



Costruire in funzione del cambiamento climatico

Identificare le isole di calore
2023

Impressum

Committente:
Repubblica e Cantone Ticino
Dipartimento del territorio (DT)

Autori del rapporto:
Felix Günther (SUPSI, DACD-Istituto scienze della Terra)
Nerio Cereghetti (SUPSI, DACD-Istituto sostenibilità applicata dell'ambiente costruito)
Annalisa Rollandi (SUPSI, DACD-Istituto scienze della Terra)

Gruppo di accompagnamento del DT:
Marco Andretta
Katia Balemi
Lorenzo Besomi
Michele Fasciana
Ulrich Joss

© Cantone Ticino
Dipartimento del territorio, 2023

Sommario

1	Introduzione	7
2	Come identificare le isole di calore	8
2.1	La temperatura di superficie e la temperatura percepita	8
2.2	Le giornate di canicola che hanno un'immagine satellitare	11
2.3	Le aree sensibili	15
3	Vivere nelle isole di calore	16
3.1	Verificare la temperatura dell'aria nell'arco della giornata	16
3.2	Campagna di misurazione della temperatura dell'aria	17
3.3	Misurare e visualizzare le temperature di superficie	19
3.4	Rilevare e calcolare la PET con il "Climametro"	21
3.5	Il "Climametro" HEPIA	21
4	Riconoscere il potenziale delle tipologie urbane	23
4.1	Definizione delle tipologie urbane	23
4.2	L'effetto dei materiali	24
4.3	L'effetto delle pavimentazioni permeabili	26
4.4	L'effetto del rinverdimento	27
4.4	L'effetto dell'ombra	28
5	Riferimenti bibliografici e sitografia	30

1. Introduzione

¹ “Adattamento ai cambiamenti climatici in Svizzera. Piano d'azione 2020–2025”.

² Urban heat islands.

³ Intergovernmental Panel on Climate Change.

In Svizzera in ambito di adattamento ai cambiamenti climatici la Confederazione svolge il compito di coordinamento. Attualmente è in vigore il piano d'azione per il periodo 2020-2025¹ costituito da 75 misure interdisciplinari che continuano la linea già tracciata dalla strategia del 2012 e dal piano d'azione 2014-2019.

L'obiettivo è quello di coordinare le azioni adottate e di predisporre le basi necessarie per fare fronte alle sfide dei cambiamenti climatici.

Una di queste sfide sono le isole di calore urbane (UHI²) che nel 2022 il Gruppo intergovernativo sul cambiamento climatico (IPCC³) ha definito come "il calore relativo di una città rispetto alle aree rurali circostanti, associato ai fenomeni di accumulo di calore dovuti all'uso del suolo, alla configurazione e alla progettazione dell'ambiente edificato, compresi il tracciato delle strade e le dimensioni degli edifici, alle proprietà di assorbimento del calore dei materiali da costruzione urbani, alla ridotta ventilazione, alla riduzione del verde e dei giochi d'acqua e alle emissioni di calore residenziali e industriali generate direttamente dalle attività umane".

Ispirandosi agli studi e alle ricerche sulle isole di calore urbane svolte dall'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM), nel 2020 un gruppo interdisciplinare composto da SUPSI e Dipartimento del territorio del Cantone Ticino ha avviato questo progetto con i seguenti obiettivi:

- mappare le isole di calore urbano in Ticino;
 - indagare la percezione della temperatura all'interno delle diverse tipologie insediative.
- Ciò ha permesso di ottenere due risultati: una valutazione delle misure definite dal piano d'azione della Confederazione e delle linee guida per garantire una pianificazione urbana delle città più sostenibile.

2. Come identificare le isole di calore

La ricerca ha adottato un approccio interdisciplinare e multiscalare affrontando il fenomeno delle isole di calore a sud delle Alpi con una visione olistica. L'attenzione si è rivolta in particolare all'andamento delle temperature estive.

La prima fase dello studio, tramite l'analisi dei dati satellitari della temperatura di superficie, ha permesso di identificare le aree più critiche del Cantone Ticino. Tuttavia, per completare l'analisi dell'effetto che il calore ha sul territorio sono state necessarie ulteriori informazioni quali ad esempio la morfologia, la distribuzione della popolazione, l'utilizzo del suolo, ecc. L'elaborazione di una mappa a scala cantonale richiede infatti l'integrazione di informazioni sulla conformazione del territorio per capire come esso sia in grado di assorbire, riflettere o ridurre il calore. Inoltre sono necessari ulteriori indicatori territoriali e demografici per identificare le aree in cui il calore può produrre il maggior impatto sul territorio e sulla popolazione.

2.1. La temperatura di superficie e la temperatura percepita

I primi dati analizzati sono stati quelli satellitari della temperatura superficiale della terra (LST⁴), ovvero la temperatura rilevata al livello della superficie terrestre. In accordo con *Anderson et al.*, la LST, infatti, è uno dei parametri più importanti nei processi fisici dell'energia di superficie e del bilancio idrico sia a scala locale che globale⁵. Semplificando, è definibile come il calore che percepiremmo toccando un determinato punto della superficie terrestre. Pertanto essa non è da confondere con la temperatura dell'aria poiché si riferisce solo al calore avvertibile al contatto con una superficie.

Il passo successivo è stato quello di capire come le condizioni ambientali incidono sul benessere delle persone. A questo scopo è stato utilizzato un indicatore che associa altre variabili (radiazione, ventilazione, umidità e abbigliamento), oltre alla temperatura: il Physiologically Equivalent Temperature (PET). Secondo *Höppe*⁶, questo indicatore rappresenta la temperatura a cui una persona si sente più a suo agio all'aperto, tenendo conto della temperatura, della luce solare, del vento, dell'umidità e di come è abbigliata. Dal punto di vista bioclimatologico umano, la PET è perciò un indicatore fondamentale della sensazione di afa percepita dalle persone. Le persone, infatti, tendono ad avvertire più rapidamente le variazioni della PET piut-

⁴ Land Surface Temperature.

⁵ "A thermal-based remote sensing technique for routine mapping of land-surface carbon, water and energy fluxes from field to regional scales".

⁶ "The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment".

Temperatura fisiologica equivalente (PET)

PET	Grado di stress fisiologico
>46°C	Stress da calore estremo
38-46°C	Stress da calore forte
32-38°C	Stress da calore moderato
26-32°C	Stress da calore leggero
9-26°C	Nessun stress termico
0-9°C	stress da freddo leggero
-13-0°C	Stress da freddo moderato
-27--13°C	Stress da freddo forte
<-27°C	Stress da freddo estremo

Tabella 1:

Intervalli della temperatura fisiologica equivalente (PET) e stress soggettivo corrispondente.

⁷ “Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature”.

tosto che i cambiamenti effettivi della temperatura dell'aria. *Matzarakis et.al.*⁷ hanno effettivamente confermato che la PET, espressa in °C, rappresenta un indicatore idoneo per la valutazione umano-biometereologica della componente termica di climi diversi. La classificazione della PET per i diversi gradi di stress termico è illustrata nella Tabella 1.

⁸ ECOSTRESS and Landsat 07.

Pertanto, dopo aver acquisito i valori della LST dai rilevamenti satellitari⁸, sono state elaborate immagini raster della temperatura percepita (Figura 1), attraverso un modello matematico che si basa sulla formula elaborata per la città di Dresda⁹ ($PET = 17.077 + 0.465 * LST$) riadattata alle condizioni presenti in Ticino. La formula è stata ottimizzata tramite un calcolo iterativo inteso a minimizzare la differenza tra le condizioni ambientali rilevate dalle stazioni al suolo al momento della misurazione satellitare e il PET calcolato. Per il Ticino risulta la formula seguente:

⁹ “Risiken beherrschen, Chancen nutzen. Die Region Dresden stellt sich dem Klimawandel”.

