correlation to economic benefits;
3. laying the technical requirements preparatory for a upcoming standard, to be used for tax incentives.

2. OPTIMIZING THE DESIGN AND PRODUCTION STAGE

According to CEN/TC 350 - “Sustainability of construction works”, requirements the production planning becomes a crucial stage in order to minimize the environmental impacts and to reduce the materials intensiveness or the raw materials exploitation.

Besides end-of-life design is needed since the materials must be disconnect thus to avoid a hazardous or special wastes disposal.

This approach ensures the overall environmental compatibility of building system and it has effects on the reduction of production and disposal costs.

³ Within the paper the Life Cycle Thinking was assumed as an holistic approach of a product or an activity system. Thus the product environmental impacts going beyond the traditional focus on manufacturing.

The paragraph describes the results of an industrial research carried out by Politecnico di Torino, aimed at develop an environmental friendly and low cost LWS. The Life Cycle Thinking approach was adopted in order to plan and assess the LWS over its life cycle.

2.1 High performance LWS: a case study

GRE_EN_S (GREen Envelope System)⁴ is the acronym of a research project aimed at designing, manufacturing and monitoring a LWS, shaped by modular boxes, covered with vegetation and made up of recycled materials.

The research, carried out by research organizations⁵ and industrial partners⁶, was based on the following tasks:

Task 1. LWS's featurig and materials sorting, in order to identify secondary raw materials with low environmental impact and low cost (Giordano *et al.*, 2014). A priority was given to following materials:

- growing medium: felt-pad wastes were added to the coconut peat in several percentages as alternative growth-media material;
- insulation layer: assembled board made of recycled and overlapped industrial residues of cork-insoles were proposed as insulation material;
- nonwoven fabrics: made of 70% recycled polypropylene.

Task 2. Plant species selection. The task was addressed to select proper species fit for outdoor and indoor use.

Task 3. Prototyping design and production. Three prototypes were manufactured and tested in their technological, agronomical and environmental performances. Life cycle requirements related to material intensiveness, materials disassembly and materials lifespan were even detailed.

Task 4. Monitoring activities. Energy and environmental performances were monitored on test cells, chamber test and on a modular installation. The modular installation was built-up with two technological systems. The former with GRE_EN_S LWS; the latter with a conventional cladding wall (benchmark) (Fig. 1).

The monitored performances focused on: surface temperatures and heat flows in summer and winter; the sound absorption coefficient; the dilution of TVOC (Total Volatile Organic Compound); the LAI (Leaf Area Index), used in the correlation between energy and



Figure 1 - Modular installation located in Environment Park, Turin (I)

environmental performances. Monitoring results showed the efficiency of the LWS developed. (Giordano *et al.*, 2013).

Table 1 shows the main features of GRE_EN_S; Table 2 compares GRE_EN_S with LWS similar solutions on the market⁷.

2.2 Growing Green srl - Politecnico di Torino's Spin off: a transfer of knowledge experience

The close cooperation among research organisations and industrial partners were the key-issue to the following establishment of Growing Green srl. Growing Green is an innovative enterprise (start up) of I3P, further it is a Politecnico di Torino's spin-off. The development and production of eco-friendly indoor - outdoor Living Wall Systems is the Growing Green main mission.

Growing Green carries out research activity in the field of high-energy efficiency materials and products. The spin-off is therefore aims to place on the market low environmental impact LWS based on: simplified and standardized products; manufactured with a limited number of materials, substructures and installations; characterized by reversible connections.

Growing Green promotes activities in different EU countries aimed to encouraging and support the dissemination of LWS (identification of planning tools, retrofitting, public procurement, etc.).

3. ASSESSING THE ENVIRONMENTAL AND SOCIAL BENEFITS

In order to assess the LWS' sustainability becomes crucial taking into account the mentioned benefits and making a

⁴ GRE_EN_S, GREen ENvelope System was financed by the European Regional Development Fund POR-FESR 2007-2013.

