

**COME  
L'APPLICAZIONE DEI COOL MATERIALS,  
SU AREE URBANE FORTEMENTE CONSOLIDATE,  
INFLUISCE SUL MICROCLIMA URBANO E  
SUGLI EFFETTI DELL'ISOLA DI CALORE.**



**Davide Scirè**  
Tesi di Laurea Magistrale  
A.a. 2020/2021

**Politecnico di Torino**  
Corso di Laurea Magistrale in  
Architettura per il Progetto Sostenibile



**Politecnico  
di Torino**



**Politecnico di Torino**

Facoltà di Architettura

Corso di Laurea Magistrale in Architettura per il Progetto Sostenibile

A.a. 2022/2023

Tesi di Laurea magistrale

**Come l'applicazione dei cool materials, su aree urbane fortemente consolidate,  
influisce sul microclima urbano e sugli effetti dell'isola di calore.**

**Candidato:** Davide Scirè

**Relatore:** Riccardo Pollo

**Co-relatore:** Matteo Trane



# INDICE

<b>0.</b>	<b>Introduzione e metodologia</b>	
<b>1.</b>	<b>Cambiamento climatico e strategie resilienti</b>	
1.1.	Emergenza climatica globale	17
1.2.	Progettazione Natural Based e strategie di adattamento e mitigazione	25
<b>2.</b>	<b>Influenza dell'ambiente urbano sul microclima</b>	
2.0.	Glossario di base	35
2.1.	Il fenomeno dell'Isola di calore	37
2.2.	L'importanza della morfologia urbana	41
2.3.	Vegetazione ed effetti sul comfort outdoor	47
2.4.	I materiali urbani e Cool materials	55
2.4.1.	L'albedo dei materiali urbani	55
2.4.2.	Cool materials e la mitigazione del calore	59
2.4.3.	Tipologie di cool materials e sperimentazioni	63
<b>3.</b>	<b>Best practice: strategie NBS</b>	
3.1.	Esempi vernacolari	
3.1.1.	L'origine del tetto verde: l'esempio dei Turf Roof	69
3.1.2.	Sfruttamento delle correnti di ventilazione: Torri Badgir	71
3.1.3.	Mitigazione del calore: Il "trullo" ad Alberobello	73
3.2.	Esempi contemporanei	
3.2.1.	Water management: Il complesso Prisma a Norimberga, Germania	75
3.2.2.	Correnti di ventilazione: Queen's Building presso la De Montfort University	77
3.2.3.	Isola di calore, mitigazione del calore outdoor: "Ecoboulevard", Madrid	79
<b>4.</b>	<b>Caso studio: San Donato</b>	
4.1.	Panoramica del caso studio	83
4.2.	Rilievo consistenze edilizie	93
4.2.1.	Inquadramento urbano	95
4.2.2.	Rilievo volumetrico	97
4.2.2.	Rilievo fotografico	105
4.2.3.	Rilievo dei profili urbani	115
4.2.4.	Abaco dei materiali	123
<b>5.</b>	<b>Analisi microclimatica dello stato di fatto</b>	
5.1.	Metodologia di analisi in ambiente Envi-met	139
5.2.	Responso analitico _Stato di fatto	155
5.2.1.	Temperatura dell'aria	157
5.2.3.	Temperatura superficiale	177
5.2.4.	Temperatura Fisiologica Equivalente	197
5.2.2.	Velocità del vento	209
<b>6.</b>	<b>Analisi microclimatica con l'applicazione di "cool materials"</b>	
6.1.	Abaco dei materiali impiegati	221
6.2.	Aree di intervento	225
6.3.	Responso analitico _Cool materials	
6.2.1.	Temperatura dell'aria	231
6.2.2.	Temperatura superficiale	245
6.2.3.	Temperatura Fisiologica Equivalente	271

# INDICE



## Conclusioni

7.1. Sintesi e confronto dei dati	283
7.2. Valutazioni sui risultati	293
7.3. Bibliografia	303

# Introduzione

Il cambiamento climatico è sempre più repentino e visibile ai nostri occhi. È un fenomeno che poco meno di un secolo fa era considerato come un pericolo lontano, oggi si fa sempre più presente nelle nostre quotidianità tanto da modificare e condizionare le nostre abitudini.

La moltitudine di fattori che influenza questo fenomeno globale si manifesta, nel suo complesso, come un deleterio effetto a catena, che ha come suo principio il consumo di materie prime non rinnovabili.

All'interno di questa catena, in un punto non ben definito, si trova l'incessante sprawl urbano.

L'addensamento della popolazione in centri urbani, genera un sovraffollamento in ambiti limitati, nei quali, il soddisfacimento dei beni primari per il comfort soggettivo, come il raffrescamento degli ambienti interni o lo spostamento attraverso mezzi privati, comporta un consumo energetico capace di riversarsi in modo diretto e indiretto negli ambiti esterni delle città sotto forma di calore.

L'espansione urbana è stata regolata da una maglia eterogenea sviluppata nel corso gli ultimi secoli attraverso indici e normative. Questo sviluppo, realizzatosi in diverse epoche, è rintracciabile anche nelle differenti tipologie costruttive e materiali.

Questi elementi influiscono sul microclima interno di un ambiente urbano, pertanto la moltitudine eterogenea di spazi reagisce in maniera diversa al cambiamento climatico.

Tuttavia, attraverso le caratteristiche proprie degli ambiti urbani, è possibile supportare l'adattamento climatico e il comfort in ambienti indoor e outdoor attraverso l'utilizzo di nuove strategie d'azione e tecnologie edilizie, tra queste il raffrescamento passivo dato dai "cool materials".

La ricerca di tesi indaga in modo analitico l'applicazione dei cool materials in ambiti urbani fortemente consolidati. Questa tipologia di intervento è inscrivibile in quelle che sono definite soluzioni bioclimatiche passive in linea con le strategie NBS (Natural based solutions).

In particolare, nel lavoro di tesi, verrà analizzato l'effetto dell'isola di calore e l'influenza positiva dell'utilizzo di cool materials presenti oggi sul mercato.

Come caso studio è stata scelta una macroarea della città di Torino, precisamente nel quartiere San Donato, caratterizzata al suo interno da diverse da un tessuto urbano eterogeneo.

La metodologia di ricerca ed analisi segue le seguenti fasi chiave: background scientifico, analisi del caso studio, mappatura e rilievo dei materiali, individuazione e applicazione di cool materials, simulazione con Envi-met e discussione dei dati, ed infine conclusione.

Attraverso l'utilizzo del software Envi-met è stato possibile valutare le dinamiche microclimatiche che avvengono all'interno dell'ambiente urbano. Verrà in seguito studiato il comportamento fisico e le interazioni fra gli elementi presenti come: edifici, vegetazione, aria, materiali e le condizioni termiche al contorno.

Tra le strategie di intervento la sostituzione dei materiali di superficie si pone come presupposto quello di non intaccare né stravolgere le consistenze architettoniche esistenti e pertanto di operare con atteggiamento di minimo intervento sulle zone critiche scaturite dalle simulazioni dello stato di fatto.

Tali interventi non richiederebbero un tipo di lavorazione invadente sugli edifici di tipo estetico.

Particolare attenzione verrà data all'influenza dei materiali sul comfort termico outdoor degli utenti. Le simulazioni del software Envi-met consentono infatti di indagare le variazioni microclimatiche di ciascuna condizione quali stato di fatto e applicazione di cool materials, attraverso la valutazione di valori ambientali chiave come la temperatura potenziale dell'aria, le temperature superficiali, la Physiological Equivalent Temperature PET e le velocità del vento. Grazie a tali simulazioni, effettuate in condizioni estive critiche, è possibile verificare l'efficacia dell'applicazione dei cool materials attraverso il confronto degli outputs orari delle simulazioni stesse.

# Metodologia Applicata

In primo luogo, la tesi definisce le tematiche di intervento su cui si basa l'analisi della ricerca, esaminando una selezione di esempi virtuosi in termini di regolazione termica passiva e confrontando diverse strategie passive vernacolari con quelle più contemporanee.

In secondo luogo, verrà presentata l'area del caso studio con un dettagliato rilievo e analisi dei materiali che definiscono le superfici esterne allo stato di fatto e che verranno analizzate attraverso le simulazioni microclimatiche dello stato di fatto.

Le consistenze rilevate saranno modellate in ambiente Envi-Met sia in termini morfologici che materici, ricreando all'interno del software i materiali che compongono il caso studio.

La scelta del caso studio è stata influenzata dalle analisi microclimatiche condotte, in scala più ampia, nella tesi di Melis Ozalp (Ozalp M.T., 2022) in cui vengono studiati diversi ambiti urbani della città di Torino.

Dalle simulazioni effettuate, l'area di San Donato viene identificata come la peggiore in termini di comfort climatico esterno.

Questa tesi di ricerca esaminerà l'area urbana summenzionata su una scala più minuta, modellando e definendo soluzioni progettuali per le superfici esterne degli edifici, le finiture materiche e le aperture vetrate in facciata, con il fine di identificarne le cause e migliorare le condizioni termiche attraverso l'applicazione dei cool materials.

Come già citato in precedenza le condizioni microclimatiche verranno studiate analiticamente attraverso il software Envi-met, impostando parametri nell'ambito delle caratteristiche urbane (quali rapporto costruito e non costruito, rapporto verde orizzontale e rapporto asfalto) e parametri specifici delle superfici (caratteristiche dei materiali, aperture vetrate).

Gli outputs della simulazione permetteranno di distinguere le risposte microclimatiche di ciascuna condizione (stato di fatto e applicazione cool materials) attraverso la valutazione di valori ambientali chiave, quali la temperatura dell'aria, la temperatura superficiale, la PET (temperatura fisica equivalente) e la velocità del vento.

Il software Envi-met simula le interazioni termiche tra superficie, piante e aria in un ambiente urbano, e permette di generare degli outputs microclimatici visibili di dette variabili (Envi-met, 2021). Il software si basa su equazioni di bilancio accoppiate tra cui massa, di quantità di moto e di energia, le quali tengono conto dell'interazione tra le varie fenomeniche che si verificano nell'ambiente urbano. Questo strumento viene utilizzato per sviluppare studi relativi al microclima urbano, riproducendo i principali processi dell'atmosfera (flusso d'aria, turbolenza, flusso di radiazione, temperatura e umidità dell'aria, vegetazione e spruzzi d'acqua) e calcolando i dati meteorologici e gli indici di qualità del comfort all'interno di un'area urbana come la PET (temperatura fisiologicamente equivalente).

A partire dai risultati delle simulazioni, la ricerca si concentrerà sui valori minimi e massimi registrati delle variabili ambientali, prendendo in considerazione principalmente i dati provenienti dalle fasce orarie in cui si hanno variazioni più rilevanti di temperatura ovvero le ore 10:00, 12:00, 15:00, 18:00. Per le analisi verranno utilizzate i dati climatici prelevati dal sito di Arpa Piemonte relativi al 25 agosto 2022.

Tra i dati risultanti dalle simulazioni, sono state analizzate anche le variabili ambientali per i punti che presentano le condizioni di comfort esterno meno favorevoli (ovverosia i valori PET). Questa valutazione è stata effettuata attraverso i grafici esportati da Envi-met per tre punti dell'area.

Come definito nei capitoli successivi, il calcolo di parametri climatici urbani richiede l'uso di modelli numerici dati dalla complessità e dalla scala di analisi. In questo caso l'area di analisi presa in esame ha una dimensione di circa 45.000 m<sup>2</sup>.



# CAMBIO CLIMATICO E STRATEGIE RESILIENTI

- 1.1. Emergenza climatica globale
- 1.2. Progettazione Natural Based e strategie di adattamento e mitigazione

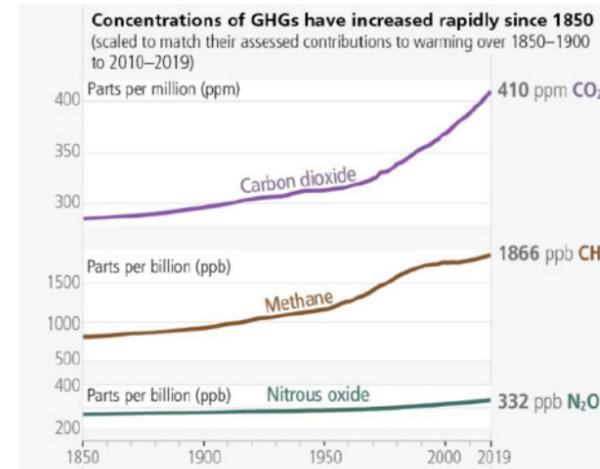
## Emergenza climatica globale

Già a partire dai primi anni '60 del secolo scorso, il cambiamento climatico è passata dall'essere un argomento riguardante una nicchia ideologica di addetti ai lavori a diventare una tematica prima etica e poi politica negli anni '90.

Nel 1988 l'istituto IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), il quale è il principale organismo internazionale per la valutazione dei cambiamenti climatici nato dal Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEP) e dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale OMM), ha definito il cambiamento climatico come "un cambiamento dello stato del clima che può essere identificato da cambiamenti nella media e/o nella variabilità delle sue proprietà e che persiste per un periodo prolungato, tipicamente di decenni o più (...) che hanno l'effetto di modificare la composizione dell'atmosfera o l'uso del suolo." (IPCC, 2014).

Grazie anche ai diversi echi mediatici che negli ultimi anni hanno sottolineato la sua importanza e gravità, la consapevolezza del cambiamento climatico va sempre più maturandosi nella coscienza comune.

Sono diverse le cause che influenzano il fenomeno del cambiamento climatico, tra queste l'aumento della CO<sub>2</sub> e con essa l'aumento dei gas serra presenti nell'aria. Oggi la temperatura media della superficie terrestre è aumentata di circa 0,9 °C dal 1850 e con essa la quantità di gas serra in atmosfera (Synnefa & Santamouris, 2013) come protossido di azoto N<sub>2</sub>O, metano CH<sub>4</sub> e ozono O<sub>3</sub>.



**Fig. 1** Aumento della concentrazione di GHG (Greenhouse gases) dal 1850 al 2019

Fonte: CMCC, IPCC AR6 Sesto Rapporto di Valutazione sui Cambiamenti Climatici, pp.7

Un altro importante elemento è il materiale particolato aerodisperso PM10, ossia un insieme eterogeneo di sostanze di diversa natura, particelle solide e liquide sospese in aria ambiente.

I gas inquinanti si distinguono principalmente in due categorie: primari, i quali sono emessi dalle diverse sorgenti e possono infatti provenire dalle lavorazioni industriali, dal riscaldamento domestico, dalle emissioni di scarico degli autoveicoli, o dall'usura dell'asfalto e delle auto; secondari, quando si producono a seguito di una serie di reazioni chimico-fisiche verificatesi direttamente in atmosfera. Il composto secondario si forma pertanto tramite la sua interazione con la luce solare, l'ossigeno, l'acqua e altri inquinanti primari presenti in aria ambiente (Casavecchia, 2023).

La presenza eccessiva di questi elementi nell'atmosfera non consente ai raggi infrarossi emessi dal terreno di uscire dall'atmosfera, rimanendone intrappolati e causando così l'effetto serra.

L'aumento dei gas serra è associato principalmente all'attività antropica, a cui segue la combustione di combustibili fossili che enfatizza le dinamiche climatiche che si verificano normalmente in natura, processi naturali a scala globale, tra cui le modulazioni dei cicli solari. È interessante tenere conto di come questi cicli impattino sul clima globale in maniera differente, alcuni influenzando a lungo termine rispetto ai cambiamenti climatici, altri nei periodi brevi (Wong, K. V., 2015).

Le previsioni indicano che la concentrazione di questi gas sia in deciso aumento con un conseguente incremento termico. Infatti, secondo lo studio condotto da Lai, Liu, Gan, Liu & Chen, la temperatura media dell'aria superficiale globale aumenterà da 0.3 a 4.8 °C entro il 2100. (Lai, Liu, Gan, Liu & Chen, 2019).

“In caso di stazionarietà delle concentrazioni (minime nuove emissioni di gas serra in atmosfera), l'aumento si limiterebbe a circa 0,5 °C. Tale forbice è ampia e comporta due scenari futuri molto diversi per impatto sugli ecosistemi terrestri.” (Donadio, 2020).

Secondo le previsioni delle Nazioni unite, nel rapporto “Climate risk and response” del gennaio 2020, il McKinsey Global Institute prevede che nel 2050 il 66% della popolazione globale vivrà in comunità metropolitane e che l'86% preferirà vivere in zone metropolitane piuttosto che in zone rurali. Si stima che questi dati avranno un impatto socioeconomico tra il 2 e 20 volte più rilevante rispetto ai livelli odierni.

Citando alcuni dati forniti dall'IPCC, “la temperatura media globale mostra una tendenza all'aumento nel periodo 1880-2012 con un conseguente riscaldamento di 0,85°C. Gli ultimi tre decenni sono stati successivamente più caldi di qualsiasi decennio precedente. Circa il 90% dell'aumento di energia del sistema climatico tra il 1971 e il 2010 è stato immagazzinato negli oceani con un riscaldamento di 0,11°C portando ad un innalzamento globale del livello del mare stimato a circa 0.19 m, con un tasso di crescita,

a partire dalla metà del XIX, che è molto più elevato di quello valutato nei 2000 anni precedenti.” (Donadio, 2020).

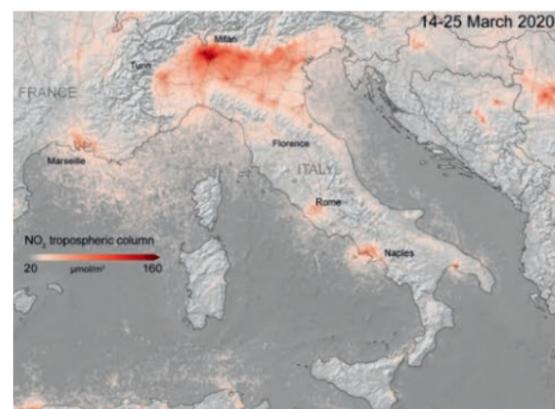
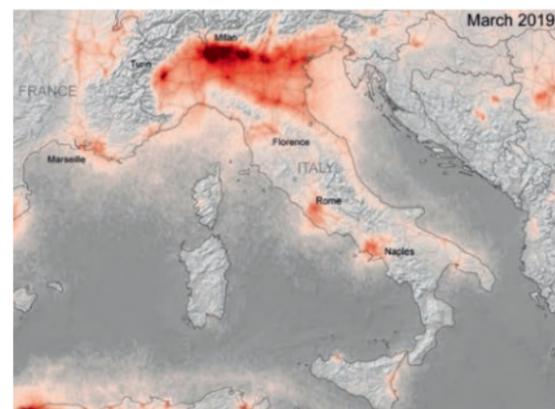
Su scala globale si stima che le giornate fredde diminuiscono a discapito dell'aumentare di quelle calde. Si verificherà pertanto un'estensione delle aree in cui vi sarà un aumento significativo delle forti precipitazioni rispetto a quelle in cui si osserverà una tendenza opposta. Nei casi più gravi, gli effetti del cambiamento climatico si manifestano con disastri ambientali come inondazioni o estrema siccità; fenomeni che intaccano principalmente le società meno sviluppate, in cui non si ha un'infrastruttura solida e ben consolidata in termini di efficienza e pertanto poco resistenti ai cambiamenti climatici.

Negli ultimi vent'anni, in particolare, il numero di eventi alluvionali segnalati è aumentato in modo significativo. Soltanto nel 2010, 178 milioni di persone sono state colpite da alluvioni. In termini economici le perdite totali in anni eccezionali come il 1998 e il 2010 hanno superato i 40 miliardi di dollari. In paesi in via di sviluppo, dove gli eventi alluvionali hanno un impatto sproporzionato sui poveri e sulle persone socialmente svantaggiate, le inondazioni colpiscono gli insediamenti urbani di tutti i tipi, dai piccoli villaggi alle città di medie dimensioni e ai centri di servizio (American, 2021).

Gli eventi che hanno caratterizzato gli ultimi anni e che ancora oggi caratterizzano il nostro periodo storico influenzano fortemente l'ambiente. La pandemia globale e il conseguente confinamento della popolazione in gran parte del mondo hanno rappresentato un evento emblematico in termini di influenza sull'ambiente. In particolar modo, l'assenza di spostamenti tramite mezzi di trasporto, e quindi la riduzione delle emissioni, ha portato ad un rilevante miglioramento della qualità dell'aria.

Questi dati sono confermati da reports realizzati dai partner del progetto LIFE PrepAIR, i quali mostrano i risultati delle analisi sulla composizione chimica del PM10 in Pianura Padana nel periodo del lockdown. Nei reports viene dimostrato come gli inquinanti gassosi presi in considerazione, benzene e ossidi di azoto (NO ed NO<sub>2</sub>), hanno subito cali importanti sia rispetto ai mesi di marzo 2016-2019 sia rispetto ai periodi precedenti il lockdown: le concentrazioni nel bacino padano sono diminuite fino al 58% per NO e al 33% e 38% rispettivamente per benzene e NO<sub>2</sub>. Tutti gli indicatori scelti confermano una riduzione importante dell'impatto sulle concentrazioni atmosferiche, rispetto allo scenario "NO-COVID" (Fig.1) (Deserti et al, 2020).

È stato inoltre analizzato da un lato il decremento considerevole delle concentrazioni in aria dei gas (sia primari che secondari) derivante delle riduzioni emissive, dall'altro il comportamento della massa totale di PM10, caratterizzato da variazioni negative e positive discontinue durante il periodo di lockdown totale con un andamento legato più alle condizioni meteorologiche (Deserti et al, 2020).



**Fig. 2** Livello di diossido di azoto durante l'epidemia di Covid-19 in Italia  
Fonte: rappresentazione elaborata da KNMI/ESA

Negli anni sono state prese diverse iniziative globali per cercare di ammortizzare gli impatti antropologici negativi sul clima, tra cui il Protocollo di Kyoto nel 1997 o l'accordo di Parigi nel 2015. Parallelamente a queste iniziative si è registrato l'aumento di circa 1 °C di temperatura media globale rispetto all'età preindustriale. I risultati dello studio condotto da Zeyun Li, Tsung-Hsien Kuo, Wei Siao-Yun, Luu The Vinh, sul ruolo delle politiche Green hanno dimostrato che i finanziamenti verdi (sotto forma di obbligazioni verdi) e le normative verdi, come le tasse ambientali, svolgono un ruolo significativo e positivo nella promozione degli investimenti nelle fonti di energia rinnovabile (Han, Fei, Liu et al., 2022).

“Per alcune tipologie di eventi è possibile attuare piani di prevenzione basati sul principio di “causa-effetto”, da ancorare a politiche e dinamiche decisionali di “filiera” (dalla scala nazionale a quella locale), per gli eventi generati dal cambiamento climatico la percezione stessa del rischio e la stima dei danni generati sono fattori variabili, dipendenti dalla natura particolare del fenomeno, i cui impatti sono connessi a cambiamenti di lungo periodo (slow-onset hazard) e riferiti a una catena di eventi a scala “globale” ancora non totalmente descrivibili in termini analitici” (Rigillo, 2016).

Rispetto ad altri paesi europei, in Italia il tema della rigenerazione urbana comincia ad attirare l'attenzione del legislatore tra gli anni '90 e i primi anni del 2000. È proprio in questo lasso di tempo che il concetto di recupero si trasforma in concetto di riabilitazione. Si passa infatti da

programmi integrati di intervento a programmi di riqualificazione urbana (l. n. 179/1992); da programmi di recupero urbano (l. n. 493/1993) a contratti di quartiere (l. n. 1071 e 1072 del 1994); da programmi di riqualificazione urbana e sviluppo sostenibile (d.m. dell'8 ottobre 1998) a programmi di riabilitazione urbana (l. n. 166/2002) (Battisti A. & Turchetti G., 2020).

In questi ultimi anni, sono numerose le norme regionali che mirano a disciplinare interventi nel campo dell'urbanistica e dell'edilizia nel quadro di riferimento della rigenerazione urbana attraverso una visione strategica di pianificazione del territorio attuata mediante piani e programmi complessi e innumerevoli normative regionali. Come spiega Roberto Mezzalama, di Golder Europe: "La questione che si pone oggi a chi finanzia, progetta, realizza e gestisce infrastrutture è sostanzialmente come integrare modelli di analisi e di previsione di questi elementi nel processo di progettazione [...] la sua capacità di adattarsi al cambiamento e quindi gli indicatori di vulnerabilità al clima [...] Quel che può e dovrebbe dare una spinta significativa a questa nuova ottica di approccio al progetto sono dei driver normativi"(Rizzuto, 2021).

Di recente, sia in Italia sia in Europa sono stati adottati diversi interventi legislativi e tecnologici quali in particolare l'istituzione del Ministero della Transizione ecologica (Mite) nel territorio nazionale, e European Aerosol Federation (FEA) in Europa, o l'introduzione dell'obiettivo "Sustainable Development Goals (SDGs)", ossia una serie di 17 obiettivi interconnessi

definiti dall'Organizzazione delle Nazioni Unite.

Questi strumenti normativi hanno prodotto un beneficio grazie alla regolamentazione e la definizione dei limiti dell'uso di combustibili e carburanti, ponendo nuovi standards di qualità dell'aria.

## Progettazione Natural Based e strategie di adattamento e mitigazione

Le Natural Based Solutions (da qui in seguito “NBS”) identificano “l’insieme di soluzioni naturali capaci di esprimere contemporaneamente mitigazione e adattamento al cambiamento climatico e simultaneamente proteggere la biodiversità e migliorare in maniera sostenibile, le condizioni di vita” (MacKinnon et al., 2008).

L’Unione Europea ribadisce l’importanza di queste strategie, definendo le NBS come utili “ad aiutare la società ad affrontare una varietà di sfide ambientali, sociali ed economiche in modo sostenibile. Sono azioni ispirate, supportate o copiate dalla natura [...]” (European Commission, 2015).

Le NBS, se correttamente utilizzate, possono contribuire a perseguire obiettivi quali: l’incremento della sostenibilità dei sistemi urbani, il recupero degli ecosistemi degradati, la mitigazione rispetto al climate change, il miglioramento della gestione del rischio e della resilienza (European Commission, 2015).

Rispetto a questi obiettivi prioritari, il già citato gruppo di lavoro della Commissione Europea definisce sette azioni di ricerca e innovazione basate sull’applicazione delle NBS: “1) rigenerazione urbana; 2) migliorare il benessere nei contesti urbani; 3) aumentare la resilienza dei sistemi costieri; 4) gestione dei bacini idrografici e ripristino degli ecosistemi; 5) aumento della sostenibilità nell’uso dei materiali e dell’energia; 6) valorizzare il “valore assicurativo” degli ecosistemi; 7) aumentare la cattura del carbonio nell’aria” (European Commission, 2015).

La forte urbanizzazione caratterizzate le città moderne può essere utilizzata come strumento per la mitigazione climatica. Infatti, i centri abitati possono fungere da catalizzatori di meccanismi virtuosi per l’ambiente, diventando supporti alle NBS, ovvero strumenti e strategie per la rigenerazione ambientale.

Il principio dell’approccio progettuale attraverso l’utilizzo di NBS è quello di alimentare e forzare processi naturali per mezzo di ambienti edificati, col fine sia di aumentare il comfort climatico interno ed esterno, diminuendo così la domanda energetica alla rete comune.

Gli interventi NBS possono essere di tipo strutturale o non strutturale riguardanti l’implementazione di strutture già esistenti, o provvedendo ad un piano ad hoc tramite la coordinazione di diverse soluzioni nell’ambiente urbano. Le NBS seguono un approccio inter-scalare generando miglioramenti specifici al tipo di intervento.

L’utilizzo di NBS diventa più efficace quando questo è inquadrato in una rete più ampia di soluzioni, rendendo la sua presenza utile in un processo multi scalare.

Nel contesto italiano un contributo significativo emerge nel documento “Verso l’attuazione del Manifesto della Green Economy per l’architettura e l’urbanistica”, elaborato dal Gruppo di lavoro Policy dell’Architettura per la Green Economy nelle Città e presentato in occasione degli Stati Generali della Green Economy 2017 (Antonini & Tucci, 2017). In questo articolo, le NBS sono considerate prioritarie per la sperimentazione di modelli

operati innovativi in grado di coniugare le esigenze ambientali con quelle sociali ed economiche. Infatti, attraverso l'uso puntuale, sistemico, e aggregato, volto a formare infrastrutture verdi e blu delle NBS è possibile fornire contributi concreti "a strategie intersettoriali e multi scalari che assumano le risorse e le componenti ambientali e paesaggistiche quali leve dello sviluppo socio-economico, e il potenziamento degli strumenti di governance del capitale naturale quale motore di una efficace ricomposizione delle relazioni tra attività economiche e ambiente, anche entro filiere produttive innovative" (Antonini & Tucci, 2017).

In linea di massima, in uno scenario globale in cui si assiste all'incremento di aree urbane, occorre prestare più attenzione ai bisogni delle singole città in termini di pianificazione. L'assenza di una pianificazione ambientale porta inevitabilmente ad una scarsa coesistenza tra gli ambienti urbani e naturali che ha come conseguenza il verificarsi di disastri naturali.

Le NBS si possono applicare per la riqualificazione degli spazi pubblici, delle aree urbane residuali, delle opere edilizie incompiute, dei fronti ciechi degli edifici, degli immobili abbandonati e più in generale in tutti i contesti per i quali siano necessari processi di rigenerazione urbana.

L'utilizzo diffuso di NBS potrebbe portare alla definizione di un progetto di trasformazione e gestione delle componenti ambientali, paesaggistiche e socioeconomiche, con un rilevante incremento della resilienza urbana rispetto al problema del Climate Change.

La letteratura sul tema distingue due tipi di atteggiamenti virtuosi analoghi tra loro: adaptation e mitigation. La principale differenza tra i due approcci risiede nel tempo di efficacia e di applicazione.