$$PET = 10.5 + 0.56 * LST.$$

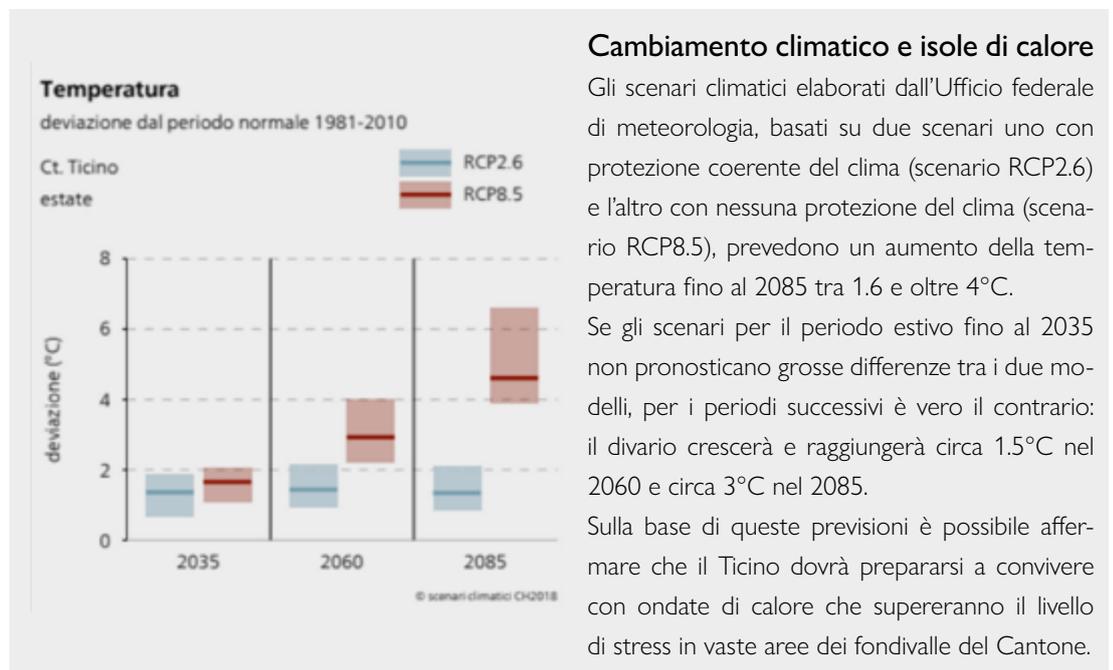
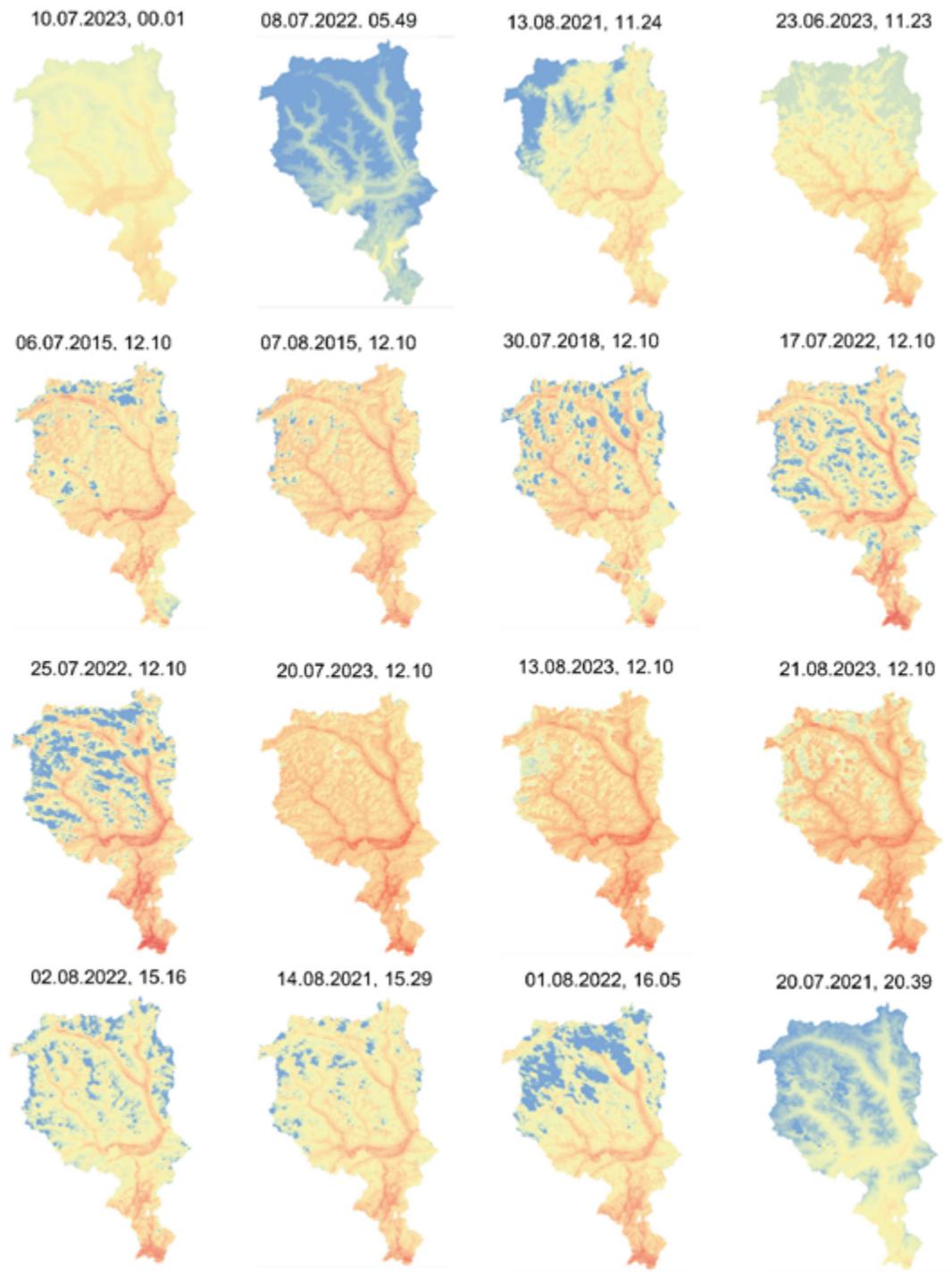


Figura 1:
 Calcolo temperatura PET
 a partire dalle immagini satellitari
 Ecostress / Landsat 08 nei
 giorni con una temperatura
 media sopra i 25°C.



2.2. Le giornate di canicola che hanno un'immagine satellitare

¹⁰ <https://www.meteosvizzera.admin.ch/tempo/pericoli/spiegazioni-dei-livelli-di-pericolo/canicola.html>

Per rilevare le isole di calore attraverso immagini satellitari in una giornata di caldo estivo è essenziale che siano soddisfatte contemporaneamente le seguenti condizioni¹⁰:

- una temperatura media dell'aria superiore a 25°C;
- l'assenza di nuvole sul territorio cantonale;
- un sorvolo del satellite nel giorno di caldo estivo che copra l'intero territorio cantonale.

Queste condizioni purtroppo non sono frequenti, come ipotizzato inizialmente, ma molto rare. Nel periodo di osservazione, che parte dal 2015, i satelliti Ecostress e Landsat (unici a rilevare la temperatura al suolo con una risoluzione minore a 70x70m) hanno prodotto 11 immagini utilizzabili ai fini di questa ricerca. Questi mostrano comunque delle chiare regolarità spaziali che permettono di riconoscere le isole di calore.

Sulla base di questi dati è stato possibile produrre due rappresentazioni dell'estensione delle isole di calore.

Tabella 2:
date e orari delle immagini satellitari disponibili
(E: Ecostress; L: Landsat 08)

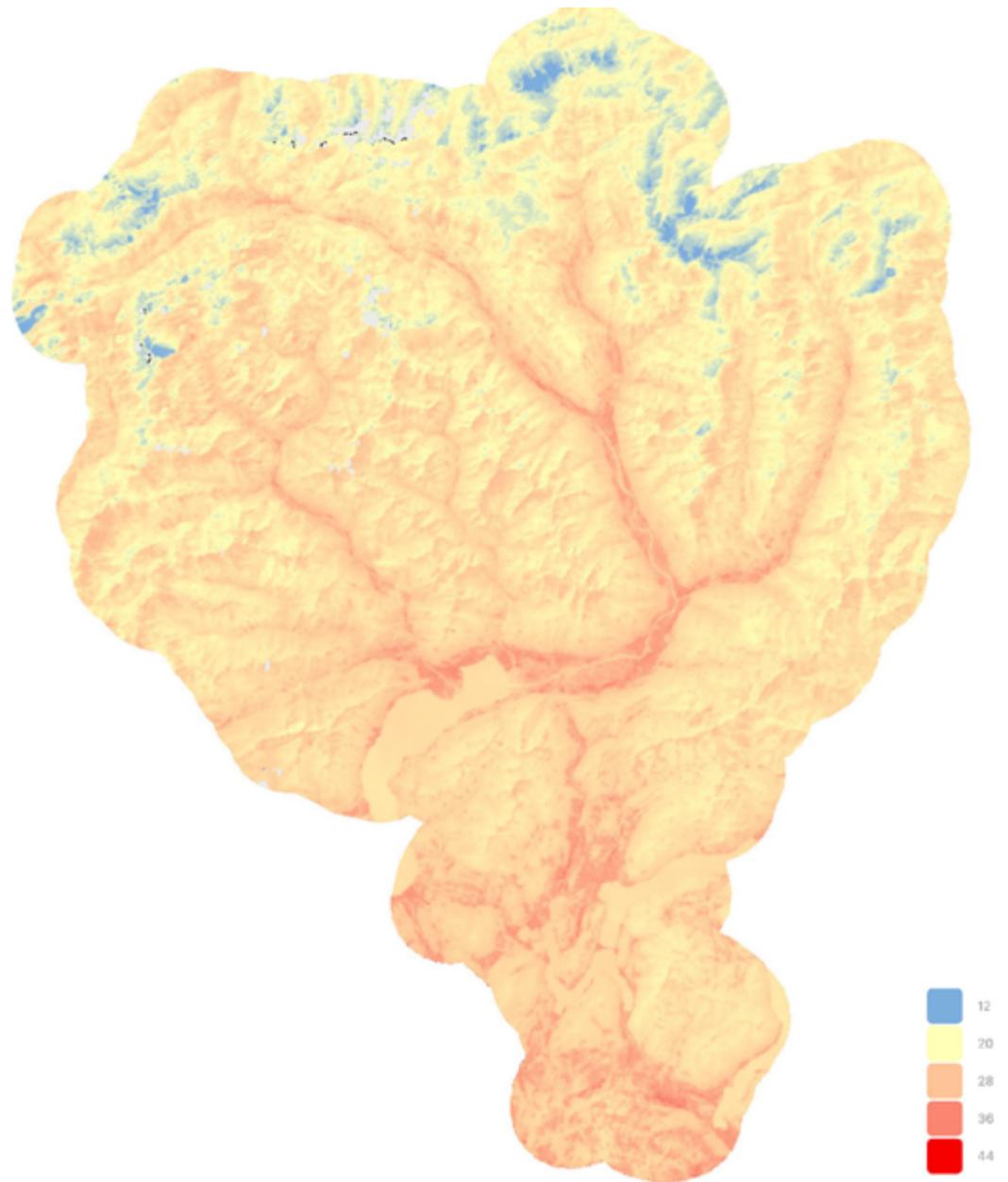
Disponibilità delle immagini satellitari LST

I giorni con temperatura media $T_m > 25^\circ\text{C}$ (Fonte: MeteoSvizzera) sono rappresentati in arancione ■
Le X identificano i giorni in cui sono disponibili le immagini satellitari.

	GIUGNO							LUGLIO							AGOSTO							Giorni totali																																									
2015																										31																																					
2016																										7																																					
2017																										17																																					
2018																										19																																					
2019																										23																																					
2020																										15																																					
2021																										10																																					
2022																										32																																					
2023																										22																																					
Data	06.07.15 L							07.08.15 L							30.07.18 L							20.07.21 E							13.08.21 E							14.08.21 E							17.07.22 L							25.07.22 L							01.08.22 E						
Orario																																																															
00.00-06.00																																																															
06.00-12.00																						x																																									
12.00-18.00	x							x							x														x							x							x																				
18.00-24.00															x																																																
Data	02.08.22 E							08.07.22 E							23.06.23 E							10.07.23 E							07.20.23 L							26.06.23 L							13.08.23 L							23.08.23 L													
Orario																																																															
00.00-06.00								x							x																																																
06.00-12.00																						x																																									
12.00-18.00	x																												x							x							x							x													
18.00-24.00																																																															

Figura 2:
Calcolo temperatura
fisiologica equivalente (PET)
media nei giorni con $T_m > 25^\circ\text{C}$

Sulla base dei dati descritti prima è stato possibile elaborare due rappresentazioni dell'estensione delle isole di calore. Dalle 11 immagini raster 70x70 metri disponibili e dai valori medi della PET calcolati degli ultimi 6 anni è stata realizzata un'immagine della PET (Figura 2).