⁵ Department of Agronomy and Selviculture of University of Turin, the Department of Architecture and Design (DAD) and the Department of Energy of Politecnico di Torino.

⁶ CEIT is a leader enterprise in lightweight building systems; 13 RICREA is a supplier expert in material recycling; SAFI-TECH is an enterprise specialised in fabrics and geo-textile manufacturing.

⁷ The market analysis was carried out with the support of Innovative Enterprise Incubator of Politecnico di Torino.

Table 1 - Features of GRE_EN_S

SIZE AND WEIGHT	
Standard size	50x50x3,5 cm
Average weight	18 kg/m ²
MATERIALS	
EXTERNAL CLADDING	
Layer of woven in viscose and 70% recycled polypropylene	
GROWING MEDIUM	
Felt-pad wastes, coconut peat, viscose	
FRAMEWORK FOR MODULAR BOXES ANCHORAGE	
Galvanized steel	
IRRIGATION SYSTEM	
Integrate	
ENVIRONMENTAL PERFORMANCES	
THERMAL PERFORMANCE (Lonicera)	
<i>Winter time</i> – The modular boxes concur in reducing U value	
<i>Summer time</i> – Reduction of heat flux troughs the vegetated façade and air conditioning energy saving	
ACOUSTIC PERFORMANCE (Lonicera)	
Sound absorption coefficient ($\alpha= 0.9$) at middle and high frequencies of the spectrum	
AIR QUALITY (Lonicera)	
Total VOC's dilution (indoor test)	
COSTS	
<i>Production costs:</i> reused and recycled materials; reduced raw materials acquisition costs.	
<i>Installation costs:</i> reduced installation costs due to building system developed (modular boxes easy to carry, to install, and disassemble).	
<i>Maintenance costs:</i> reduced maintenance costs due to low water requirements (2 l/h m ²); due to limited number of yearly containment pruning (pruning 2/year) for the monitored species (Lonicera, Bergenia, Heuchera).	

correlation among benefits and costs over the LWS' life cycle.

Nevertheless, for several benefits the data availability concerning the performances are still extremely fragmented.

The data deficiency make tricky the measurement of environmental performances as well as the measurement of those socials. Furthermore some constraints are ascribed to lack of harmonised methods and shared tools

Table 2 – GRE_EN_S and LWSs. Comparison among systems on the market

	GRE_EN_S	Similar LWSs available in the construction sector
Price	400 €/ m ²	750 €/ m ²
Thickness	3.5-10 cm	10-20 cm
Weight	18 kg/ m ²	> 50 kg/ m ²
Environmental performance	Thermal, acoustic, air quality monitored performances	–

allows to assess the performances themselves (Hui and Chung, 2015; Feng and Hewage, 2014).

The technology transfer carried out, within the research project GRE_EN_S, affected a cooperation programme between authors and the Growing Green. Some key activities were focused on analysing the described benefits in order to get a better performance of environmental impacts, paying particular attention on pollutants affecting the indoor air quality. Thus, monitoring surveys in test cell and in office rooms were undertaken. In the meantime, a revision process concerning the correlation between vegetation and well-being was carried out.

Particularly the study was aimed at developing both methods and tools. The following section deals with monitoring protocols and social sustainable indicators. On the whole, the set up of methods and tools can be assumed as an initial scientific reference enable to measure some benefits ascribed to LWSs. It makes a correlation among social, environmental and economic aspects and it partially overcomes the boundaries outlined in the paper.

3.1 Indoor air quality monitoring protocols

With regards to scientific studies carried out by NASA in the late '80s (Wolverton *et al.*, 1989) the-state-of-the-art emphasises the plants valuable contribution in terms of "air cleaning" in controlled rooms (Liua *et al.* 2007). Trough photosynthesis, plants enable the Carbon Dioxide (CO₂) absorption. Further most of them have a high potential dilution of VOCs⁸. VOCs are captured by foliage, channelled from stems to roots. Here a metabolic process

⁸ VOCs are organic chemicals that have a high vapor pressure at ordinary room temperature. VOCs concentration in an indoor environment during winter is from two up to five times higher than the VOCs concentrations during the summer. High indoor VOC levels are attributed to the low rates of air exchange between the indoor and outdoor environment as a result of tight-shut windows and the increasing use of humidifiers.

takes place from bacteria and enzymes. Thus VOCs are no longer dangerous.

