

C.A. CAMPIOTTI, P. DE ROSSI, L. GATTI,
G. GIAGNACOVO, A. LATINI, S. MARIANI,
M. SPERANDEI

Dipartimento Unità per l'Efficienza Energetica
Laboratorio SIST-NORD
Centro Ricerche Casaccia

S. PACE

Dipartimento Unità per l'Efficienza Energetica
Laboratorio SIST-NORD
Centro Ricerche Portici

A. CAMPIOTTI

Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali
Tesiista
Centro Ricerche Casaccia

R. DI BONITO, A. MARONE

Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili
Laboratorio BBC-PBE
Centro Ricerche Casaccia

C. BIBBIANI

Dipartimento di Scienze Veterinarie
Università di Pisa

I. BLANCO

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Biologiche ed Ambientali
Università del Salento (Lecce)

L. CONSORTI

Centro Interuniversitario di Ricerca per lo Sviluppo Sostenibile
Università di Roma "La Sapienza"

F. FANTOZZI, C. GARGARI

Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi,
del Territorio e delle Costruzioni
Università di Pisa

R. MULEO

Dipartimento di Scienze Agrarie e Forestali
Università della Tuscia (Viterbo)

E. SCHETTINI, F. CONVERTINO, G. VOX

Dipartimento di Scienze Agro Ambientali e Territoriali
Università degli Studi di Bari Aldo Moro

GLI ECOSISTEMI VEGETALI PER LA RIGENERAZIONE ECOLOGICA DELLE CITTÀ

RT/2021/13/ENEA



AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

GLI ECOSISTEMI VEGETALI PER LA RIGENERAZIONE ECOLOGICA DELLE CITTÀ

a cura del laboratorio DUEE-SIST-NORD

Ricerca finanziata dall'Accordo di Programma MiSE-ENEA
"Ricerca di Sistema Elettrico" (RdS)

I rapporti tecnici sono scaricabili in formato pdf dal sito web ENEA alla pagina www.enea.it

I contenuti tecnico-scientifici dei rapporti tecnici dell'ENEA rispecchiano
l'opinione degli autori e non necessariamente quella dell'Agenzia

The technical and scientific contents of these reports express the opinion
of the authors but not necessarily the opinion of ENEA.

GLI ECOSISTEMI VEGETALI PER LA RIGENERAZIONE ECOLOGICA DELLE CITTÀ

C.A. Campiotti, P. De Rossi, L. Gatti, G. Giagnacovo, A. Latini, S. Mariani, M. Sperandei, S. Pace, A. Campiotti, R. Di Bonito, A. Marone, C. Bibbiani, I. Blanco, L. Consorti, F. Fantozzi, C. Gargari, R. Muleo, E. Schettini, F. Convertino, G. Vox

Riassunto

Il Rapporto Tecnico riporta alcuni risultati dell'attività di ricerca, sulla tematica "Sistemi verdi per la rigenerazione ecologica delle città", condotta dal gruppo afferente al Laboratorio DUEE-SIST-NORD nell'ambito del Programma italiano "Ricerca di Sistema Elettrico" (RdS). La sperimentazione si è svolta principalmente sull'edificio F92 denominato "Scuola delle Energie" presso il CR ENEA Casaccia, nel quale sono stati implementati dei prototipi di "sistemi verdi" quali tetto, parete e serra bioclimatica "verdi". Il Rapporto Tecnico è strutturato nelle due seguenti parti.

Nella prima parte, viene trattato il contributo del verde per l'efficientamento energetico degli edifici. Sono inclusi un capitolo sulla metodologia dell'analisi del ciclo di vita (LCA) orientata all'aumento della sostenibilità ambientale attraverso tali infrastrutture verdi in città; un capitolo sulle tecniche di Remote Sensing & Geographic Information System (GIS) per valutarne l'efficienza ambientale, ed un capitolo sugli strumenti normativi cogenti e volontari per la loro implementazione a livello nazionale ed Europeo.

Nella seconda parte, vengono trattati alcuni tra i più importanti benefici per l'ambiente, e quindi per la società, riconosciuti ai sistemi verdi in città, dovuti alle proprietà fisiologiche delle piante. Nei diversi capitoli vengono argomentati i numerosi servizi ecosistemici (SE), incluse le potenzialità di tali sistemi di mitigare l'effetto isola di calore in città, migliorando il clima locale, e di attenuare l'inquinamento dell'aria ambiente, migliorando la qualità dell'aria che si respira in città. Si sottolinea anche il ruolo del verde nella connessione ecologica tra le aree naturali volte a garantire la conservazione della biodiversità.

