PATROCINIO
Comune di Milano

Regione Lombardia
Cluster Tecnologici Lombardi

REALIZZATO CON IL SOSTEGNO DI
UNIONE EUROPEA
Fondo europeo di sviluppo regionale
Regione Lombardia
fesr
POR FESR 2014-2020 / INNOVAZIONE E COMPETITIVITÀ

LE2C

LOMBARDY ENERGY CLEANTECH CLUSTER

TETTI VERDI:

Aspetti energetici, ambientali, tecnologici e di mercato per la sostenibilità climatica

L'azione del Cluster lombardo per l'energia e l'ambiente nell'integrazione tra imprese, ricerca e territorio

Il contributo della ricerca nella progettazione termo-energetica dei tetti verdi in ottica ZEB

Relatore: Ing. Benedetta BAROZZI ed Ing. Alice BELLAZZI
Milano, 25 Gennaio 2018

Programma di ricerca: antefatto storico

ACCORDO QUADRO CNR – REGIONE LOMBARDIA (2008-2013)

“Nuove tecnologie e strumenti per l’efficienza energetica e l’utilizzo delle fonti rinnovabili negli usi finali”

Area 1 – Nuovi Materiali

WP1 Sviluppo di soluzioni tecnologiche e costruttive che utilizzano materiali innovativi

A1.3 Studio e caratterizzazione termica del sistema di chiusura orizzontale superiore <tetto giardino> finalizzata alla definizione di linee guida pre-normative e di strumento di calcolo a supporto della progettazione

Programma di ricerca: antefatto storico

ACCORDO QUADRO CNR – REGIONE LOMBARDIA (2013-2015)

“Progetto INTEGRATE “INnovazioni TEcnologiche per una Gestione RAzionale del Tessuto Edilizio”

✓ ***AREA 1: Processi di monitoraggio del territorio***

WP 1.1: Processi di monitoraggio delle variabili ambientali in aree metropolitane (ITC)

WP 1.2: Monitoraggio isole di calore (ITC - IRSA)

✓ ***AREA 2: Sistemi di efficientamento energetico - ambientale***

WP 2.1: Soluzioni per la riduzione delle isole di calore (ITC)

Programma di ricerca: in corso

ACCORDO QUADRO CNR – REGIONE LOMBARDIA (2016-2018)

Progetto I-ZEB: "Verso Edifici Intelligenti a Energia Zero per la crescita della città intelligente"

"

✓ ***OR1: Efficientamento energetico, ambientale e sismico di costruzioni intelligenti***

A 1.2 Studio, caratterizzazione e simulazione di soluzioni tecnologiche per la massimizzazione delle prestazioni energetico-ambientali dell'involucro edilizio

- Ricerca bibliografica relativa al riutilizzo delle acque meteoriche percolanti dai tetti verdi in termini di quantità e qualità della risorsa idrica nell'economia globale degli edifici

Programma di ricerca: in corso

ACCORDO QUADRO CNR – REGIONE LOMBARDIA (2016-2018)

Progetto I-ZEB: "Verso Edifici Intelligenti a Energia Zero per la crescita della città intelligente"

✓ ***OR3: Modelli e dispositivi di controllo, monitoraggio e sicurezza dell'edificio e delle reti tecnologiche***

A 3.2 Sistemi per l'ottimizzazione delle risorse idriche dell'edificio

- Studio e sperimentazione di diverse configurazioni di "tetti verdi" al fine di valutare quali-quantitativamente le acque da essi defluite.
  - riduzione del runoff e capacità di ritardare il picco di runoff di acque meteoriche
  - analisi delle caratteristiche fisico-chimiche delle acque di runoff ai fini di un riutilizzo nell'ambito dell'edificio.
- Identificazione della configurazione che massimizza la capacità di ritenzione del tetto verde

Attività di laboratorio – Caratterizzazione termica: antefatto

Recente riconoscimento della tecnologia del verde pensile a livello normativo italiano

- UNI 11235:2007 “La progettazione, l’esecuzione, il controllo e la manutenzione delle coperture a verde pensile” →
  - Riferimento tecnico italiano per la realizzazione di tetti.
  - Manuale di buona pratica.
- DPR 59/09 →
  - Riconoscimento come mezzo di riduzione in grado di produrre risparmio energetico grazie alla riduzione di escursioni termiche
  - Proposte detrazioni fiscali
- Regolamenti comunali →
  - Comune di Bolzano indice RIE
  - Consigliato o imposto da diversi Comuni