The beneficial effects are remarkable. An improved indoor air quality plays a strategic role on occupants' health. It was demonstrated a reduction of headache and redness of the conjunctivae. It was also proved an enhancement concentration and an improvement of working performances (Fjeld, 2002; Bergs, 2002).

While a significant number of studies have taken place focused mostly on plants pot inside the building (Orwell *et al.*, 2006; Burchett *et al.*, 2010), few analyses have been brought noteworthy results concerning the LWSs indoor behavior (Hum e Lai, 2007).

One square meter of LWS is generally featured by a high number of plants and by high-density foliage. At the same time the growing medium – that replaces the soil – usually is poor in quantity as well as the bacteria on the roots. Finally, for a full VOCs dilution assessment it must consider the total amount of materials used for the LWS' implementation. Some of them can have absorption properties.

According to LWSs features, the methodological approach assumed for the assessment was based on the standards UNI EN ISO 16000. Such standards have been developed for building products and finish works. The standards do not consider the connection among "live" materials, such as vegetation, and "dead" materials. Thus, a couple of focused analysis tools were implemented in order to adapt the standard requirements to LWSs technology:

1. Test cell VOCs monitoring protocol (ProMo_TC).
 2. Sample room VOCs monitoring protocol (ProMo_IAQ).
- ProMo_TC (Test Cell Monitoring Protocol) - referred to UNI EN ISO 16000-10:2006⁹ - was divided into two parts.

The Part 1 set up: the monitoring specific goals; the rules related to UNI EN ISO 16000-10 to be considered in the monitoring; the terms and definitions to be used.

In the Part 2 monitoring is described with accuracy. Particularly the following information needed to be defined:

- Type and category of instruments and related equipment (VOCs sensor, data taker, test cell size and material, etc.).
- Environmental conditions (set point temperature $T = 23^{\circ}\text{C} \pm 2$; relative humidity of $50\% \pm 5$; 12 hours of artificial lighting; air velocity in a range between $0.003 \text{ m/s} - 0.3 \text{ m/s}$).
- Vegetation acclimation (7 day in test cell with controlled environmental conditions and growing medium saturated of water).

- Test method procedure split up in 5 phases. Phase 1 – quantify background VOCs concentrations from the empty emission test cell, before the start; phase 2 – contaminate the empty emission test cell with a VOC injection, in order to check the air exchange with external air (the test cell should be airtight with no losses); phase 3 – VOC removal; phase 4- insert the LWS' test specimen and quantify VOC concentrations; phase 5 - contaminate the emission test cell with a VOC injection and monitoring the removal by plants.

ProMo_IAQ (Indoor Air Quality Monitoring Protocol) is, instead, aimed at assessing the indoor air quality in sample rooms. The protocol assesses the dilution trend due to vegetation. Temperature, relative humidity, air velocity and air change ratio measurements are even included. Thus, correlations among environmental indoor conditions and thermal conditions are considered. The protocol relates to UNI EN ISO 16000-1:2006¹⁰ standard. It explains the following procedures:

- Data collection processes. They are about the building features in order to control potential pollutant sources (checking the outside and the inside conditions is required as well as the maintenance procedures and their frequency).
- Building audit techniques to be adopted before monitoring the sample room (checking of furniture, finishing, HVAC system and air changes).
- Sampling strategy for VOCs, in order to assess the VOCs concentration into the sample room and its variation following the insertion of a vegetated wall.