L'immagine *raster* delle temperature PET medie ha permesso di raffigurare la prima mappa cantonale della PET che evidenzia le aree in cui la temperatura PET supera il limite prefissato di 36°C.

Per verificare l'affidabilità della PET, i dati sono stati confrontati con le temperature rilevate al suolo e i dati acquisiti tramite il Climometro¹¹ nella Regione del Mendrisiotto. La Figura 3 illustra **l'estensione media attuale delle isole di calore** nel territorio cantonale durante i giorni di calura, caratterizzati da temperature superiori ai 25°C. Questa mappa si basa su dati satellitari che mostrano le temperature medie registrate tra le 12.00 e le 18.00.

¹¹ www.hesge.ch/hepia/recherche-developpement/projets-recherche/en-cours/cityfeel

Figura 3:

Estensione medie delle isole di calore (anni 2015-2023, aree con PET >36°C, stress da calore moderato o forte)

In sintesi, la mappa mostra come le temperature fisiologiche equivalenti calcolate sulla base delle immagini satellitari nei periodi di calore estivo si situano a livelli di stress termico moderato e forte (32° - 46°) segnatamente nelle aree edificate.



La Figura 4 proietta **l'estensione futura delle isole di calore**. A questo scopo è stata eseguita una simulazione che delinea le aree in cui è previsto che la temperatura superi i 36°C, considerando un aumento stimato di 1.8°C entro il 2035.

Nei prossimi anni ci si concentrerà progressivamente sull'affinamento e lo sviluppo di questo metodo, aggiornando le mappe man mano che nuovi dati satellitari saranno disponibili. L'obiettivo delle strategie di mitigazione del calore percepito sarà quello di ridurre i valori del PET al di sotto dei 32°C.

Figura 4:

Estensione delle isole di calore durante eventi meteorologici estremi (aree con PET >34°C nel 2022 e nel 2035 prevedendo un aumento di 1.8°C, stress da calore moderato o forte).

La mappa evidenzia le aree del Cantone dove attualmente si registrano valori medi superiori ai 34°C, ossia quelle in cui lo stress da calore supera la soglia di moderato o forte nei giorni di canicola (aree rosso scuro). La mappa indica anche le aree dove questi valori saranno presumibilmente superati anche nel 2035 (aree rosa). Emergono chiaramente le zone più calde situate alle quote più basse, sebbene ampie zone golenali rimangono ancora fuori dalla zona critica in quanto si distinguono per la loro freschezza dovuta alla vicinanza all'acqua di superficie e/o sotterranea.

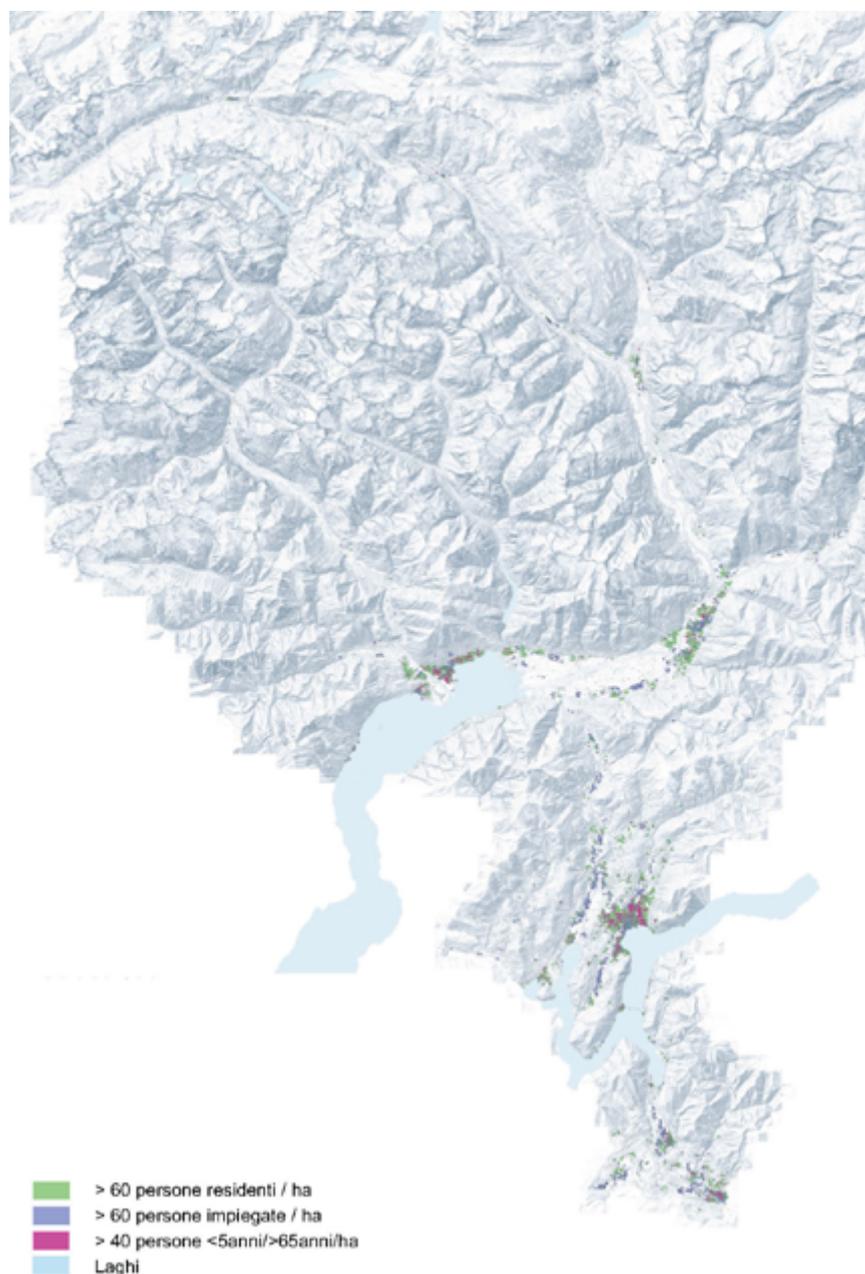


2.3. Le aree sensibili

Un ulteriore approfondimento ha permesso di individuare le zone più sensibili, vale a dire quelle in cui le alte temperature creano maggiori disagi alla popolazione. Per identificarle sono stati presi in considerazione nuovi parametri come la densità e l'età degli abitanti. Le aree sensibili sono così state definite come quelle dove la densità della popolazione residente e impiegata supera le 60 unità/ha, cifra che corrisponde a un indice di sfruttamento¹² di 0.5. Questo valore distingue le zone con abitazioni unifamiliari con giardino dalle aree più densamente costruite, dove lo spazio verde è minore. D'altra parte, «aree sensibili» sono anche quelle in cui la densità di bambini sotto i 5 anni o persone sopra i 65 anni supera i 40 abitanti/ha. L'analisi ha dimostrato che le isole di calore coincidono spesso con un'alta densità di popolazione residente o di addetti.

¹² Relazione tra superficie utile lorda realizzata su un fondo e la superficie del fondo.

Figura 5:
Le aree sensibili del Cantone si trovano in larga misura nelle isole di calore.



3. Vivere nelle isole di calore

Attraverso l'analisi delle temperature di superficie terrestre (LST) a partire dai dati satellitari e la loro conversione in PET, è stato possibile individuare le isole di calore sul territorio cantonale. La combinazione con dati territoriali come la densità della popolazione, degli addetti o di specifiche classi sensibili della popolazione ha poi permesso la definizione di aree particolarmente vulnerabili. Ciò non fornisce tuttavia ancora indicazioni sulle misure da adottare localmente per contrastare il fenomeno delle isole di calore.

¹³ "Isole di calore nella Regione-Energia Verbano", CSD INGEGNERI, 2022.

Il rilevamento delle temperature di superficie con drone in alcune città ticinesi¹³ ha confermato le scarse correlazioni tra superfici impermeabili e temperatura di superficie misurata. Solo una misurazione puntuale sul posto può fornire informazioni sufficienti sull'andamento della temperatura e di altri fenomeni durante la giornata (ventilazione, ombreggiamento, irrigazione, ...). Le misurazioni introdotte finora che forniscono unicamente la temperatura delle superfici, rilevabili a vasta scala con satellite o in ambito più dettagliato con drone, non bastano per identificare e spiegare il riscaldamento degli spazi pubblici o il loro raffreddamento. Un quadro d'insieme si ottiene tenendo conto di fenomeni quali le ombre degli edifici o l'esposizione al sole, il volume della vegetazione e la relativa ombreggiatura, la materializzazione delle superfici, il grado di impermeabilizzazione, l'evapotraspirazione.

Per questo motivo sono stati introdotti tre metodi di misurazione per esaminare in modo più dettagliato gli elementi architettonici e climatici che determinano il benessere: l'andamento della temperatura e dell'umidità dell'aria sull'arco di un'intera giornata, la misurazione delle temperature di superficie con la termocamera e la registrazione di tutti i dati rilevanti per il clima dal punto di vista delle persone con il "Climometro". L'area di studio in questa fase è stato il Mendrisiotto.

3.1. Verificare la temperatura dell'aria nell'arco della giornata

La prima campagna di misurazione era volta a verificare come le diverse tipologie dello spazio urbano incidono sulla temperatura dell'aria quale principale componente del fenomeno (vedi paragrafo "Campagna di misurazione della temperatura dell'aria"). L'esperimento voleva paragonare spazi vicini con caratteristiche simili in termini di edificazione e utilizzo, ma con elementi architettonici e di vegetazione diversi: un autosilo all'aperto lungo una strada, sia separato dalla via da una striscia verde con piccoli arbusti, sia coperto con una facciata verde; una strada e un parcheggio, entrambi con/ senza alberatura. Le sonde di misurazione sono state distribuite in diverse postazioni per registrarne gli andamenti di temperatura e di umidità.