Attività di laboratorio – Caratterizzazione termica: antefatto

Assenza di una procedura di calcolo prestazionale

- Difficoltà nel disporre di dati di conducibilità termica di substrati per verde pensile
- Assenza di una procedura di prova standardizzata per la misura della conducibilità termica

- Impossibile per il progettista eseguire un calcolo di resistenza e trasmittanza termica
- Non valutabile come pacchetto tecnologico di isolamento in copertura

→

- Mancata considerazione di tali voci nelle valutazioni progettuali
- Approccio al verde pensile come sistema di 'finitura'
- Scarsa diffusione e non utilizzo delle coperture verdi

- UNI 11235:2007 "La progettazione, l'esecuzione, il controllo e la manutenzione delle coperture a verde pensile"

→

- Istruzioni per la progettazione
- Schemi funzionali e classificazione
- Documenti di progetto
- Materiali e componenti
- Esecuzione ed installazione
- Collaudi
- Manutenzione

Attività di laboratorio – Caratterizzazione termica: antefatto

- UNI 11235:2007

5.5.3 Progettazione dello strato termoisolante

La progettazione dello strato termoisolante non è trattata nel presente documento in quanto esistono normative specifiche.

Si indicano, tuttavia, come elementi importanti per la progettazione, nell'ambito delle coperture a verde:

- la necessità di individuare in maniera corretta il carico permanente dovuto alla copertura a verde, agente sullo strato termoisolante, al fine di tenere conto delle deformazioni dello stesso e la riduzione del suo spessore con la conseguente diminuzione della resistenza termica;
- la possibilità, sempre a favore di sicurezza, di non considerare nel dimensionamento la temperatura dell'ambiente esterno, ma di considerare, se lo spessore dello strato colturale è maggiore o uguale a 15 cm, la valutazione del comportamento inerziale complessivo in funzione della massa dello strato colturale presente. Se lo spessore fosse inferiore, devono essere considerate le temperature di progetto proprie del contesto;
- la necessità di considerare l'azione di microrganismi o radici, se lo strato di isolamento termico fosse esposto ad essi;
- nel caso in cui la copertura sia di tipo rovescio occorre garantire un'idonea permeabilità al vapore tra lo strato termoisolante e gli elementi della stratificazione a verde.

  Lo strato di separazione tra lo strato termoisolante e la stratificazione a verde superiore può essere costituito:

  - da membrane traspiranti o idrorepellenti e traspiranti (deve essere evitato l'impiego di materiali impermeabili al vapore);
  - gli strati di separazione, come geotessili, che presentino capacità di accumulo idrico, non si possono utilizzare.

Attività di laboratorio – Caratterizzazione termica: prima fase di ricerca

Analisi delle potenzialità dei tetti giardino: valutazioni di carattere energetico (calcolo della resistenza termica dei pacchetti)

✓ **Fase preparatoria di studio:**

- Valutazione della normativa vigente: possibile adattamento a prove sui substrati
- Possibilità di utilizzo delle strumentazioni di laboratorio per l'esecuzione di test termici:
  - Realizzazione di provini utilizzabili
  - Contenimento dei campioni di substrato
  - Compattazione del campione

✓ **Avvio di campagna sperimentale di laboratorio**:

- Misure di conduttività termica dei prodotti in diverse configurazioni:
  - Spessori
  - Livelli di umidità
- Calcolo di Resistenza Termica al variare dello spessore
- Curve di prestazione

✓ **Realizzazione di una metodologia di calcolo di resistenza termica del pacchetto**

Attività di laboratorio – Caratterizzazione termica: prima fase di ricerca

Normativa tecnica per prove di laboratorio

- **ISO 8301** Metodo dei termoflussimetri
- **ISO 8302** Metodo di misura della “piastra calda con anello di guardia”

- **UNI EN ISO 12667** Utilizzata per la determinazione della resistenza termica e della conduttività termica con il metodo della piastra calda con anello di guardia e con il metodo dei termoflussimetri di prodotti e materiali da costruzione di **alta e media resistenza termica** (ad esempio materiali isolanti come polistirene, poliuretano, ecc. fino a 10 cm circa).