On the whole, both monitoring protocols were used to assess the GRE_EN_S potential VOCs dilution. The air samples were analyzed in a test cell (with a unit of 1 m^3 of air) and in a couple of same sized office rooms (surface = 18 m^2 ; volume = 50 m^3 ; glazed surface on north façade = 13 m^2 ; used by employers 8 hours a day; air-conditioned 8 hour day; air changes per hours = 20). Both in test cell and in office rooms the amount hours for monitoring ranged from 12 hours to 5 days. In test cell was monitored one square meter of vegetated panel while in the office rooms were used two square meters of vegetated panels (Fig. 2 - 3).

The monitoring was carried out with sensor aimed at assess the total VOCs in ppm. According to UNI EN ISO 16000 standards, the trend VOCs shows a general dilution due to vegetation even if the growing medium quantity does not exceed the 10 kg/m^2 . On the whole, foliage can be assumed effective for improve the indoor air quality.

At the same time, monitoring protocols show they are proper tools for further studies aimed at characterising the correlation between LWSs and VOCs dilution.

⁹ UNI EN ISO 16000-10:2006 - Part 10: Determination of the emission of volatile organic compounds from building products and furnishing -- Emission test cell method.

¹⁰ UNI EN ISO 16000-1:2006 - General aspects of sampling strategy.



Figure 2 - GRE_EN_S modular boxes during the monitoring in test cell



Figure 3 - GRE_EN_S modular boxes during the monitoring in office room

Based on results expected focused indicators could be developed consistently to available economic assessment methods.

The focused indicators encompass – for instance – the sanitary money saving used to treats the patients with respiratory diseases. This has a positive effect in terms of the health care expenditure. Thus, the focused indicators

help the externalities characterisation. Public bodies should consider such expected positive effect in public procurements.

3.2 Social sustainability indicators

The technologies related to the use of the vegetation are able to respond to a plurality of indicators, not only environmental, but also social.

The scientific literature shows as nature has therapeutic effects. There is considerable scientific evidence on health-related benefits got by hospitalized patients by simply looking gardens and plants. Those benefits are a combination of positive changes both physiological (for instance in blood pressure, hearth activity) and psychological/emotional (stress reduction, positive feelings). Furthermore, the clinical outcomes show that these patients have shorter recovery time and they suffered fewer complications. Overall costs healthcare saving are expected and often proved (Ulrich, 2008).

Others studies (Ulrich, 1981) suggest also that people generally prefer a view of natural settings rather than built environments (rooms, buildings, town), because it is significantly more effective in promoting recovery or restoration from stress. In the workplace, for instance, the nature experience improves employees' satisfaction, enthusiasm and concentration, it increases the ability to generate creative ideas, and it reduces frustration and absenteeism as well (Bringslimark *et al.*, 2009).

In relation to the above-mentioned aspects, the research carried out by the authors on LWSs led to the development of some indicators concerning the following benefits:

- Aesthetic and psychological. The psychological and aesthetic value of the LWSs is due to their greater visibility: this visual contact with vegetation provides human well-being and relaxation.
- Educational and cultural. The vertical greenery may promote the knowledge of botany and the natural sciences among the community; specific educational programs for students could be offered, for instance to learn about the seed-to-harvest cycle (e.g. vertical farm).
- Interaction and social cohesion. The LWSs may become collective spaces, based on volunteer work, and the offer to community members the chance to get in direct contact together. New networks and community-ties contribute to the physical and social regeneration of urban areas.
- Production and employment. The LWSs can contribute to local economic development, in terms both of agricultural production and in creation of new jobs.

The benefits are associated with one or more indicators. The following tables display some examples based respectively on: objective of the evaluation; methodology; indicators; proposals for their monetization (Tabb. 3-5).

Table 3 - Indicators related to the improvement of the psycho-emotional well-being in offices

AESTHETIC AND PSYCHOLOGICAL ASPECTS (offices)	
Objective	Evaluating the LWS impact on psycho-emotional well-being in offices. The evaluation takes into account the increasing of work-productivity and the absenteeism reduction.
Methodology	Elaboration of data from international scientific literature, related to the positive impact driven by LWSs on worker's satisfaction and well-being (improvement of concentration, problem solving attitude, etc.).
Indicator/s ¹¹	8% productivity increasing (if compared to a similar situation in absence of LWS). 5% absenteeism decrease (if compared to a similar situation in absence of LWS).
Monetization	A higher productivity means a smaller number of working hours required to achieve job goals. Similar considerations can be applied to absenteeism decreasing.