Parole chiave: Sistemi verdi, tetto verde, parete verde, efficienza energetica, mitigazione del cambiamento climatico, rigenerazione ecologica, biodiversità.

Abstract

The Technical Report reports some results of the research activity, on "greenery systems for the urban ecological regeneration", carried out by the DUEE-SIST-NORD Laboratory group within the Italian Program "Electric System Research" (RdS). The experimentation took place mainly on the so-called "School of Energy" F92 building, at ENEA Casaccia RC, where of "green systems" prototypes for a green roof, wall and bioclimatic greenhouse have been implemented. This Technical Report is structured into two sections.

In the first section, the contribution of greenery to the increase of energy efficiency in buildings is discussed. A chapter on the life cycle analysis (LCA) methodology, aimed at increasing environmental sustainability through green infrastructures in the city, and a chapter on Remote Sensing & Geographic Information System (GIS) techniques, for assessing their environmental efficiency, have been included here. Furthermore, a chapter is dedicated to the existing regulatory tools, either mandatory as voluntary, which sustain the implementation of these plant systems in cities at both the national and the European levels.

In the second section, some of the most important benefits provided by the green systems in cities to the environment and to the people are discussed. In the various chapters, the numerous ecosystem services (ES) are discussed, including the potential of these green systems to mitigate the urban heat island effect thus improving the local climate, and to mitigate ambient air pollution thus improving the air quality in cities. In addition, the key role played by urban greenery systems in the ecological connections among natural areas for ensuring the conservation of biodiversity is also emphasized.

Keywords: Building green infrastructures, green roof, green wall, energy efficiency, climate change mitigation, ecological regeneration, biodiversity.

PREFAZIONE

Il Sesto Rapporto IPCC ha messo in evidenza che l'aumento della temperatura dell'aria di soli 0,9°C, registrato a partire dalla rivoluzione industriale, è all'origine dei cambiamenti climatici che, a livello mondiale, stanno mettendo a rischio la vita dei cittadini in termini di infrastrutture, alloggi, servizi sanitari, lavoro e salute. Soprattutto nelle città, dove le stime riportano che entro il 2050 vivrà l'80% della popolazione, l'aumento dell'anidride carbonica (CO₂) viene ritenuto tra i principali responsabili alla base del cambiamento climatico. Da qui la necessità di inserire le città tra i luoghi dove avviare prioritariamente iniziative e interventi per contrastare gli impatti negativi del riscaldamento globale (isole e ondate di calore sempre più frequenti nei mesi estivi, eccesso di consumi di energia fossile, inquinamento, perdita di biodiversità. Secondo studi della Commissione Europea, l'energia elettrica per la climatizzazione estiva, nelle diverse tipologie di edifici (pubblici, residenziali e commerciali), rappresenta ormai non meno del 30% dei consumi complessivi e le previsioni mostrano una tendenza in crescita. Nel 2013, la Commissione europea ha pubblicato la "Strategia per le infrastrutture verdi, Capitale naturale dell'Europa" per sostenere azioni di sviluppo, ricerca e innovazione mirate alla realizzazione di sistemi di "rinaturazione" delle aree urbane. Tra le possibili soluzioni naturali, l'impiego della vegetazione sugli edifici risulta particolarmente efficace per contrastare il riscaldamento globale e le emissioni di anidride carbonica (CO₂). Le piante, mediante la traspirazione consumano energia sotto forma di calore latente per effettuare i cambiamenti di fase da acqua a vapore acqueo per mantenere una temperatura fogliare adatta ai processi metabolici mentre con la fotosintesi sequestrano la CO₂ atmosferica e quindi favoriscono la decarbonizzazione delle città. In ultima analisi, gli edifici dotati di vegetazione riducono la domanda di energia elettrica per la climatizzazione estiva, favoriscono il sequestro di inquinanti dall'atmosfera, attenuano il rumore negli edifici e allo stesso tempo aumentano la biodiversità urbana. Il presente rapporto illustra l'attività di ricerca che il Laboratorio Regioni Area Settentrionale del Dipartimento Unità per l'Efficienza Energetica, in collaborazione con le Università di Pisa, Bari e Viterbo, ha sviluppato a partire dal 2015, nell'ambito del programma Ricerca di Sistema elettrico finanziato dal Ministero dello Sviluppo Economico, per valorizzare l'impiego del verde parietale e dei tetti verdi sugli edifici come elementi innovativi per migliorare la sostenibilità energetica ed ambientale del settore edile.