Con il termine "adaptation" si intende la regolazione del genere umano o della natura agli stimoli e gli effetti legati al climate change, ossia un approccio più indiretto; il termine "mitigation", invece, si riferisce all'azione di intervento diretta posta alla base delle cause scatenanti il climate change. Questi due approcci non si annullano tra loro, anzi occorre che siano applicati all'unisono così da aumentare l'efficacia di entrambi e raggiungere risultati concreti.

La "mitigazione" degli effetti del climate change significa intervenire sulle cause e ricercare soluzioni alla base del problema, come ad esempio limitare il consumo di combustibili fossili, aumentando e incentivando l'uso di mezzi pubblici o elettrici ed incrementare l'efficienza energetica degli edifici o delle catene produttive.

L'idea di "adattamento" si riferisce piuttosto alle azioni del singolo, al cambiamento delle abitudini e della quotidianità così da adattarsi con resilienza al cambiamento climatico del contesto, cercando di rendere più confortevoli le cause del cambiamento climatico tenendo conto della mitigazione.

Gli effetti positivi della mitigazione climatica sono perlopiù visibili nel medio-lungo termine e su una scala nazionale, se non globale (Klein et alii, 2007).

Tra le strategie ambientali la più diffusa è l'installazione di tetti verdi, la quale risulta essere la più rilevante tra le reazioni adattive. La soluzione di tetti verdi diffusi in ambiente urbano permetterebbe uno stoccaggio d'acqua in situazioni climatiche violente, rendendo il sistema di gestione delle acque piovane più resiliente, grazie ad una decentralizzazione del water management. I tetti verdi contribuiscono anche alla mitigazione del calore, riducendo le alte lunghezze d'onda e migliorando la qualità dell'aria. L'applicazione di pareti verdi consentirebbe il raffrescamento delle superfici esterne.

Sono molto diffuse le politiche che incentivano l'utilizzo di queste soluzioni. Città quali Chicago e Portland hanno sviluppato strategie politiche volte ad incentivare l'installazione di tetti verdi. Seattle ha invece introdotto uno standard edilizio chiamato "Green Factor" volto a imporre un valore minimo di aree verdi nei casi di nuova costruzione (Stone, 2012).

Attualmente il concetto di mitigazione, associato ai cambiamenti climatici, è definito dalle Nazioni Unite come "un intervento dell'uomo per ridurre le fonti di gas serra e/o aumentarne l'assorbimento, per diminuirne le concentrazioni in atmosfera". La mitigazione degli effetti indotti dal climate change insieme alla capacità di adattamento sviluppato, ossia la capacità del "sistema" di rispondere adeguatamente, definiscono la resilienza dello stesso anche in termini economici e sociali (Lucarelli, D'Ambrosio & Milardi, 2017).

Come affermato dal Ministero dell'ambiente nel 2002, l'utilizzo di strategie e sistemi di mitigazione sono la risposta più adeguata alle vulnerabilità fisiche dei sistemi. Il cambiamento climatico scatena anomalie sia negli equilibri fisici, sia nei sistemi naturali, sia nei sistemi antropizzati. Un esempio di quanto sopra sono le aree rurali, in cui il cambiamento di equilibri nel territorio causa lo spopolamento della zona, a cui segue l'abbandono delle opere volte a garantire la manutenzione e conservazione del suolo, aumentando al tempo stesso la probabilità di innesco di fenomeni di alterazione (Ministero dell'Ambiente, 2017).

La progettazione passiva è un tipo di strategia di mitigazione. Questa progettazione tiene conto della forma e del layout degli edifici e dei distretti urbani, secondo principi bioclimatici legati all'orientamento dei flussi (termici, ventilativi e luminosi) in rapporto alle specifiche condizioni locali. Questi temi fanno parte di un atteggiamento a scala più vasta ovvero l'idea di "città resiliente". Il concetto di "resilienza" ha diverse declinazioni che possono essere riassunte nella capacità di adattarsi e rispondere alla presenza di shock esterni.

Sono molte le strategie utilizzabili per rendere una città più resiliente nel lungo periodo, agendo su una serie di campi quali ecologico, economico e sociale. Alcuni di questi percorsi biofilici sono definiti diretti: ad esempio, quando gli investimenti in infrastrutture verdi, quali il ripristino di zone umide o la piantumazione di vegetazione tollerante alla siccità nelle città, servono a produrre benefici e risultati in termini di resilienza (in particolare,

riduzione delle temperature estive, riduzione delle inondazioni dovute alle tempeste costiere). Altri percorsi sono più indiretti: questo accade quando gli elementi verdi servono a stimolare o migliorare comportamenti benefici e salutari, ad esempio camminare, che a loro volta servono a migliorare la resilienza degli individui e delle famiglie per affrontare gli stress futuri (Beatley & Newman, 2017).

# 2

# L'INFLUENZA DELL'AMBIENTE URBANO SUL MICROCLIMA

- 2.1. Glossario di base
- 2.2. Il fenomeno dell'Isola di calore
- 2.3. L'importanza della morfologia urbana
- 2.4. Vegetazione ed effetti sul comfort outdoor
- 2.5. I materiali urbani e Cool materials
  - 2.5.1. L'albedo dei materiali urbani
  - 2.5.2. Cool materials e mitigazione del calore
  - 2.5.3. Tipologie di cool material

**\_Canyon Urbano**

Definisce una tipologia edilizia urbana che consiste in uno spazio lineare limitato da entrambi i lati da elementi verticali continui. Questa tipologia urbana è descritta da tre principali fattori:

**\_Rapporto altezza - larghezza (H/W)**

è un rapporto dimensionale che descrive le proporzioni in sezione dell'U.C. definito dalla proporzione tra l'altezza dell'elemento verticale delimitando il bordo la distanza tra i bordi

**\_Fattore di vista del cielo (SVF)**

è legato al rapporto H/W, quindi anch'esso dipende dalle proporzioni della sezione del canyon. Questo termine descrive la porzione di cielo "vista" dalle superfici interne degli elementi verticali delimitanti i bordi

**\_Orientamento dell'asse dei canyon ( $\theta$ )**

Rappresenta la direzione, misurata in gradi, come angolo tra la linea di riferimento nord-sud e la direzione lineare principale del canyon.

**\_Microclima urbano**

Il microclima rappresenta il clima di uno spazio che differisce da quello della zona circostante. Le condizioni microclimatiche come la temperatura dell'aria, il flusso del vento e l'equilibrio della radiazione all'interno di un'area, che può variare in dimensioni da pochi centimetri a diversi chilometri, sono influenzate dalla natura fisica delle immediate vicinanze e dal clima della regione circostante. (Erell, Pearlmutter & Williamson, 2011).

**\_Isola di Calore Urbana (UHI)**

Definisce il fenomeno dell'isola di calore definita dalla differenza tra la temperatura misurata in ambiente urbano e la temperatura misurata nell'ambiente non urbanizzato limitrofo

**\_ Park cool Island (PCI)**

Rappresenta l'effetto oasi in un ambiente urbanizzato che, grazie alla presenza di aree verdi, raffresca l'aria in modo localizzato. Questo è il fenomeno opposto dell'isola di calore.

**\_ Temperatura media radiante (TMR)**

è uno di parametri ambientali che caratterizzano il comfort termico di un ambiente. Sostanzialmente riguarda la temperatura media delle superfici che circondano un ambiente. le variabili più importanti che caratterizzano la TMR sono la radiazione ad onde corte (solare) e la radiazione ad onda lunga (terrestre)

**\_ Albedo**

è un indice adimensionale che definisce la quantità di energia solare incidente che viene riflessa da una superficie. È definita in un intervallo compreso tra 1 e 0 in cui 1 è il valor più alto di riflettanza (superficie bianca) mentre 0 rappresenta il massimo valor di assorbimento (superficie nera)

**\_Temperatura Fisiologica Equivalente (PET)**

Dato che, la percezione termica dipende da una moltitudine di fattori, oggettivi e soggettivi, il comfort ambientale può essere percepito in maniera diversa. Il PET sintetizza questa complessità riconducendola ad un "valore che descrive la condizione equivalente di un soggetto standard in un ambiente standard interno" (Losasso, Lucarelli, Rigillo & Valente, 2020).

**\_Riflettanza solare (SR)**

La riflettanza solare (o albedo) è la frazione di radiazione riflessa da una superficie rispetto alla radiazione solare che la investe.

**\_Indice di Riflettanza solare (SRI)**

L'indice SRI tiene conto sia della capacità del materiale di riflettere la radiazione solare, sia della capacità di emettere la radiazione solare assorbita come radiazione termica.

**\_Emissività termica**

È riferita alla capacità di una superficie di trasmettere energia sotto forma di radiazione termica. In generale, maggiore è SRI, maggiore è la capacità delle superficie di rimanere "fredda".

## Il fenomeno dell'Isola di calore

Come brevemente introdotto nel glossario di base (Capitolo 2.1.), il fenomeno dell'isola di calore può essere descritto come gradiente di temperatura tra un'area urbana e una zona rurale nelle stesse condizioni atmosferiche.

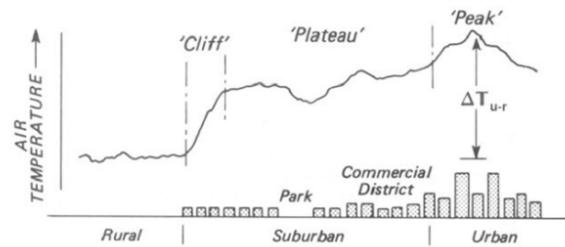
La prima testimonianza del fenomeno dell'isola di calore in letteratura risale allo studio di Luke Howard nel 1818 a Londra. Grazie alle sue ricerche, l'interesse per il fenomeno si estese dall'ambito scientifico a quello pubblico (Stone, 2012).

Tuttavia, il fenomeno dell'isola di calore nelle aree urbane non è un aumento lineare della temperatura. Come illustrato in Fig. X, il fenomeno dell'isola di calore è un fenomeno puntuale e locale definito da molti fattori, tra cui le caratteristiche morfologiche micro-urbane che vanno dalla differenza di altezza degli edifici alla loro densità e la consistenza materica delle superfici (Erell, Pearlmutter & Williamson, 2015).

Alla base di questo fenomeno vi è il comportamento termico della superficie terrestre che agisce come un corpo nero, assorbendo calore durante il giorno ed emettendo radiazione principalmente durante la notte nel range di frequenze infrarosse.

Inoltre, durante la notte si assiste alla cosiddetta inversione termica, ossia all'aumentare della quota si ha un aumento della temperatura. Questo aumento si verifica poiché si hanno più probabilità di cielo sereno e bassa velocità del vento con conseguente raffreddamento della superficie terrestre dato dal rilascio di radiazioni ad ampia lunghezza d'onda verso l'infrarosso del cielo. Tale condizione è inversa nelle ore diurne.

Infatti, si assiste al fenomeno dell'isola di calore principalmente in



**Fig.3** Sezione urbana tipo di un tipico UHI

Fonte: Ridisegno da Oke (1976)

prossimità del tramonto e nelle prime ore della notte. Tale evento si verifica in quanto i raggi solari intercettati dalle superfici dell'ambiente costruito sono assorbiti dai materiali in relazione al loro coefficiente termico ed indice di trasmissione. Questo calore viene rilasciato successivamente in base allo sfasamento termico dei materiali. (Yang et al., 2013)

Oltre a queste dinamiche microclimatiche, nel periodo estivo durante le ore con minor irraggiamento termico, l'aria esterna viene riscaldata dal rilascio di calore emesso dai materiali e dalle UTA (unità di trattamento aria) utilizzati per climatizzare gli ambienti interni. (Yang et al., 2013)

Diversi studi analizzano l'apporto umano, il cosiddetto "calore antropologico". Il calore antropologico è misurato più o meno su 15 ai 75 W/m<sup>2</sup>. Detto contributo antropologico influisce per lo più sull'utilizzo di processi, i quali indirettamente si riversano e influiscono sul riscaldamento climatico.

L'utilizzo di sistemi di raffreddamento degli edifici, ad esempio, esercita la sua influenza emettendo dapprima aria calda nell'ambiente esterno, e alimentando l'isola di calore ed infine la necessita di sistemi di raffreddamento.

Tra le influenze antropiche vi è il traffico la cui emissione di CO<sub>2</sub> alimenta l'emissione di gas che alimenta a sua volta l'effetto serra (Georgakis et al., 2014).

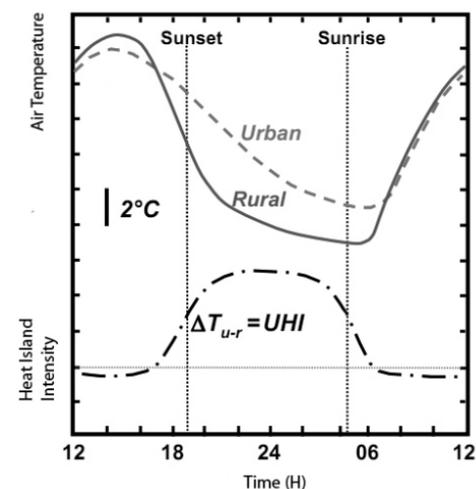
In microscala, e quindi considerando la dimensione urbana, viene valutata la comodità termica umana attraverso una pluralità di indici termici

presenti in letteratura. La morfologia naturale e artificiale influisce sui parametri climatici e sulle condizioni termiche sia in mesoscala che in microscala, con impatti significativi su scala regionale di quartiere e di canyon urbani. Inoltre, questi fattori hanno un impatto sui parametri meteorologici come la temperatura dell'aria, l'umidità, la velocità del vento, la temperatura radiante media, la temperatura superficiale e la radiazione a corto e lungo raggio che hanno un forte effetto sulle condizioni termofisiologiche degli esseri umani (Lobaccaro et al., 2021).

Gli indici termici associati alle condizioni microclimatiche con la sensazione di stress termico umano sono classificati come modelli di stato stazionario. Il PET (equivalente termico fisiologico) e il voto medio previsto (PMV) sono indici termici utilizzati per prevedere le risposte termiche medie dell'essere umano (Emmanuel et al., 2007).

Il PET consente di valutare il comfort termico umano in ambienti interni ed esterni e viene espresso in gradi Celsius. Viene definito come la temperatura dell'aria alla quale, in un tipico ambiente chiuso senza vento e radiazione solare diretta, il bilancio di calore del corpo umano è in equilibrio con la stessa temperatura interna e della pelle che avrebbe in un ambiente esterno complesso. In questo modo è possibile confrontare gli effetti di condizioni termiche complesse dell'esterno con le condizioni termiche percepite in ambienti chiusi (RUROS, 2004).

Il suo calcolo si basa sul modello di bilancio energetico di Monaco per gli individui (MEMI). Questo modello tiene conto della fisica del corpo umano (ad esempio, il sesso, l'altezza, l'attività fisica, la resistenza dei vestiti al trasferimento di calore, l'albedo a onde corte e l'emissività a onde



**Fig. 4** Tipica variazione diurna di un ambiente urbano e un ambiente rurale e il risultato dell'intensità dell'isola di calore notturna

Fonte: Rielaborazione da Oke (1987)

Nota: L'isola di calore notturna si genera come il risultato di un raffreddamento relativamente veloce nell'ambiente rurale, che avviene nel tardo pomeriggio a confronto con il più lento raffreddamento in ambiente urbano.

lunghe della superficie) e dei parametri meteorologici (in particolare, la temperatura dell'aria, l'umidità dell'aria, la velocità del vento, i flussi di radiazione e la temperatura radiante media) (Höppe, 1999).

## L'importanza della morfologia urbana

Un' importante fattore che influisce sul microclima urbano è la dislocazione e la geometria degli edifici.

Su ampia scala, la conformazione urbana, in determinate condizioni, può favorire la circolazione dell'aria rendendo la temperatura dell'aria più fresca come, ad esempio, una matrice urbana più densa che, diversamente da una più rada, genera tra gli edifici delle correnti di ventilazione (Chatzidimitriou & Yannas, 2017).

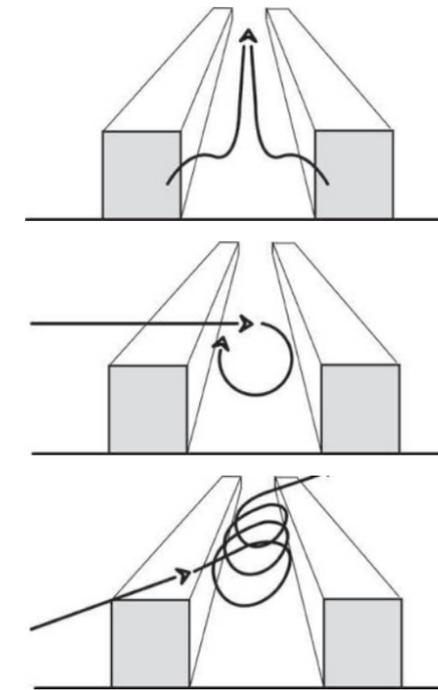
La presenza di edifici e strutture urbane di varia geometria incide sulla circolazione dell'aria nelle città, rallentando la velocità del vento e riducendo il potenziale di ventilazione naturale. Ciò può rappresentare una delle cause dell'effetto isola di calore urbano (Dionysia-Denia Kolokotsa et al., 2013).

A diverse scale di studio, l'apporto umano e quello vegetale hanno effetti differenti sulla velocità dell'aria, la direzione e l'intensità delle turbolenze.

Ad esempio, a livello regionale, le correnti di ventilazione sono influenzate dalla differenza di pressione generata dalla differenza di temperatura superficiale tra il luogo in esame e il mare, nonché dalla presenza o assenza di aree piane e lisce. La presenza di vegetazione, tipologie edilizie o la topografia del terreno sono tutte caratteristiche che ostacolano l'andamento del vento e ne modificano l'entità.

La porzione di aria in cui gli effetti della ventilazione sono maggiormente avvertiti è chiamata "Boundary-layer" o livello al contorno (Erell, Pearlmutter & Williamson, 2015).

Quando il vento orizzontale intercetta un edificio, vengono generate



**Fig.5** Andamento delle perturbazioni all'interno dei canyon urbani in base all'orientamento del canyon urbano

Fonte: Rielaborazione da Oke (1988)

almeno tre zone in cui il movimento dell'aria è differente. Ad un'altezza specifica il flusso rimane indisturbato, tuttavia avvicinandosi al tetto dell'edificio si verifica una condizione di sopravvento, con un aumento della velocità dell'aria vicino alla superficie. Nel lato opposto si ha il fenomeno di sottovento, con la presenza di vortici e turbolenze vicino alle superfici. Allontanandosi dall'edificio si ha la cosiddetta "scia", ovvero un graduale andamento del flusso in posizione parallela al terreno (Erell, Pearlmutter & Williamson, 2015). Generalmente, le aree di alta pressione generano fenomeni di sopravvento e quelle di bassa pressione generano sottovento. Alcuni parametri chiave volti ad influenzare il flusso d'aria nel paesaggio urbano sono i seguenti:

- La permeabilità complessiva del quartiere. Quest'ultima fa sì che il vento prevalente viaggi lungo le strade principali e penetri in profondità. Questo fenomeno avviene principalmente in presenza di strutture basse lungo la direzione prevalente del vento.
- Variazione dell'altezza dell'edificio. La variazione dell'altezza degli edifici migliora notevolmente la penetrazione del flusso d'aria nel paesaggio urbano. Generando diverse zone con gradiente di pressione (Chatzidimitriou & Yannas, 2017).

L'asse urbano lineare delimitato dalla presenza continua degli edifici e definito come "canyon urbano" caratterizza la maggior parte delle maglie urbane delle città e, proprio per questo, ha un'influenza rilevante sul microclima urbano. Il rapporto tra l'altezza (H) degli edifici e la larghezza (W) che definisce le caratteristiche all'urban canyon è determinante per i

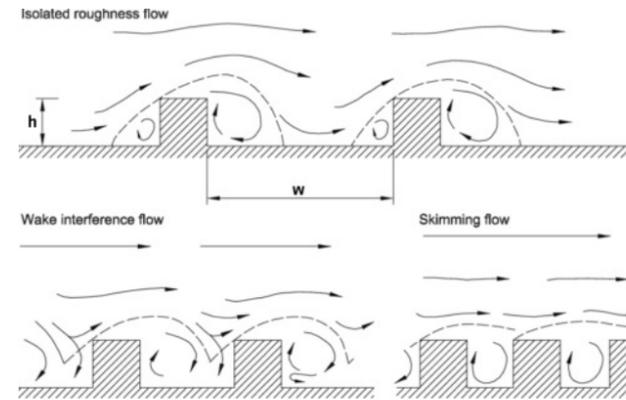
fenomeni di ventilazione verificatisi al suo interno.

Un canyon più profondo, ossia più alto, genera una maggiore quantità di vortici al suo interno, rendendo i vortici nella zona di sottovento più intensi rispetto a quelli nella zona sopravvento. Grazie allo strato di ventilazione presente nello strato superficiale verticale, gli inquinanti e il calore possono essere smaltiti fino alla copertura (Erell, Pearlmutter & Williamson, 2015).

Nella zona centrale del canyon si verifica una zona di bassa velocità del vento. La massima velocità del vento si verifica sulla sommità del canyon e una velocità del vento relativamente alta si verifica lungo la facciata dell'edificio a valle. In presenza di una geometria degli edifici con alta densità, e quindi con un alto rapporto H/W, il flusso d'aria principale scorre sopra i tetti degli edifici senza entrare nel canyon. Questo flusso viene chiamato flusso di skim (Figura 14c). (Andreou, 2013).

Un'altra importante caratteristica che influisce sui fenomeni dell'urban canyon è la larghezza degli edifici. Infatti, i flussi d'aria sono influenzati non solo dal rapporto H/W, ma anche dalla relazione tra altezza e lunghezza L/W del canyon (Chatzidimitriou & Axarli, 2017). Grazie ad alcuni tests effettuati nella galleria del vento si è constatato che con l'aumentare della lunghezza degli edifici la turbolenza del vento rimane sempre più invariata. (Erell, Pearlmutter & Williamson, 2015).

Attraverso il rapporto dimensionale H/W del canyon urbano viene definita anche l'esposizione delle superfici verticali dell'edificio all'irraggiamento solare. Teoricamente le superfici meno dirette ai raggi solari non sono



**Fig.6** Regimi di flusso del vento in tre differenti canyon urbani

Fonte: Rielaborazione da Oke (1988)

soggette al surriscaldamento per irraggiamento. Tuttavia, la morfologia del canyon trattiene i raggi solari generando molteplici riflessioni tra le superfici, riducendo l'albedo e aumentando il calore assorbito.

I canyon urbani funzionano come trappole, le quali riducono la perdita di radiazione sia a onda corta che a onda lunga. In seguito, questo calore si trasforma in calore latente che riscalda l'aria (Erell, Pearlmutter & Williamson, 2015).

L'accumulo di calore all'interno del canyon, dato dalle superfici, a sua volta genera meccanismi di ventilazione convettivi, come l'effetto camino, che cambiano i modelli di ventilazione.

Ciò significa che, se la superficie inferiore del canyon viene riscaldata dai raggi solari, si crea un altro circolo di ventilazione volto a contrastare quello causato dal vento, dato che si contrappone alla parete antistante fredda. Ciò porta alla formazione di vortici interni al canyon che riducono lo smaltimento di inquinanti e calore. (Andreou, 2013) Quando il vento è forte, l'effetto di avvezione prevale, anche se le superfici del canyon sono riscaldate dall'irraggiamento.

Queste dinamiche termiche caratterizzate dalla geometria urbana sono rilevanti per l'intensità dell'isola di calore urbano e la percezione del clima outdoor. Gli effetti di una ventilazione inadeguata sono critici durante periodi di venti prevalenti estremamente bassi e alta radiazione (Barlag & Kuttler, 1990).

Queste dinamiche possono essere dominate con una corretta



progettazione, al fine di proteggere o potenziare le condizioni climatiche e microclimatiche favorevoli nelle città. Numerose città europee, in particolare quelle tedesche, hanno una lunga tradizione di pianificazione urbana realizzata attraverso la climatologia.

Freiburg e Stoccarda costituiscono esempi notevoli di smaltimento del calore urbano e miglioramento della qualità dell'aria. In particolare, Freiburg impone limitazioni di altezza in alcune zone della città così da prevenire l'interruzione di questi flussi d'aria e al tempo stesso progetta nuovi edifici e quartieri per consentire un migliore e più agevole passaggio dell'aria. Stoccarda, invece, ha designato una serie di "corsie di ventilazione" ove lo sviluppo futuro di pianificazione urbana è limitato (Rehan, 2016).

La ventilazione naturale è una valida strategia per raggiungere un comfort termico accettabile e per ridurre sia la concentrazione di inquinanti sia la dispersione del flusso di calore. I movimenti dell'aria sono in grado di determinare lo scambio convettivo di calore e la massa del corpo umano con l'ambiente circostante. Infatti, velocità dell'aria elevate favoriscono l'evaporazione della superficie della pelle e migliorano la sensazione di freschezza (Feriadi H., 2003).



## Vegetazione ed effetti sul comfort outdoor

La presenza di vegetazione nei tratti urbani ha una valenza sia termini climatici sia in merito alla mitigazione del fenomeno dell'isola di calore. L'effetto di quest'ultimo è complesso e non sempre apporta benefici in termini termodinamici.

L'efficacia in termini di mitigazione del calore dipende infatti da diversi fattori quali: la tipologia di piante le quali vivono in determinate condizioni meteorologiche, il punto della giornata.

In determinate condizioni meteorologiche la temperatura rilevata in un parco urbano potrebbe essere più calda rispetto a quella di un'area urbana (Erell, Pearlmutter & Williamson, 2015).

La vegetazione porta con sé diversi effetti termici dati dalla presenza di terreno organico e processi biochimici propri delle piante.

In termini di radiazione termica si verifica da una parte la riduzione della penetrazione delle onde corte della radiazione solare sulla superficie terrestre entrante, e dall'altra l'intercettazione di grandi onde (infrarossi) radiazione terrestre verso l'atmosfera uscente. (Erell, Pearlmutter & Williamson, 2015).

Altre caratteristiche concernono la capacità di accumulo energetico delle piante e del terreno, a differenza di superfici inanimate, attraverso un accumulo energetico fisico e un tipo di accumulo biochimico dato dalla fotosintesi e il cambio di CO<sub>2</sub> (Lee et al., 2016).

Tuttavia, se da un lato alberi e piante con il loro ombreggiamento intercettano la radiazione solare diretta, riducendone l'assorbimento

diretto di calore da parte del terreno e, conseguentemente, diminuendo il calore latente rilasciato, dall'altro lato le lunghe lunghezze d'onda rilasciate dal terreno e dalle superfici degli edifici impediscono il raffrescamento notturno dell'aria.

Un altro aspetto concerne l'impermeabilizzazione del suolo. Infatti, quando il terreno è impermeabile, l'acqua delle precipitazioni non può essere assorbita e richiede maggior calore sensibile all'aria per evaporare, causando un raffreddamento dell'aria e una trasformazione del calore sensibile in calore latente (Shahidan et al., 2012). Al contrario, il terreno permeabile assorbe l'acqua e rende il processo di evaporazione più veloce, mantenendo l'aria fresca durante il giorno senza trasformare il calore sensibile in calore latente.

L'evaporazione di superfici vegetali determina un aumento del flusso di calore latente e parallelamente una riduzione del flusso di calore sensibile nell'atmosfera. Utilizzando un grafico con un andamento verticale delle temperature si può notare come questo fenomeno di raffrescamento dell'aria dato dall'evaporazione si verifichi in modo uniforme rispetto a una normale superficie spoglia (Losasso et al., 2020). Detto fenomeno di condensazione e di evaporazione è dovuto sia alla superficie terrestre sia in larga parte alla traspirazione delle foglie (Erell, Pearlmutter & Williamson, 2015).

Nei casi qui esposti si parla di Park Cool Island (PCI), o anche detto "effetto oasi" in opposizione all'effetto isola di calore. Diversi studi dimostrano

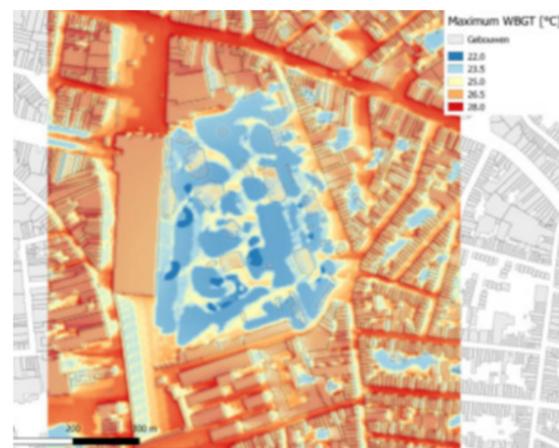
come la temperatura dell'aria di un parco di moderata grandezza è più bassa rispetto all'area edificata attorno ad esso (Erell, Pearlmutter & Williamson, 2015).

Il fenomeno del PCI è l'effetto combinato dell'umidità presente nel terreno e l'ombreggiamento dato dalla vegetazione. Tuttavia, questo fenomeno è circoscritto in una scala locale in cui l'evaporazione ha un ruolo maggiore se paragonata alle alte temperature di una più ampia scala urbana.

La grandezza della differenza di temperatura tra un parco urbano e lo spazio costruito dipende principalmente dalla estensione del parco o ancora dall'esposizione di area verso il cielo. Un piccolo parco genera un effetto di raffrescamento localizzato dato dall'effetto di ombreggiamento ed evaporazione, mentre un parco di grandezza minima di 10 metri quadri genera un raffrescamento più diffuso percepibile al suo intorno (Lee et al., 2016).

In caso di pioggia, la presenza di un eccesso di umidità nel terreno determinerebbe un incremento della capacità termica, rallentandone il raffrescamento. Considerando che il flusso evaporativo è molto debole durante la notte, il terreno delle piante non potrebbe giocare un ruolo fondamentale nel raffrescamento dell'ambiente.