Table 4 - Indicators related to the food production and the urban agriculture

PRODUZIONE AGRICOLA	
Objective	Assessing the grow vegetables capacity on LWS. The evaluation takes into account: the production amount; the LWS area; the LWS orientation; the suggested type of crop.
Methodology	Data collection (from international scientific literature) on food production of extensive green roofs (roof thickness < 10 cm) and revision/adaptation for LWSs.
Indicator	Average food production per year (zero food miles): 1,35 kg/m ² year ¹²
Monetization	Every kilogram of product corresponds to a gain, given by the difference between the sale price and the production cost. The assessment may include the reduction of transport and the resulting energy and environmental cost-benefits.

¹¹ http://www.academia.edu/1326234/Living_Walls_and_Their_Potential_Contribution_to_Sustainable_Urbanism_in_Brisbane [febbraio 2016].

¹² <http://www.arccjournal.org/index.php/repository/article/view/358> [febbraio 2016].

Table 5 - Indicators related to the creation of new jobs

JOB CREATION	
Objective	Assessing the LWS annual maintenance requirement. The assessment takes into account the man hours needed annually to maintain a square meter of surface and the expected LWS' dissemination (the performance metric refers to square meters per capita (in Europe by 2030: 2,5 m ² per capita) ¹³ .
Methodology	Data processing from international scientific literature related to the LWSs diffusion and their growth prospectus. Market analysis on maintenance contracts.
Indicator	Yearly maintenance requirement: 1.3 h/m ² year ¹⁴ .
Monetization	The annual maintenance requirement can be converted into the number of people employed (creation of jobs).

The research, currently in progress, is a first contribution to a systemic assessment of LWS, which includes social benefits and it correlates them to economic aspects.

A discussion about the analysis carried out shows that data processing and indicators are influenced by on the analysis method adopted (LCA, CBA, etc.) (Hoogmartens *et al.*, 2014). Details relative to the 'monetization' should therefore be specified with appropriate calculation methods on a case-by-case basis, in close cooperation with experts of economic evaluation disciplines.

4. DEVELOPING TECHNICAL STANDARD FOR FOSTERING LWS DISSEMINATION

Many international policies and strategies support the installation of green roofs. Green roofs are commonly used because of their ecological benefits similar to those described for LWSs. Throughout Europe the green roof sector shows a great market potential¹⁵. In Italy in the last years, some municipalities (Firenze, Brescia, Carugate,

¹³ <http://urbangreeninfrastructure.org/downloads/efb-white-paper-market-report-2015/> [febbraio 2016].

¹⁴ Data from average hours needed for: pruning; replacement of plant species; dosages of fertilizers; settings and controls. The mentioned activities refer to a LWS with a medium maintenance requirement.

¹⁵ European Federation Green Roofs & Walls 2015 report: for every urban citizen within the Union there will be 5 m² of green roof or wall by 2030.

Genova) have introduced in their building codes some guidelines aiming at promoting the use of vegetation on buildings. However, such initiatives are just limited to few administrations.

In recent times, some European cities set up programs for boosting growth of LWSs based on public incentives. While in Italy, on the contrary, there are not policies or economic incentives to encourage vertical greening.

Regarding green roofs are available national harmonized standards¹⁶ and regulations, instead those concerning LWS are often missing with a patchwork of rules.

It is therefore required to provide tools that support the LWS implementation, starting from a shared national standard.

The next section shows a research project¹⁷ aimed at the definition of technical specifications for LWS.

4.1 From green roofs national standard to LWS national standard

In development of LWS standard described hereinafter, the national standard UNI 11235:2015 – that provides technical requirements regarding the design, construction and maintenance of green roofs – was assumed as main reference.