Carlo Alberto Campiotti

ENEA - DUEE SIST NORD

INDICE

Parte I - ECOSISTEMI VEGETALI: EFFICIENZA ENERGETICA, LCA, TECNICHE DI REMOTE SENSING & GIS, NORMATIVA	7
1 IL VERDE PER LA SOSTENIBILITÀ ENERGETICA E AMBIENTALE DEGLI EDIFICI (a cura di <i>Carlo Alberto Campiotti, Alessandro Campiotti, Luciano Consorti, Patrizia De Rossi, Lorenzo Gatti, Maria Sperandei, Germina Giagnacovo, Arianna Latini</i>)	8
1.1 Scambi energetici tra l'edificio e l'ambiente	8
1.2 Prototipo di tetto verde, caso studio ENEA	15
1.3 Prototipo di verde parietale, caso studio ENEA	20
2 EFFETTI DELLE PARETI VERDI SUL REGIME TERMICO DELL'INVOLUCRO DELL'EDIFICIO (a cura di <i>Evelia Schettini, Fabiana Convertino, Ileana Blanco, Giuliano Vox</i>)	26
2.1 Realizzazione di un prototipo di edificio con parete verde a microclima controllato presso il campo sperimentale dell'Università di Bari	36
2.2 Principali effetti rilevati della facciata verde	46
3 LCA PER SISTEMI VEGETALI QUALI COMPONENTI EDILIZI (a cura di <i>Caterina Gargari, Fabio Fantozzi, Carlo Bibbiani</i>)	58
3.1 Uno sguardo alla ricerca sugli elementi verdi	58
3.2 La sostenibilità degli elementi verdi in edilizia	60
3.3 LCA applicata ai tetti verdi	63
3.4 Il metodo	64
3.1 I risultati delle valutazioni di impatto per le sei tipologie di copertura a verde	66
3.1.1 COPERTURA A VERDE ESTENSIVO - TIPO A.....	66
3.1.2 COPERTURA A VERDE ESTENSIVO - TIPO B.....	70
3.1.3 COPERTURA A VERDE INTENSIVO - TIPO C.....	72
3.1.4 COPERTURA A VERDE INTENSIVO - TIPO D ed E.....	75
3.1.5 COPERTURA A VERDE INTENSIVO - TIPO F	77
3.1.6 COPERTURA A VERDE ESTENSIVO - TIPO G	80
3.2 Analisi dei Medium a confronto	82
4 VALUTAZIONE DELL'EFFICIENZA AMBIENTALE DI INFRASTRUTTURE VERDI ATTRAVERSO TECNICHE DI REMOTE SENSING & GIS (a cura di <i>Stefania Pace</i>)	92
4.1 Principi di Telerilevamento Termico	94
4.2 Il concetto di temperatura radiometrica, emissività, LST (Land Surface Temperature)	95
4.3 Dati satellitari disponibili	96
4.4 Calcolo della Land Surface Temperature	102
4.5 Softwares per l'elaborazione delle immagini	106
5 LA LEGISLAZIONE SUL VERDE: INDAGINE A LIVELLO UE E NAZIONALE (a cura di <i>Patrizia De Rossi, Susanna Mariani, Lorenzo Gatti, Alessandro Campiotti, Luciano Consorti, Carlo Alberto Campiotti</i>).....	110