Ad ogni modo, l'effetto positivo sulla temperatura dell'aria da parte del terreno è rilevante ad almeno un metro di altezza dal terreno (Scott et al., 1999).



**Fig.7** Valori massimi per lo zoo di Anversa. Le forme grigio chiaro corrispondono agli edifici. I "punti freddi" blu nella figura

*corrispondono alle zone dove c'è l'ombra delle chiome degli alberi o degli edifici, e le zone blu intenso più fresche sono i laghetti dello Zoo dove è presente l'ombra*

Occorre inoltre tenere in considerazione che l'albedo della vegetazione è relativamente più bassa di quella di una qualunque superficie urbana. Il prato riflette il 20% della radiazione solare diretta, mentre alberi e cespugli poco più del 15%, valori analoghi a quelli dell'asfalto (Losasso et al., 2020).

In termini di risparmio energetico e in relazione agli edifici la vegetazione può essere utilizzata per creare ombra sulle superfici degli edifici. Così facendo, si ridurrebbe la necessità di climatizzazione forzata e di conseguenza il consumo energetico dell'edificio. L'ombra e pertanto il raffrescamento delle superfici esterne dell'edificio ridurrebbero il gradiente di temperatura tra esterno e interno, determinando un minore flusso termico delle pareti. Questo processo è sicuramente utile nei climi caldi, tuttavia la sua efficacia si riduce quando applicata nei climi freddi. In questi climi, in cui le stagioni sono più fredde, è ottimale avere un guadagno termico dato dalla radiazione solare (Lee et al., 2016).

Questi risultati virtuosi vengono meno a causa della mal disposizione delle piante. Infatti, la disposizione lineare di filari d'alberi in spazi delimitati ai bordi, canyon street, non permette la creazione di vortici d'aria ascendenti, i quali smaltirebbero gli agenti inquinanti. Si noti infatti che un albero senza foglie ha una superficie occupata del 90% ed il restante 10% non risulta abbastanza permeabile per garantire il passaggio di aria. Di conseguenza, non consente il generarsi di correnti di vento e ciò comporta un sostanziale effetto cappa dovuto all'intrappolamento degli agenti inquinanti (Scott et

al., 1999).

Diversi esempi dimostrano come le città con reti più estese di parchi e spazi verdi, indipendentemente dal loro design e dalla loro configurazione, si adattano meglio ai cambiamenti climatici a lungo termine. Un esempio è la città di Brisbane, in Australia, che ha un'elevata copertura di verde e sta creando una rete di aree naturali interconnesse con variazioni topografiche e diversità per consentire alla biodiversità autoctona di adattarsi e modificarsi in base ai cambiamenti climatici (Beatley & Newman, 2008).

Toronto è stata invece la prima città americana a imporre l'installazione di tetti verdi per i tetti di dimensioni superiori a una certa soglia. Le stime indicano che la conversione dei tetti piani in tetti verdi permette di ridurre le temperature urbane di 1,5 gradi Celsius o più (Banting et al. 2005).

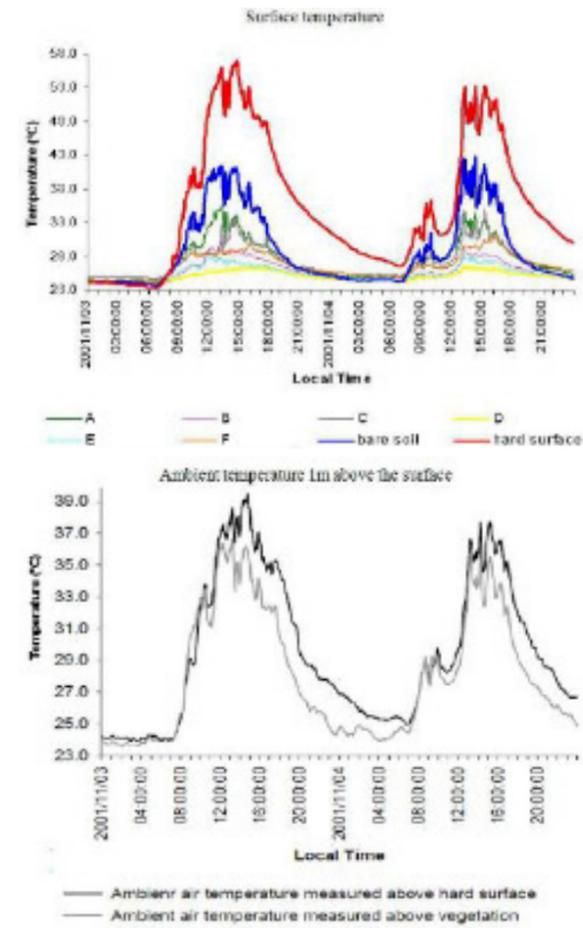
Un altro importante studio in merito è quello di Wong, il quale studia l'impatto della vegetazione intensiva ed estensiva sui tetti degli edifici e il loro comportamento energetico ed ambientale. Questo studio dimostra come la vegetazione sui tetti può fornire benefici non solo all'edificio di per sé, ma anche alle condizioni di temperatura dell'ambiente circostante. Infatti, con un sistema di giardino intensivo sul tetto, la temperatura superficiale può ridursi fino a 3,1°C e la temperatura ambientale a 1 metro dal tetto può diminuire fino a 1,5°C, come mostrato nella Fig. 9. L'impatto della vegetazione sui tetti è ancora più evidente per i tetti in metallo poiché senza piante la superficie metallica può arrivare fino a 60-70°C di giorno

e inferiore a 20°C di notte, mentre con le piante varia solo da 24°C a 32°C. (Nyuk Hien et al., 2013).

Secondo alcuni ricercatori, l'energia trasferita dal calore latente attraverso le piante può essere molto elevata. Durante una giornata di sole estivo, un albero medio può evaporare quasi 1460 kg di acqua, producendo un effetto di raffreddamento equivalente a cinque condizionatori d'aria medi (Moffat A. & Schiler M., 1981). Questo effetto di raffreddamento può moderare il microclima circostante, ma i suoi impatti sono limitati. Tuttavia, i grandi parchi urbani possono estendere gli effetti positivi all'ambiente edificato circostante. Ad esempio, uno studio condotto da Chen e Wong a Singapore ha rilevato una differenza di temperatura media massima di 1,3 K intorno ai parchi. Dunque, i risultati derivati dallo studio di simulazione dimostrano che una quantità significativa (ossia una riduzione di quasi il 10% del carico di raffreddamento) del consumo di energia per il raffreddamento può essere preservata quando gli edifici vengono costruiti vicino a parchi (Chen Y. & Wong NH., 2006). Le temperature misurate all'interno dei parchi sono fortemente correlate con la densità delle piante, ovvero l'indice di superficie fogliare (LAI), poiché gli impianti con LAI più elevati possono portare a temperature ambientali inferiori. Lo studio in questione dimostra come anche una piccola area verde di 60x40 m è in grado di creare un notevole effetto di raffreddamento, riducendo la differenza massima tra l'interno e l'esterno della piccola area verde a 3K (Saito I., 1990). Inoltre, l'effetto ombreggiante fornito dalle piante sulla superficie degli edifici può abbassare le temperature superficiali e, di

conseguenza, ridurre il consumo di energia frigorifera.

Gli impianti in posizione strategica possono ridurre il consumo di energia di raffreddamento tra il 25% e l'80%. Ulteriori risparmi di consumo si osservano quando le unità di condizionamento dell'aria sono ben ombreggiate dalle piante.



**Fig.8** Confronto delle temperature superficiali e ambientali misurate con impianti diversi

Fonte: Wong et al. 2007

## I materiali urbani e Cool materials \_L'albedo dei materiali urbani

Il microclima urbano viene influenzato da una moltitudine di fattori che definiscono l'ambiente. È evidente che l'apporto maggiore di calore sia dato dal flusso radiativo proveniente dal sole che, interagendo con gli elementi che compongono lo spazio, genera fenomeni termici complessi. In grandi linee, la Terra è un corpo opaco che assorbe la radiazione solare e il suo contenuto energetico, ma grazie a processi come la riflessione della radiazione incidente (albedo) l'assorbimento energetico non è totale.

In termini di bilancio termico, si stima che il 35-40% della radiazione riflessa dalla Terra sia nuovamente dispersa nello spazio. Questo avviene anche grazie alla capacità del sistema Terra di mantenere una temperatura costante che garantisce un equilibrio tra il flusso energetico incidente e il flusso radiativo uscente sotto forma di radiazioni lunghe. Parte di questa radiazione è emessa durante la notte nel range infrarosso (Donadio et al., 2020).

Questi fenomeni sono fortemente influenzati dalla presenza dell'uomo e dal suo costruito. Le superfici assorbono una parte dell'energia solare incidente, mentre una parte viene riflessa o dispersa, influenzando il colore e la lucentezza della superficie. La parte rimanente dell'energia solare incidente viene assorbita dalla superficie e, a sua volta, parte di questa energia solare viene riemessa dalla superficie all'ambiente esterno (Siegel & Howell, 2002), definendo una differenza di temperatura tra le superfici e l'aria circostante. A loro volta gli edifici sono caratterizzati da finiture superficiali come cemento o mattoni, materiali che hanno una grande

capacità termica e in grado di immagazzinare calore sensibile durante il giorno (Mc. Gregor, & Nieuwolt, S., 1998).

La riflettanza solare (SR) e l'emittanza infrarossa ( $\gamma$ ) sono due proprietà che determinano se un materiale sia freddo o meno. Un cool material ha un'alta riflettanza solare e un'elevata emissione infrarossa.

Tuttavia, le proprietà visibili di una superficie non sempre indicano quanto sarà fresca alla luce del sole, poiché una parte significativa di energia cade nella regione NIR invisibile. Ad esempio, una superficie bianca pulita e liscia (ad es. un rivestimento elastomerico bianco) riflette fortemente sia la radiazione visibile sia quella NIR, ottenendo una riflettività di 0,85. Una tegola di asfalto nero può avere una riflettività di 0,05. (Dionysia-Denia Kolokotsa et al., 2013).

Le caratteristiche fisiche dei materiali che definiscono lo spazio svolgono un ruolo chiave nel fenomeno dell'isola di calore urbana. In particolare, nelle aree naturali la permeabilità del terreno varia le caratteristiche termiche come l'albedo, la conduttività termica e il carico termico. Anche il cambiamento stagionale definisce le caratteristiche termiche del terreno. Per mitigare l'effetto dell'isola di calore urbana, è importante sostituire le superfici degli ambienti urbani con materiali che abbiano un'albedo alto in modo da riflettere più radiazioni solari e ridurre l'assorbimento di calore sensibile.

Ad incidere su questi scambi termici, vi è la composizione dell'atmosfera

e dell'aria che influisce sull'entità dell'isola di calore attraverso il noto effetto serra. In sostanza, questo fenomeno è definito dall'inquinamento dell'atmosfera urbana che rende l'aria più densa e imprigiona la radiazione ad onde lunghe riemessa dal suolo e dalle superfici degli edifici.

La continua diminuzione degli spazi verdi, le variazioni di velocità del vento derivanti dall'elevata densità degli edifici, il rilascio di calore antropologico e l'alterazione dell'albedo delle superfici alimentano gli effetti dell'isola di calore. I suddetti fattori determinano problemi di surriscaldamento nelle città a causa dell'assorbimento della radiazione solare da parte delle varie superfici e degli edifici.

Questi fattori influenzano la quantità di radiazione in entrata e in uscita e alterano anche la velocità del vento locale. I loro effetti sul clima locale, in particolare sulla temperatura ambientale e sulla ventilazione, sono molto critici e modificano le proprietà radiative, termiche, igrometriche e aerodinamiche dell'ambiente, causando una concentrazione di calore nelle aree urbane rispetto alle aree rurali limitrofe (Erell, Pearlmutter & Williamson, 2015).

Il clima urbano è uno degli elementi più importanti dell'ambiente fisico in cui viviamo. Tuttavia, tale aspetto viene spesso ignorato durante la pianificazione urbana.

Per progettare una città sostenibile, è necessario considerare le condizioni climatiche in modo strategico e olistico durante il processo di pianificazione (Erell, Pearlmutter & Williamson, 2015).

L'influenza che ha l'edilizia nel cambiamento climatico è più rilevante di quanto si pensi. Il settore dell'edilizia è più energivoro rispetto ad altri settori. Citando alcuni dati riportati da Niall Patrick Walsh, in "The Facts about Architecture and Climate Change", addirittura il 36% dell'energia global è dedicata agli edifici e alle costruzioni. La complicazione riguardo all'atteggiamento sostenibile nel settore dell'edilizia è data dalla numerosa frammentazione della filiera di attori coinvolti, costituita da diverse piccole imprese, le quali non possiedono le risorse economiche di investire nell'innovazione dei processi. Per ovviare a ciò, in Italia, negli appalti pubblici sono stati introdotti i CAM (criteri minimi ambientali) che tentano di indirizzare i professionisti verso una progettazione sostenibile e circolare. (Eleonora Rizzuto, 2023).

Questi principali strumenti e protocolli per la certificazione della qualità ambientale del progetto architettonico e urbano e della gestione dei processi di costruzione, come LEED, BREEAM e ITACA, hanno recentemente iniziato a definire un quadro generale di valutazione della resilienza (Larsen et al., 2011), affiancando ai convenzionali temi di mitigazione climatica anche aspetti relativi all'adattamento.

Seguendo questo approccio, la progettazione deve essere guidata solamente da scelte di carattere tecnico ed economico, ma anche da strategie volte alla riduzione dell'impatto ambientale.

## Cool materials e la mitigazione del calore

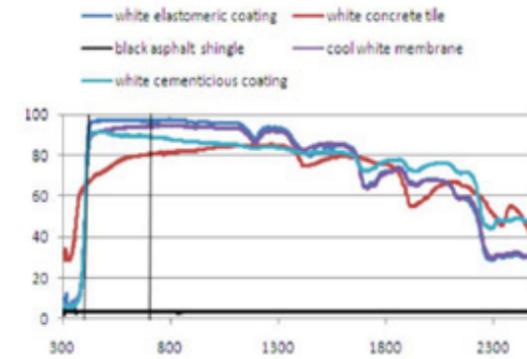
Il raffreddamento passivo si basa sull'uso di tecniche per il controllo solare e termico e la dissipazione del calore. Il progresso più importante nelle tecniche di raffreddamento passivo di recente è stato nel campo dei materiali freddi come tecnica di dissipazione del calore e riduzione della domanda di energia nell'ambiente costruito.

Tra le strategie di raffrescamento passivo, negli anni si sta analizzando l'utilizzo dei "cool materials". Questi sono materiali organici o inorganici, con elevato SRI, indice di riflettanza solare, ovvero con straordinaria capacità di respingere la radiazione solare. SRI è frutto di un calcolo che tiene conto sia delle misure di riflettanza solare della superficie sia della sua emissività termica in fissate condizioni di irraggiamento e di ventilazione (Dimoudi et al., 2014).

I materiali bianchi sono di per sé riflettenti e non a caso i tetti degli edifici di molti paesi dell'Europa meridionale (Italia, Spagna, Grecia, ecc.) con il loro colore bianco, già nelle antiche tradizioni, rappresentavano una "naturale" strategia per limitare il surriscaldamento delle abitazioni esposte all'intenso soleggiamento estivo.

Questa capacità è legata alla riflessione della luce solare nel cosiddetto campo del visibile. La radiazione solare ha, però, componenti anche in regioni caratterizzate da lunghezze d'onda diverse da quelle del campo visibile. In particolare, è l'assorbimento di radiazione nella regione del NIR (ovvero il vicino infrarosso) responsabile del surriscaldamento superficiale.

Ebbene, i cool materials sono non soltanto materiali prevalentemente



**Fig.10** Curve di riflettanza spettrale di un rivestimento bianco, scandole di asfalto nero, membrana bianca e plastica bianca.

*Note: Per quanto riguarda l'emissanza infrarossa, ad eccezione delle superfici metalliche nude, la maggior parte dei materiali di copertura ha valori di emissività*

chiari o bianchi ma anche colorati NIR riflettenti (Radhi et al., 2014).

L'impiego di cool materials per aumentare la riflettanza solare superficiale, ovvero l'albedo, rientra nell'ambito delle tecniche di SRM (Salata et al., 2015) solar radiation modification, ovvero la gestione della radiazione solare.

L'elevata riflettività e l'elevata emissività dei materiali "cool" possono migliorare le condizioni termiche in città. Questo perché viene ridotta la temperatura superficiale che incide sugli scambi termici con l'aria circostante. Le caratteristiche ottiche e termiche dei materiali da costruzione influiscono sul consumo di energia nell'ambiente edificato. In particolare, l'albedo e l'emissività della radiazione solare ad onda lunga sono parametri che hanno un impatto significativo sul bilancio energetico urbano. L'albedo, che rappresenta la riflettività di una superficie, ha un effetto diretto sulla temperatura superficiale, riducendo la quantità di radiazione solare assorbita negli edifici e la temperatura dell'aria ambiente a livello urbano. Ciò si evince nella Tabella 2, la quale riporta l'albedo di vari materiali e aree tipiche urbane (Oke, 1987).

Nella maggior parte delle zone urbane, le superfici dei tetti e dei pavimenti costituiscono il 60% del tessuto urbano. Tali superfici sono comunemente rivestite con materiali a bassa riflettanza solare, quali ad esempio il cemento grigio con un valore di 0,2 e l'asfalto con un valore di 0,05 (Rosenfeld, Akbari, Romm et al., 1992). Questi materiali rappresentano una tecnica passiva, economica e rispettosa dell'ambiente che consente di raggiungere l'efficienza energetica negli edifici, riducendo la domanda di

energia per il raffreddamento e migliorando il microclima urbano attraverso la diminuzione della temperatura della superficie e dell'aria.

Se una superficie che ha un alto grado di riflettanza solare ed emittanza infrarossa viene esposta alla radiazione solare, la temperatura superficiale sarà inferiore rispetto ad una superficie simile con valori di riflettanza solare ed emittanza infrarossa inferiori. L'utilizzo di superfici con caratteristiche di freschezza all'interno dell'involucro dell'edificio comporta una minore penetrazione del calore nell'edificio e contribuisce a ridurre la temperatura dell'aria nell'ambiente urbano, poiché la convezione del calore da una superficie più fresca è inferiore.

Durante il giorno, la riflettanza solare è il fattore predominante e l'emittanza ha meno influenza sulla temperatura superficiale. Durante la notte, tuttavia, la temperatura superficiale e l'emittanza infrarossa sono strettamente correlate, e di conseguenza l'emittanza diventa il fattore più importante che influisce sulle prestazioni termiche (Salata et al., 2015).

Il miglioramento delle condizioni di comfort termico all'interno di un edificio può essere ottenuto tramite l'utilizzo di cool materials che riducono il trasferimento di calore. Questo può comportare una diminuzione della temperatura interna di circa 1-3°C e un miglioramento delle ore di disagio termico. In uno studio condotto in California, l'applicazione di un rivestimento fresco su un edificio commerciale ha permesso di ridurre la temperatura interna massima di 3°C e diminuire le ore di disagio di 10 ore (Cheng, & Givoni, 2005).

Modelli di variazione della temperatura hanno dimostrato che l'aumento dell'albedo superficiale può portare a una diminuzione della temperatura durante le ore diurne di mediamente 1-3°C e una riduzione meno significativa durante la notte per varie città degli Stati Uniti, Toronto, Canada e Atene, Grecia. (Dimoudi et al., 2014)

Inoltre, a livello globale, (Akbari et al., 2008) e' stato calcolato che l'uso diffuso di materiali di copertura ad alta albedo, come i tetti e i pavimenti "cool" che aumentano l'albedo delle aree urbane di 0,1, potrebbe generare un significativo forzante radiativo negativo a scala globale.

Tuttavia, occorre specificare che le proprietà radiative dei materiali di copertura freddi e di tutti gli altri possono subire modifiche nel tempo a causa dell'esposizione alle condizioni ambientali (Paroli et al., 1993) e al loro deterioramento. È fondamentale conoscere i valori di invecchiamento delle proprietà radiative dei materiali di copertura poiché ciò influisce direttamente sulle loro prestazioni termiche (Fig. 11) (Synnefa et al., 2006).

## Tipologie di cool materials e sperimentazioni

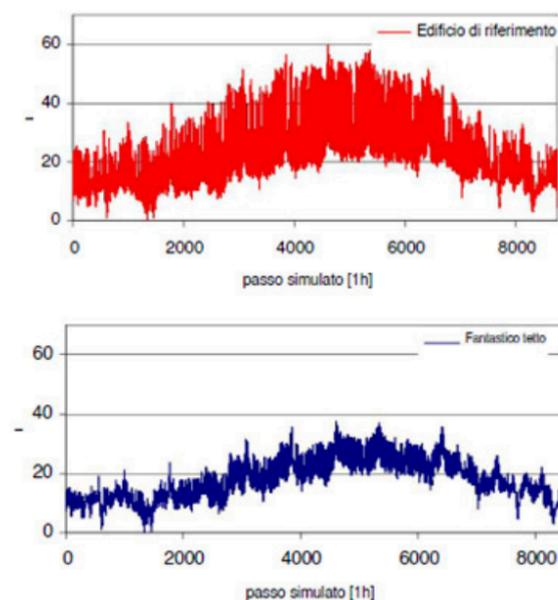
Negli ultimi anni sono state eseguite numerose sperimentazioni in merito allo sviluppo di materiali cool. Tuttavia, le opzioni presenti attualmente sul mercato non offrono una vasta varietà di applicazione. Attualmente, le categorie di materiali più utilizzati sul mercato sono le coperture fredde su superfici orizzontali come coperture monopiano, tegole, tegole in asfalto, coperture metalliche, sistemi di copertura costruiti e coperture in bitume modificato.

I Cool Roof sono il tipo di rivestimento freddo più comunemente utilizzato per la riduzione del consumo energetico dell'edificio. Le categorie variano a seconda del legante, del supporto e del colore.

Tipo di legante: questa categoria si divide in due sottocategorie ossia rivestimenti elastomerici e cementizi. I rivestimenti elastomerici utilizzano polimeri per migliorare l'adesione e ridurre la fragilità, mentre i rivestimenti cementizi contengono particelle di cemento. Entrambe le tipologie hanno una riflettanza solare del 65% o superiore quando sono nuovi e un'emittanza termica tra l'80 e il 90% o più. I rivestimenti elastomerici sono impermeabili, mentre i rivestimenti cementizi si basano sul materiale di copertura sottostante per l'impermeabilizzazione.

Tipo di supporto: questa categoria si divide in rivestimenti a base d'acqua e a base di solvente. Il supporto è un liquido che viene combinato con il legante per ridurre la viscosità del rivestimento per renderlo lavorabile. Il supporto determina anche il processo di installazione del rivestimento e il tempo di polimerizzazione.

Tipo di colore: i rivestimenti bianchi utilizzano materiali polimerici trasparenti come l'acrilico e un pigmento bianco come il biossido di titanio



**Fig.13** Valori orari della temperatura superficiale per il periodo di un anno per un edificio scolastico prima e dopo l'applicazione di un cool roof. La copertura è stata rivestita con un massetto cementizio in ghiaia  $S_r=0,2$  e successivamente è stato applicato un rivestimento elastometrico bianco  $S_r=0,89$

per renderli opachi e riflettenti. Questi rivestimenti riflettono dal 70 all'85% dell'energia solare, ma assorbono ancora circa il 5% dei raggi solari.

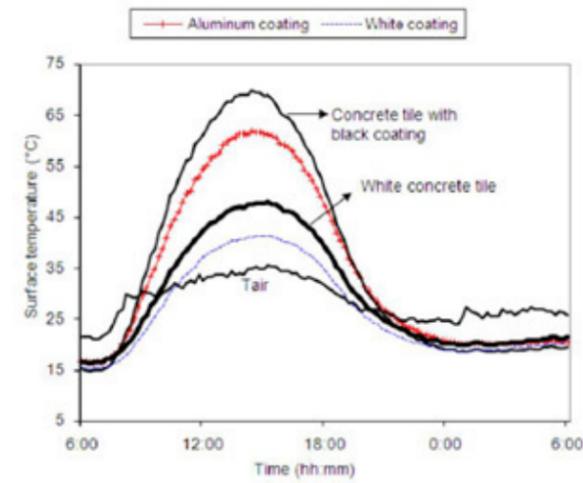
Rivestimenti in alluminio: utilizzano una resina tipo asfalto contenente scaglie di alluminio che si accumulano nella parte superiore esposta del rivestimento, creando uno strato quasi continuo di alluminio che protegge il materiale sottostante dai raggi UV del sole. La riflettanza solare di questi rivestimenti varia dal 50 al 70% e l'emittanza termica dall'80 al 90%.

Oltre alle opzioni di rivestimenti freddi bianchi e di colore chiaro, la sperimentazione punta alla definizione di materiali di copertura freddi colorati. Negli ultimi anni, i produttori hanno sviluppato una gamma di materiali colorati freddi, come rivestimenti, scandole e piastrelle, utilizzando pigmenti colorati inorganici specializzati. Questi materiali hanno la capacità di riflettere fortemente la porzione del vicino infrarosso (NIR) dello spettro solare, nonostante il loro colore scuro, così da mantenere un'elevata riflettanza solare.

Tuttavia, l'efficacia "cool" di questi materiali non è del tutto garantita. Infatti, con il passare del tempo, i valori di albedo dei tetti rivestiti diminuiscono a causa dell'accumulo di sporco e della crescita microbica, provocando una riduzione della percentuale di radiazione infrarossa riflessa.

Nello studio pubblicato da Synnefa (Synnefa et al., 2006) vengono valutate le prestazioni termiche di piastrelle di rivestimento colorate fresche non bianche. Sono stati confrontati dieci prototipi di piastrelle di rivestimento con colori freddi con piastrelle di rivestimento standard per un periodo di tre mesi, sia di giorno che di notte. I risultati hanno dimostrato che le

piastrelle di rivestimento colorate fredde sono selettive nell'assorbire la banda infrarossa, garantendo una maggiore riflettanza solare e una temperatura superficiale inferiore. È stata anche osservata una correlazione tra riflettanza solare e temperatura superficiale durante il giorno. Tuttavia, una riduzione dell'emissività potrebbe rendere inefficace l'aumento dell'albedo della superficie dell'edificio, come evidenziato da Karlessi (Karlessi et al.,2009) il quale ha condotto uno studio comparativo tra rivestimenti termocromici, rivestimenti freddi e comuni. fig



**Fig.12** Profilo della temperatura superficiale nelle 24 ore per quattro piastrelle in cemento con diversi rivestimenti, esposte alle condizioni estive ad Atene, in Grecia.



# BEST PRACTICE: STRATEGIE NBS

## 3.1. Esempi vernacolari

3.1.1. L'origine del tetto verde:  
l'esempio dei Turf Roof

3.1.2. Sfruttamento delle correnti di  
ventilazione: Torri Badgir

3.1.3. Mitigazione del calore indoor:  
Analisi del "trullo"

## 3.2. Esempi contemporanei

3.2.1. Water management: Il complesso  
Prisma a Norimberga, Germania

3.2.2. Correnti di ventilazione:  
Queen's Building

3.2.3. Mitigazione del calore  
outdoor: "Ecoboulevard" Madrid

## Esempi vernacolari \_L'origine del tetto verde: l'esempio dei Turf Roof



L'utilizzo di coperture verdi risale fin dal Neolitico. Un'applicazione sviluppata perlopiù in climi rigidi in cui si ha bisogno di ripari efficaci per sopravvivere. La regione artica, con scarse risorse naturali come pietre o legno, ha fornito la culla per l'avvio e perfezionamento del tetto verde. La terra veniva utilizzata per sigillare le murature esterne dei rifugi. I semi all'interno della terra con la pioggia garantiscono la crescita spontanea del prato, definendo così un precursore del tetto verde. L'innovazione delle strutture ha portato alla separazione delle pareti dal tetto, ciò ha richiesto l'innovazione della tecnica per migliorare la resistenza alle intemperie e la durata. Così si è optato per l'utilizzo di zolle naturali con il terreno legato da radici fibrose, chiamati "sod roof" o "turf roof". Numerosi vantaggi sono garantiti dalla presenza di una superficie esterna erbosa che, in climi rigidi e umidi, protegge dall'erosione delle pareti in terra cruda rendendo le superfici impermeabili alla pioggia. La presenza di muri spessi costituiti da terra, consentono di mantenere il clima interno moderato grazie all'inerzia termica. La porosità della terra garantisce la traspirazione delle pareti e quindi un controllo dell'umidità interna che viene assorbita dalle pareti e nel caso di aria secca rilasciare umidità. I climi freddi sono caratterizzati da forti venti, la presenza di microstrutture fibrose e le sottostrutture dei tetti la terra garantiscono una maggior solidità della struttura. La porosità del terreno, circa il 50%, fa sì che quando i pori vengono drenati e svuotati dall'acqua si riempiano d'aria aumentando l'isolamento termico complessivo. Inoltre, un terreno umido può immagazzinare una grande quantità di calore. In estate grazie alla evapotraspirazione della vegetazione e del terreno avviene un raffreddamento del tetto, creando così un gradiente termico, interno caldo esterno freddo, che attira il calore dissipandolo verso l'esterno. Analogamente avviene per l'inverno, ma la presenza della neve accumulata e la massa termica del terreno ritardano questo processo

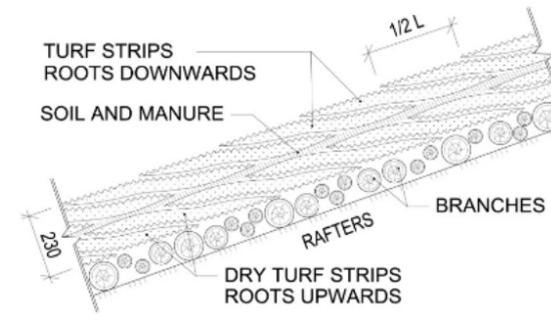


Fig.14 Dettaglio tipo di un turf roof

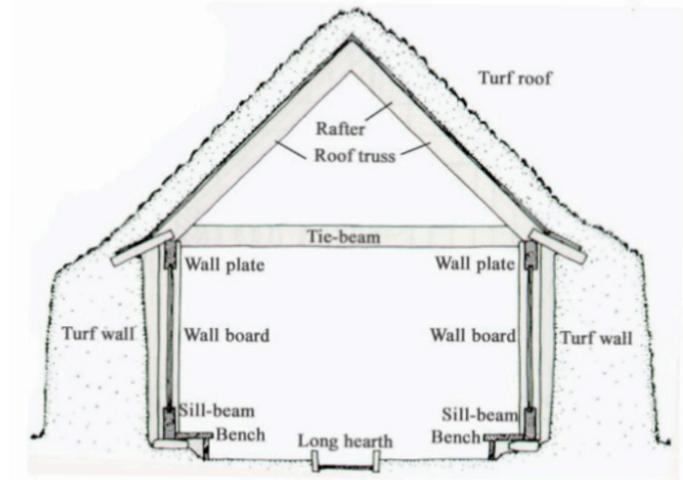


Fig.15 Sezione tipo di un turf roof

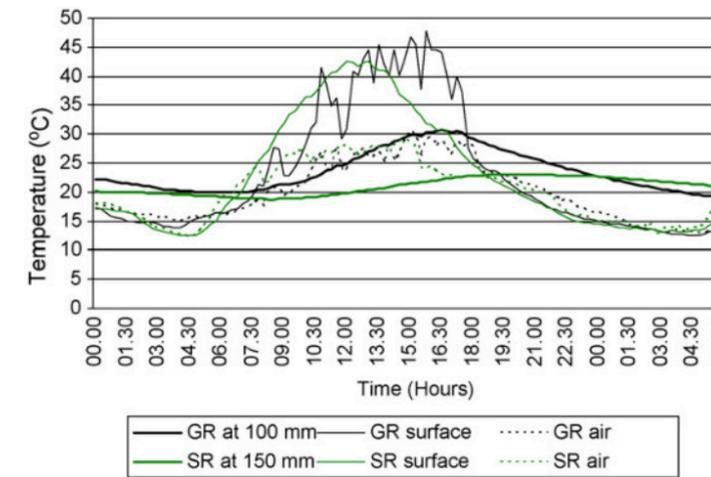


Fig.16 Andamento della tempraura nel substrato di terreno delle coperture verdi turf roof rispetto all'aria estrna in un giorno estivo.