Si nota che differenze di temperatura tra tipologie chiaramente diverse come natura aperta fuori dalla città e il centro città sono facilmente rilevabili. Ad esempio, tra il campo aperto a Stabio (misurazione presso la stazione meteo di MeteoSvizzera) e la stazione ferroviaria a Mendrisio si denotano nette differenze di 4–5°C nel contesto di un'escursione giornaliera che si estende tra 35°C diurni e circa 21°C di notte.

Riconoscere e interpretare le differenze all'interno delle singole tipologie risulta per

contro più difficile. Le differenze tra le stazioni di misurazione nella zona di insediamento sono esigue (1-2°C). Sono però rilevabili alcune variazioni, per esempio dopo l'attivazione di un sistema d'irrigazione che ha mostrato di abbassare la temperatura di circa 1°C. Variazioni di circa 2°C si manifestano pure quando una stazione di misurazione entra nell'ombra (Figura 6).

Queste misure hanno permesso di comprendere meglio il significato di alcuni fattori che influiscono sulla temperatura dell'aria. Tuttavia queste variazioni non possono esprimere le forti differenze nel modo in cui le persone percepiscono il clima. La temperatura dell'aria mostra un valore medio che non ci permette ancora di quantificare lo stress termico a cui è esposta una persona: perciò si devono usare metodi di misurazione diversi che analizzano gli altri fattori rilevanti per il benessere all'interno degli spazi abitati.

3.2. Campagna di misurazione della temperatura dell'aria

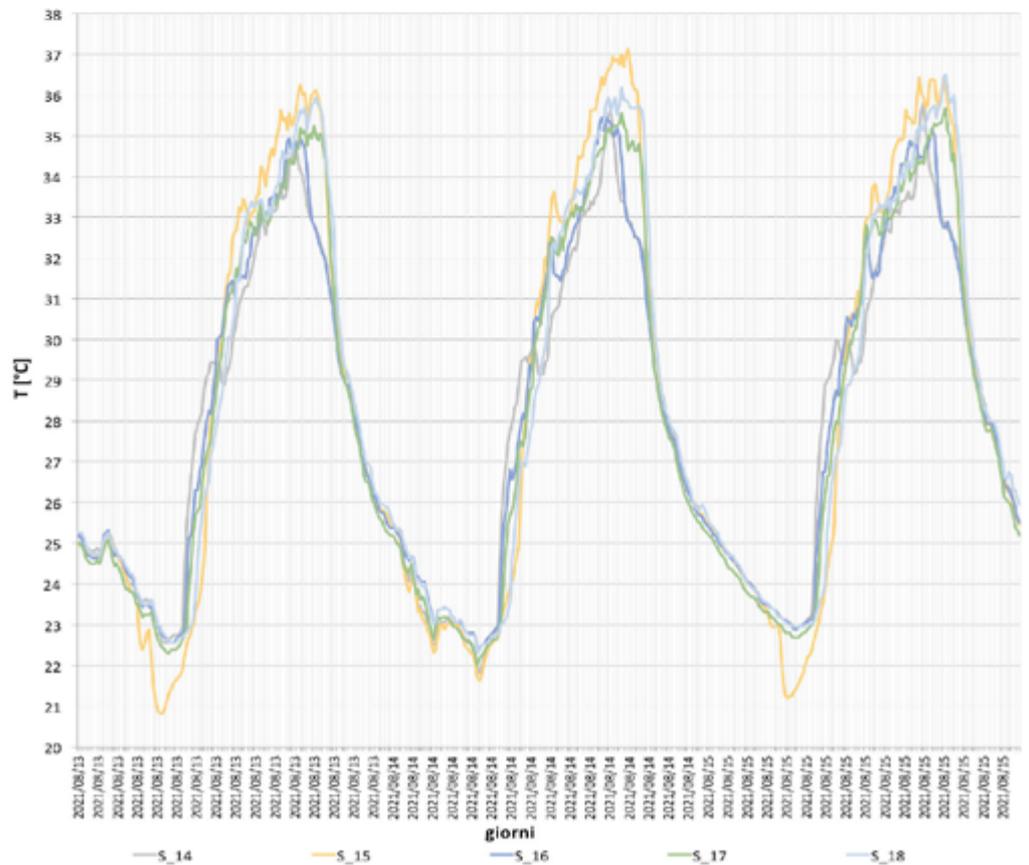
La campagna di misurazione nell'isola di calore di Mendrisio è stata effettuata con Data Logger temperatura/umidità Bluetooth (intervallo di temperatura: -20°C - +60°C, precisione della temperatura: $\pm 0.5^\circ\text{C}$; intervallo di umidità: 0-99% RH, precisione dell'umidità: $\pm 5\%$ RH). La sonda registra set di dati ogni 10 minuti e permette l'archiviazione dei dati a bordo per 100 giorni. L'esportazione dei dati avviene con Bluetooth in formato CSV da una distanza di collegamento fino a 50m. Sono stati installati 24 sensori dal 15 giugno al 30 agosto 2021.



Figura 6:
Estratto campagna di
misurazione Mendrisio:
posizione sensori e
relativi valori.



Temperatura
Periodo: 13/08/21 - 15/08/21
Sensori S14-S18
Risoluzione temporale: 10 min



3.3. Misurare e visualizzare le temperature di superficie

Con una termocamera è possibile registrare la temperatura radiante delle superfici circostanti, fattori importanti del comfort negli spazi pubblici o accessibili al pubblico. Le immagini possono essere riprese dall'alto, oppure in prossimità del suolo secondo la prospettiva dell'utente. Le immagini riprese dall'alto con i droni forniscono le stesse informazioni delle immagini satellitari ma con una maggiore risoluzione. Le immagini termiche riprese al suolo, invece, permettono di registrare meglio l'effetto delle superfici verticali e del cielo.

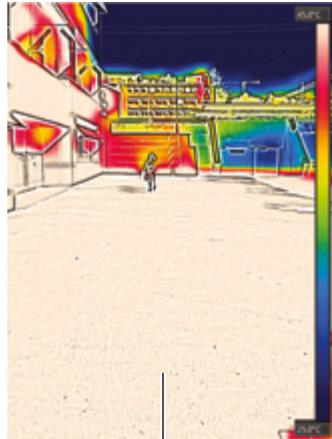
Per questo motivo il presente studio focalizza la prospettiva dell'utente a livello dello spazio urbano. In questo modo è possibile integrare informazioni che le immagini satellitari non sono in grado di mostrare. La registrazione della temperatura superficiale con la termocamera permette di registrare un'immagine dettagliata e di individuare la radiazione di calore che agisce sulle persone che si trovano in quel punto.

La Figura 7 mostra le immagini riprese durante le indagini svolte dal 13 al 15 agosto 2021.

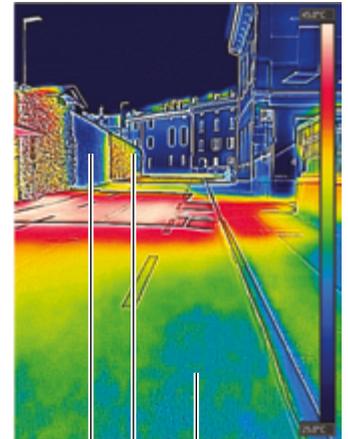
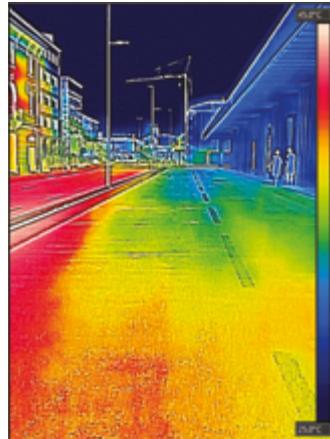
Rivestimento in cemento esposto al sole

Figura 7:

Immagini con camera termografica nei giorni 13-15 agosto 2021 a Mendrisio. Per tutte le immagini il colore nero corrisponde a 25°C o meno, mentre il bianco corrisponde a 45°C o più.



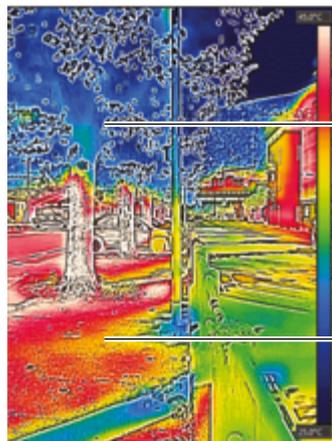
Superficie
asfaltata
esposta al sole



Parete
verde
in ombra

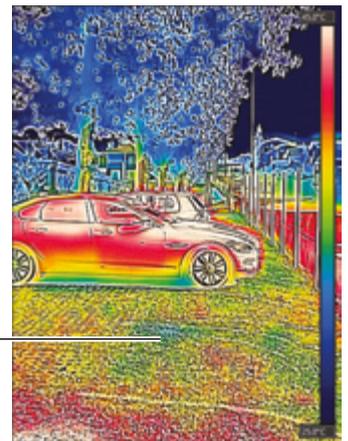
Superficie
asfaltata esposta
in ombra

Parete
verde esposta
al sole

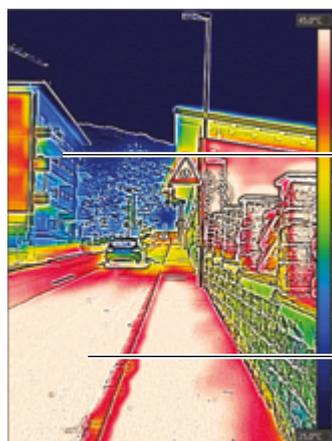


Ombreggiatura
con alberi

Asfalto
parzialmente
ombreggiato

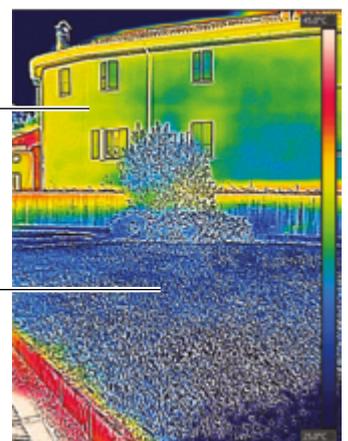


Pavimentazione
permeabile
massiccia esposta
al sole



Facciata
in ombra

Asfalto
surriscaldato



Parete massiccia
esposta al sole

Tetto verde
esposto al sole

3.4. Rilevare e calcolare la PET con il “Climametro”

La temperatura dell'aria e delle superfici, interpretati in modo individuale, non è sufficientemente rappresentativa dell'esperienza umana. La PET (temperatura fisiologica equivalente) rappresenta meglio la sensazione reale di calore percepito dalle persone. Per rilevare tutti i fattori coinvolti si è applicato il metodo “CityFeel”, sviluppato dalla Haute École du Paysage, d'ingénierie et D'architecture De Genève (HEPIA). CityFeel è composto da un protocollo di misurazione e dal suo strumento, il “Climametro”, che costituiscono il nucleo del metodo.