- **UNI EN ISO 12939** Utilizzata per la determinazione della resistenza termica e della conduttività termica con il metodo della piastra calda con anello di guardia e con il metodo dei termoflussimetri di prodotti e materiali da costruzione con **spessore maggiore di 10 cm di alta e media resistenza termica.**

- **UNI EN ISO 12664** Utilizzata per la determinazione della resistenza termica e della conduttività termica con il metodo della piastra calda con anello di guardia di prodotti e materiali da costruzione **asciutti ed umidi di bassa e media resistenza termica (es. intonaci).**

Attività di laboratorio – Caratterizzazione termica: prima fase di ricerca

- Test di laboratorio col metodo dei termoflussimetri su 8 tipologie di substrato
  - 4 di verde estensivo
  - 4 di verde intensivo

- Definizione delle caratteristiche dei campioni (spessori e grado di imbibizione) su cui svolgere le prove di caratterizzazione termica con il metodo del termoflussimetro
  - test termici a secco su 3 diversi spessori: 3 – 6 – 8 cm
  - test termici su 5 diversi livelli di umidità: secco – 10% – 20% – 35% – 50% - livello di ritenzione idrica per un solo spessore di riferimento

- Elaborazione di profili termici di comportamento in funzione di spessore e grado di umidità interna
  - Individuazione di una curva di andamento della capacità termica all'aumentare dello spessore
  - test di verifica della curva individuata su provini di spessore 13 – 16 cm mediante metodo della piastra calda con anello di guardia

- Individuazione di eventuali parametri sensibili o di comportamenti anomali

- Individuazione di valori di resistenza termica da utilizzare ai fini dei calcoli

Attività di laboratorio – Caratterizzazione termica: prima fase di ricerca

Metodo della piastra calda con anello di guardia

- Fornisce la misura di resistenza termica assoluta del campione
- La dimensioni dei campioni è 500x500mm
- Lo spessore dei campioni è di 13 e 16 cm
- Le temperatura superiore/inferiore sono 5-15°C o 5-25°C
- Le prove si eseguono per campioni secchi

Metodo dei termoflussimetri

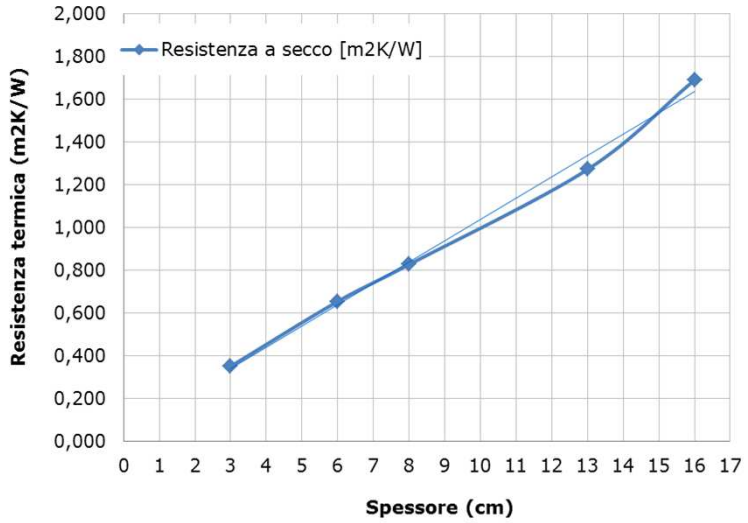
- Fornisce la misura di resistenza termica per confronto rispetto ad un provino calibrato
- La dimensioni dei campioni è 290x290 mm
- Lo spessore dei campioni è di 3, 6 e 8 cm
- Le temperatura superiore/inferiore sono 5-15°C o 5-25°C
- Le prove si eseguono per campioni secchi, umidi e saturi

