

CoolNUS-BEAM alla National University of Singapore: un digital twin microclimatico su scala di campus alimentato da dati meteo ad alta densità



CoolNUS-BEAM fa parte della *Campus Sustainability Roadmap 2030* della National University of Singapore (<https://sustainability.nus.edu.sg/>), un'iniziativa a livello di Ateneo che definisce azioni concrete per costruire un Campus resiliente e sensibile ai cambiamenti climatici. In questo quadro, il progetto rientra nel pilastro "Defend", focalizzato sulla protezione della comunità NUS dai rischi climatici, come l'aumento delle temperature e l'effetto isola di calore urbana (<https://uci.nus.edu.sg/campus-sustainability/defend/>).

Le Università stanno sempre più diventando dei veri e propri *living laboratories* per la resilienza climatica, e NUS abbraccia pienamente questo ruolo attraverso CoolNUS-BEAM: un programma progettato per misurare, comprendere e mitigare il rischio di calore nel Campus su larga scala. BEAM — *Baselining, Evaluating, Action, Monitoring* — combina il monitoraggio ambientale di lungo periodo con una piattaforma di *digital twin* a supporto di decisioni basate su evidenze scientifiche, per un Campus più fresco e salubre.

In qualità di fornitore tecnologico, LSI LASTEM, tramite APAQ Group-ENVEA (<https://www.apaq-group.com/>), ha contribuito al progetto con la rete di sensori che rende possibile l'alimentazione dei dati del *digital twin*.

Una partnership che collega ricerca e gestione del campus

Uno dei principali punti di forza di CoolNUS-BEAM è la collaborazione diretta tra:

- College of Design and Engineering (CDE), Department of the Built Environment (BE)
- University Campus Infrastructure (UCI)

I ricercatori progettano la strategia di misura e trasformano i segnali ambientali grezzi in informazioni interpretabili e pronte per il processo decisionale, mentre UCI utilizza questi risultati per guidare le operazioni quotidiane, la gestione e gli investimenti di lungo periodo.

Questa struttura garantisce che il progetto non resti confinato all'ambito accademico: supporta attivamente scelte operative reali, dalla pianificazione del verde agli interventi di riqualificazione degli edifici.

La rete di sensori LSI LASTEM: monitoraggio ad alta densità in tutto il Campus

La caratterizzazione del microclima in un Campus tropicale complesso richiede molti punti di misura, non bastano poche stazioni di riferimento. BEAM ha quindi implementato una delle reti microclimatiche più dense di Singapore, consentendo analisi spaziali ad alta risoluzione e una solida validazione dei modelli.

Sono state installate 40 stazioni meteorologiche LSI LASTEM nell'area del campus, di cui 32 a livello del suolo e 8 sui tetti degli edifici. Ogni stazione include un sensore *All-In-One* per la misura di:

- temperatura dell'aria
- umidità relativa
- pressione atmosferica
- velocità del vento

- direzione del vento

oltre a un piranometro per la misura della radiazione solare globale.

Tre delle otto stazioni installate sui tetti sono inoltre dotate di pluviometro per la misura delle precipitazioni.

L'installazione è stata completata all'inizio del 2024 e la rete ha già fornito circa due anni di dati continui, costituendo una solida base di riferimento per l'analisi delle tendenze microclimatiche e per confronti pre e post-intervento edilizio.

La rete è completata da tre torri meteorologiche alte 15 m, progettate per catturare i gradienti verticali, con sensori di temperatura e umidità installati ogni 3 m.

Questa combinazione di alta densità orizzontale e profilazione verticale è fondamentale per comprendere il comportamento del calore nelle diverse morfologie del campus.

Dai dati all'azione: la piattaforma BEAM, aperta e in continua evoluzione

Tutti i flussi di monitoraggio convergono nella piattaforma digitale aperta BEAM (www.coolnus-beam.sg), dove ricercatori e utenti possono esplorare:

- mappe microclimatiche interpolate spazialmente
- dashboard di serie temporali
- zone microclimatiche
- simulazioni di scenario, incluse comparazioni pre e post costruzione
- risultati di moduli di ricerca interconnessi

La piattaforma è in costante evoluzione, sia nelle funzionalità sia nei dataset ospitati. Poiché è accessibile non solo agli stakeholder interni, ma anche a ricercatori, dottorandi e potenzialmente a pubbliche amministrazioni e altri utenti, funge da base di conoscenza microclimatica condivisa, a supporto di ulteriori attività di ricerca oltre lo scopo originale del progetto.