LWS and green roof are both building systems with many similarities as the benefits described in preview sections of the paper.

The new standard proposal highlights similarities and differences between LWS and green roofs in several stages: design, construction and maintenance. Furthermore introduces supplementary regulations and technical specifications concerning the LWSs features.

With reference to LWS typology, the proposal refers to following LWSs: 1) continuous; 2) modular; 3) light; 4) heavy. Thus all the possible technological solutions currently available on the market are included.

Furthermore, the standard proposal provides data about indoor and outdoor LWSs. It describes requirements and materials related to the design process (e.g. data concerning the framework for LWS anchorage, the growing medium, the vegetation, the irrigation system, etc.). Technological details for a proper LWS design are even encompassed (Fig. 4).

A detailed maintenance plan is part of the proposal. In particular, the proposal highlights the need to drawing up (by manufacturer) a use and maintenance guide, according to LWS typology. The proposal is aimed at maintaining the efficiency of LWSs over a long period.

¹⁶ The national standard UNI 11235:2015 provides technical requirements regarding the design, construction and maintenance of green roofs.

¹⁷ The research was carried out in cooperation among Politecnico di Torino, Growing Green srl and Alessandra Perone, Arch.

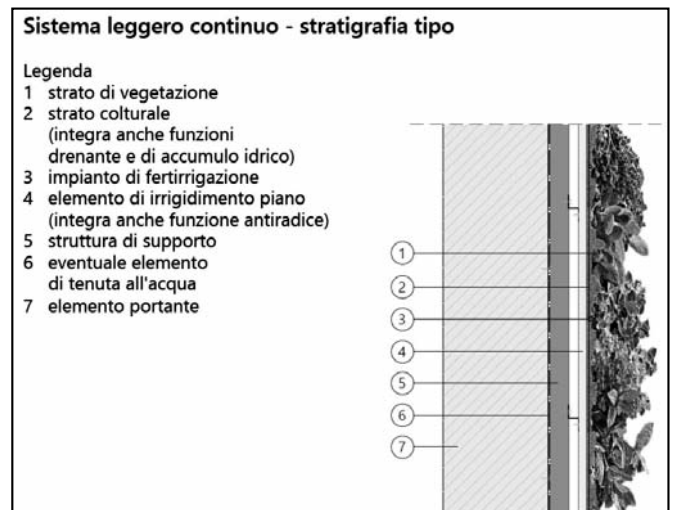


Figura 4 - Example of technological detail (courtesy of A. Perone)

The guide provides technical advices concerning: the frequency of maintenance; the maintenance of plant species (regular pruning, remove foliage wastes, etc.); the maintenance of the irrigation devices (check of nutrient levels, growing medium moisture content).

The proposal can be assumed as an important basis for a broader research activity in order to develop a new national technical standard to measure the LWSs performances.

Such technical standard may set up an operational guide for designers, manufacturers and installers, as well as a useful reference for the municipalities in order to include green products in public procurement.

5. CONCLUSIONS AND OUTLOOKS

Although widespread, the interest about vertical greening systems shared by stakeholders who play a role in the building process, the paper shows that such systems are relatively new with a reference market under development.

The main shortcoming for a broader diffusion can be ascribed to costs related to manufacturing and maintenance as well as to the lack of standard and economic incentives.

Despite the mentioned market barriers, the potential growth is remarkable and may be treated at what was occurred in the green roofs development.

Green roofs in most part of European countries have become a common building system. Green roofs are used both in new buildings and in refurbishments. Such versatility can be traced to advanced systems available, characterized by lightweight and low thickness and to a progressive costs reduction. Furthermore, nowadays in several countries are available technical standards helpful

in public procurements. Initial costs mitigation should be matched to standards and rule to boosting the LWSs.

The results described can be assumed a preparatory stage for a forthcoming LWSs wider dissemination on the construction sector.