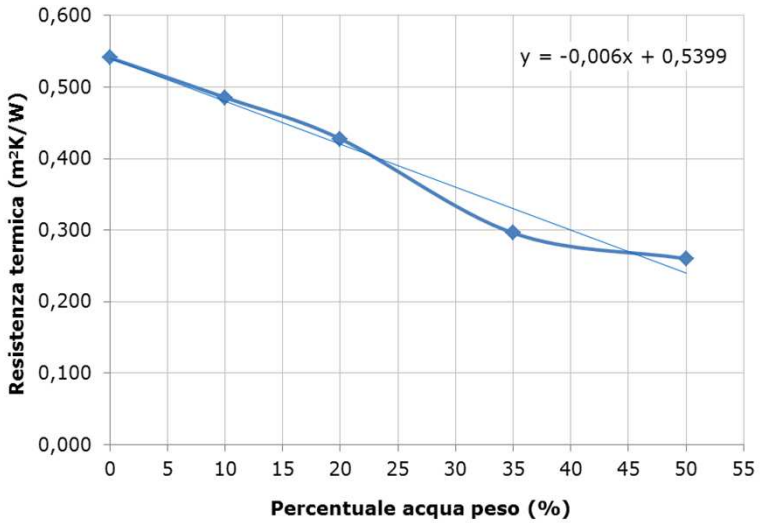
Attività di laboratorio – Caratterizzazione termica: prima fase di ricerca

✓ Potenzialità applicative

I risultati conseguiti hanno evidenziato potenziali sviluppi ed implementazioni:

- Individuazione di andamenti costanti e ripetitivi
- Definizione di una metodologia di prova a scala di laboratorio
- Definizione valori di riferimento di conduttività termica di substrati
- Individuazione di curve di prestazione ad uso del progettista in funzione
  - di densità
  - grado di umidità interna.





Attività di laboratorio – Caratterizzazione termica: prima fase di ricerca

✓ Limiti e problematiche aperte

Le prove eseguite non permettono ancora di arrivare a definire degli strumenti utili alla progettazione che permettano di valore il verde pensile dal punto di vista termico, per via dei seguenti limiti:

- pochi campioni testati
- numero di punti sulle curve insufficienti ad una certa predittività del comportamento intermedio ai punti di misura
- **Problemi di compattazione e influenza del fattore umano nella realizzazione del cassero**
- **Dispositivi di prova non omogenei tra campioni a ridotto spessore (termoflux) e quelli ad elevato spessore (piastra)**
- **Mancanza di riferimenti realistici per la definizione delle percentuali di umidità interna**

✓ Bibliografia

B.Barozzi, A. Bellazzi, C. Maffè, C. Pollastro. ***Measurement of thermal properties of growing media for green roofs: assessment of a laboratory procedure and experimental results***, Buildings, 7 (99), MDPI, 2017

Attività di laboratorio – Caratterizzazione termica: seconda fase di ricerca

- UNI 11235:2015

C.4 Controllo flusso di energia

L'opportunità di scegliere una copertura verde come sistema di chiusura orizzontale superiore di un edificio, ha, tra gli altri, l'obiettivo di contribuire attivamente all'incremento delle prestazioni energetico-ambientali finali dell'organismo edilizio nella sua globalità.

E' necessario pertanto che la fase di progettazione prestazionale consideri la sinergia di tutti gli strati costituenti la stratigrafia della copertura. Pertanto, anche il substrato colturale, sino ad ora deputato alla sola crescita vegetativa, potrà entrare di merito nel calcolo della resistenza termica del sistema, contribuendo ad un corretto dimensionamento stratigrafico ad esempio dell'elemento isolante.

I progettisti dovranno, laddove disponibili, fare riferimento a valori di conduttività termica rilasciati ai produttori da laboratori di prova riconosciuti. Tali valori potranno essere specifici o estrapolati da curve prestazionali in funzione dello spessore e del grado di umidità relativa interno, misurati ad esempio con il metodo dei termoflussimetri, secondo la ISO 8301.

Le curve verranno definite attraverso il metodo di misura dei termoflussimetri mediante il quale sarà possibile determinare in laboratorio la resistenza termica dei substrati basandosi sulle metodologie delle UNI EN 12667 – 12664 – 12939, opportunamente adattate al fine di assimilare i substrati a materiali omogenei e compatti.

E' importante considerare che:

- le prove verranno eseguite su campioni di spessore variabile;
- è necessario determinare il grado di umidità più idoneo al contesto climatico in cui il tetto verde verrà installato. Le prove potranno essere eseguite a diversi gradi di umidità a partire dal campione secco fino a quello saturo;
- il livello di compattazione deve essere rappresentativo del comportamento a regime in opera.