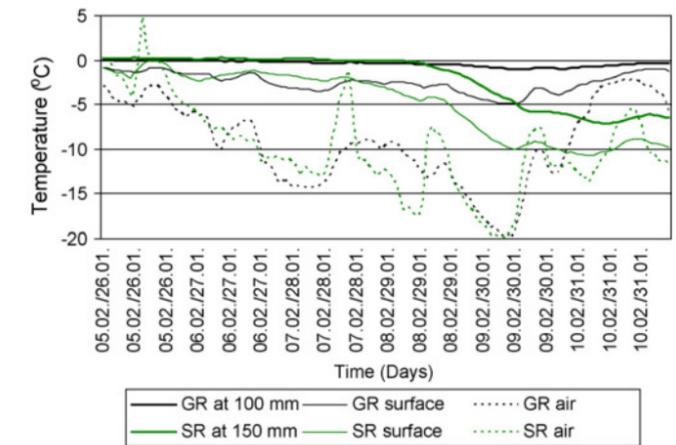
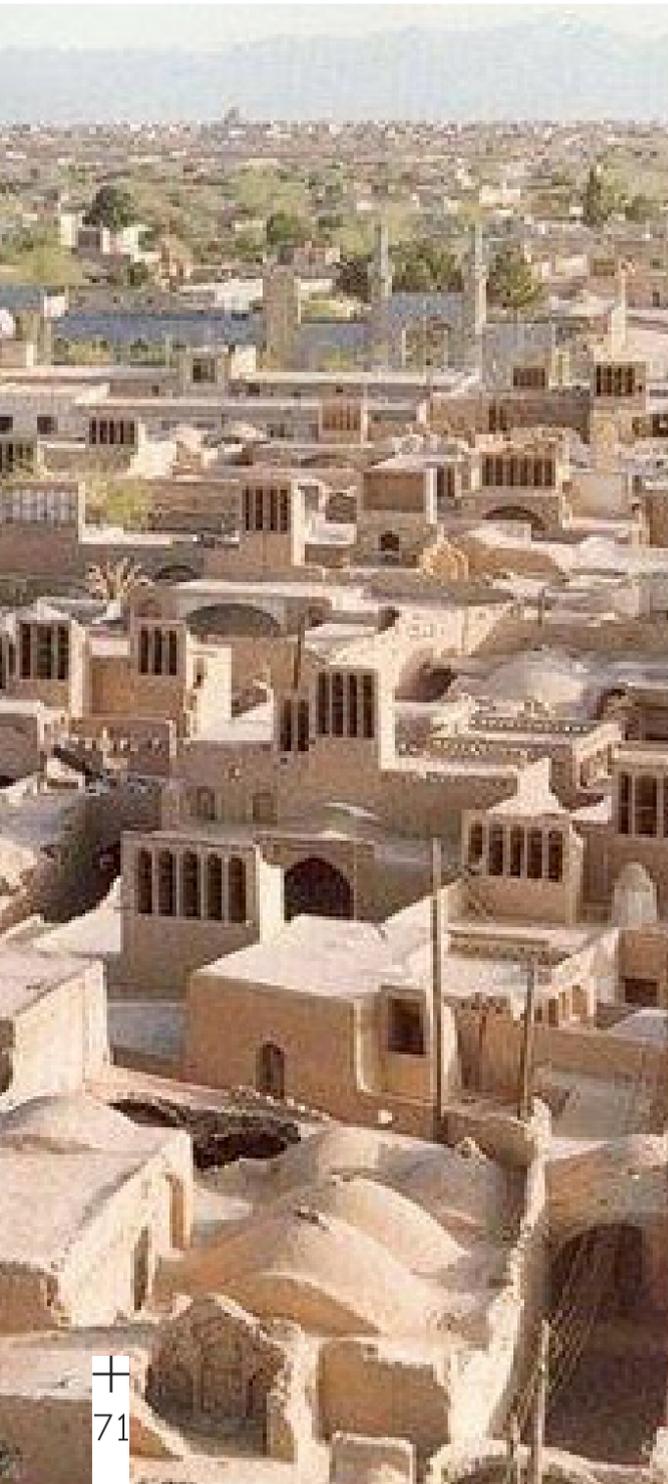


Fig.17 Andamento della tempraura nel substrato di terreno delle coperture verdi turf roof rispetto all'aria estrna in un giorno invernale.

## Sfruttamento delle correnti di ventilazione: \_Torri Badgir



Le torri Badgir, una tipologia architettonica caratteristica delle aree medio orientali, particolarmente presenti nella cultura iraniana. Lo scopo di queste torri è quello di intercettare e invogliare le correnti di ventilazioni principali per garantire la ventilazione degli ambienti interni. Il sistema prevede un'apertura esterna di ingresso in sopravvento, posta in sommità per intercettare le correnti di vento prevalenti. In fondo è presente un'altra apertura interna sottovento per l'evacuazione dell'aria calda. All'interno della torre è presente una partizione verticale che definisce la divisione in due canali, uno di ingresso e uno di evacuazione, fino a condividere uno spazio alla base. L'aria entrante incanalata tende a scendere verso il basso, sia per le strette dimensioni delle torri sia per il suo raffreddamento dato dall'ombra e l'inerzia termica dei materiali, mentre l'aria calda all'interno dell'ambiente tende a salire. Nello spazio condiviso si crea l'effetto camino e quindi l'innescamento di correnti di ventilazione che garantiscono il ricambio dell'aria. Questa variante, più diffusa, prevede la presenza di una torre muraria annessa all'edificio. Altre varianti prevedono il canale di ingresso dell'aria passante nel terreno, sfruttando l'inerzia termica del terreno per il raffreddamento dell'aria. Generalmente, per aumentarne l'efficacia, questi sistemi sono multidirezionali e costituiti da più aperture. La sua funzione non riguarda solo le ore calde ma anche nei periodi più freddi come la notte o l'inverno. Infatti, durante il giorno la massa termica dei materiali assorbe il calore esterno e dell'irraggiamento solare, restituendolo la notte. L'aria fredda presente nei canali della torre, tende a scaldarsi a contatto con le superfici e quindi tenderà a salire, generando così una ventilazione analoga a quella diurna.

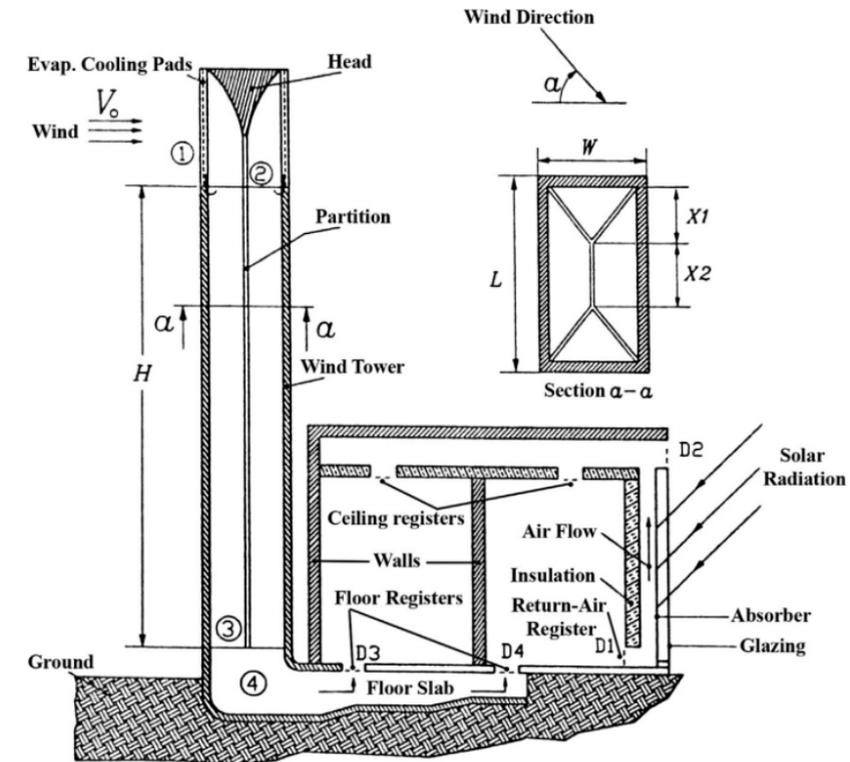


Fig. 18 Sezione tipo di una torre del vento

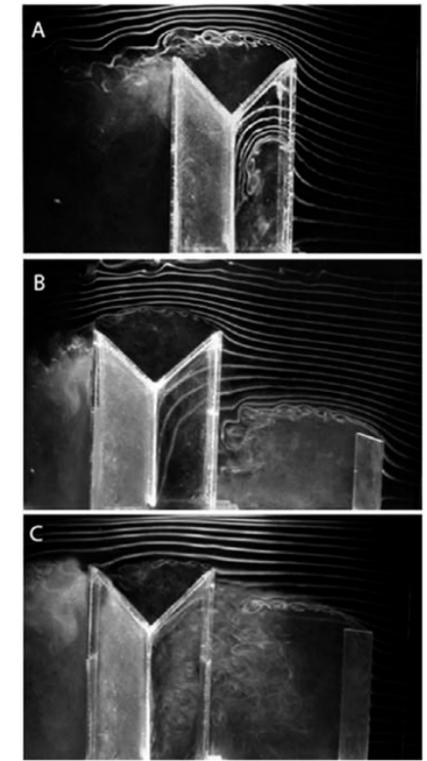


Fig. 19 Andamento del vento interno ed esterno

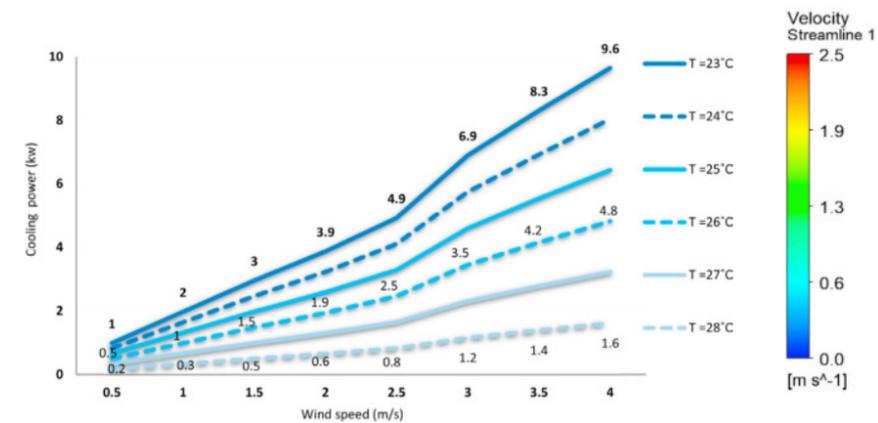


Fig. 20 Raffrescamento passivo generato dalla torre del vento rispetto alla velocità e temperatura esterna.

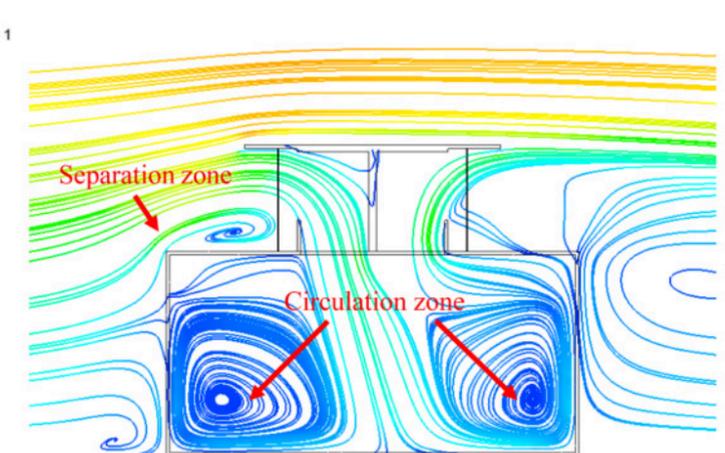


Fig. 21 Andamento tipo di ventilazione all'interno di una torre del vento con velocità di 2.5 m/s

## Mitigazione del calore indoor: \_Analisi della tipologia del "Trullo"



Nei contesti climatici caldi la maggiore problematica riguarda la gestione del calore riguardo alle stagioni calde, cercando di prevenire la condizione di surriscaldamento. Nelle strutture vernacolari l'unico modo di prevenire discomfort climatico era l'utilizzo di tecniche e strategie per l'efficientamento energetico in modo passivo. Un esempio emblematico è il caso del trullo, un edificio rurale caratteristico della puglia, nel sud Italia. La tipologia abitativa del trullo è caratterizzata da una struttura interamente di pietre a secco con base quadrangolare e un tetto conico. Lo scopo di queste strutture era principalmente quello di stoccaggio agricolo di attrezzi o per il raccolto. La struttura è costituita da muri portanti perimetrali spesso superiore al 1 metro, formato da una doppia parete di rocce di tufo combinate a secco, con in mezzo un'intercapedine riempita di materiale di scarto proveniente dalla lavorazione dei blocchi di tufo. L'alta inerzia termica e la massa dei blocchi di tufi mitigano le alte escursioni termiche nel periodo estivo, inoltre garantisce un alto sfasamento termico dell'ingresso di flusso di calore dato dalla radiazione termica incidente esterna. Queste caratteristiche garantiscono un comfort termico anche in inverno, accumulando il calore durante il giorno e rilasciandolo la notte soprattutto per quanto riguarda la copertura. Infatti, la struttura a cono della copertura è costituita da un materiale diverso, di colore scuro, con uno sfasamento termico maggiore, così che attrarre la radiazione solare mantenendola durante il giorno e rilasciandola durante la notte. La sua forma e altezza fa sì che l'aria calda interna si accumuli in alto così da garantire una temperatura mite ad altezza uomo. L'alta inerzia termica dei materiali è la strategia più utilizzata nei climi caldi per un controllo del surriscaldamento interno.

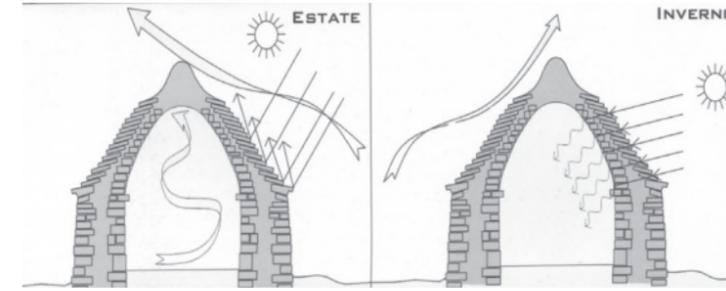


Fig.22 effetto termo regolatore dell'inerzia termica

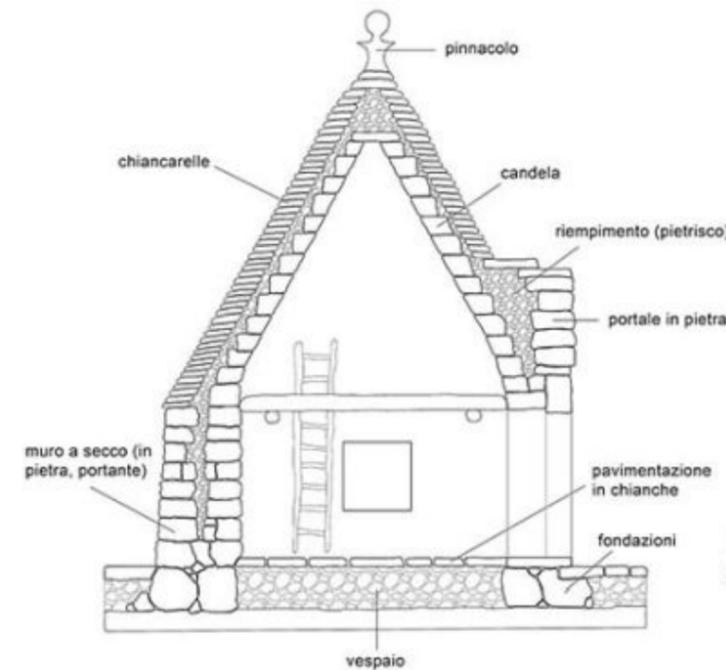


Fig.24 Sezione tipo di un trullo

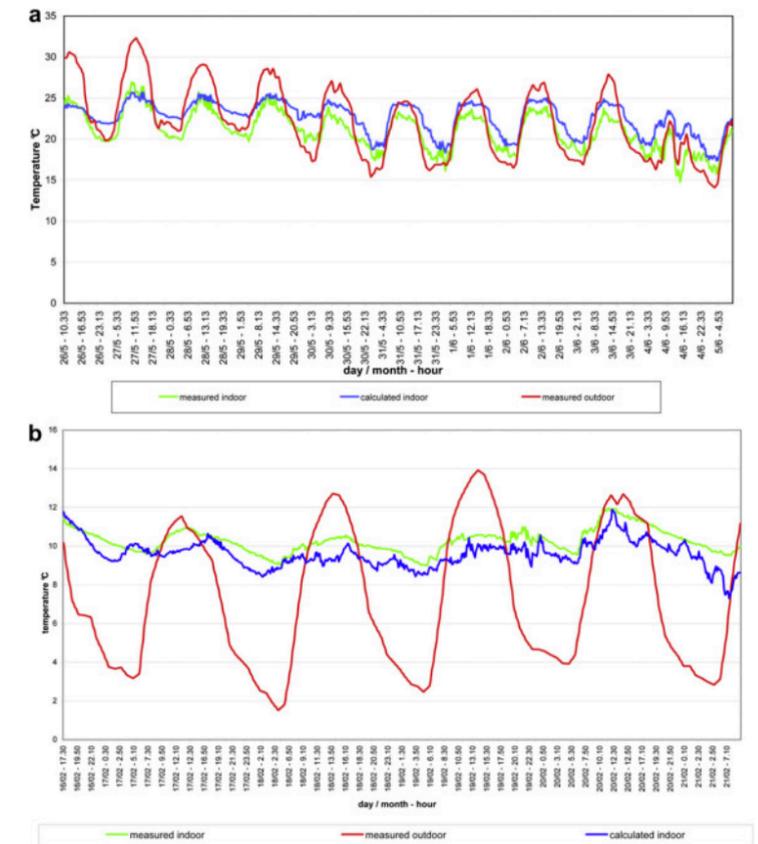


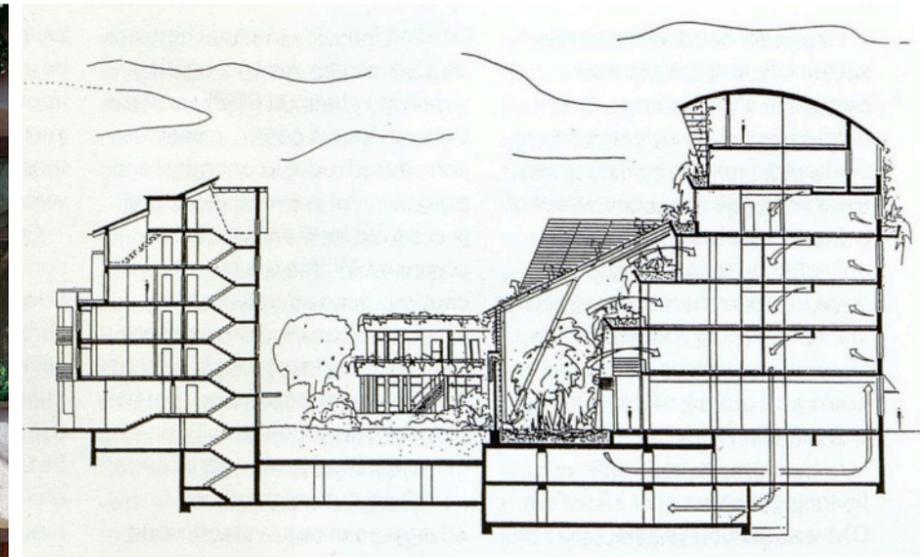
Fig.23 (a) Temperature simulate e sperimentali per la struttura dei Trulli in estate. (b) Temperature simulate e sperimentali per la struttura dei Trulli in inverno.

## Esempi contemporanei

### Water management: \_Il complesso Prisma a Norimberga, Germania



Il complesso "Prisma" a Norimberga, ha come obiettivo quello di accogliere nella sua progettazione numerose strategie ecosostenibili. Tra i principali lo stoccaggio filtraggio e riutilizzo delle acque grigie è l'applicazione più virtuoso. L'edificio si compone principalmente di due corpi di fabbrica con un ampio spazio a serra vetrata rivolto a sud. Quest'area da 100 metri quadri funge principalmente da spazio buffering, ovvero da filtro climatico agli spazi utili. La particolarità del complesso risiede nella gestione delle acque. Le acque piovane vengono intercettate dalla copertura di 4.000 mq e convogliate in tre cisterne, successivamente subiscono un processo di depurazione basato sull'utilizzo di vegetazione con finalità fitodepurative. Le acque depurate verranno utilizzate per scarichi dei sanitari, irrigazione delle piante interne e destinate all'antincendio delle autorimesse. Tra i diversi utilizzi, le acque reflue verranno utilizzate per umidificazione e termoregolazione climatica utilizzando sei torri d'acqua che prelevano dell'aria esterna per nebulizzare l'acqua nell'edificio. Infine, l'acqua in eccesso viene smaltita nel terreno passando per piccoli ruscelli e vasche interne. L'applicazione di queste strategie di water management consente mitigazione delle acque reflue. L'edificio contribuisce alla gestione e la laminazione delle acque reflue, limitando così il sovraccarico delle reti idrauliche generali. Secondo le stime si è raggiunto un risparmio di emissione di circa 25000 tonnellate di co2 in 10 anni.



## Correnti di ventilazione: \_Queen's Building presso la De Montfort University



L'edificio che ospita la facoltà di ingegneria del Politecnico di Leicester è stato concepito interamente con lo scopo di sfruttare al meglio le risorse bioclimatiche per la gestione della temperatura. Cardine del progetto è l'utilizzo di torri di ventilazione passiva che, con i suoi 10.000 mq, lo rendono uno dei più importanti complessi ventilati naturalmente. La gestione della temperatura interna è di tipo ibrido, il che vuol dire, che all'utilizzo delle torri di ventilazione passiva si affiancano degli impianti meccanici. L'edificio si sviluppa in modo lineare, nel quale le aule affiancano parallelamente un grande atrio illuminato da lucernari. All'interno dell'atrio svettano i camini di ventilazione fino a sbucare all'esterno, diventando il carattere distintivo dell'edificio. All'apice dei camini, le bocche di areazione sono costituite da lastre metalliche il quale design ne massimizza l'aspirazione naturale. All'interno dei camini sono presenti ventole meccaniche che entrano in funzione nel caso il flusso d'aria fosse insufficiente. I camini di areazione distribuiscono l'aria negli ambienti interni attraverso apposite "calettature" inserite nella tamponatura dei mattoni. La disposizione di alcuni ambienti è strettamente legata allo scopo bioclimatico, come i laboratori informatici e meccanici, collocati all'ultimo piano con una copertura fortemente inclinata per convogliare l'aria calda in cima così da favorire il fenomeno dell'effetto camino. Inoltre, questi spazi sono costituiti da murature portanti permeabili con la presenza di alette di raffreddamento. L'intero edificio è costruito in muratura con poche aperture vetrate, il che garantisce una forte massa termica ed ottime performance energetiche. Secondo alcune analisi condotte annualmente, l'edificio richiede il consumo di circa il 50% in meno rispetto ad un edificio analogo progettato senza accorgimenti ecosostenibili.