Lo strumento è stato utilizzato a Mendrisio, Stabio e Chiasso dal 26.07 al 15.08.2021 tra le 14.00 e le 18.00.

In questo periodo sono stati effettuati circa 20 percorsi della durata di un'ora, due o due ore e mezza. I tragitti sono stati pianificati in modo da condurre sia vicino ai 24 Data Logger posizionati, sia vicino alle stazioni di misurazione MeteoSvizzera (Stabio) e OASI (Mendrisio) in modo da poter paragonare i dati.

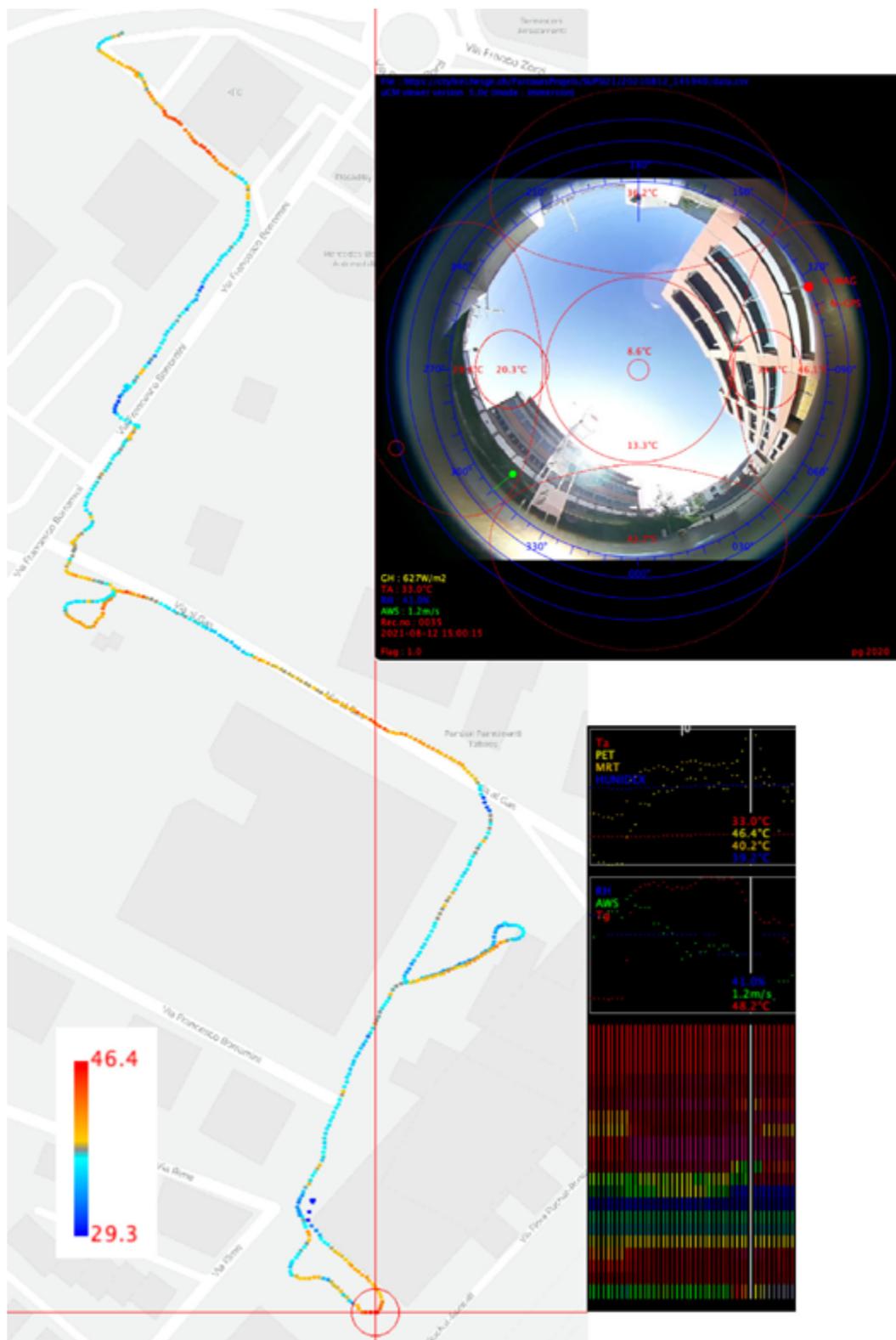
Inoltre sono stati considerati i principali centri d'interesse per la popolazione: ospedali, case per anziani, poli universitari, stazioni ferroviarie, centri storici, aree industriali e di svago. Interpretare i dati con il visualizzatore interattivo, sviluppato appositamente per l'analisi dei dati raccolti durante un percorso, permette poi di ripercorrere i tragitti in un modo quasi immersivo come mostra la Figura 8. Questo metodo porta ad avere un'interpretazione onnicomprensiva dello spazio e di analizzare i diversi punti attraverso i rispettivi valori PET.

3.5. Il “Climametro” HEPIA

Il misuratore di microclima è uno zaino leggero e compatto che può essere facilmente indossato nel corso di trasferte di misurazione, a velocità e livello pedonale, in qualsiasi parte della città. È composto da diversi sensori per la temperatura ambientale e radiante nelle direzioni verticali e laterali, l'umidità e il movimento dell'aria (vento), la radiazione solare, l'ambiente visivo emisferico (vista) da cui vengono estratti alcuni indicatori urbani (vista del cielo). Può registrare altri parametri relativi alla composizione dell'aria (CO₂, NO_x, Ozono, PM2.5-10), nonché la situazione acustica. Include anche una piattaforma inerziale, un GPS e un sistema di registrazione dati. I dati raccolti dai sensori alimentano un modello di equilibrio termico del corpo umano per valutare la temperatura equivalente fisiologica (PET). Vengono calcolati anche altri indicatori comuni di comfort o stress, come PMV - Predicted Mean Vote, UTCI - Universal Thermal Climate Index, HUMIDEX - Humidity Index, WBGT - Wet Bulb Globe Temperature, ecc. Il μ CM-Viewer - facilita l'osservazione e l'interpretazione dei dati raccolti utilizzando una specifica interfaccia grafica, permettendo di riprodurre e analizzare a posteriori i percorsi climatici effettuati in modo praticamente immersivo.



Figura 8:
Esempio di un percorso
(Stazione Mendrisio fino al
posteggio KFC), registrato il
pomeriggio del 12 luglio 2021.



4. Riconoscere il potenziale delle tipologie urbane

4.1. Definizione delle tipologie urbane

Le tipologie urbane accessibili al pubblico si distinguono secondo elementi paesaggistici, architettonici e costruttivi che incidono in modo caratteristico sul benessere delle persone. Le considerazioni esposte in precedenza, basate dapprima su immagini satellitari e poi su misure puntuali in luoghi scelti, hanno un carattere indicativo per l'interpretazione degli spazi. Il metodo descritto qui di seguito permette di tradurre l'effetto delle misure in cifre. Il benessere dipende da molti fattori individuali, tutti registrati con il "Climametro", di cui la PET esprime la combinazione. Sono, in particolare: la temperatura superficiale dei materiali circostanti, le influenze atmosferiche come la temperatura dell'aria, l'umidità e il vento, l'irradiazione solare e la radiazione globale che agiscono sulla persona. I percorsi di rilevamento con il "Climametro" eseguiti nel Mendrisiotto e applicabili anche altrove, hanno prodotto migliaia di dati su singoli elementi spaziali dai quali è scaturita una selezione di una ventina di situazioni tipiche che mostrano l'interazione di vari elementi urbani sotto l'influenza di situazioni atmosferiche simili che ne permettono la comparabilità.

Considerare la ritenzione e riflessione dei materiali

Per i limiti edificati degli spazi si considerano materiali di costruzione con diverso comportamento di ritenzione o riflessione del calore, come la muratura solida nei nuclei storici che conservano una temperatura media tra quella diurna e notturna o i rivestimenti esterni che si scaldano fino a temperature diverse e riflettono l'energia immessa in modo diverso.

Pavimentazione impermeabile o vegetale

Diversi materiali di copertura del terreno come asfalto, ghiaia, erba o erba rafforzata per il parcheggio sono tipici dell'area indagata. La ritenzione dell'acqua e il relativo effetto di refrigerazione fa sì che il suolo vegetalizzato conservi l'umidità e contribuisca a creare un clima piacevole. Idealmente la città diventa una "città spugna" che immagazzina l'acqua nelle radici degli alberi invece di rilasciarla nel sistema fognario. Agli alberi viene dato più spazio per le radici e l'acqua trattenuta aiuta a raffreddare lo spazio stradale.