Attività di laboratorio – Caratterizzazione termica: seconda fase di ricerca

OBIETTIVI A MEDIO – LUNGO TERMINE:

✓ Strutturare un **percorso di test di laboratorio ed in opera** finalizzato alla caratterizzazione termo-energetica dei substrati per il verde pensile, preceduto da tavoli tecnici con le aziende:

✓ fornire un **documento pre-normativo** che costituisca la base per definire una guida tecnica per la certificazione dei sistemi di verde pensile orizzontale in ambito europeo, con particolare riferimento alle ***Guidance Paper UEAtc*** (Union Européenne pour l'Agrément technique dans la construction) sulla cui base ogni paese del network UEAtc può rilasciare Certificati di Idoneità tecnica (noti anche come Agréments Techniques).

✓ strutturare **sul territorio lombardo il primo laboratorio per la caratterizzazione dei substrati** per verde pensile e definire le relative procedure di certificazione ad uso dei produttori regionali, nazionali ed internazionali sul territorio

Attività di laboratorio – Caratterizzazione termica: seconda fase di ricerca

Soluzione problematiche relative alla compattazione (naturale e meccanica)

✓ **Analisi preliminare dei livelli di compattazione naturale**

- Analisi bibliografica (Sailor & al., 2011) cita come riferimento circa cinque anni dalla posa dei substrati in opera come caratteristica discriminante per la scelta di tetti verdi da sottoporre alla prova del livello di compattazione naturale raggiunta a mezzo di tester manuale (modello Dickey-John)
- Estate 2014: realizzazione di quattro campioni di terreno, spessore 16 cm, in appositi casseri in legno trattato, utilizzando i campioni di terreno intensivo forniti dalle quattro aziende partner dell'accordo di collaborazione sottoscritto nel Giugno 2014, attualmente ancora esposti all'esterno
- I quattro campioni sono stati esposti alle condizioni esterne e sottoposti bimestralmente a misure di peso ed abbassamento (compattazione naturale)
- Risultati: l'abbassamento del terreno (altezza interna) indice della compattazione naturale, a sei mesi circa dall'esposizione esterna non ha evidenziato variazioni sensibili, arrivando quindi al valore massimo di compattazione ben prima i cinque anni attestati dalla letteratura bibliografica

Attività di laboratorio – Caratterizzazione termica: seconda fase di ricerca

Soluzione problematiche relative alla compattazione (naturale e meccanica)

✓ **Realizzazione di un dispositivo prototipale per la compattazione dei campioni**

- Base tecnica: indicazioni fornite dalla DIN 18127 (campioni di piccola dimensione con un diametro di 5 cm) e dalle linee guida USGA adattando dimensioni e pesi
- L'impianto prototipale prevede campioni di dimensioni di 530 x 530 mm, con una sezione circolare interna di compattazione avente diametro 480 mm. Il dispositivo è stato progettato a partire dai valori di riferimento forniti dalla norma, nella quale si prevede un impatto pari a 0,2 Joule/cm^2
- Progettazione e realizzazione di un sistema che agisce mediante la caduta libera di una piastra circolare sul campione, con la possibilità di variare peso e altezza di caduta, così da poter modificare la forza di impatto

Attività di laboratorio – Caratterizzazione termica: seconda fase di ricerca

Soluzione problematiche relative alla compattazione (naturale e meccanica)

✓ **Avvio prove di laboratorio sui terreni**

- Avvio sui campioni da 14 cm di spessore (spessori previsti per l'analisi di laboratorio: 4, 12, 14 e 18 cm)
- Validazione sulla compattazione meccanica rispetto a quella naturale

	SCOSTAMENTO A 6 MESI cm (%)	SCOSTAMENTO A 5 CADUTE cm (%)
CAMPIONE 1	-13.75	-11.11
CAMPIONE 2	-12.50	-10.24
CAMPIONE 3	-11.88	-17.65
CAMPIONE 4	-15.00	-16.67

- Definizione del calendario di prove ed avvio della campagna sperimentale a secco e con gradi di umidità del terreno

Attività di laboratorio – Caratterizzazione termica: seconda fase di ricerca

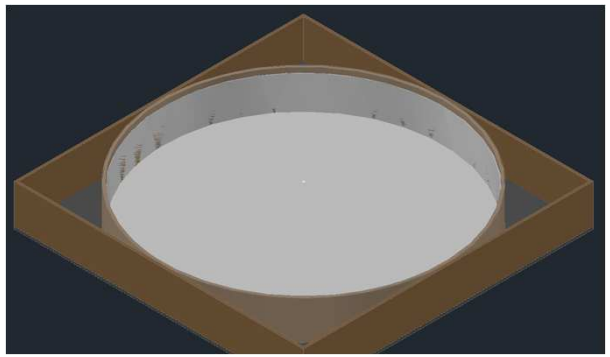
Soluzione problematiche relative ai sistemi di contenimento