Temperature  
(Plane Centre EW1)

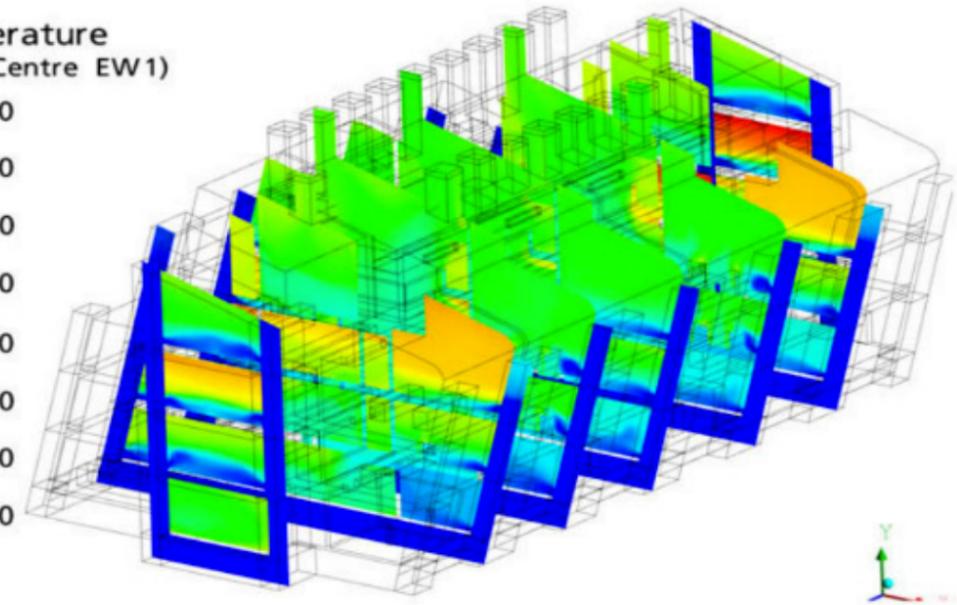
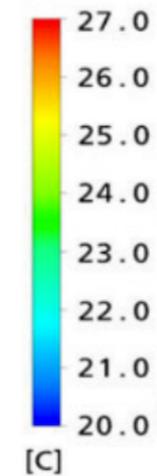


Fig.26 Studio termico delle aree interne al ueen's Building

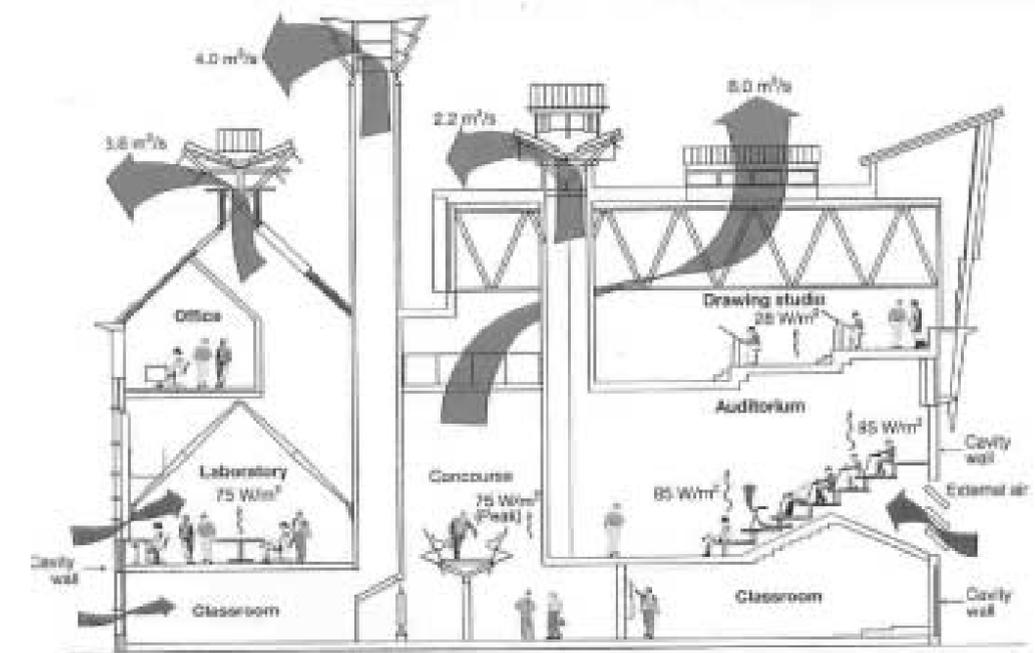
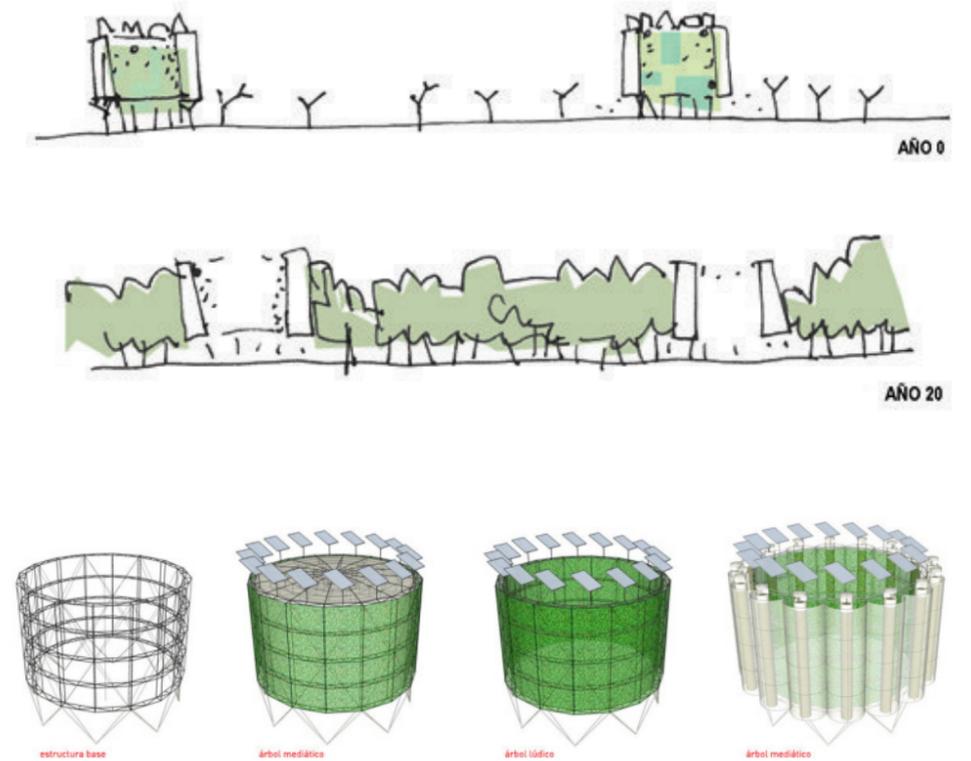
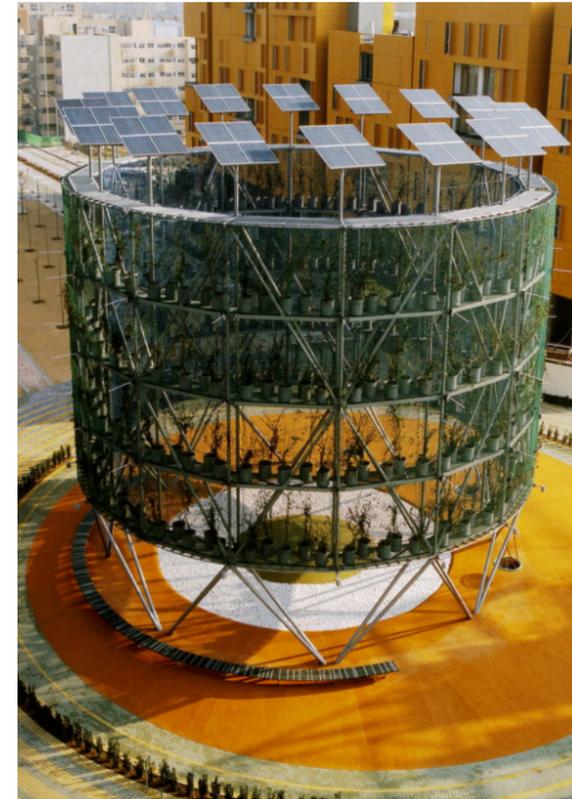


Fig.27 Schema dei Flussi di Ventilazione e dei Carichi Termici per Ambiente

## Isola di calore, mitigazione del calore outdoor: \_“Ecoboulevard”, Madrid



Il progetto chiamato “ecoboulevard” situato nei pressi di Madrid risolve il connubio di esigenze sociali e ambientali. Nello specifico, il progetto si colloca in uno dei principali viali di Vallecas, nella periferia di Madrid. L’area è soggetta ad un investimento immobiliare che prevede la realizzazione di 26.000 nuove abitazione. Infatti, il viale su cui si colloca il progetto svolge già la funzione di punto di incontro per gli abitanti della zona, ma le alte temperature spagnole non consentono di godere di un comfort climatico esterno. Il progetto prevede la piantumazione di viali alberati per garantire un adeguato ombreggiamento e raffrescamento dell’area. Il progetto dell’ecoboulevard, dello studio Ecosistema urbano, si inserisce nella finestra temporale intermedia alla realizzazione del progetto urbano. L’Ecoboulevard è costituito dall’installazione di padiglioni temporanei, chiamati “alberi d’aria”, che creano degli spazi raffrescati e vivibili attraverso diversi sistemi bioclimatici, stimolando l’aggregazione e la socializzazione e soprattutto consentire agli abitanti di familiarizzare e vivere gli spazi. I padiglioni sono costruiti da materiali di scarto industriali, con una struttura in zinco che funge da principale supporto per la collocazione di piante arrampicanti (in un padiglione) e da sostegno per canali di areazione. Tutti garantiscono uno spazio ombreggiato e raffrescato con diverse modalità, principalmente l’utilizzo di vegetazione, la presenza di canali di ventilazione e la nebulizzazione di acque piovane stoccate. I padiglioni sono interamente autosufficienti ed alimentati da pannelli fotovoltaici, la quale energia prodotta in eccesso verrà venduta per pagare la manutenzione delle strutture. Al di sotto di ogni “albero d’aria” si crea una piazza semi-chiusa nella quale si innesca un meccanismo climatico di evapo-traspirazione che in estate consente all’aria di raffreddarsi di circa 10-15 °C. rispetto al resto della zona, diventando il principale luogo di ritrovo del quartiere.



# 4.

È possibile intervenire su  
contesti urbani fortemente  
consolidati?

# CASO STUDIO: SAN DONATO ANALISI DELLO STATO DI FATTO

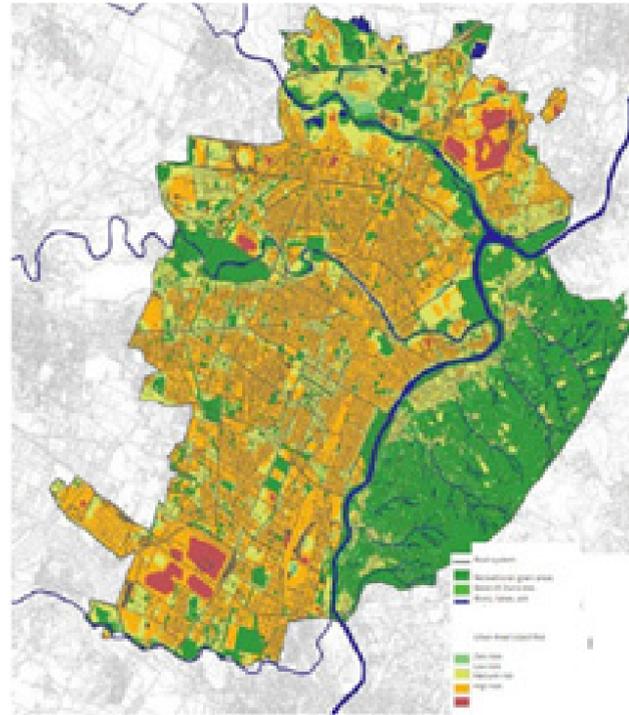
- 4.1. Panoramica del caso studio
- 4.2. Rilievo consistenze edilizie
  - 4.2.1. Inquadramento urbano
  - 4.2.2. Rilievo volumetrico
  - 4.2.3. Rilievo fotografico
  - 4.2.4. Rilievo dei profili urbani
  - 4.2.5. Abaco dei materiali

## Panoramica del caso studio \_Descrizione dell'area

Prima di entrare nello specifico caso studio e la sua consistenza urbana occorre analizzare le condizioni climatiche del contesto in cui si inserisce. Infatti, la morfologia naturale e artificiale influisce sui parametri climatici e sulle condizioni a livello mesoscale e microscale, con impatti significativi su scala regionale, di quartiere e di canyon urbani (Lobaccaro et al., 2021).

Nel report del Comune di Torino intitolato "Analisi delle vulnerabilità climatiche a Torino" viene rilevato un aumento della temperatura negli ultimi venti anni, superiore di cinque gradi rispetto alla media registrata tra il 1971 e il 2000. Inoltre, tale aumento si avvicina alle temperature estive più elevate riscontrate durante gli anni 2003, 2015 e 2017 (Arpa Piemonte Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali & Città di Torino, 2020).

Nel medesimo report, si è affrontato anche il tema dei giorni e delle notti tropicali. I primi corrispondono a quelli in cui la temperatura massima supera i 30 gradi (Arpa Piemonte Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali & Città di Torino, 2020), mentre le cosiddette notti tropicali sono caratterizzate da una temperatura notturna superiore ai 20 gradi (Commissione Europea & Agenzia Europea per l'Ambiente, 2020).



**Fig.27** Distribuzione delle aree coperte dall'isola di calore a Torino

Fonte: Città di Torino, 2020

A Torino, il numero di giorni che causano disagio fisiologico è stato analizzato negli intervalli 1989-2016 e 2001-2016, al fine di individuare le tendenze degli ultimi 15 anni. Comparando tali dati con quelli relativi ai giorni e alle notti tropicali, si è notato un aumento del numero di giorni caratterizzati dal disagio fisiologico soltanto nell'intervallo 2001-2016, a differenza delle notti tropicali che non hanno evidenziato alcuna variazione (Arpa Piemonte Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali & Città di Torino, 2020).

Infatti, secondo il rapporto dell'Arpa, il 2021 è stato il 15° anno più caldo degli ultimi 64 anni, con una temperatura media di circa 9,9°C e una temperatura media di circa 1,5°C. di circa 9,9°C e un'anomalia termica media di circa +0,8°C rispetto al 1971.

Un altro studio di Arpa Piemonte risalente a 2018 riguarda la valutazione climatica per l'area urbana della città (Fig.27).

La distribuzione del rischio di isola di calore attraverso la città è stata riassunta nel Piano di resilienza climatica del Comune di Torino (Città di Torino, 2020).

Secondo il rapporto:

Il 27% della regione è stato definito a basso rischio di isola di calore;

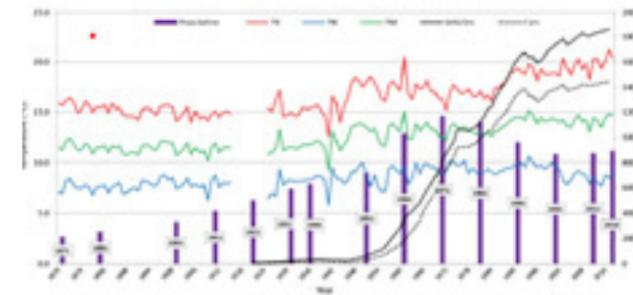
Il 44% della regione è stato definito a medio rischio di isola di calore;

Il 2% della regione è stato definito ad alto rischio di isola di calore;

il restante 27% rappresenta le aree considerate senza rischio di isola di calore.

L'indagine ha rilevato che il tessuto urbano di Torino è prevalentemente classificato come "zona a rischio moderato". Tuttavia, sono state individuate aree ad alto rischio che circondano due grandi complessi industriali: il complesso IVECO a nord-est e il complesso FIAT a sud-ovest (Città di Torino, 2020). Successivamente, è stata condotta un'analisi più dettagliata per valutare l'impatto di queste zone sulle aree limitrofe. Durante gli eventi di calore estremo selezionati, le temperature medie sono risultate superiori di 3°C rispetto alla media della città nelle aree distanti 50 metri dagli edifici industriali. Questo valore diminuisce tra i 50 e i 100 metri, ma rimane comunque di 1°C (Città di Torino, 2020).

Altri studi dimostrano come la risposta climatica della città è mutata in base ai comportamenti della popolazione.



**Fig.28** Evoluzione storica della temperatura dell'aria, popolazione e veicoli nella città di Torino

Un esempio emblematico a tal riguardo è la ricerca e analisi di Garzena (Garzena et al., 2018), in cui vengono analizzate una serie di dati climatici di lunga durata, una delle più lunghe per l'intera Italia, risalente a 260 anni prima della loro analisi.

Nella ricerca viene analizzata la correlazione tra l'effetto della crescita urbana della città e lo sviluppo dell'UHI. Dal grafico è possibile osservare l'aumento delle temperature e la riduzione del numero di giorni freschi nel corso degli anni, ma soprattutto l'evoluzione storica della temperatura dell'aria, popolazione e l'uso crescente di veicoli e automobili. Entrambi mostrano parallelamente una tendenza all'aumento, da cui si evince una diretta correlazione.

Sebbene la tendenza della popolazione sembri diminuire, la temperatura segue un andamento contrario (Fig.28).

Il fattore scatenante è l'apporto antropologico dell'aumento dei veicoli. Per quanto riguarda la relazione tra la temperatura e il numero di veicoli, è chiaro dal grafico che dopo gli anni '80 i loro andamenti sono correlati tra loro in modo più stretto rispetto a prima (Garzena et al., 2018).

## Panoramica del caso studio \_Scelta dell'area di analisi

Come già accennato, per la scelta del caso studio si è partiti dall'Indagine microclimatica svolta nella tesi di Melis Ozalp, la quale analizza l'effetto di diverse tipologie di tessuti urbani sul microclima, valutando la risposta climatica delle diverse morfologie urbane.

Dalle simulazioni effettuate, l'area di San Donato, una delle zone analizzate da Melis Ozalp, viene identificata come la peggiore in termini di comfort climatico esterno (Ozalp M.T., 2022).

Le tipologie urbane descritte si riferiscono all'Indagine svolta per il Politecnico di Torino, nel quadro della ricerca sulle periferie per il PRG, commissionata dal comune di Torino ed effettuata dall'associazione culturale "landscape for". Nel documento viene fatta una distinzione delle aree di Torino in base alla loro morfologia urbana e edilizia. I diversi tessuti sono differenziati per grado di completezza, per regolarità della trama e per densità della grana (fitta o rada), componendo in un unico oggetto di valutazione le cortine delle strade, le maglie degli isolati e le omogeneità dei volumi costruiti (Landscape for, 1995).

Nel documento, come mostra la fig.29, la città di Torino viene suddivisa in quattro categorie morfologiche urbane secondo la seguente classificazione:

Categoria 1: continuo

Continuo regolare - isolati urbani che hanno una forma rettangolare e che non presentano aperture significative tra i loro confini. Sono definiti così da un profilo continuo.

Categoria 2: Discontinuo

Discontinuo regolare – isolati urbani che hanno una forma rettangolare e che presentano aperture tra i loro bordi. Sono comunemente riconoscibili per il loro posizionamento lungo gli assi di mobilità.

Discontinuo irregolare - isolati urbani che hanno una forma rettangolare e che presentano aperture tra i loro confini.

Discontinuo irregolare - isolati urbani che hanno una forma irregolare e che presentano aperture tra i loro confini. Sono comunemente riconoscibili per il loro posizionamento lungo gli assi di mobilità diagonali.

L'area di San Donato presa in esame presenta al suo interno diverse di quelle categorie urbane in cui viene classificata la morfologia della città di Torino. E' interessante pertanto analizzare come queste differenti tipologie morfologie in relazione alla caratterizzazione materica delle superfici reagiscano ai diversi stimoli climatici estivi.

Partendo da questi presupposti, analizzare più nel dettaglio le consistenze edilizie sia in termini morfologici che materici, così da poter individuare le cause e le aree che contribuiscono al disconfort termico evidenziato da M.Ozalp.

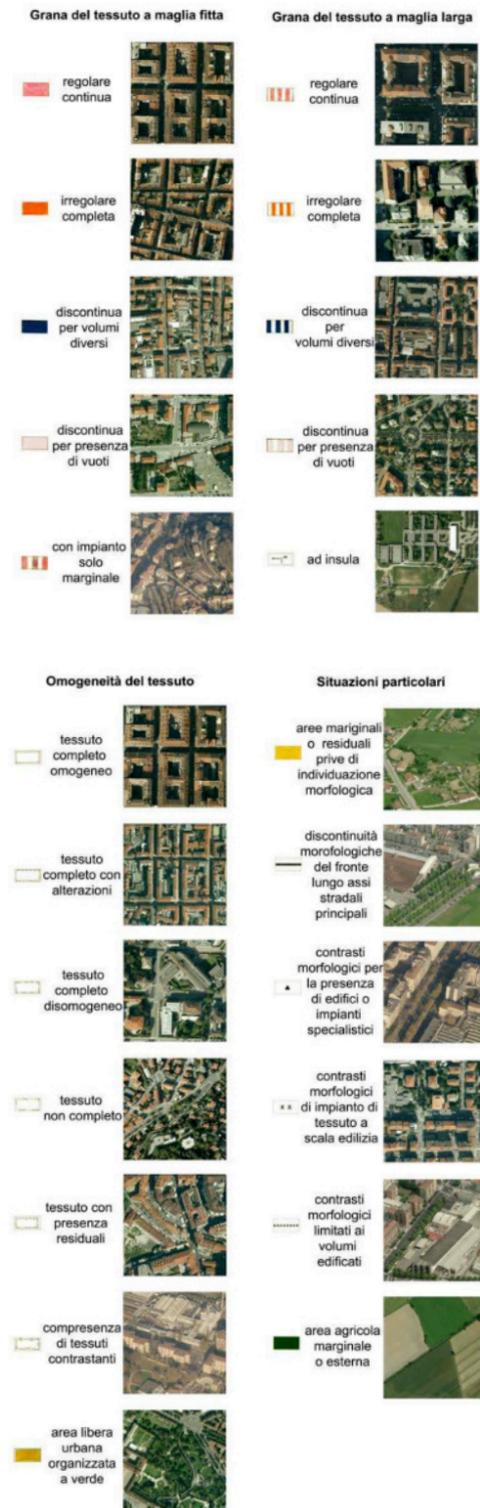


Fig.29 Indagine svolta per il Politecnico di Torino, nel quadro della ricerca sulle periferie per il PRG commissionata dal comune di Torino

Fonte: Landscape for, 1995

## Panoramica del caso studio \_San Donato

L'area di analisi a San Donato è situata sul lato nord di Corso Regina Margherita, secondo la classificazione urbana sopracitata. Il caso studio è composto da "blocco continuo-regolare continuo", "blocco continuo-irregolare", "blocco discontinuo-regolare" e "blocco discontinuo-irregolare". Il sito si trova più precisamente intorno all'angolo nord-ovest di "Basso San Donato" che appartiene originariamente alla Valdocco, luogo in cui in passato si svolgevano attività altamente industriali (MuseoTorino, n.d.-a).

Con il passare del tempo, l'area è stata ridefinita grazie alla crescita della città verso ovest. L'espansione dei villaggi adiacenti ai canali, la costruzione della ferrovia Torino-Novara e la creazione di corso Regina Margherita hanno influenzato lo sviluppo di Borgo San Donato. Inoltre, l'area ha subito importanti trasformazioni durante l'inizio del XX secolo, quando furono costruite imponenti aree industriali, tra cui Cotonifici, Ferriere e Michelin. Questi cambiamenti industriali hanno stimolato l'edificazione dell'area nella stessa direzione (MuseoTorino, n.d.-a).

Durante l'inizio del XX secolo, quando furono costruite imponenti aree industriali, tra cui Cotonifici, Ferriere e Michelin. Questi cambiamenti industriali hanno stimolato l'edificazione dell'area nella stessa direzione (MuseoTorino, n.d.-a).

Area del quartiere:	2,35 km <sup>2</sup>
Popolazione del quartiere:	49,490
Area del caso di studio:	46,090 m <sup>2</sup>
Fascia di altezza degli edifici:	3-37 m



4.  
2.