Ombreggiamento o esposizione alle radiazioni solari e riflesse

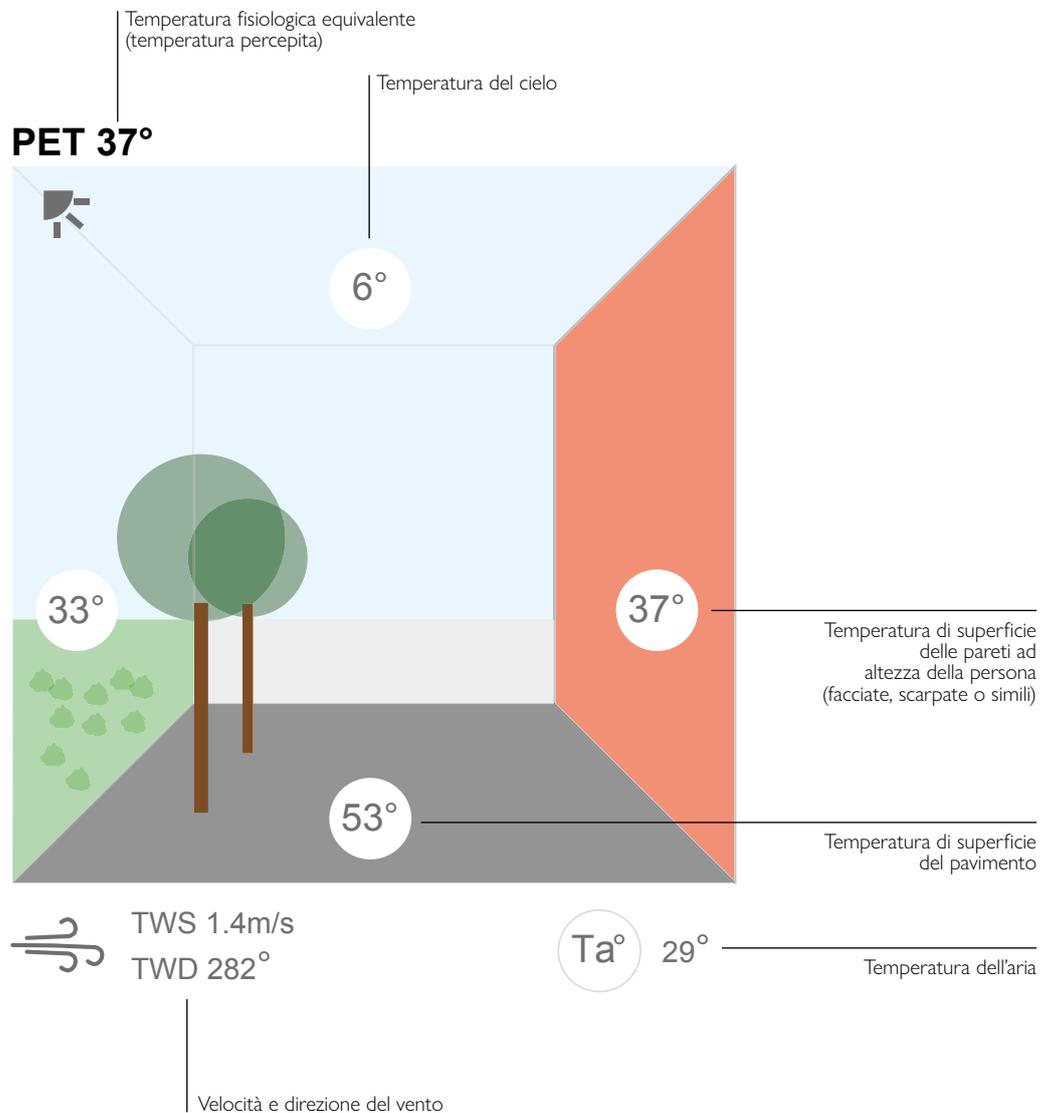
Come tutti i corpi, anche quello umano è in costante scambio di energia con l'ambiente circostante. Questi flussi di energia sono in prima approssimazione dipendenti dalla temperatura superficiale dell'oggetto a cui è esposto il corpo. Il flusso di energia che arriva dal cielo corrisponde a quello di un oggetto con temperatura superficiale di 5 – 7 °C (in caso di cielo nuvoloso i valori sono leggermente superiori). Quando si è all'esterno, se non vi è esposizione diretta alla radiazione solare, il corpo umano tende dunque a perdere energia e ciò genera una sensazione di frescura. L'esposizione alla radiazione solare diretta invece vanifica questo effetto. Da qui l'importanza di creare zone d'ombra.

Presenza o assenza di vegetazione sulle pareti

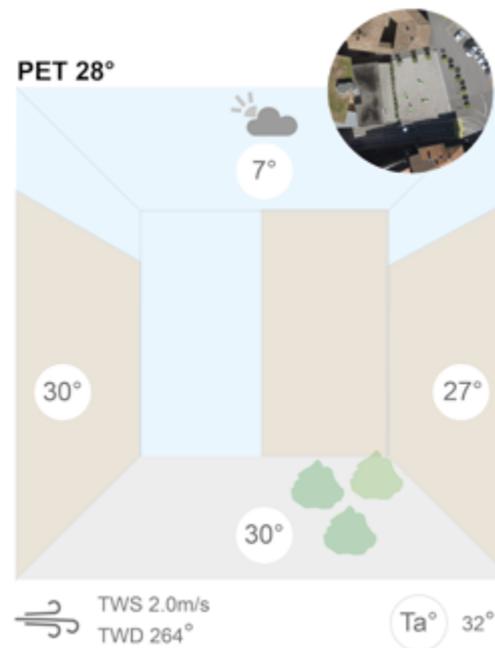
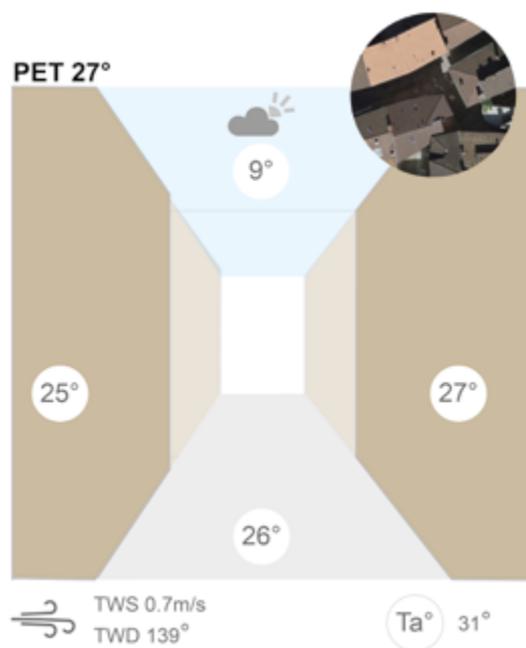
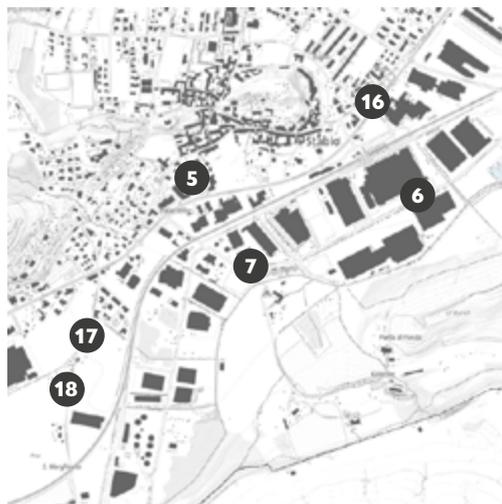
Il rinverdimento di tetti e pareti può mitigare l'effetto del surriscaldamento. Le piante rinfrescano l'aria facendo evaporare l'acqua trattenuta, irradiando meno calore (allo stesso modo mitigano il freddo). Una facciata rinverditata o un tetto verde intensivo contribuiscono così a un clima tollerabile. Le seguenti tipologie illustrano la portata di questo contributo in Ticino.

4.2. L'effetto dei materiali

I focus nelle prossime pagine rappresentano la sintesi di tipologie di spazi pubblici tipici in Ticino. I valori delle condizioni climatiche si basano sui valori della campagna di misurazione svolta negli anni 2021 e 2022.

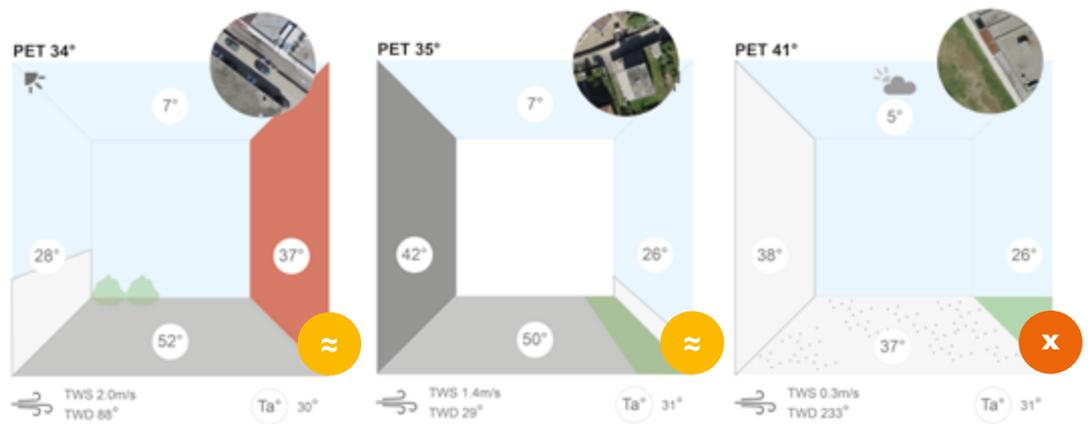


Gli estratti delle mappe di Stabio e Mendrisio indicano le tipologie urbane prese ad esempio.