5.1	Indagine a livello UE.....	110
5.2	Indagine a livello nazionale.....	112
5.3	Gli incentivi fiscali	116
6	SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE DEGLI EDIFICI: CERTIFICAZIONE VOLONTARIA E INDICI DI VALUTAZIONE (a cura di <i>Patrizia De Rossi, Alessandro Campiotti, Luciano Consorti</i>).....	123
6.1	Le certificazioni	123
6.1.1	BREEAM.....	124
6.1.2	LEED.....	125
6.1.3	GREEN BUILDING COUNCIL (GBC) ITALIA.....	126
6.2	Indici per valutare la riduzione dell’impatto edilizio.....	127
6.2.1	PROTOCOLLO ITACA	127
6.2.2	INDICE R.I.E.	127
	Parte II - ECOSISTEMI VEGETALI: BIODIVERSITÀ E MITIGAZIONE AMBIENTALE DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI	129
7	II VERDE PENSILE E LA RIGENERAZIONE ECOLOGICA PER LA SALVAGUARDIA DELLA BIODIVERSITÀ IN AMBIENTE URBANO (a cura di <i>Antonella Marone</i>).....	130
7.1	Ripristino della connettività ecologica.....	131
7.2	Riduzione/compensazione della perdita degli habitat	134
7.3	Aumento della biodiversità	138
7.4	Verde pensile come strumento per la “rigenerazione” ecologica in ambiente urbano	143
8	QUALI PIANTE PER UN TETTO VERDE MEDITERRANEO? I SUGGERIMENTI DELLA RICERCA (a cura di <i>Rita Di Bonito</i>).....	148
8.1	Caratteristiche del substrato del tetto verde	148
8.2	Il valore ecologico del tetto verde	150
8.3	Le sperimentazioni in ambiente Mediterraneo	152
9	PIANTE SPONTANEE SUI TETTI VERDI PER EFFICIENTAMENTO ENERGETICO DEGLI EDIFICI CON SALVAGUARDIA DELLA NOSTRA BIODIVERSITA’ DI FLORA E FAUNA (a cura di <i>Susanna Mariani, Arianna Latini, Lorenzo Gatti, Patrizia De Rossi</i>).....	162
9.1	Favorire la biodiversità e la salvaguardia degli impollinatori tramite i tetti verdi in città.....	162
9.2	Caso studio ENEA	164
9.2.1	IDENTIFICAZIONE DI SPECIE ADATTE AI TETTI VERDI PER LA SALVAGUARDIA DEGLI IMPOLLINATORI	164
9.2.2	ANALISI COMPARATIVA DELLE DUE SPECIE DI ECHIUM SUL TETTO VERDE ENEA.....	168
9.2.3	VANTAGGIO DELLE FORME ANNUALI NELL’AFFRONTARE LE AVVERSITÀ DELLA STAGIONE ESTIVA.....	171

9.2.4	RUOLO DELLA MANUTENZIONE DEL VERDE TRAMITE SFALCIO NEL DECLINO DI BIODIVERSITÀ	173
9.2.5	PROTEZIONE DELLA BIODIVERSITÀ VEGETALE E SALVAGUARDIA DELLE API.....	174
9.2.6	L'OPZIONE PER UN TETTO VERDE SPONTANEO E SECCO.....	175
10	ARCHITETTURA VERDE COME STRATEGIA DI MITIGAZIONE/ADATTAMENTO DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO: ATTIVITÀ SULLA CONCENTRAZIONE DI CO₂ ATMOSFERICA (a cura di <i>Maria Sperandei, Arianna Latini, Patrizia De Rossi, Lorenzo Gatti, Rosario Muleo</i>)	178
10.1	Criteri per la scelta di specie vegetali idonee al sequestro di carbonio	179
10.2	Caso studio ENEA nel C.R. Casaccia: CO₂ assorbita dalle essenze vegetali.....	184
11	BILANCIO IDROLOGICO DEL SISTEMA CONTINUO SUOLO-PIANTA-ARIA E L'EFFETTO DELL'EVAPOTRASPIRAZIONE DELLE PIANTE SUL RAFFRESCAMENTO DELLE CITTÀ (a cura di <i>Arianna Latini, Patrizia De Rossi, Susanna Mariani, Lorenzo Gatti, Germina Giagnacovo</i>).....	191
11.1	Il “continuum” suolo-pianta-aria	191
11.2	L'evapotraspirazione delle piante.....	192
11.3	Raffrescamento per evapotraspirazione tramite i tetti verdi	193
11.4	Metodi di misura per l'evapotraspirazione.....	196
11.4.1	LISIMETRO	196
11.4.2	METODI EMPIRICI PER LA STIMA DELL'ET.....	198
11.5	Caso studio ENEA nel CR Casaccia: capacità evapotraspirativa delle essenze vegetali.....	201
12	ALBEDO DELLE SUPERFICI VEGETALI E BENEFICI DELL'INVERDIMENTO URBANO NELLA RIDUZIONE DELL'ISOLA DI CALORE NELLE CITTÀ (a cura di <i>Arianna Latini, Lorenzo Gatti, Germina Giagnacovo, Rosario Muleo, Patrizia De Rossi</i>)	207
12.1	La proprietà dell'albedo delle superfici.....	207
12.2	Caso studio ENEA nel CR Casaccia: sperimentazione sull'albedo	212
12.3	Miglioramento genetico delle piante per fronteggiare la siccità	220