To summarize the first part of the paper pointed out how the LWS implementation is an outcome of a composite and interdisciplinary design activity focused to better management of production and maintenance stages. It is also required to work consistently to a concurrent engineering approach in order to maximise the competitiveness and reliability. Such approach means to placing on the market building systems enable to reduce the energy supply and the amount of materials with a resulting costs reductions. Similarly, a reverse assembling procedure in the construction stage means a costs cutback for maintaining and replacing.

Likewise to what took place in the implementation and dissemination of green roofs, the LWS' enterprises are engaged in promoting interdisciplinary cooperation processes with research organisations by involving agronomical sciences and architectural technology.

It is in progress an evolution. The LWSs are sensed further and further as a proper technological solution enables to improve the building envelope performances. A similar evolution process was occurred to other systems and equipment, such as photovoltaic panels.

Furthermore, the paper highlighted the incidence of externalities along with direct costs. Externalities can be assessed in economic gains, esteemed through well-being and comfort indicators.

Several corporations (e.g. the Microsoft® headquarter in Washington) made an extensive use of vegetation as factor suitable to increasing the occupants' well-being and

as consequence to reducing the absenteeism ascribed to a work-environment unhealthy. A whole productivity improvement is also associated.

In the meanwhile, some "enlightened" cities and towns (e.g. London) invested broadly on LWSs as technological solutions in order to improve the so-called men-made environment. These municipalities are aware that healthcare costs can be streamlined by proper policies, the main aim of which is protecting people from dangerous or unsafe exposure in the cities "hot spots".

The economic aspects – related to environmental benefits – of such policies require suitable indicators to be assessed. In other words, it is necessary to set-up, according to methods available, how to assess the economies and the diseconomies of scale related to a building where a LWS was used.

Finally, the paper highlights the key role that might play a technical standard focused on LWSs.

A reference standard could lead to a wider recognition in public/private partnerships. Thus LWSs could be considered as usual building systems (walls or partitioning). Particularly LWSs needed to be recognized as energy efficiency and environmentally friendly technological systems. Such connotation would result an improvement in market access and tax benefits depreciable over a defined period.

In conclusion, it is predictable that the entry-barriers and the constraints described in the article in not more than a decade will be tackled by a combined work encompassing building rules, economic incentives and public/private awareness. Thus they will be finally overcome.

The nature expresses itself through LWSs. Let us close by quoting Pierre Auguste Renoir: "Vous arrivez devant la nature avec des théories, la nature flanque tout par terre". It is probable that many benefits remain to be discovered.

* Roberto Giordano, Elena Montacchini, Silvia Tedesco, Dipartimento di Architettura e Design, Politecnico di Torino.
e.mail: roberto.giordano@polito.it, elena.montacchini@polito.it, silvia.tedesco77@gmail.com

References

AZKORRA Z., et al., *Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system for buildings*, Applied Acoustics, n. 89, 2015, pp. 46-56.

BERGS J., *Effect of healthy workplaces on well-being and productivity of office workers*, Proceedings of International Plants for People Symposium, Floriade, Amsterdam (NL), 2002.

BRINGSLIMARK, T., HARTIG, T., PATIL, G.G., *Psychological benefits of indoor plants in workplaces: putting experimental results into context*, HortScience, 2009, Vol. 42, pp. 581-587.

BURCHETT M., et al., *Greening the Great Indoors for Human Health and Wellbeing*, Final Report to Horticulture Australia Ltd, 2010 (scaricabile dal sito internet: http://www.ngia.com.au/Story?Action=View&Story_id=1897, consultato on line il 15 febbraio 2016).

com.au/Story?Action=View&Story_id=1897, consultato on line il 15 febbraio 2016).

CANDELARI E., et al., *Vertical Greening Systems and Urban Heat Island related aspects: outcomes of a research project*, Proceeding of the 3rd International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island, Venezia (I), 2014.

FENG H.B., HEWAGE K., *Lifecycle assessment of living walls: air purification and energy performance*, Journal of Cleaner Production, Vol. 69, 2014, pp.91-99.