# Rilievo consistenze edilizie \_Inquadramento urbano



Scala 1:5000

\_Foto aerea

Fonte: Google maps

Corso Umbria

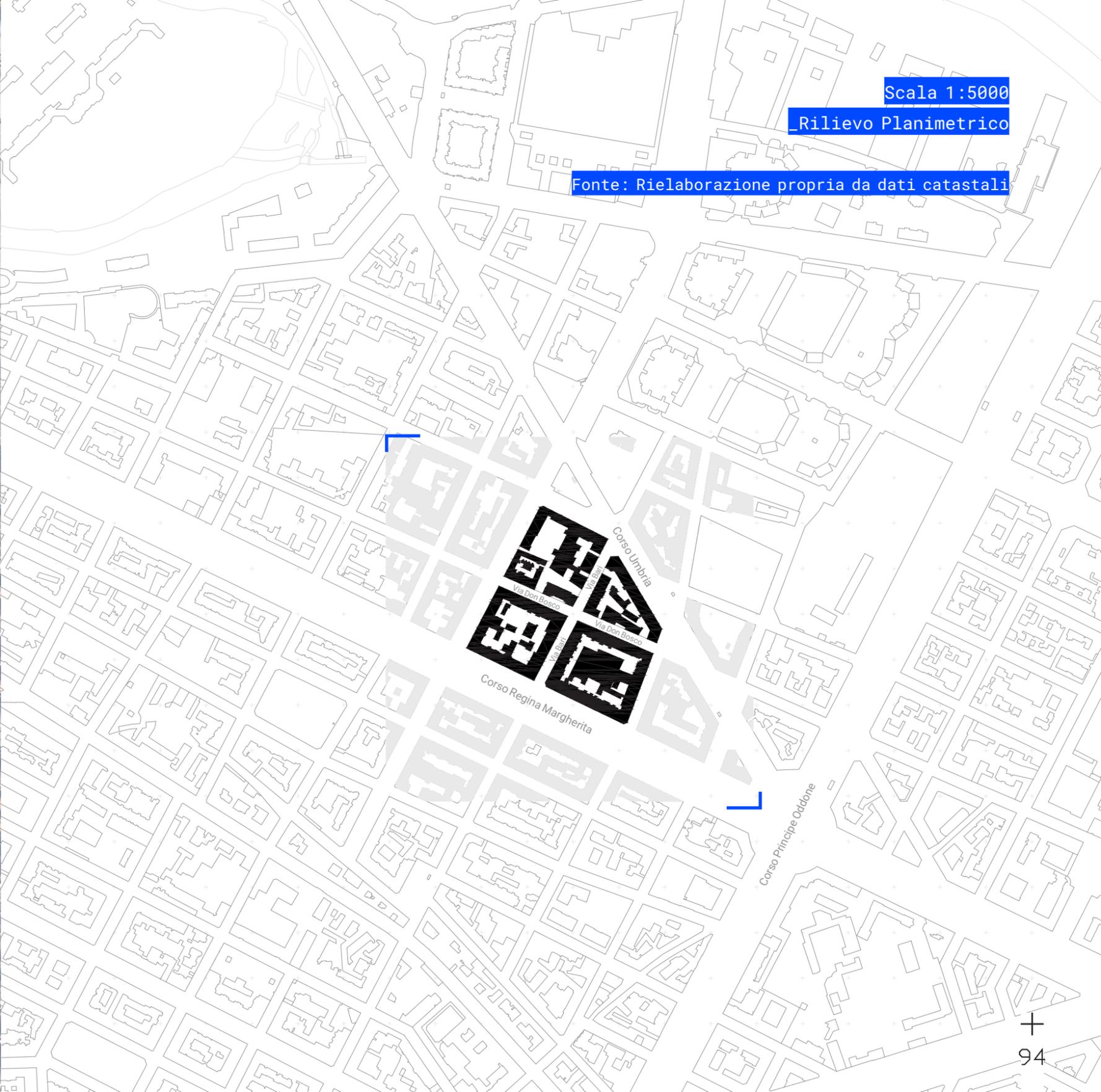
Corso Regina Margherita

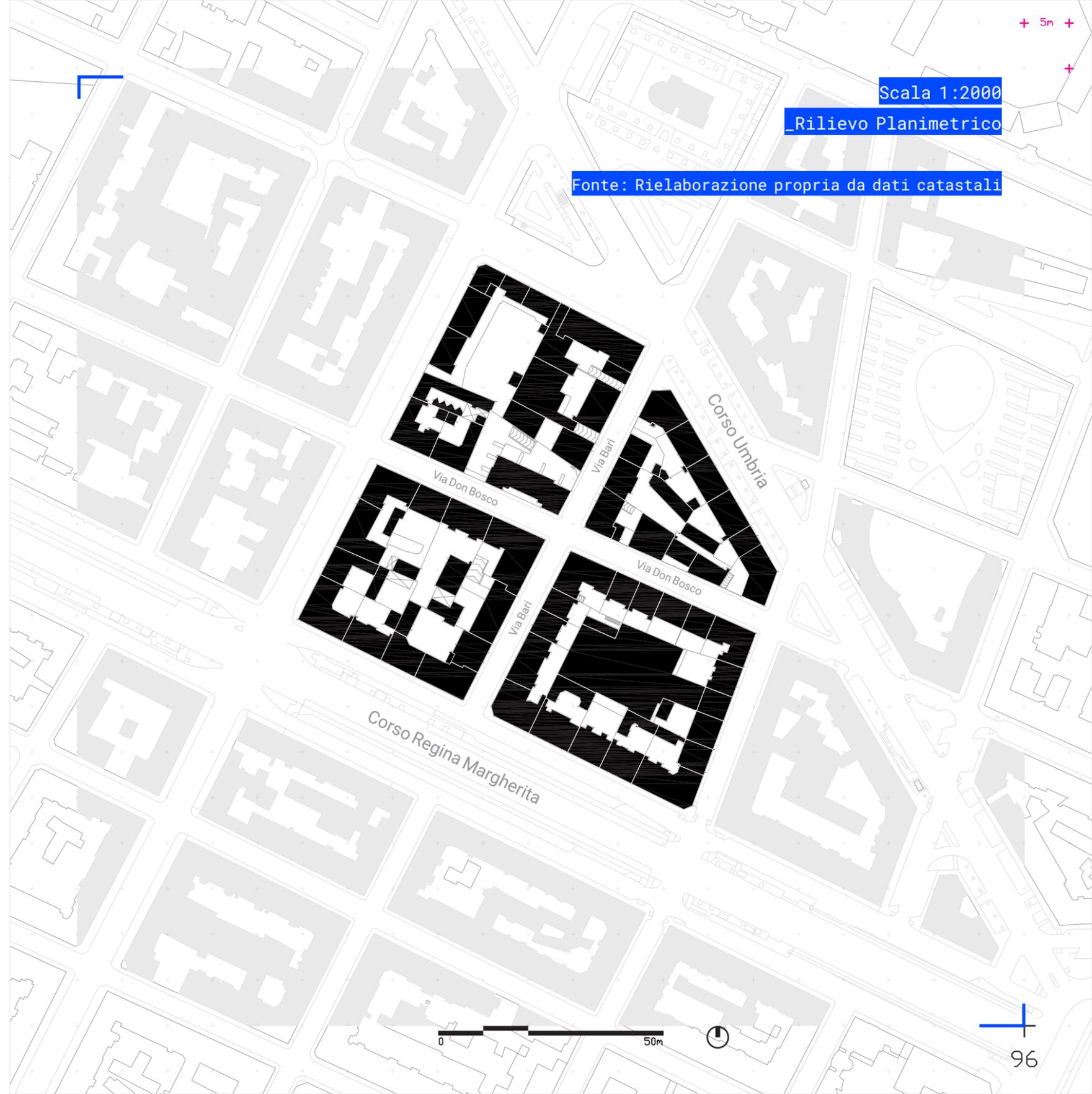
Corso Principe Oddone

Scala 1:5000

Rilievo Planimetrico

Fonte: Rielaborazione propria da dati catastali





# Rilievo consistenze edilizie \_Rilievo volumetrico

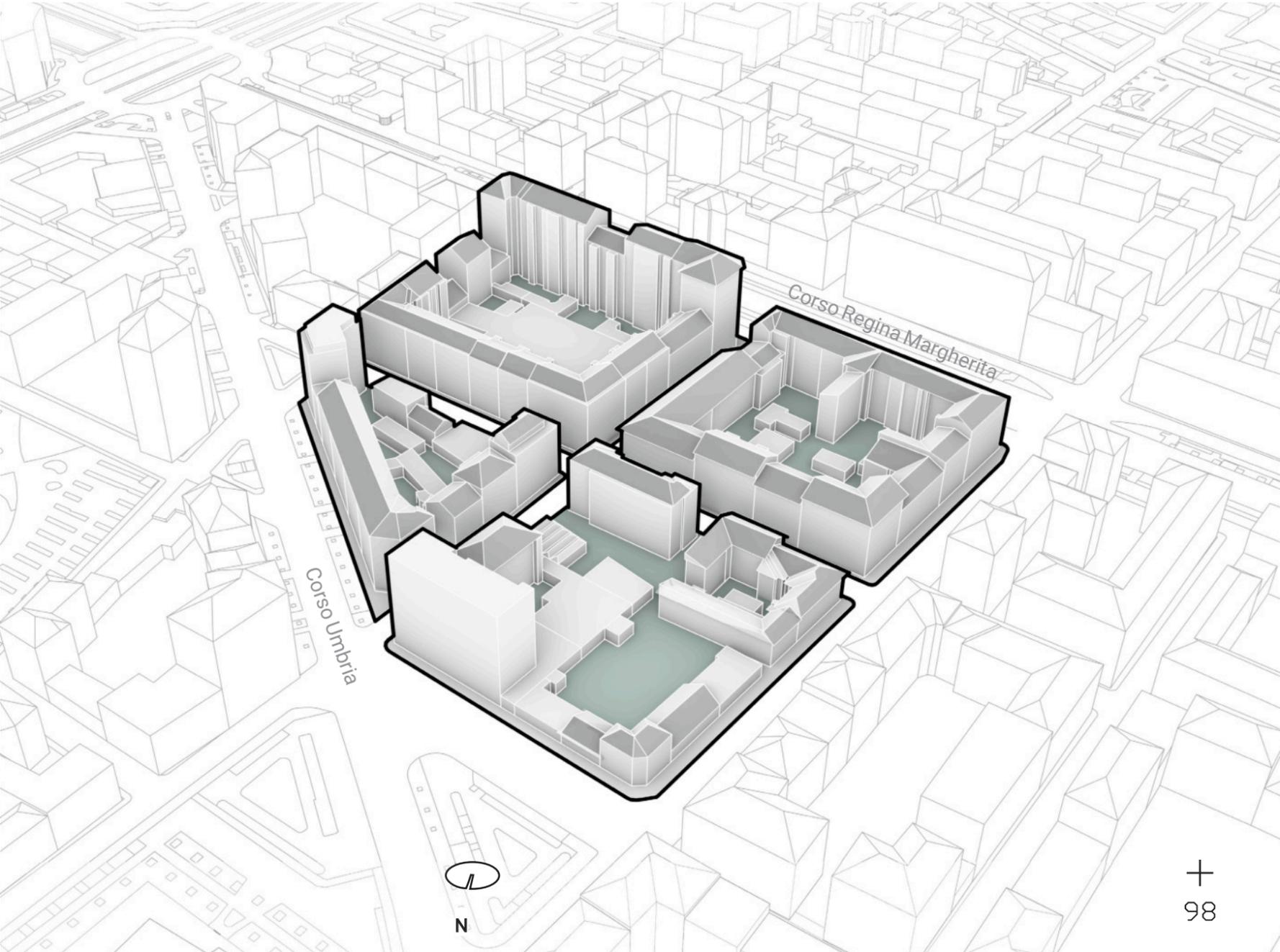
Vista prospettica  
VISTA NORD

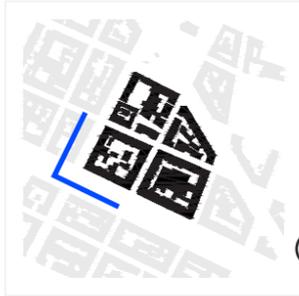
Fonte: Google maps



Rilievo volumetrico  
Vista a volo di uccello

Fonte: Rielaborazione propria da dati catastali





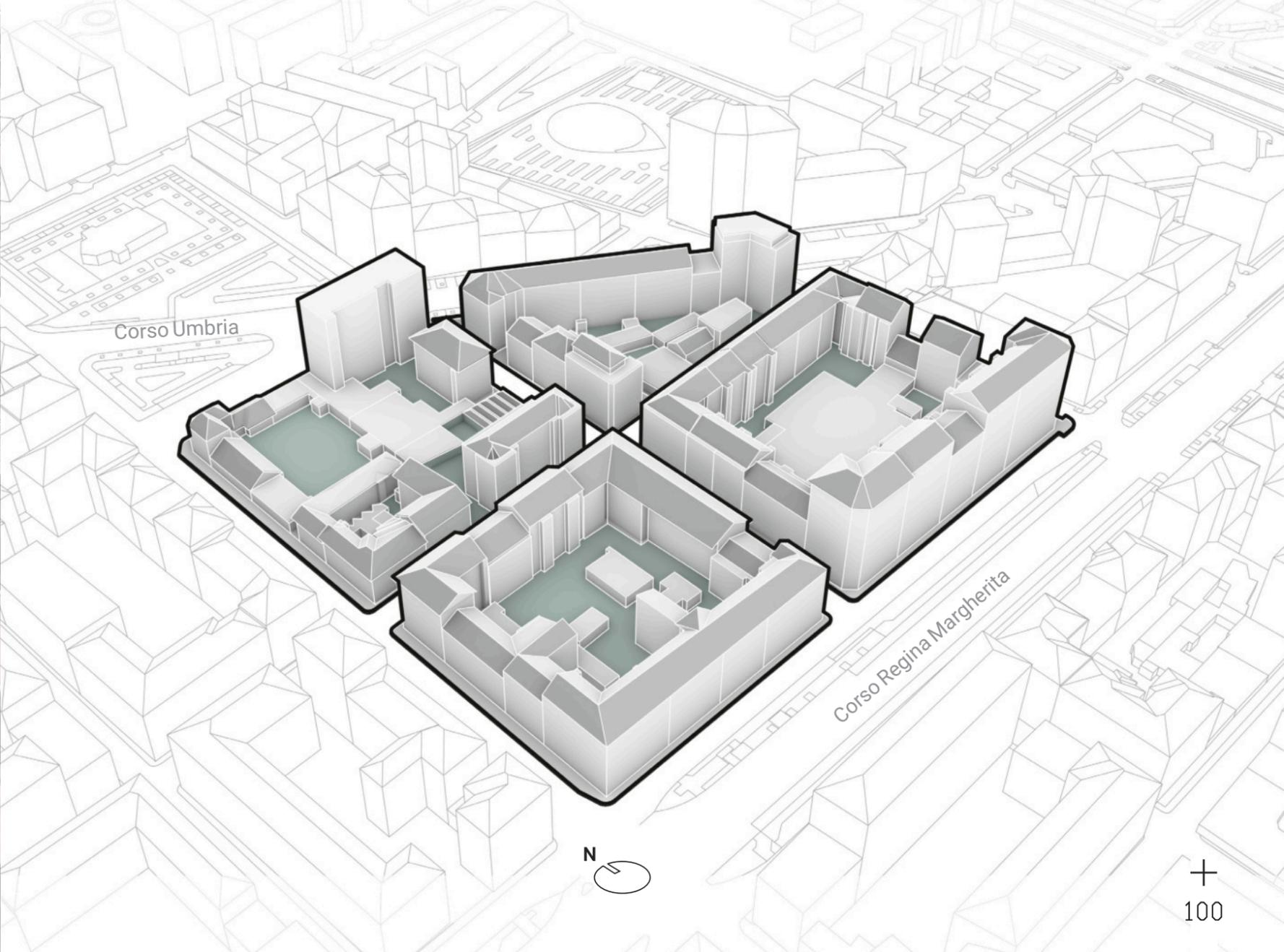
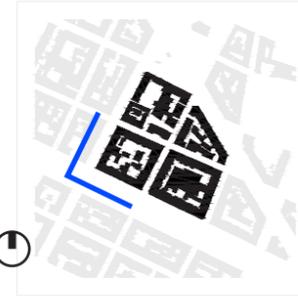
\_Vista prospettica  
VISTA OVEST

Fonte: Google maps



\_Rilievo volumetrico  
Vista a volo di uccello

Fonte: Rielaborazione propria da dati catastali



**Rilievo consistenze edilizie**  
**\_Rilievo volumetrico**  
**Descrizione dei singoli isolati**



Isolato sud, caratterizzato da una conformazione urbana "Discontinuo regolare" come definito nella classificazione fornita dall'indagine di Landscape for. (Landscape for,1995).

Discontinuo regolare - isolati urbani che hanno una forma rettangolare e che presentano aperture tra i loro confini.



Isolato sud, caratterizzato da una conformazione urbana "Discontinuo irregolare" come definito nella classificazione fornita dall'indagine di Landscape for. (Landscape for,1995).

Discontinuo irregolare - isolati urbani che hanno una forma rettangolare e che presentano aperture tra i loro confini.



Isolato sud, caratterizzato da una conformazione urbana "Continua regolare" come definito nella classificazione fornita dall'indagine di Landscape for. (Landscape for,1995).

Continuo regolare: isolati urbani che hanno una forma rettangolare e che non presentano aperture significative tra i loro confini. Sono definiti così da un profilo continuo.



Isolato sud, caratterizzato da una conformazione urbana "Continua regolare" come definito nella classificazione fornita dall'indagine di Landscape for. (Landscape for,1995).

Continuo regolare: isolati urbani che hanno una forma rettangolare e che non presentano aperture significative tra i loro confini. Sono definiti così da un profilo continuo.

4.  
2.  
2.

# Rilievo consistenze edilizie \_Rilievo fotografico



Foto su Via Don Bosco lato sud

A

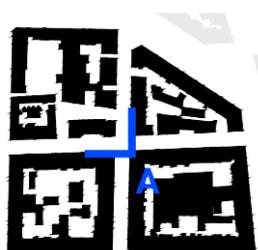


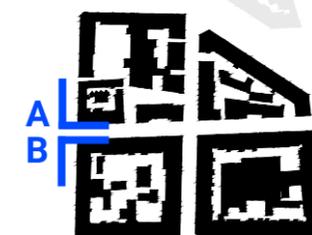
Foto su Via Don Bosco lato sud

A

B



Foto su Via Don Bosco lato nord



A  
B



Foto su Via Don Bosco lato nord **A**



Foto su Via Bari lato est **A**



Foto su Via Don Bosco lato sud **B**

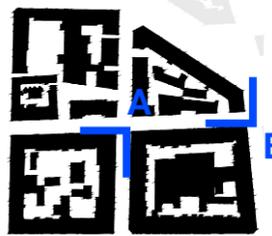




Foto su Via Bari lato ovest



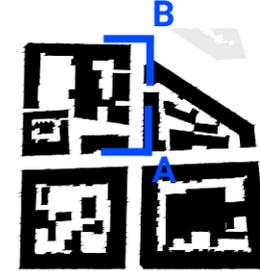
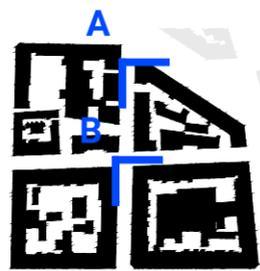
Foto su Via Bari lato ovest



Foto su Via Bari lato est



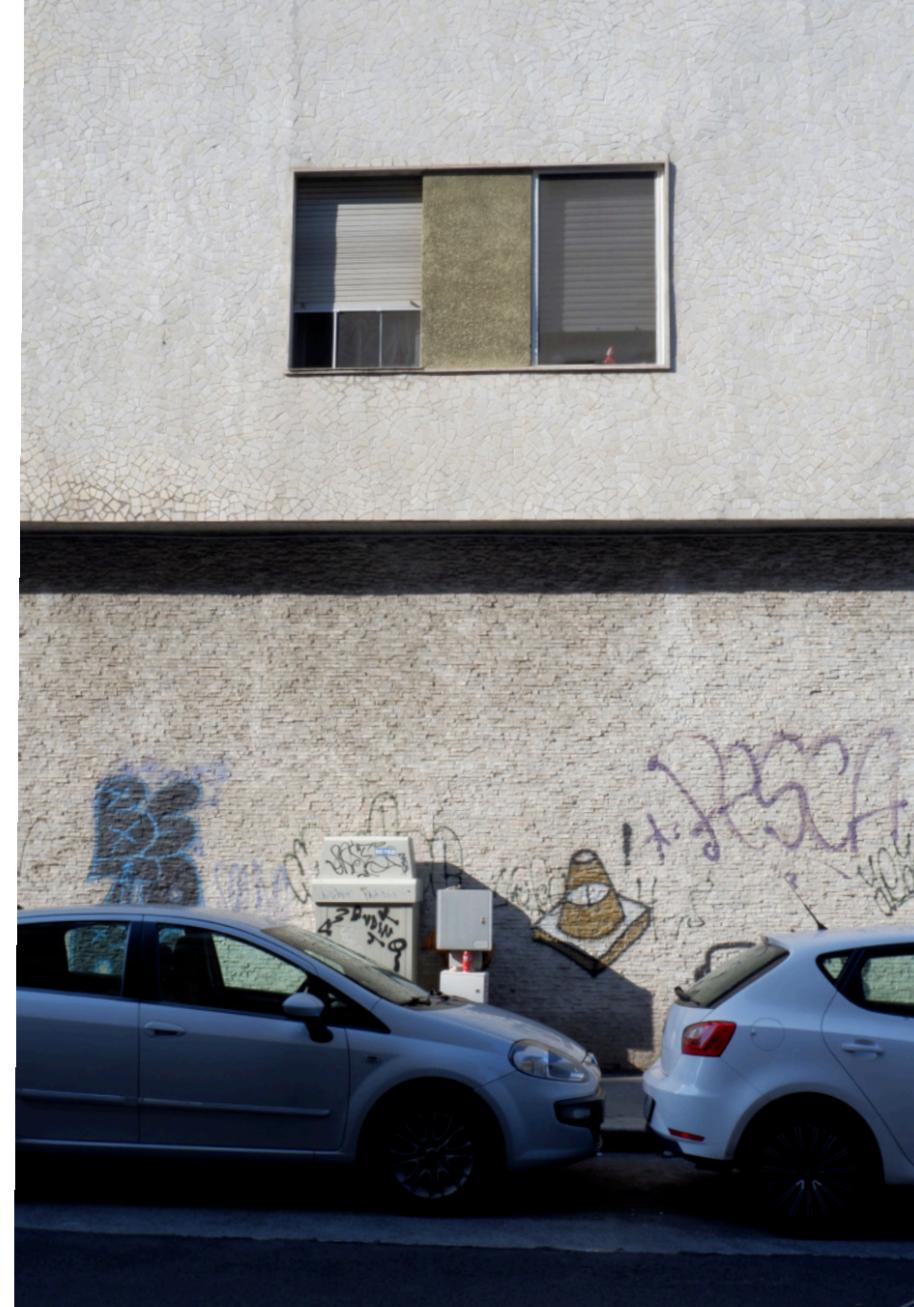
Foto su Via Bari lato est



Rilievo consistenze edilizie  
\_Rilievo fotografico  
Particolari finiture di facciata tipo



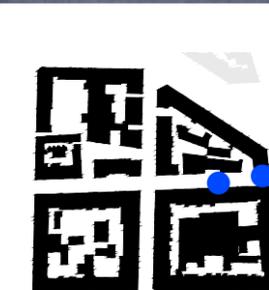
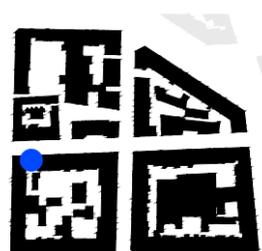
Via Don Bosco 31



Via Don Bosco 18



Via Don Bosco 13





Via Don Bosco 23



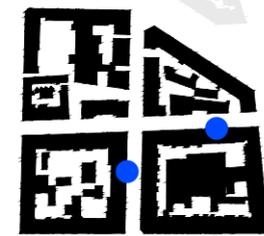
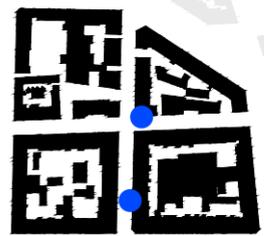
Via Don Bosco 19



Via Bari 5

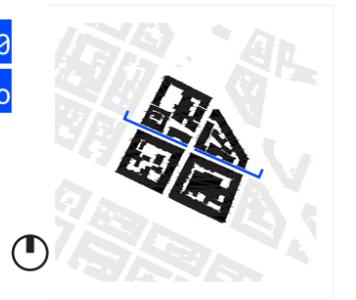


Via Bari 3



# Rilievo consistenze edilizie \_Rilievo dei profili urbani

Scala 1:1000  
\_Fotoraddrizzamento

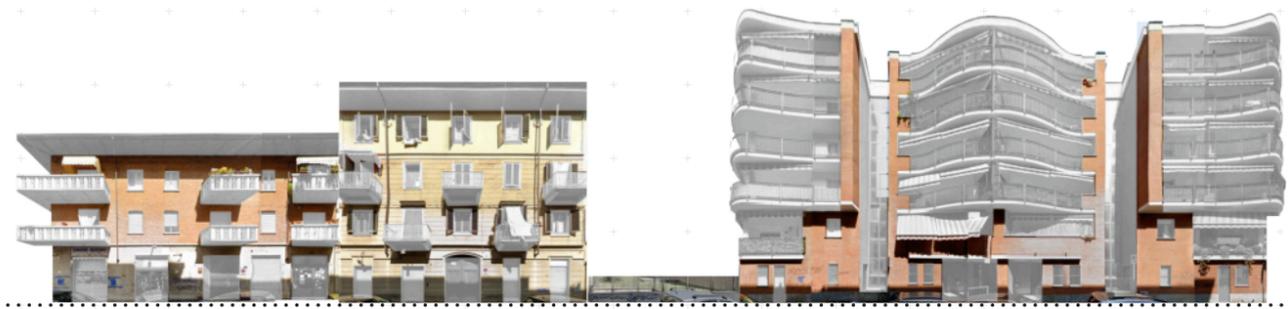


+ 5m +

+ 5m +

+

+



Via Don bosco\_Prospetto sud

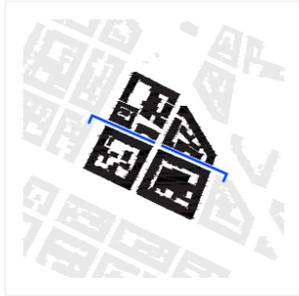
Via Don bosco\_Prospetto sud



Via Don bosco\_Prospetto nord

Via Don bosco\_Prospetto nord





Scala 1:1000

\_Fotoraddrizzamento



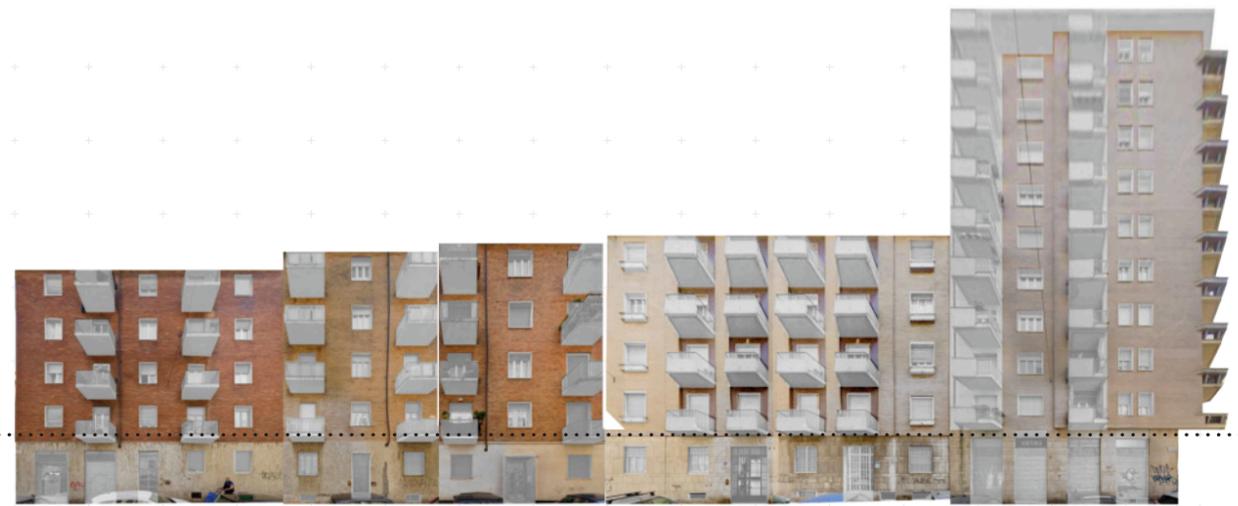
Via Bari\_Prospetto Ovest



Via Bari\_Prospetto Ovest



Via Bari\_Prospetto est



Via Bari\_Prospetto est



# Rilievo consistenze edilizie \_Rilievo dei profili urbani



Via Don bosco\_Prospetto sud



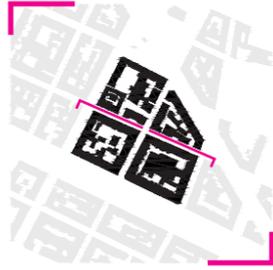
Via Don bosco\_Prospetto sud



Via Don bosco\_Prospetto nord



Via Don bosco\_Prospetto nord



Scala 1:1000

\_Rilievo dei profili urbani



Via Bari\_Prospetto Ovest



Via Bari\_Prospetto Ovest



Via Bari\_Prospetto est



Via Bari\_Prospetto est



# Rilievo consistenze edilizie

## \_Abaco dei materiali

### Superfici orizzontali

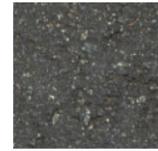
Scala 1:1000

\_Abaco dei materiali in facciata

+ 5m +

+

Albedo	A	Calore specifico	c: J/K
Riflessione	%	Conduttività	$\lambda$ : W/mK
Emissività	$\epsilon$	Densità	$\rho$ : kg/M <sup>3</sup>



**# A1**  
**Asfalto generico**  
 A: 0.2  
 $\epsilon$ : 0.9



**# C1**  
**Cemento spazzolato**  
 A: 0.4  
 $\epsilon$ : 0.9



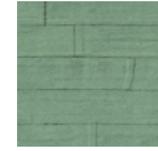
**# V1**  
**Prato generico 25cm**  
 A: 0.2



**# C1**  
**Coppi in laterizio nuovi**  
 A: 0.5      c: 840 J/K  
 %: 0.5       $\lambda$ : 0.81 W/mK  
 $\epsilon$ : 0.9       $\rho$ : 1700 kg/m<sup>3</sup>



**# C2**  
**Coppi in laterizio vecchi**  
 A: 0.4      c: 840 J/K  
 %: 0.5       $\lambda$ : 0.81 W/mK  
 $\epsilon$ : 0.9       $\rho$ : 1700 kg/m<sup>3</sup>



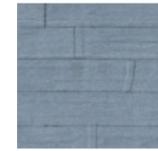
**# B1**  
**Guaina bitumosa verde**  
 A: 0.3      c: 1470J/K  
 %: 0.7       $\lambda$ : 0.19 W/mK  
 $\epsilon$ : 0.9       $\rho$ : 1200 kg/m<sup>3</sup>



**# B2**  
**Guaina bitumosa grigia**  
 A: 0.4      c: 1470J/K  
 %: 0.7       $\lambda$ : 0.19 W/mK  
 $\epsilon$ : 0.9       $\rho$ : 1200 kg/m<sup>3</sup>



**# B3**  
**Guaina bitumosa bianca**  
 A: 0.7      c: 1470J/K  
 %: 0.7       $\lambda$ : 0.19 W/mK  
 $\epsilon$ : 0.9       $\rho$ : 1200 kg/m<sup>3</sup>



**# B4**  
**Guaina bitumosa chiara**  
 A: 0.5      c: 1470J/K  
 %: 0.7       $\lambda$ : 0.19 W/mK  
 $\epsilon$ : 0.9       $\rho$ : 1200 kg/m<sup>3</sup>



**# B5**  
**Guaina bitumosa scura**  
 A: 0.2      c: 1470J/K  
 %: 0.7       $\lambda$ : 0.19 W/mK  
 $\epsilon$ : 0.9       $\rho$ : 1200 kg/m<sup>3</sup>



# Rilievo consistenze edilizie

## \_Abaco dei materiali

### Superfici verticali

Albedo A Calore specifico c: J/K  
 Riflessione % Conduttività λ: W/mK  
 Emissività ε Densità ρ: kg/M³

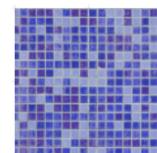
Valori di riferimento estratti da: Pollo, R. (2015). *Progettare l'ambiente urbano. Riflessioni e strumenti*, pp. 164



**# L1**  
**Mattone in laterizio chiaro**  
 A: 0.5 c: 840 J/K  
 %: 0.4 λ: 1.1 W/mK  
 ε: 0.9 ρ: 1920 kg/m³



**# M3**  
**Laste in travertino giallo**  
 A: 0.8 c: 800 J/K  
 %: 0.5 λ: 0.84 W/mK  
 ε: 0.9 ρ: 1900 kg/m³



**# T3**  
**Mosaico viola**  
 A: 0.7 c: 800 J/K  
 %: 0.5 λ: 0.84 W/mK  
 ε: 0.9 ρ: 1900 kg/m³



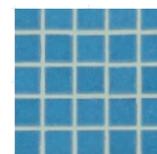
**# P1**  
**Lastre di granito:**  
 A: 0.3 c: 850 J/K  
 %: 0.5 λ: 1.6 W/mK  
 ε: 0.9 ρ: 2220 kg/m³



**# L2**  
**Mattone in laterizio arancio**  
 A: 0.4 c: 840 J/K  
 %: 0.4 λ: 1.1 W/mK  
 ε: 0.9 ρ: 1920 kg/m³



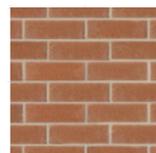
**# M4**  
**Travertino in listelli**  
 A: 0.55 c: 800 J/K  
 %: 0.5 λ: 0.84 W/mK  
 ε: 0.9 ρ: 1900 kg/m³



**# T4**  
**Piastrelle azzurre**  
 A: 0.7 c: 800 J/K  
 %: 0.5 λ: 0.84 W/mK  
 ε: 0.9 ρ: 1900 kg/m³



**# P2**  
**Pietra grigia**  
 A: 0.4 c: 850 J/K  
 %: 0.5 λ: 1.6 W/mK  
 ε: 0.9 ρ: 2220 kg/m³



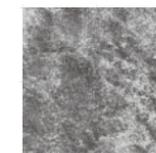
**# L3**  
**Mattone in laterizio cotto**  
 A: 0.3 c: 840 J/K  
 %: 0.4 λ: 1.1 W/mK  
 ε: 0.9 ρ: 1920 kg/m³



**# M5**  
**Travertino in listelli**  
 A: 0.7 c: 800 J/K  
 %: 0.5 λ: 0.84 W/mK  
 ε: 0.9 ρ: 1900 kg/m³



**# I1**  
**Intonaco chiaro**  
 A: 0.8 c: 650 J/K  
 %: 0.4 λ: 0.5 W/mK  
 ε: 0.9 ρ: 1500 kg/m³



**# P3**  
**Ardesia**  
 A: 0.2 c: 850 J/K  
 %: 0.5 λ: 1.6 W/mK  
 ε: 0.9 ρ: 2220 kg/m³



**# M1**  
**Travertino in cocciame**  
 A: 0.55 c: 800 J/K  
 %: 0.5 λ: 0.84 W/mK  
 ε: 0.9 ρ: 1900 kg/m³



**# T1**  
**Piastrella bianca**  
 A: 0.8 c: 800 J/K  
 %: 0.5 λ: 0.84 W/mK  
 ε: 0.9 ρ: 1900 kg/m³



**# I2**  
**Intonaco giallo chiaro**  
 A: 0.5 c: 850 J/K  
 %: 0.5 λ: 1.6 W/mK  
 ε: 0.9 ρ: 2220 kg/m³



**# P4**  
**Pietra occitana chiara**  
 A: 0.8 c: 850 J/K  
 %: 0.5 λ: 1.6 W/mK  
 ε: 0.9 ρ: 2220 kg/m³



**# M2**  
**Lastre di travertino bianco**  
 A: 0.8 c: 800 J/K  
 %: 0.5 λ: 0.84 W/mK  
 ε: 0.9 ρ: 1900 kg/m³



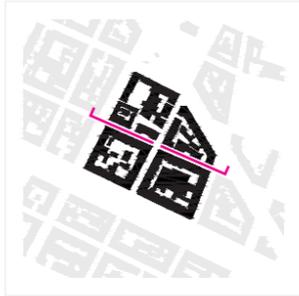
**# T2**  
**Piastrella arancio**  
 A: 0.7 c: 800 J/K  
 %: 0.5 λ: 0.84 W/mK  
 ε: 0.9 ρ: 1900 kg/m³



**# I3**  
**Intonaco rosa**  
 A: 0.3 c: 850 J/K  
 %: 0.5 λ: 1.6 W/mK  
 ε: 0.9 ρ: 2220 kg/m³



**# P5**  
**Pietra occitana grigia**  
 A: 0.4 c: 850 J/K  
 %: 0.5 λ: 1.6 W/mK  
 ε: 0.9 ρ: 2220 kg/m³

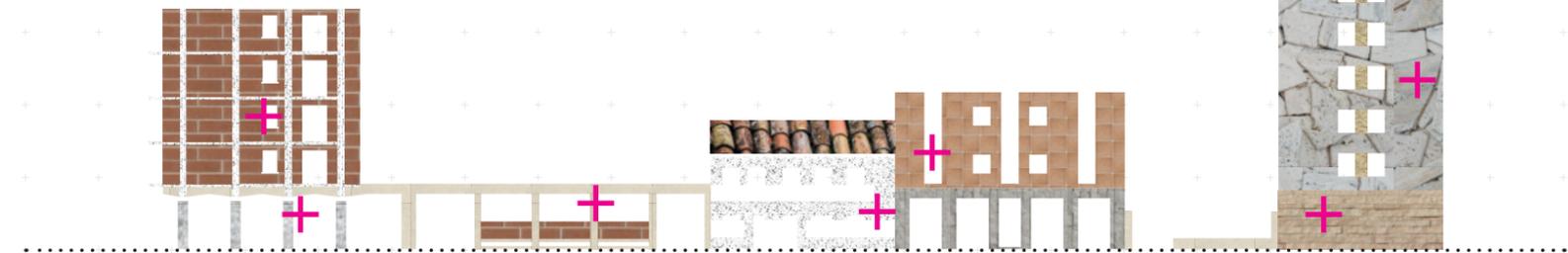
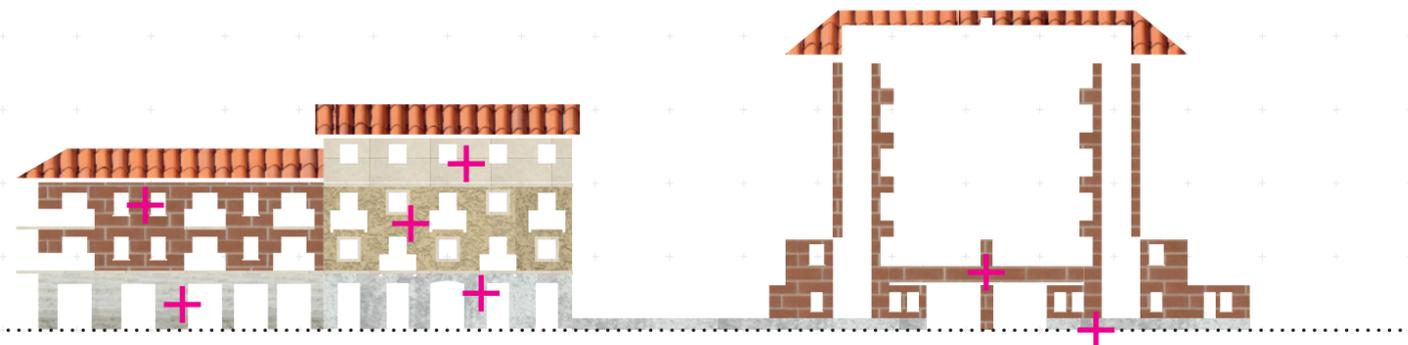