✓ **Fase Preparatoria dei campioni**

- Anno 2014: sottoscrizione di una Lettera di Intenti tra ITC-CNR e quattro aziende coinvolte che formalizza il rapporto tra le parti per lo svolgimento del programma sperimentale di mutuo interesse finalizzato alla definizione di un percorso di valutazione delle prestazioni termo-energetiche dei substrati per il verde pensile
- Istituzione di tavoli tecnici preliminari con produttori ed esperti

✓ **Definizione procedura di prova per substrati per verde pensile ad hoc**

- Progettazione di nuovi sistemi di contenimento (casseri) dei substrati per le prove di laboratorio



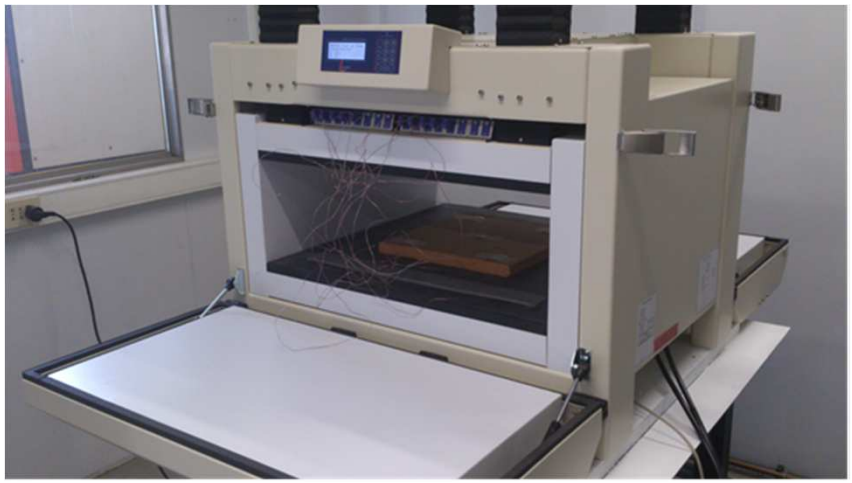
Attività di laboratorio – Caratterizzazione termica: seconda fase di ricerca

Soluzione problematiche relative ai dispositivi di prova in laboratorio

✓ **Nuovo termoflussimetro**

- Fornisce la misura di resistenza termica per confronto rispetto ad un provino calibrato
- La dimensioni dei campioni è 600x600 mm
- Lo spessore dei campioni va da 3, a 20 cm
- Le temperatura superiore/inferiore sono 5-15°C o 5-25°C
- Le prove si eseguono per campioni secchi, umidi e saturi
- Possibilità di inserire termocoppie differenziali a diretto contatto con il terreno

Dimensione (Lxlxh)	801 x 801 x 601 mm
Peso	100 kg
Dimensione campione	**610 x 610 mm**
Dimensioni area di misura	**254 mm** (10 pollici)
Spessore campione	**1 ÷ 203 mm**
Peso massimo ammissibile del campione	**90 kg**
Campo di conducibilità termica	~ 0,001 ÷ **1,5 W/mK**
Accuratezza	~ 2 % tra 0,001 ÷ 0,01 W/mK ~ 1 % tra 0,01 ÷ 1,0 W/mK **~ 2 % tra 1,0 ÷ 1,5 W/mK**