Zone climatiche: comprendere che il Campus non ha un solo clima

Una capacità chiave di BEAM è l'identificazione di multiple zone climatiche del Campus — aree con comportamenti termici distinti, modellati da:

- copertura arborea
- altezza e distanza tra gli edifici
- materiali delle pavimentazioni e delle superfici
- esposizione ai corridoi di vento e al carico solare

Ogni zona è caratterizzata da propri pattern di dati e priorità di mitigazione. Questo aiuta pianificatori e gestori a comprendere quanto il microclima vari da un luogo all'altro e perché le strategie di raffrescamento debbano essere specifiche per ogni sito, e non soluzioni standardizzate.

Oltre le stazioni fisse: le “Thermal Walks” per la mappatura del calore su scala pedonale

Tra i progetti visibili sulla piattaforma BEAM, uno dei più innovativi è la campagna Thermal Walks. Per tre mesi, i ricercatori hanno percorso ripetutamente i principali itinerari pedonali utilizzando:

- camere a 360°
- stazioni meteorologiche portatili
- Apple Watch con l'app Cozie

Questo ha permesso di produrre mappe ad altissima risoluzione delle condizioni termiche in diversi momenti della giornata e in differenti scenari meteorologici, riflettendo direttamente l'esperienza delle persone in movimento all'interno del Campus.

La campagna è stata accompagnata da questionari somministrati tramite Apple Watch agli utenti degli spazi pubblici, per valutare il comfort microclimatico percepito. Tutti questi dataset sono consultabili attraverso la piattaforma BEAM, arricchendo le osservazioni delle stazioni fisse con evidenze microclimatiche basate sulla sensazione termica dei pedoni.

Flussi di ricerca connessi: alberi, termocamere e involucri edilizi “freschi”

CoolNUS-BEAM è concepito come un ecosistema piuttosto che come un singolo studio, integrando ulteriori linee di ricerca, tra cui:

- Imaging termico per studiare le dinamiche di temperatura superficiale e l'evoluzione degli hotspot;
- Database degli alberi del Campus a supporto del piano NUS di piantare 120.000 alberi in 10 anni, consentendo di quantificare l'impatto del verde sul microclima;
- Sperimentazioni su pitture “fresche” e film solari, con sensori di temperatura di contatto indoor e outdoor su pareti e superfici vetrate.

Dopo i risultati positivi ottenuti nelle fasi pilota, sette edifici sono stati ridipinti, confermando benefici misurabili sulle condizioni termiche interne ed esterne.

Un modello non a silos: dati condivisi, progresso condiviso

Un altro grande punto di forza dell'iniziativa è tanto culturale quanto tecnico: il progetto non opera per compartimenti stagni.

Al contrario, è strutturato per consentire a più gruppi di ricerca, dottorandi e collaboratori di utilizzare i rispettivi dataset attraverso un'unica piattaforma, accelerando la produzione di conoscenza ed evitando duplicazioni nelle attività di misura.

L'architettura aperta fa sì che ogni progetto individuale contribuisca a un sistema più ampio, che diventa a sua volta più prezioso per tutti. Questa logica collaborativa funziona solo grazie a una solida infrastruttura ambientale: ed è proprio l'elevata densità spaziale dei punti di misura a trasformare il monitoraggio in un vero *digital twin* del Campus.

Prossimi sviluppi: Fase 2 e indici di comfort termico

I ricercatori stanno già pianificando una seconda fase, che prevede l'estensione del sistema di monitoraggio a metriche legate al comfort termico umano, includendo sensori microclimatici come il globo nero e il termometro a bulbo umido. Questi strumenti consentiranno il calcolo di indici di stress da calore e di comfort, trasformando i dati climatici grezzi in indicatori diretti di come gli ambienti vengono percepiti dalle persone e di come possano essere migliorati negli spazi esterni.

È inoltre prevista la realizzazione di un Urban Building Energy Model (UBEM), una piattaforma che integri i dati microclimatici locali raccolti con i profili di consumo energetico degli edifici NUS.

Conclusioni

CoolNUS-BEAM dimostra come l'adattamento climatico possa diventare realtà quando tecnologia, ricerca e gestione operativa procedono insieme all'interno di una roadmap di sostenibilità condivisa. Con 40 stazioni meteorologiche LSI LASTEM, tre torri meteo per la profilazione termica verticale e una piattaforma di *digital twin* aperta e in continua crescita, arricchita da progetti paralleli, NUS è in grado di monitorare e simulare il microclima del campus con un livello di dettaglio senza precedenti.

Siamo orgogliosi che la nostra strumentazione supporti un programma che fa avanzare la ricerca scientifica, fornisce strumenti concreti ai pianificatori e rende la vita quotidiana più confortevole in una delle regioni urbane più esposte alle sfide climatiche al mondo.