Combinare l'ombra con materiali che conservano il fresco

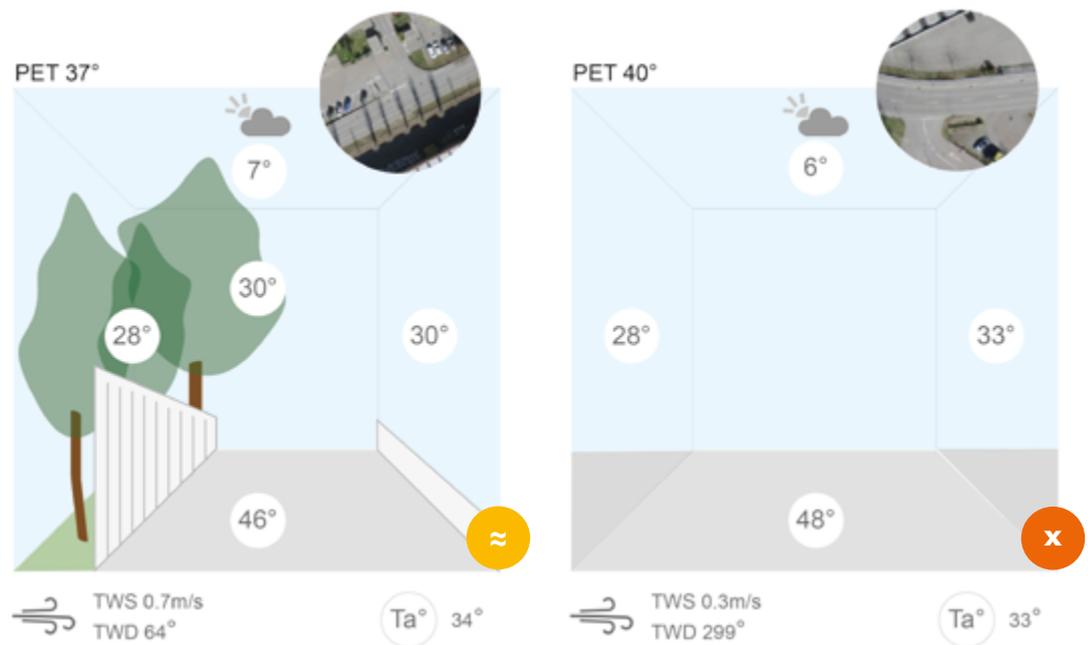
Il luogo più piacevole per chi soggiorna a Mendrisio d'estate rimane il centro storico. Anche nei caldi pomeriggi estivi le temperature rimangono sotto la soglia del calore sgradevole. La combinazione dell'ombra con materiali di superficie che bilanciano la temperatura durante l'arco della giornata permette di conservare il fresco della notte per il giorno.



Variare materiali e colore delle facciate

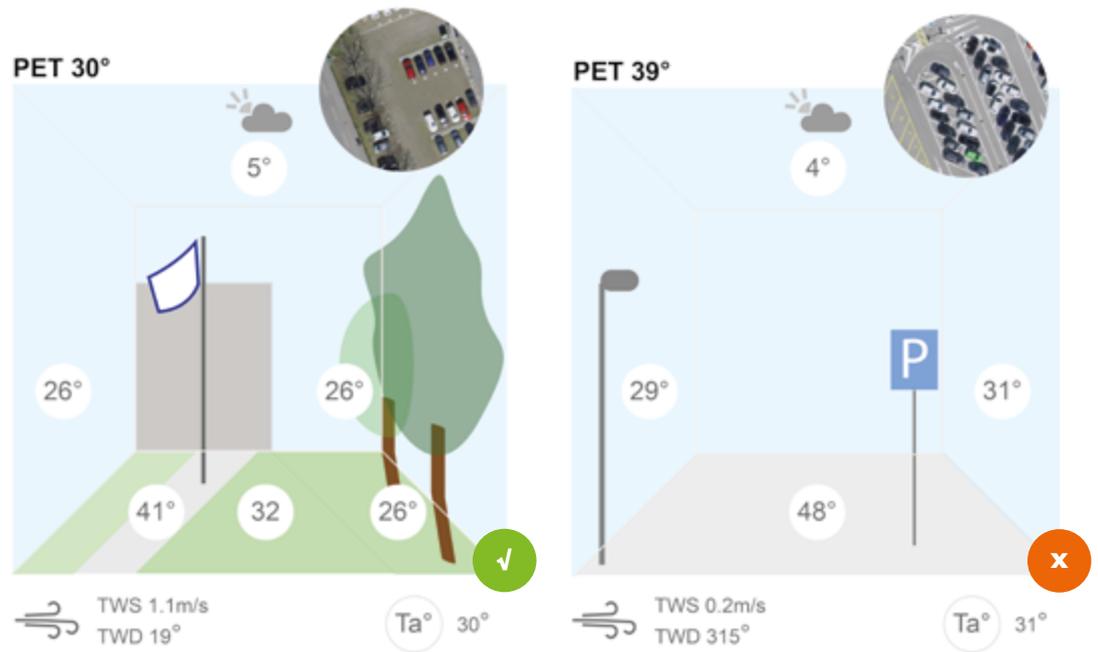
Le immagini mostrano facciate colorate con materiali scuri e chiari. I colori chiari, riflettendo meglio la luce, si scaldano di meno. Per questo effetto, rendere più chiare le superfici riduce solitamente l'accumulo di calore. D'altra parte, contrariamente alle aspettative, i colori chiari possono portare a un aumento della PET: è il caso dell'effetto riflettente del bianco che potrebbe rendere meno gradevole la situazione davanti alle facciate.

4.3. L'effetto delle pavimentazioni permeabili



Introdurre singoli elementi verdi

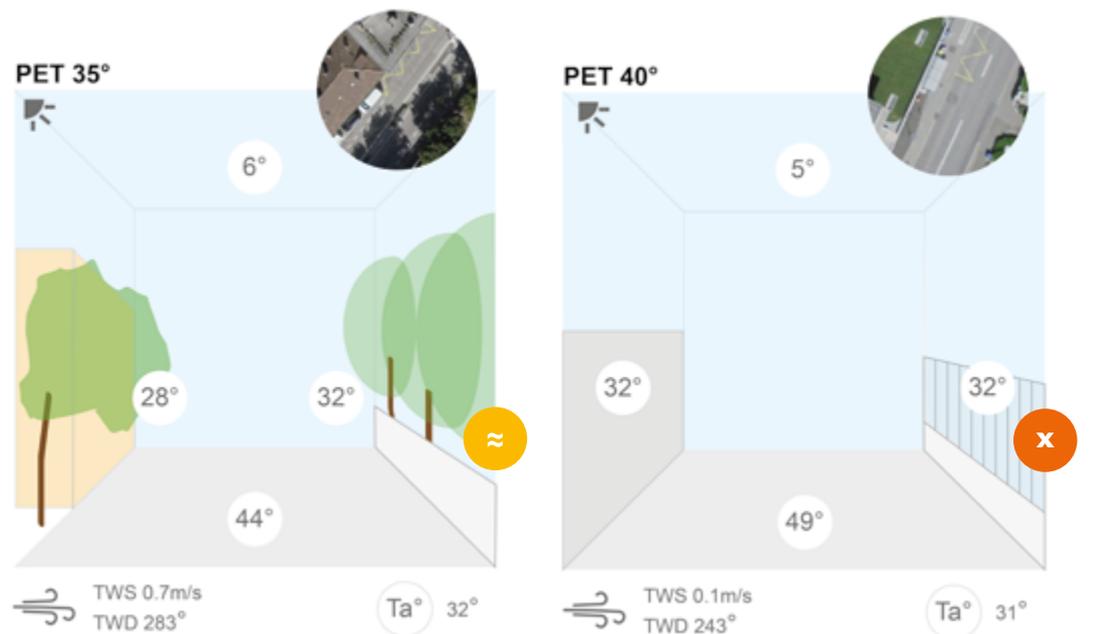
L'introduzione di qualche albero in aree prevalentemente impermeabili contribuisce poco al benessere delle persone dal punto di vista climatico: lo dimostrano alcuni spazi stradali nella zona industriale di Stabio. Nel primo riquadro troviamo superfici parzialmente impermeabili con un viale alberato e una strada asfaltata, nel secondo una situazione stradale impermeabile senza elementi che donano ombra.



Combinare alberatura con un pavimento permeabile

Combinare le misure migliora notevolmente la situazione per l'utente, come mostrano le situazioni di due posteggi a Mendrisio, nei pressi dello stadio comunale. Nella prima situazione troviamo la combinazione di alberature con un pavimento permeabile, nella seconda una sistemazione completamente asfaltata senza misure di mitigazione. Diventa evidente che in una giornata estiva di calore la PET differisce di quasi 10°C.

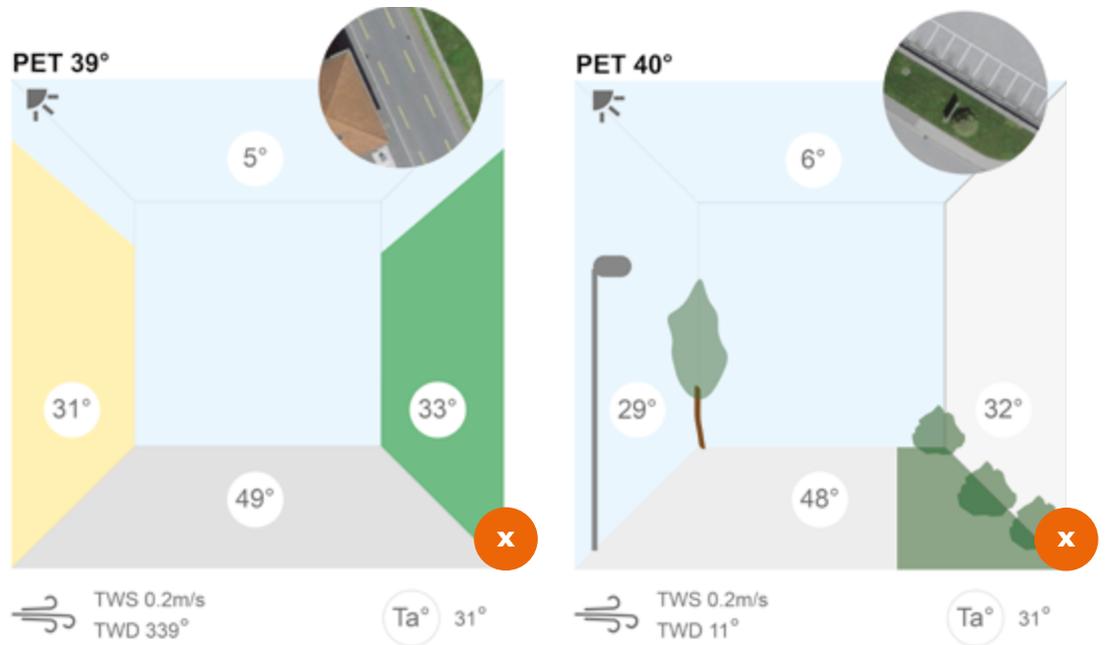
4.4. L'effetto del rinverdimento



Rinverdire singoli elementi architettonici

Interventi singoli di rinverdimento in uno spazio prevalentemente impermeabile, costruito ed esposto al sole non portano un contributo significativo. L'effetto della pare-