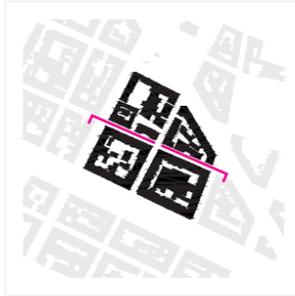
Scala 1:1000

\_Abaco dei materiali in facciata

+ 5m +

+ 5m +





Scala 1:1000

\_Abaco dei materiali in facciata

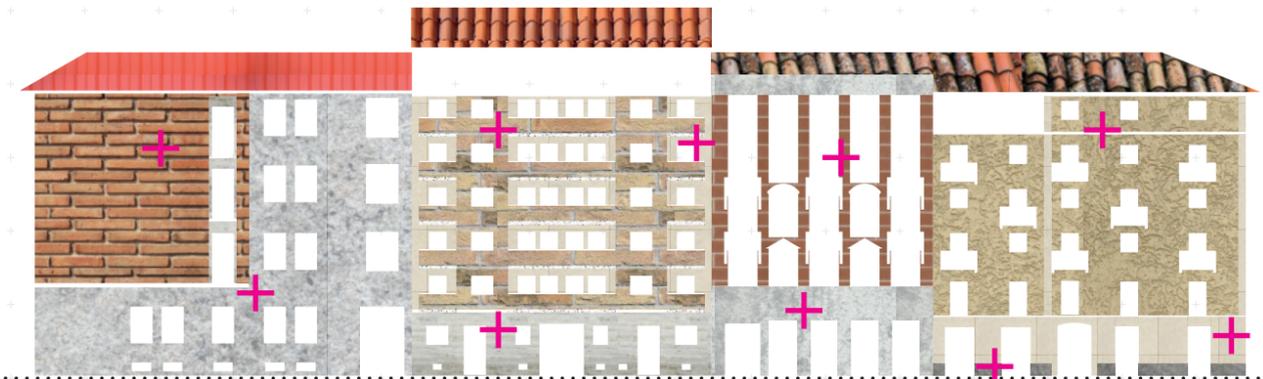
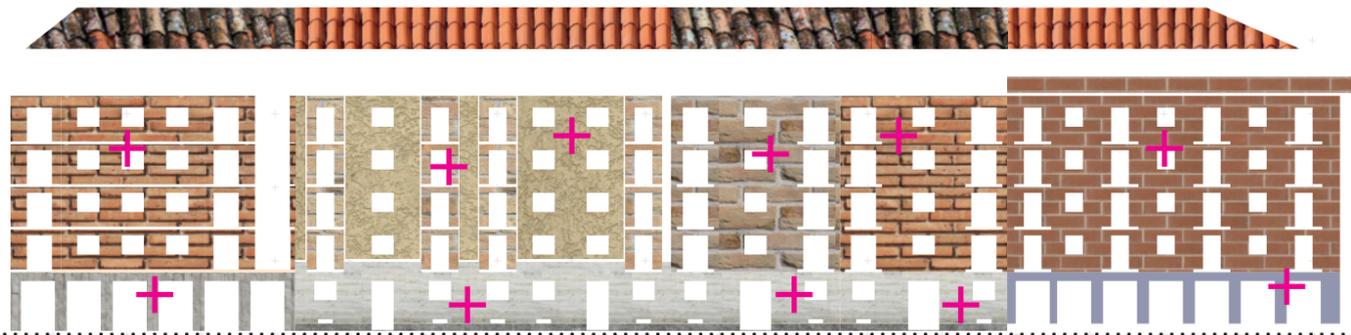


+ 5m +

+ 5m +

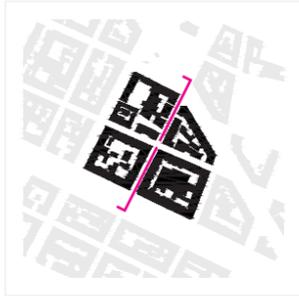
- # L2  
Mattoni in laterizio arancio  
Albedo: 0.2
- # L1  
Mattoni in laterizio chiaro  
Albedo: 0.3-0.5
- # I2  
Intonaco chiaro  
Albedo: 0.5-0.9
- # L1  
Mattoni in laterizio chiaro  
Albedo: 0.3-0.5
- # L2  
Mattoni in laterizio arancio  
Albedo: 0.2
- # L3  
Mattoni in laterizio cotto  
Albedo: 0.3

- # L2  
Mattoni in laterizio arancio  
Albedo: 0.2
- # L1  
Mattoni in laterizio chiaro  
Albedo: 0.3-0.5
- # I1  
Intonaco chiaro  
Albedo: 0.5-0.9
- # L3  
Mattoni in laterizio cotto  
Albedo: 0.3
- # I2  
Intonaco chiaro  
Albedo: 0.5-0.9



- # M4  
Travertino in listelli  
Albedo: 0.55
- # M2  
Lastre di travertino bianco  
Albedo: 0.8
- # M2  
Lastre di travertino bianco  
Albedo: 0.8
- # M5  
Travertino in listelli  
Albedo: 0.7
- # M2  
Lastre di travertino bianco  
Albedo: 0.8

- # P1  
Lastre di granito  
Albedo: 0.2-0.4
- # M2  
Lastre di travertino bianco  
Albedo: 0.8
- # P4  
Pietra occitana chiara  
Albedo: 0.8
- # P5  
Pietra occitana grigia  
Albedo: 0.2-0.4
- # I1  
Intonaco chiaro  
Albedo: 0.5-0.9



Scala 1:1000

\_Abaco dei materiali in facciata



+ 5m +

+ 5m +

# I3

Intonaco rosa

Albedo: 0.2-0.35



# I1

Intonaco chiaro

Albedo: 0.5-0.9



# I2

Intonaco chiaro

Albedo: 0.5-0.9



# L2

Mattone in laterizio arancio

Albedo: 0.2



# L3

Mattone in laterizio cotto

Albedo: 0.3



# I1

Intonaco chiaro

Albedo: 0.5-0.9



# L3

Mattone in laterizio cotto

Albedo: 0.3



# T1

Piastrella bianca

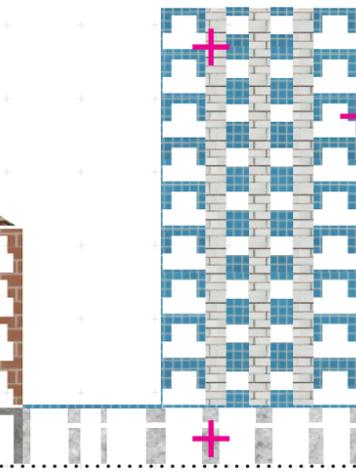
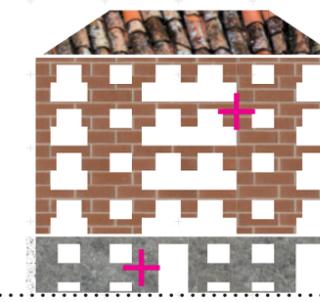
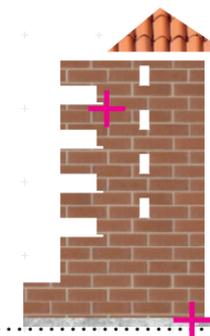
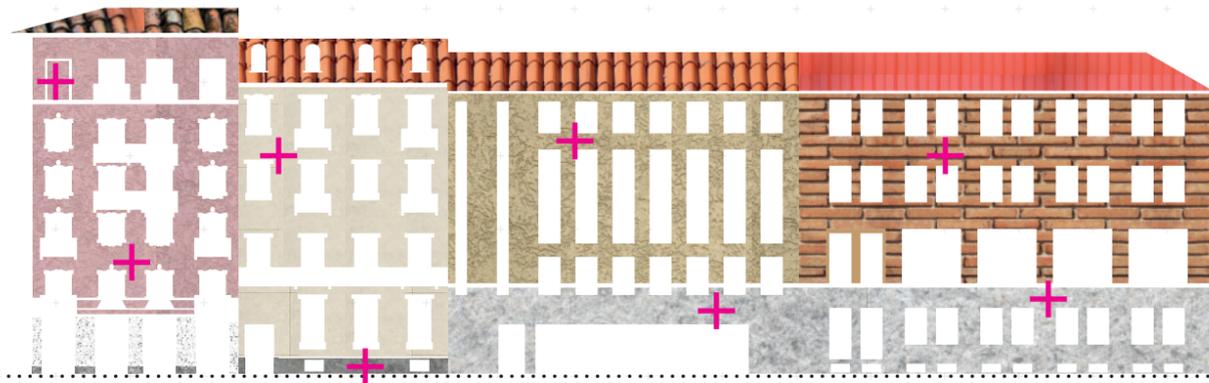
Albedo: 0.8



# T4

Piastrelle azzurre

Albedo: 0.5-0.8



# I1

Intonaco chiaro

Albedo: 0.5-0.9



# P2

Pietra grigia

Albedo: 0.3-0.5



# P4

Pietra occitana chiara

Albedo: 0.8



# P3

Ardesia

Albedo: 0.2



# P2

Pietra grigia

Albedo: 0.3-0.5



# P2

Pietra grigia

Albedo: 0.3-0.5



# P5

Pietra occitana grigia

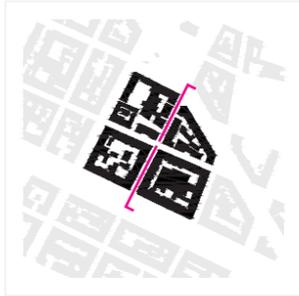
Albedo: 0.2-0.4



# P1

Lastre di granito

Albedo: 0.2-0.4



Scala 1:1000

\_Abaco dei materiali in facciata

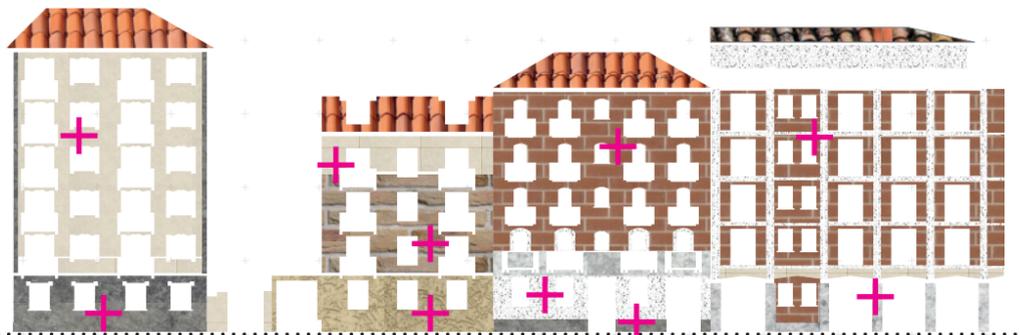


# I1	# L1	# I1	# L3	# L3	# I1
Intonaco chiaro	Mattone in laterizio chiaro	Intonaco chiaro	Mattone in laterizio cotto	Mattone in laterizio cotto	Intonaco chiaro
Albedo: 0.5-0.9	Albedo: 0.3-0.5	Albedo: 0.5-0.9	Albedo: 0.3	Albedo: 0.3-0.5	Albedo: 0.5-0.9

+ 5m +

# L3	# L1	# L2	# T1	# T3
Mattone in laterizio cotto	Mattone in laterizio chiaro	Mattone in laterizio arancio	Piastrella bianca	Mosaico viola
Albedo: 0.3	Albedo: 0.3-0.5	Albedo: 0.2	Albedo: 0.8	Albedo: 0.6-0.8

+ 5m +

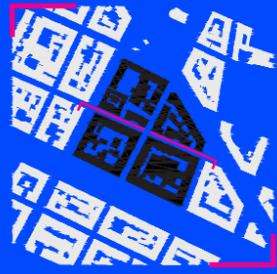


# P5	# I2	# P2	# I2	# P3
Pietra occitana grigia	Intonaco chiaro	Pietra grigia	Intonaco chiaro	Ardesia
Albedo: 0.2-0.4	Albedo: 0.5-0.9	Albedo: 0.3-0.5	Albedo: 0.5-0.9	Albedo: 0.2

# M4	# M5	# N3	# L1	# L1
Travertino in listelli	Travertino in listelli	Laste in travertino giallo	Mattone in laterizio chiaro	Mattone in laterizio chiaro
Albedo: 0.55	Albedo: 0.7	Albedo: 0.8	Albedo: 0.3-0.5	Albedo: 0.3-0.5

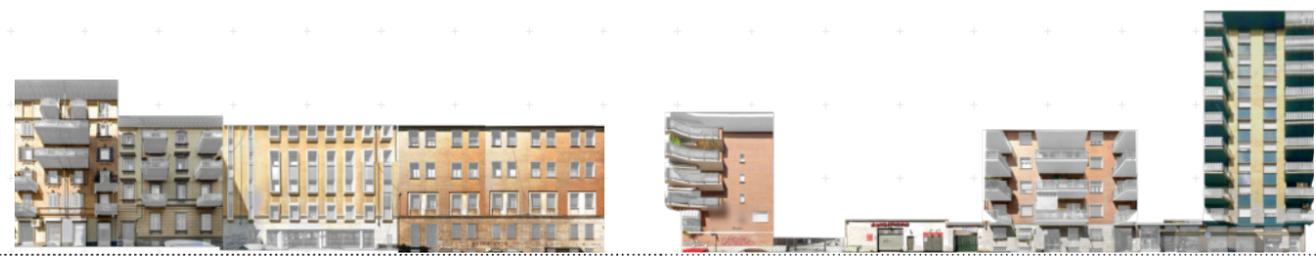
Stato di fatto  
\_Rilievo materico

SINTESI



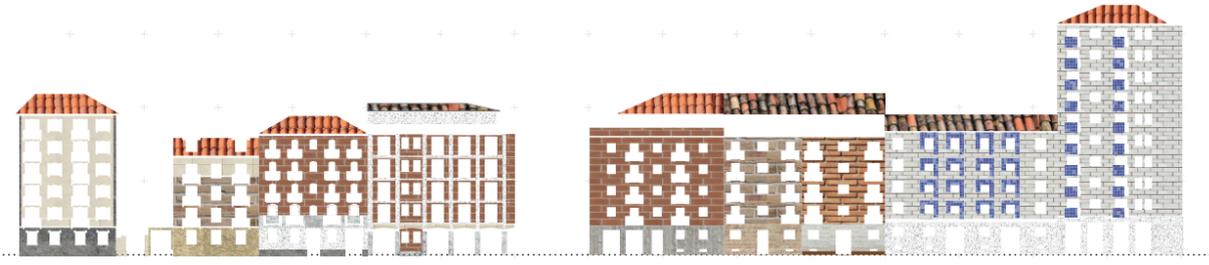
+ 5m +

+



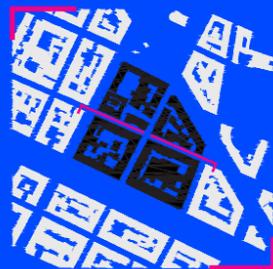
+ 5m +

+



Stato di fatto  
\_Rilievo materico

SINTESI



Via Don bosco  
Prospetto sud

+ 5m +



Via Don bosco  
Prospetto nord

+ 5m +





# **A N A L I S I MICROCLIMATICA STATO DI FATTO**

**5.1. Metodologia di analisi in ambiente  
Envi-met**

**5.2. Responso analitico**  
Temperatura dell'aria  
Temperatura superficiale  
Temperatura Fisiologica Equivalente  
Velocità del vento

Per l'intero processo di analisi e simulazione è stato utilizzato il software ENVI-met, un software basato sulla fisica urbana che, attraverso la modellazione in 3D e l'utilizzo di equazioni di bilancio accoppiate (tra cui massa, quantità di moto ed energia), descrive l'interazione tra i diversi fenomeni che si verificano nell'ambiente urbano. In particolare, ENVI-met è utilizzato per lo sviluppo di studi sul microclima urbano, riproducendo i principali processi dell'atmosfera come flusso d'aria, turbolenza, radiazione, temperatura e umidità dell'aria e vegetazione. Il software è in grado di calcolare i dati meteorologici e gli indici di qualità del comfort, come la temperatura fisiologicamente equivalente (PET) e il voto medio previsto (PMV), all'interno di un'area urbana. ENVI-met ha una risoluzione spaziale e temporale molto elevata, che consente di comprendere il microclima a livello stradale. La sua risoluzione orizzontale tipica varia da 0,5 m a 10 m, che è impostata per le interazioni su piccola scala tra singoli edifici, superfici e piante. Il software è in grado di simulare le dinamiche microclimatiche all'interno di strutture urbane complesse durante un intero ciclo giornaliero.

La modellazione e il rilievo dimensionale degli edifici, è stato possibile partendo dall'acquisizione dei dati della carta dal Geoportale Torino. Per la modellazione del caso studio, è stata utilizzata la versione 5.0.3 di ENVI-met, che comprende sei sezioni: Monde, Spaces, ENVI-guide, ENVI-core,

BIO-met e Leonardo. Il modulo Projects/Workspaces è stato utilizzato per creare cartelle separate e impostazioni individuali per ogni simulazione (stato di fatto / applicazione di "cool materials").

La modellazione dell'area avviene attraverso l'editor "space" del software. In primo luogo, vengono definite le caratteristiche dello spazio simulazione. Alla voce Edit/Setting è stata inserita la località del progetto, orientamento del nord e dimensione del dominio del modello di analisi, definendo anche la suddivisione della griglia.

La divisione in celle definisce il grado di dettaglio e precisione del modello e quindi l'accuratezza dei risultati. Per il caso studio è stata definita un'area di circa 46.000m<sup>2</sup> inserita in una griglia 100 x 100 con una divisione in celle di 2m x 2m sul piano orizzontale. La divisione sul piano verticale si suddivide in celle da 1m, necessario per avere un grado di dettaglio realistico sul comfort degli utenti. La scelta di utilizzare celle 2x2 m deriva dalla contrazione dei tempi di calcolo. Infatti, la precisione è proporzionale ai tempi di simulazione. La definizione della maglia è comunque sufficiente per il livello di dettaglio necessario alla valutazione dei risultati.

Per evitare problemi di calcolo e i cosiddetti "errori di bordo", è stata aumentata l'area libera intorno al modello, sia verticalmente che orizzontalmente. l'altezza del modello è stata posta uguale al doppio dell'edificio più alto presente nell'area e sono state utilizzate le "nesting



grids”, ovvero celle libere poste ai confini dell’area modellata.

Dopo aver definito le caratteristiche generali del dominio di simulazione, è stata modellata l’area urbana nello specifico. Partendo dalla base cartografica fornita dal Geoportale di Torino, è stata utilizzata la carta tecnica per il rilievo delle altezze e della geometria in pianta. È stato utilizzato un file immagine bitmap come base da inserire sul piano dell’ambiente Space di Envi-met.

Dopo aver modellato il terreno e gli edifici (come semplici blocchi), si è passati alla fase di definizione delle varie tipologie di superficie e di vegetazione. Per la definizione dei materiali del suolo sono stati utilizzati i materiali di default già esistenti nel database del programma.

Per la specifica definizione dei materiali degli edifici, come primo step sono state definite le aperture vetrate in facciata, utilizzando il materiale di vetro singolo presente nel database del programma per la modellazione dello stato di fatto. Successivamente, partendo dai materiali presenti nel programma, sono stati personalizzati i materiali da applicare sulle facciate utilizzando le caratteristiche termiche in tabella.

Per quanto riguarda la vegetazione, è stato modellato il prato con erba di

altezza pari a 7 cm (albedo 0,2), modificando i parametri dell’elemento prato (grass) già fornito di default dal software. Infine, gli alberi sono stati inseriti come elementi 3D utilizzando quelli già presenti nel database di Envi\_Met; utilizzando gli alberi più simili a quelli realmente esistenti nell’area secondo la forma della chioma e l’altezza complessiva della pianta. Le tipologie di albero utilizzate sono riportate nella tabella 3: Sono stati seguiti i dati arborei pubblici di Geoportale e sono stati applicati al modello.

# Metodologia di analisi in ambiente Envi-met

## \_Simulazione

Per il processo di simulazione sono stati presi in primo luogo i dati climatici da sottoporre a simulazioni dinamiche quadridimensionali, di cui una variabile è il tempo, per studiare le variazioni in giorni e orari-chiave. Al fine di valutare l'efficacia di mitigazione del calore del caso studio e dei cool materials, sono state utilizzate delle condizioni di calore più sfavorevoli ovvero la giornata tipo più calda. In questo caso è stato scelto il giorno 25 luglio 2022, i cui valori sono riportati nella tabella 1. I parametri climatici sono stati ricavati dai database sul sito di Arpa Piemonte, selezionando la stazione meteorologica più vicina al caso studio. I dati utilizzati si riferiscono alla temperatura dell'aria, all'umidità relativa, alla velocità e alla direzione del vento per ogni ora del giorno.

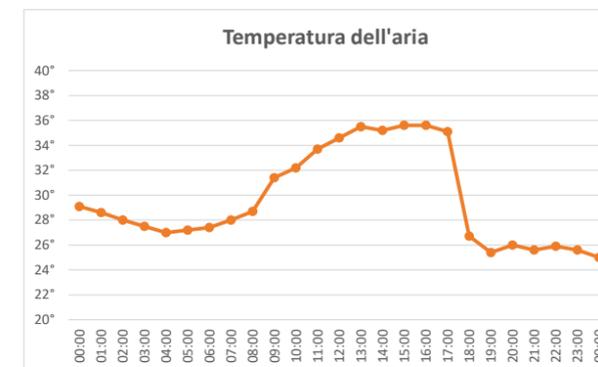
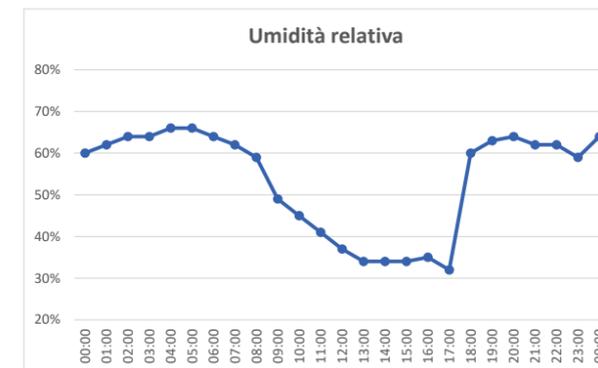
La temperatura dell'aria raggiunge alti valori durante le ore pomeridiane, con picchi di 36 gradi tra le ore 14 e 15. Parallelamente nelle stesse ore si presenta un calo dell'umidità relativa e quindi del calore latente, con valori minimi di 33-34%. Durante le ore notturne presenta valori medio alti durante la notte, aggirandosi intorno al 60-68%. Probabilmente dato dallo sfasamento termico dei materiali.

Per la simulazione del modello viene utilizzato il modulo ENVI-guide, impostando una durata di simulazione di 24 ore, a partire dalle ore 00:00 del 25.07.2022. Per un'analisi più affidabile in termini di output, solitamente viene impostato una durata di 48 ore, ma considerando il livello di

ORA	T.ARIA °C	RH %	WS m/s
00:00	29,1	60	1,4
01:00	28,6	62	0,7
02:00	28	64	1,4
03:00	27,5	64	0,9
04:00	27	66	1,2
05:00	27,2	66	1,1
06:00	27,4	64	1,8
07:00	28	62	1,8
08:00	28,7	59	1,8
09:00	31,4	49	1,9
10:00	32,2	45	1,6
11:00	33,7	41	2,2
12:00	34,6	37	1,1
13:00	35,5	34	2,2
14:00	35,2	34	1,5
15:00	35,6	34	1,5
16:00	35,6	35	1,1
17:00	35,1	32	1,7
18:00	26,7	60	3,8
19:00	25,4	63	1,5
20:00	26	64	2
21:00	25,6	62	1,4
22:00	25,9	62	2,3
23:00	25,6	59	3,6
00:00	25	64	2,5

Tab.1 Dati climatici di temperatura dell'aria e umidità relativa del 25/07/2022

Fonte: Arpa Piemonte



dettaglio del modello questo avrebbe allungato eccessivamente i tempi di simulazione. La durata di 24 ore è stata sufficiente per avere dei file input sufficienti per il caso studio.

Le informazioni sulle condizioni meteorologiche sono state inserite seguendo due metodi differenti. Nel primo caso sono stati inseriti i dati climatici di velocità e direzione del vento relativi ad ogni ora del giorno, utilizzando il file con estensione FOX e definendo la condizione di "full forcing" tabella.

Dato l'obiettivo della valutazione dell'efficienza termica dei materiali, l'utilizzo di questo metodo ha generato dei dati di output non attendibili, dato dalla moltitudine di variabili presenti, tra cui in modo rilevante l'andamento della ventilazione.

Per meglio valutare l'influenza dei materiali, è stato utilizzato il metodo di "simple forcing", che prevede l'inserimento di un unico dato per la velocità e direzione del vento. La simulazione è stata eseguita utilizzando il modulo ENVI-core e la durata dipendeva dalle dimensioni dell'area di modellazione, richiedendo circa 4-7 giorni per ogni simulazione.

All'interno della sezione "ENVI-core" è necessario selezionare il modello desiderato e avviare un controllo della simulazione, il quale evidenzia eventuali errori presenti nel modello: in giallo quelli meno gravi, nella maggior parte dei casi corretti dal software; in rosso gli errori gravi, occorre

## Metodologia di analisi in ambiente Envi-met

### \_Risultati

Per visualizzare i risultati delle simulazioni si utilizza la sezione “Leonardo” di Envi-met. Una volta caricati i file di output generati dalla simulazione, è possibile esportare viste in pianta e in sezione da qualsiasi piano del dominio di simulazione.

Per la visualizzazione della temperatura potenziale dell’aria e della velocità del vento viene inserito il file “atmosphere”, mentre per i risultati della temperatura superficiale è stato utilizzato il file “surface”.

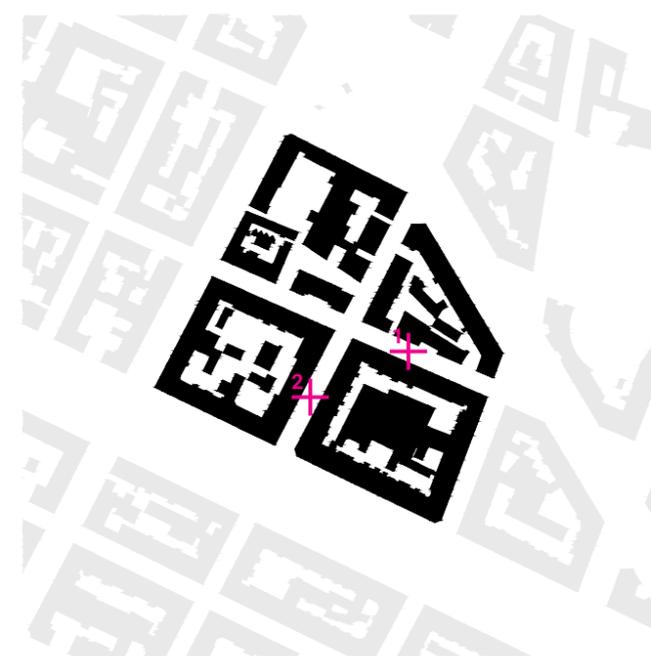
Riguardo i risultati della temperatura fisiologica equivalente (PET), bisogna utilizzare il modulo “BIO-met” del software, che consente di calcolare non solo la PET ma anche altri indici di comfort come UTCI e PMV. Una volta scelte le ore del giorno e l’altezza del piano per cui si intende esaminare il valore PET, è possibile calcolare il valore PET.

I risultati di questo calcolo sono visualizzabili nella cartella “biomet” generata dal programma. Anche questi dati vengono inseriti nel modulo Leonardo per poterne visualizzare la distribuzione dei livelli di comfort esterno.