FJELD T., *The effects of plants and artificial daylight on the well-being and health of office workers, school children and health-care personnel*, Proceedings of International Plants for People Symposium, Floriade, Amsterdam (NL); 2002.

- FREGONARA E., *Valutazione sostenibilità progetto. Life cycle thinking e indirizzi internazionali*, Franco Angeli, Milano, 2015.
- GIORDANO R., MONTACCHINI E., TEDESCO S., *Life Cycle Approach to design, manufacturing and assessing a Living Wall System*, *Techne*, n. 5, 2013, pp. 184-190.
- GIORDANO R., MONTACCHINI E., TEDESCO S., *Eco-innovation based on Quick-Life Cycle Assessment in designing and manufacturing a Living Wall System*, Proceedings of the World Sustainable Building Conference SB14, October 2014, Barcelona.
- HOOGMARTENS R., et al., *Bridging the gap between LCA, LCC and CBA as sustainability assessment tools*, *Environmental Impact Assessment Review*, n. 48, 2014, pp. 27-33.
- HUM R., LAI P., *Assessment of Biowalls: an overview of plant and microbial-based indoor air purification system*, 2007 (scaricabile dal sito: <http://www.queensu.ca/sustainability/sites/webpublish.queensu.ca.suswww/files/files/biowalls.pdf>, consultato on line il 15 febbraio 2016).
- LIUA Y., et al., *Which ornamental plant species effectively remove benzene from indoor air?*, *Atmospheric Environment*, Vol. 41, 2007, pp. 650-654.
- MANSO M., CASTRO-GOMES J., *Green wall systems: a review of their characteristics*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n. 41, 2015, pp. 863-871.
- MIR M.A., *Green Facades and Building Structures*, Master Thesis, Faculty of Civil Engineering, Delft University of Technology, Delft (NL), 2011 (scaricabile dal sito internet: <http://repository.tudelft.nl/view/ir/uuid%3Af262c218-8801-4425-818f-08726dde5a6c/>, consultato on line il 15 febbraio 2016).
- ORWELL R., et al., *The potted-plant microcosm substantially reduces indoor air VOC pollution: II. Laboratory study*, *Water, Air and Soil Pollution*, Vol.177, 2006, pp. 59-80.
- OTTELÉ M., et al., "Life cycle assessment (LCA) of green façades and living wall systems", in Pacheco-torgal F., et al., *Eco-efficient Construction and Building Materials*, Woodhead Publishing, Cambridge (UK), 2014, pp. 457-483.
- PATRIZI N., et al., *Analisi del ciclo di vita di un sistema di giardino verticale*, Atti del VI Convegno della Rete Italiana LCA, Bari (I), 2012.
- PEREZ G., et al., *Vertical Greenery Systems (VGS) for energy saving in buildings: a review*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n. 39, 2014, pp. 139-165.
- RAJI B., et al., *The impact of greening systems on building energy performance: A literature review*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n. 45, 2015, pp. 610-623.
- ROSASCO P., PERINI K., *Verifica di sostenibilità economica per sistemi di facciate verdi*, *Valori e Valutazioni*, n. 13, 2014, pp. 67-93.
- SAM C.M., et al., *Study of embodied energy and carbon for indoor living walls*, Proceedings of the 13th Asia Pacific Conference on the Built Environment, Hong Kong, 2015.
- ULRICH R.S., et al., *A review of the research literature on evidence-based healthcare design*, *Health Environments Research & Design*, Vol.1, 2008, pp. 61-125.
- ULRICH R.S., *Natural versus urban scenes: Some psychophysiological effects*, *Environment and Behavior*, n. 13, 1981, pp. 523-556.
- WEINMASTER M., *Are green walls as "green" as they look? An Introduction to the various technologies and ecological benefits of green walls*, *Journal of Green Building*, Vol. 4, n. 4, 2009, pp. 3-18.
- WOLVERTON, B.C., DOUGLAS, W. L., BOUNDS, K., *A study of interior landscape plants for indoor air pollution abatement*, NASA techdocs, 1989.