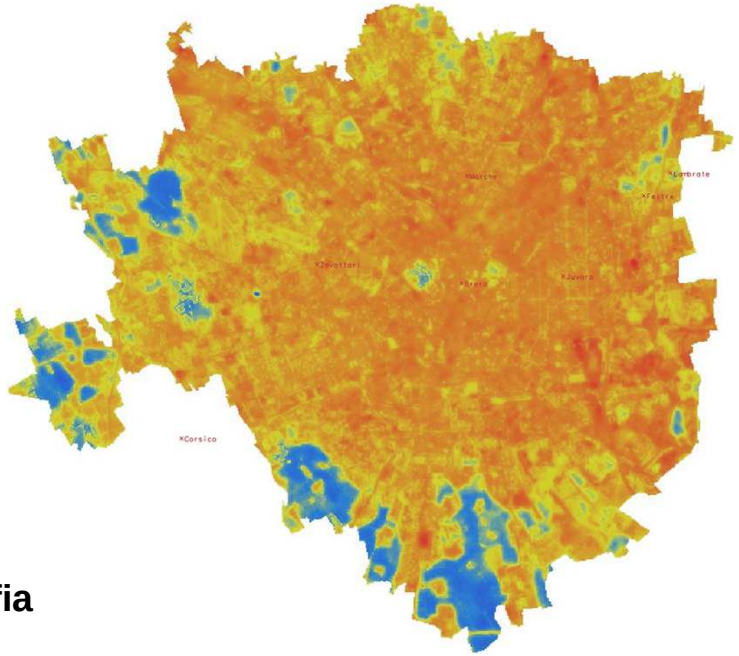


Monitoraggio e riduzione del fenomeno isola di calore – scala urbana

Valutazione tramite mappe satellitari delle ricadute in termini di riduzione del fenome di UHI

Possibili ricadute per la pubblica amministrazione:

- Analisi della variazione climatica urbana nel tempo
- Localizzazione delle principali aree di intervento
- Valutazione dell'impatto delle strategie di trasformazione urbana adottate
- Definizione di politiche di incentivazione per interventi futuri



✓ **Bibliografia**

- M. Ghellere, A. Bellazzi, L. Belussi, I. Meroni, **Urban monitoring from infrared satellite images**, Applied Optics, Vol. 55, Issue 34, pp. D106-D114 (2016), https://doi.org/10.1364/AO.55.00D106
- Ghellere M , Bellazzi A., Belussi L., Meroni I. **Urban monitoring from infrared images**. AITA 2015 - Advanced Infrared Technology & Applications 2015, ISBN 978-88-7958-025-0, Pisa, 29 settembre – 2 Ottobre 2015.

Analisi funzionali alla progettazione in ottica ZEB

✓ **Prove differenziali su tre celle di test esterne**

- Medesima soluzione tecnologica ma con differente grado di 'completamento' della sezione stratigrafica (soluzione fornita e posata da Daku Italia)
- Analisi del comportamento termo-igrometrico dei diversi layer stratigrafici mediante sonde di umidità e temperatura
- Analisi in situ della resistenza termica attraverso il metodo termoflussimetrico (ISO 9869)
- Verifica del grado di umidità interna del substrato a livello stagionale (zona climatica E) con definizione del livello minimo e massimo come riferimento per lo studio e la realizzazione di campioni secchi ed umidi per l'analisi di laboratorio funzionali alla rivisitazione delle curve di resistenza termica in funzione del grado di compattazione e del livello di umidità interna

Analisi funzionali alla progettazione in ottica ZEB

✓ **Piano sperimentale in collaborazione con Fondazione Minoprio**

- Analisi della variazione dell'umidità interna al substrato su piano stagionale al variare della specie vegetale e delle condizioni meteorologiche
- Studio delle temperature superficiali in funzione di diverse specie vegetali adatte al contesto climatico «zona climatica E»

B.Barozzi, A. Bellazzi, C. Pollastro. ***The energy impact in buildings of vegetative solutions for extensive green roofs in temperate climates***, Buildings, 6 (33), MDPI, 2016

Ricadute attese

✓ **Per il mondo industriale**

- Caratterizzazione di substrati colturali attraverso la definizione di curve di prestazione termica (resistenza termica) in funzione del grado di compattazione e di umidità interna, rappresentative delle condizioni climatiche di installazione
- Supporto nello sviluppo di nuovi substrati colturali in funzione anche del comportamento termo-energetico
- Possibilità di sviluppo di progettazione integrata con i professionisti di settore (costruttori, progettisti…)

✓ **Per le pubbliche amministrazioni**

- Analisi della variazione climatica urbana nel tempo
- Localizzazione delle principali aree di intervento
- Valutazione dell'impatto delle strategie di trasformazione urbana adottate
- Definizione di politiche di incentivazione per interventi futuri
- Valutazione della riduzione del fenomeno «bomba d'acqua» a scala urbana

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

www.itc.cnr.it

benedetta.barozzi@itc.cnr.it
Tel. 02-9606215

a.bellazzi@itc.cnr.it
Tel.: 02-9806213