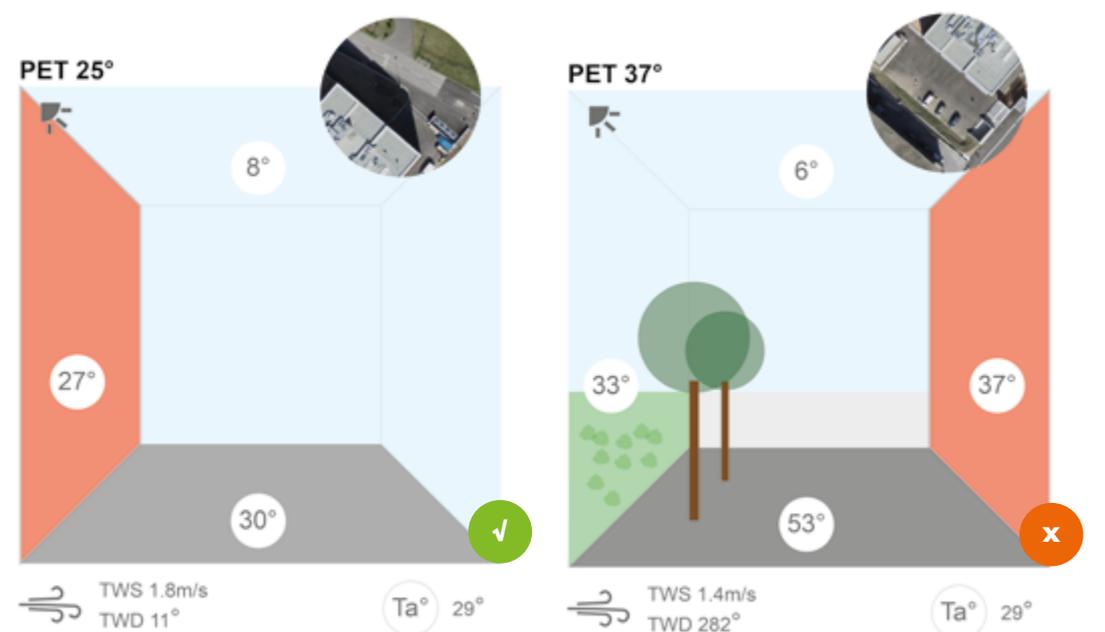
te rinverdito lungo l'autosilo del palazzo municipale di Mendrisio (a sinistra) non mostra un contributo rilevante. La stessa situazione si ha nel caso della striscia sistemata a verde tra l'autosilo comunale e la strada (a destra).



Rinverdire singoli elementi architettonici

Interventi singoli di rinverdimento in uno spazio prevalentemente impermeabile, costruito ed esposto al sole non portano un contributo significativo. L'effetto della parete rinverdito lungo l'autosilo del palazzo municipale di Mendrisio (a sinistra) non mostra un contributo rilevante. La stessa situazione si ha nel caso della striscia sistemata a verde tra l'autosilo comunale e la strada (a destra).

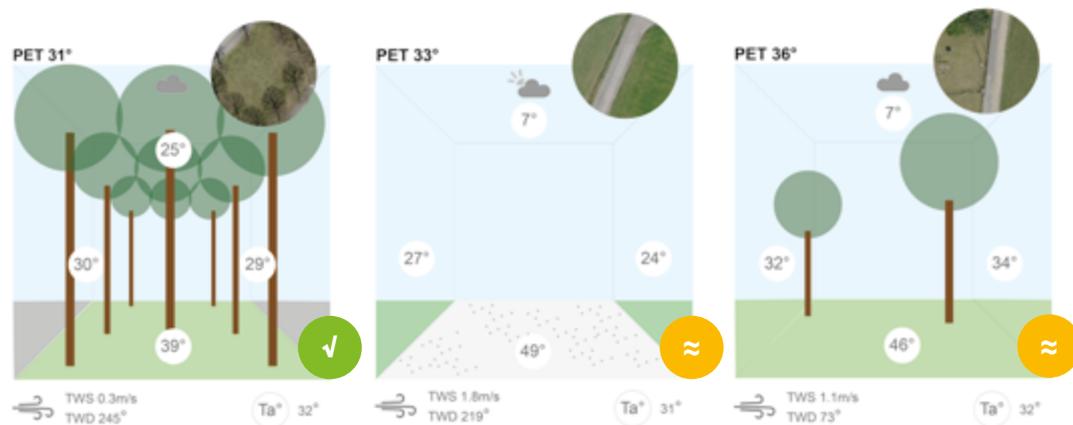
4.5. L'effetto dell'ombra



Creare spazi utilizzabili nelle diverse stagioni

Stare all'ombra o al sole davanti a un edificio cambia in modo determinante. L'esempio

del nuovo edificio SUPSI - con la stessa condizione di sistemazione esterna, superfici asfaltate, facciata rivestita parla da sé: la PET tra sole e ombra si abbassa di oltre 10°C: tanto è confortevole stare d'inverno al sole davanti all'edificio, tanto diventa insopportabile d'estate.



Ombreggiare aree verdi

Come si può notare dai dati rilevati a Stabio, l'apporto di un'un'alberatura in parchi cittadini o nelle aree di svago riesce ad avvicinare la PET a quella dell'aria e quindi sotto la soglia dello stress da calore.

Piazzali di ghiaia o aree verdi secche non si differenziano tanto dalle piazze asfaltate per quel che riguarda la loro temperatura.

Una nuova attenzione alla progettazione degli spazi esterni

Gli studi finora effettuati mostrano che in molte località ticinesi, nei giorni in cui viene raggiunto o superata la temperatura dell'aria di 30°C, la popolazione è esposta a un forte stress da calore di oltre 38°C PET. Per riportare la situazione entro limiti sopportabili sono quindi necessarie riduzioni della temperatura percepita di 10°C circa. Come mostrano gli esempi, misure singole come piantare alberi o rinverdire le facciate sono di efficacia limitata: nei casi migliori raggiungono una riduzione da pochi gradi a un massimo di 5°C. Solo gli spazi pubblici che nel loro disegno combinano diverse misure indirizzate a ridurre il calore estivo riescono a raggiungere l'obiettivo.

La progettazione urbanistica ha mostrato spesso scarsa attenzione all'alterazione delle condizioni di benessere termico negli insediamenti. Sono necessarie anche misure pianificatorie per limitare i fenomeni di surriscaldamento, attraverso la ventilazione o misure di raffreddamento naturale degli spazi esterni. Le singole misure di rinverdimiento non sono sufficienti. Piantare alberi e rinverdire gli edifici non basta. Alla luce del cambiamento climatico è richiesta una maggior attenzione alla progettazione degli spazi esterni e del loro utilizzo. Questi devono essere progettati tenendo conto dei principi di contenimento delle isole di calore.

Non è sufficiente un rinverdimiento estetico della città ma sarà necessario un nuovo approccio al progetto degli spazi urbani in modo che siano anche piacevoli da vivere in funzione del cambiamento climatico. Un progetto di costruzione non deve quindi solo concentrarsi sugli effetti climatici previsti per gli spazi interni: una corretta progettazione assicura che gli effetti di un'edificazione nello spazio esterno siano dichiarati e le misure per la loro mitigazione applicate.

5. Riferimenti bibliografici e sitografia

- Anderson M.C., Norman J.M., Kustas W.P., Houborg R., Starks P.J., Agam N.: A thermal-based remote sensing technique for routine mapping of land-surface carbon, water and energy fluxes from field to regional scales. *Remote Sensing of Environment*, 2008.
- Camponovo R., Gallinelli P., Guillot V.: *CityFeel - An innovative protocol and instrument to better understand urban microclimate*. Zürich, 2018.
- Johnson D.P., Wilson J.S., Luber G.C.: Socioeconomic indicators of heat-related health risk supplemented with remotely sensed data. *International Journal of Health Geographics*, 2009.
- Hicham B., Hicham M., Hassan R.: *Review of methods for retrieving urban heat islands*. Ben Guerir, 2020.
- Höppe, P.: The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology*, Volume 43, pp 71–75, 1999.
- Matzarakis A., Mayer H., Iziomon M.G.: *Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature*, 1999.
- Möller V., R. van Diemen, J.B.R. Matthews, C. Méndez, S. Semenov, J.S. Fuglestedt, A.: IPCC Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Annex II, 2022.
- Morabito M., Messeri A.: *Benessere, disagio termico e temperatura percepita all'aperto*. Toscana Medica, Vol.2, 2018.
- Müller B.: *Risiken beherrschen, Chancen nutzen. Die Region Dresden stellt sich dem Klimawandel*, 2011.
- Repubblica e Canton Ticino: *Piano Energetico Climatico Cantonale - Strategia 2022*. Bellinzona, 2023.
- Repubblica e Canton Ticino, Ufficio di statistica (Ustat): *Il clima in Ticino*. Bellinzona, 2021.
- Ufficio federale dell'ambiente (UFAM): *Adattamento ai cambiamenti climatici in Svizzera. Piano d'azione 2020–2025*. Bern, 2020.
- Ufficio federale di meteorologia e climatologia MeteoSvizzera: *Il cambiamento climatico nel Canton Ticino*. Bern, 2021.
- Williams T.: *Thermal Imaging Cameras: Characteristics and Performance*, 2009.

- Adattamento ai cambiamenti climatici – strumento online per i comuni:
www.onlinetool-klimaanpassung.ch
- Copernicus:
<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>
- ECOSTRESS:
<https://ecostress.jpl.nasa.gov/>
- Landsat 7:
www.usgs.gov/search?keywords=Landsat%207
- MeteoSvizzera:
www.meteosvizzera.admin.ch/
- National Centre for Climate Services NCCS:
www.nccs.ch
- Osservatorio Ambientale della Svizzera Italiana (OASI):
www.oasi.ti.ch/web/dati/meteo.html
- Scenari climatici CH2018:
www.scenari-climatici.ch