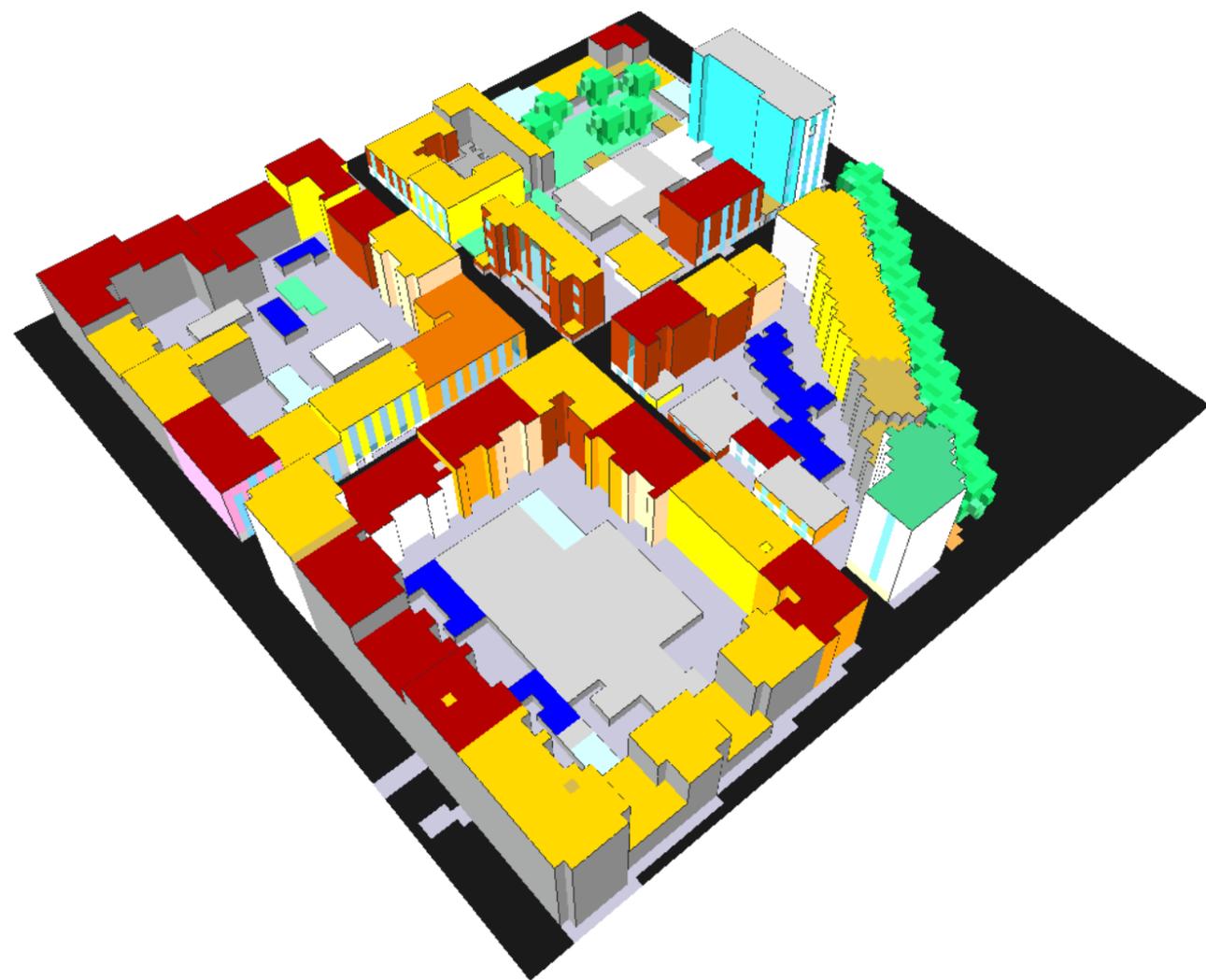
Il software risolve l’equazione di bilancio termico dell’individuo a partire dai dati atmosferici e dalla Tmrt calcolati da ENVI\_MET, valutando la condizione di benessere termoigrometrico per il tipico uomo adulto (35 anni, 75 kg, 1,75m) (Scalzo, 2019).

Per l’analisi di tutti gli output sono state selezionate delle fasce orarie di riferimento che hanno mostrato delle variazioni più emblematiche; queste sono le ore 10:00, 12:00, 15:00 e 18:00. il piano di taglio per la visualizzazione dei risultati è stato impostato a 1,50 m dal suolo che, simula l’altezza media di un corpo umano (tranne che per la temperatura superficiale che mostra la temperatura delle superfici).

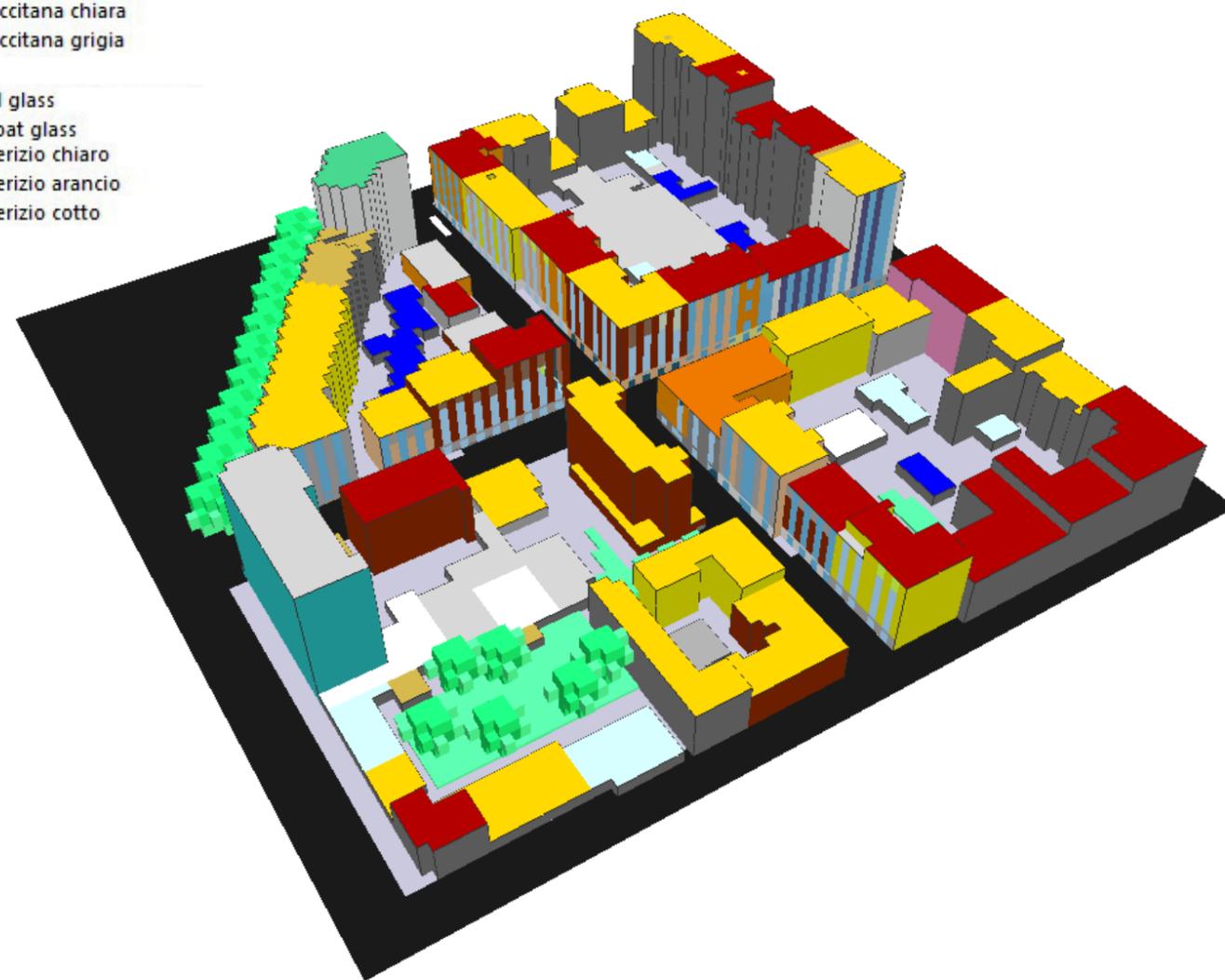
Oltre alle mappe esportate, sono stati selezionati i punti che presentano le peggiori condizioni di PET in ciascuna area di studio. Ciò è stato fatto utilizzando l’opzione “esplora griglia”, che consente di selezionare punti specifici sulla mappa e di esportare le tendenze di diverse variabili ambientali (in questo caso, PET, temperatura superficiale e temperatura potenziale dell’aria) sotto forma di grafici. Le posizioni dei punti selezionati nel modello sono indicate nel keyplan.

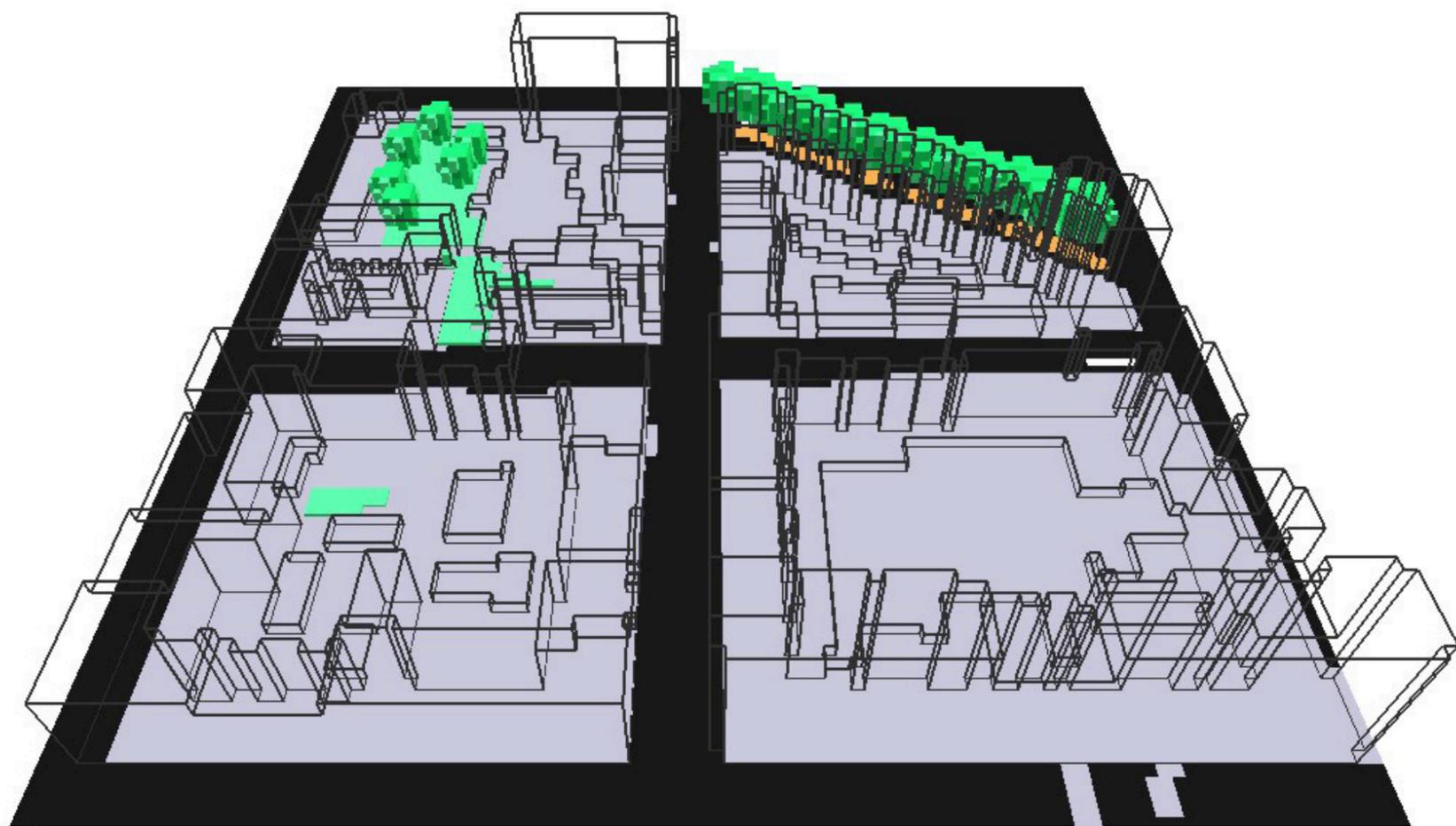


## Modellazione in ambiente Envi-met \_Modello e materiali

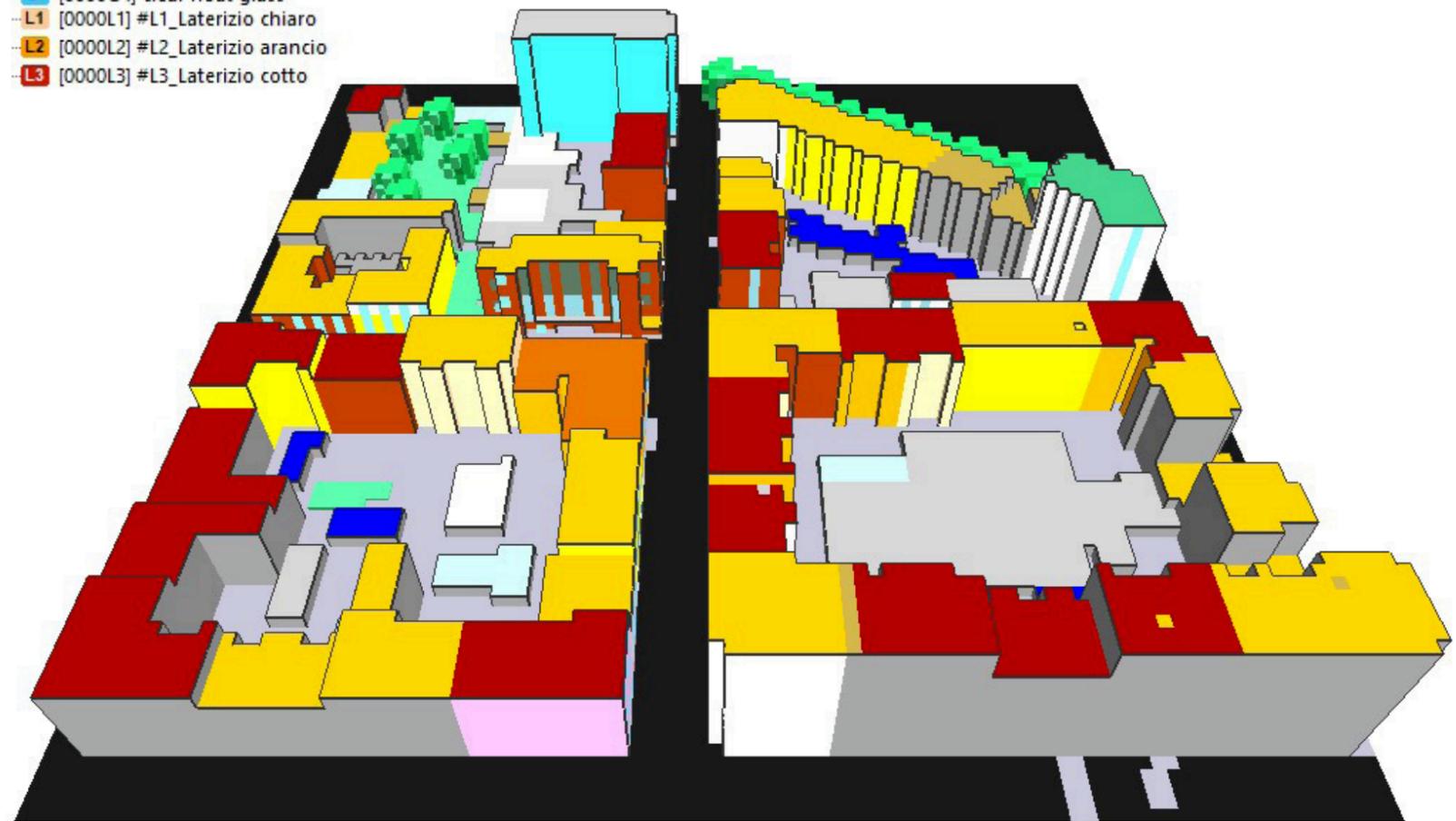


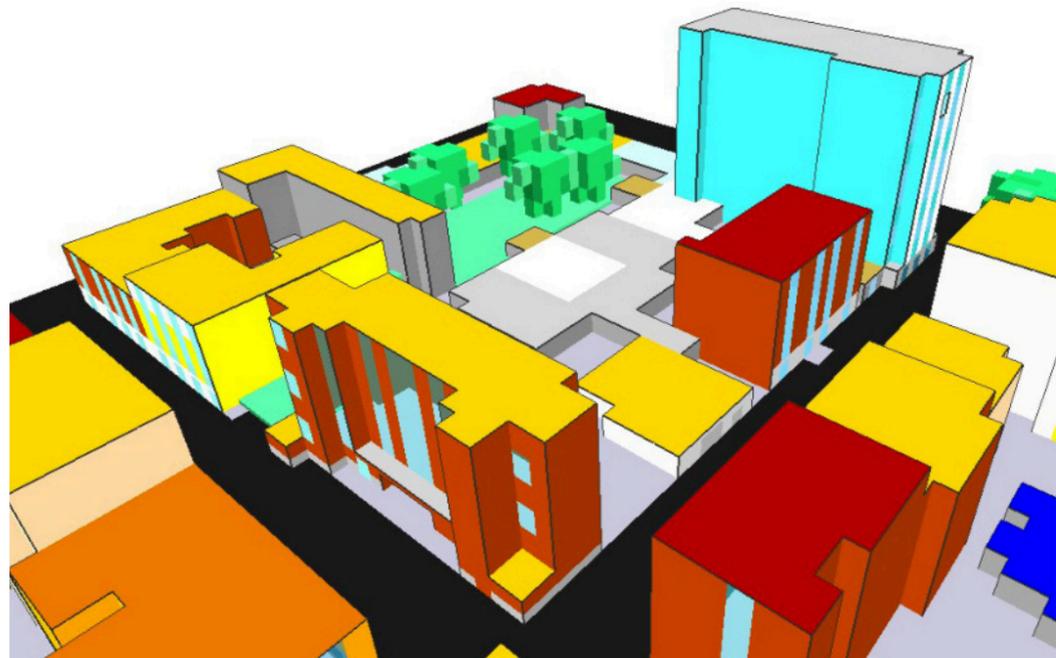
- M1 [0000M1] #M1\_Travertino cocciame
- M2 [0000M2] #M2\_Travertino bianco
- M3 [0000M3] #M3\_Travertino giallo
- M4 [0000M4] #M4\_Travertino in listelli
- M5 [0000M5] #M5\_Travertino in listelli
- R1 [0000R1] #M2\_Travertino bianco
- R2 [0000R2] Roofing: terracotta
- C1 [0002C1] COOL: LASTA CEM BIANCA
- C2 [0002C2] COOL: LASTA CEM GRIGIO
- I2 [0000I2] #I2\_Intonaco giallo chiaro
- I1 [0000I1] #I1\_intonaco chiaro
- C2 [0000C2] Concrete: lightweight
- P1 [0000P1] Lastre in granito
- P2 [0000P2] Pietra grigia
- P3 [0000P3] Ardesia
- P4 [0000P4] Pietra occitana chiara
- P5 [0000P5] Pietra occitana grigia
- D1 [000001]
- G3 [0000G3] foamed glass
- G4 [0000G4] clear float glass
- L1 [0000L1] #L1\_Laterizio chiaro
- L2 [0000L2] #L2\_Laterizio arancio
- L3 [0000L3] #L3\_Laterizio cotto



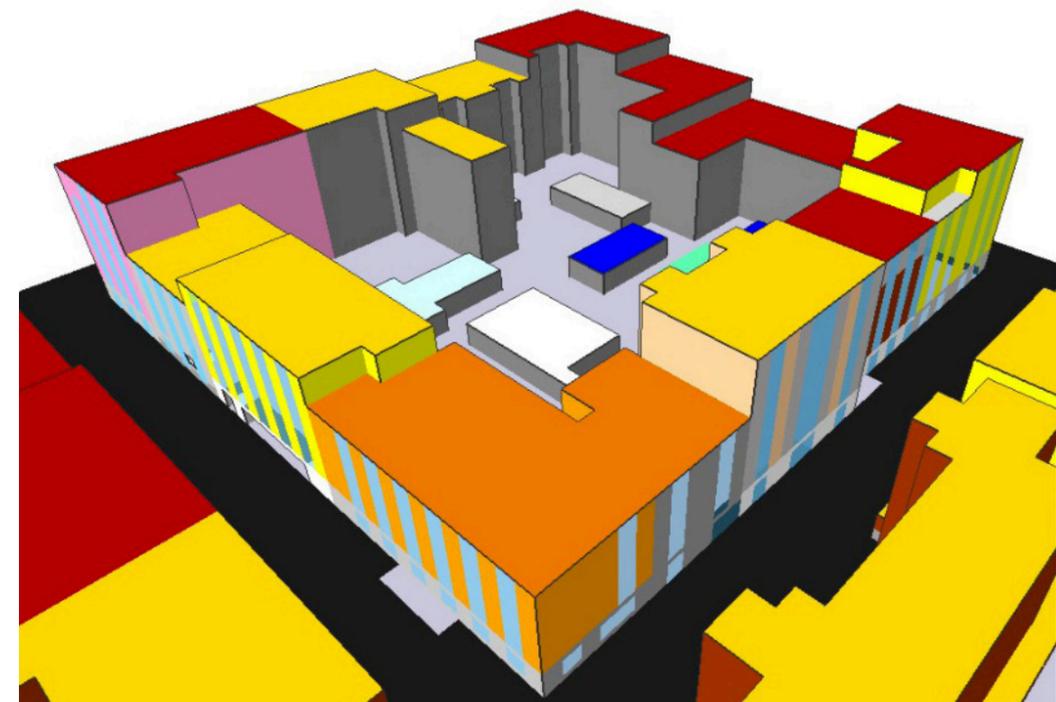
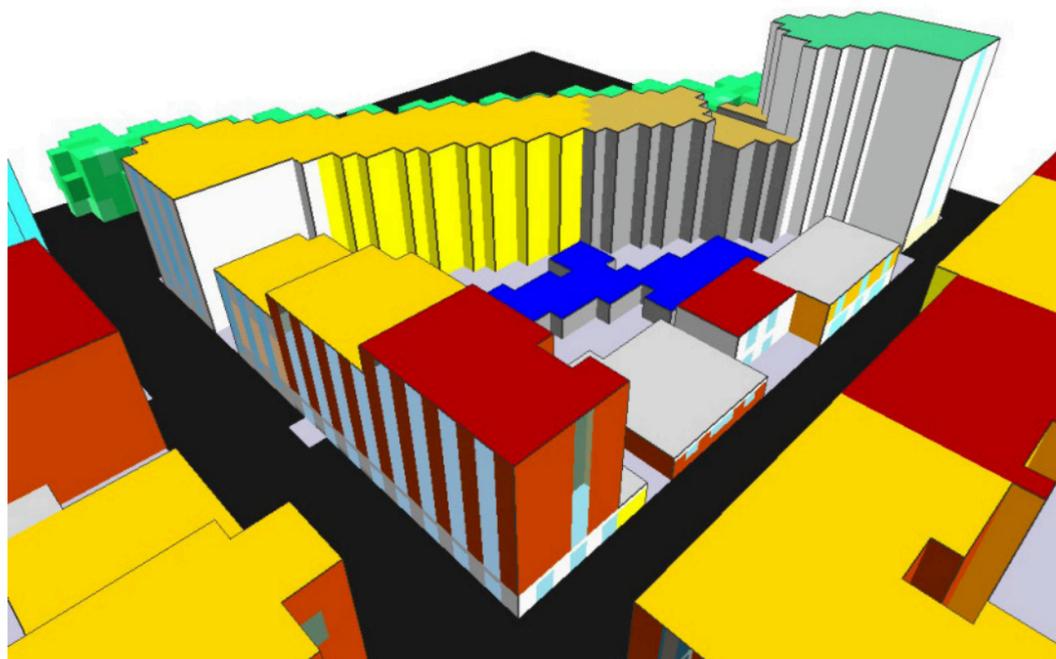
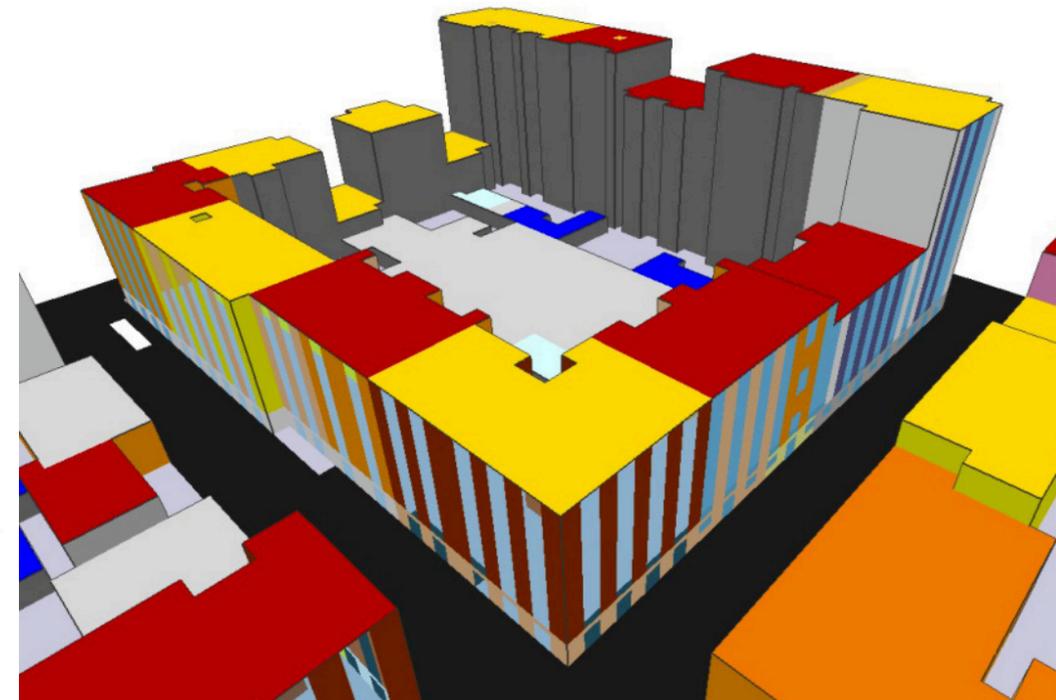


- M1 [0000M1] #M1\_Travertino cocciame
- M2 [0000M2] #M2\_Travertino bianco
- M3 [0000M3] #M3\_Travertino giallo
- M4 [0000M4] #M4\_Travertino in listelli
- M5 [0000M5] #M5\_Travertino in listelli
- R1 [0000R1] #M2\_Travertino bianco
- R2 [0000R2] Roofing: terracotta
- C1 [0002C1] COOL: LASTA CEM BIANCA
- C2 [0002C2] COOL: LASTA CEM GRIGIO
- I2 [0000I2] #I2\_Intonaco giallo chiaro
- I1 [0000I1] #I1\_intonaco chiaro
- C2 [0000C2] Concrete: lightweight
- P1 [0000P1] Lastre in granito
- P2 [0000P2] Pietra grigia
- P3 [0000P3] Ardesia
- P4 [0000P4] Pietra occitana chiara
- P5 [0000P5] Pietra occitana grigia
- 01 [000001]
- G3 [0000G3] foamed glass
- G4 [0000G4] clear float glass
- L1 [0000L1] #L1\_Laterizio chiaro
- L2 [0000L2] #L2\_Laterizio arancio
- L3 [0000L3] #L3\_Laterizio cotto





- ...M1 [0000M1] #M1\_Travertino cocciame
- ...M2 [0000M2] #M2\_Travertino bianco
- ...M3 [0000M3] #M3\_Travertino giallo
- ...M4 [0000M4] #M4\_Travertino in listelli
- ...M5 [0000M5] #M5\_Travertino in listelli
- ...R1 [0000R1] #M2\_Travertino bianco
- ...R2 [0000R2] Roofing: terracotta
- ...C1 [0002C1] COOL: LASTA CEM BIANCA
- ...C2 [0002C2] COOL: LASTA CEM GRIGIO
- ...I2 [0000I2] #I2\_Intonaco giallo chiaro
- ...I1 [0000I1] #I1\_intonaco chiaro
- ...C2 [0000C2] Concrete: lightweight
- ...P1 [0000P1] Lastre in granito
- ...P2 [0000P2] Pietra grigia
- ...P3 [0000P3] Ardesia
- ...P4 [0000P4] Pietra occitana chiara
- ...P5 [0000P5] Pietra occitana grigia
- ...01 [000001]
- ...G3 [0000G3] foamed glass
- ...G4 [0000G4] clear float glass
- ...L1 [0000L1] #L1\_Laterizio chiaro
- ...L2 [0000L2] #L2\_Laterizio arancio
- ...L3 [0000L3] #L3\_Laterizio cotto



I risultati delle simulazioni esposti nelle pagine seguenti sono stati ottenuti ed estratti dal software Envi-met e sono stati successivamente inseriti in una cornice di contesto così da facilitarne la comprensione e la lettura, attraverso la modellazione del contesto con Rhino, partendo dai dati cartografici. Successivamente sono stati inseriti i grafici ricavati dalle analisi con Envi-met, in ambiente Rhino 3d.

Le seguenti rappresentazioni forniscono informazioni riguardo alla temperatura dell'aria, alla velocità del vento, alla temperatura superficiale e alla temperatura fisiologica equivalente (PET).

Le gradazioni di colore nelle mappe corrispondono ai valori di temperatura espressi in gradi Celsius. Come si è già accennato, l'analisi delle simulazioni si concentrerà su tre fasce orarie significative dal punto di vista della variazione microclimatica. Le fasce orarie studiate sono le seguenti: 10:00, 12:00, 15:00, e 18:00.

È importante specificare fin da subito che ogni mappa possiede una propria legenda, la quale riporta i valori minimi e massimi di temperatura presenti in quell'esatto momento. Le legende sono suddivise in una scala di dieci valori definite da una gradazione in "falsi colori".

Per comprendere in modo efficace le dinamiche termiche del modello ed avere una visione complessiva l'analisi è stata affiancata da diverse modalità di visualizzazione come pianta, visualizzazione prospettica e sezioni in diversi punti del caso studio. Queste ulteriori modalità consentono di visualizzare nel dettaglio il comportamento termico di alcune aree specifiche rispetto che ad altre, così da poter individuare le aree più critiche.

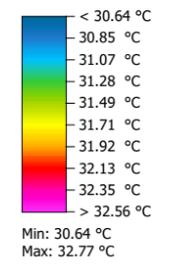
# RESPONSO ANALITICO

# TEMPERATURA DELL'ARIA

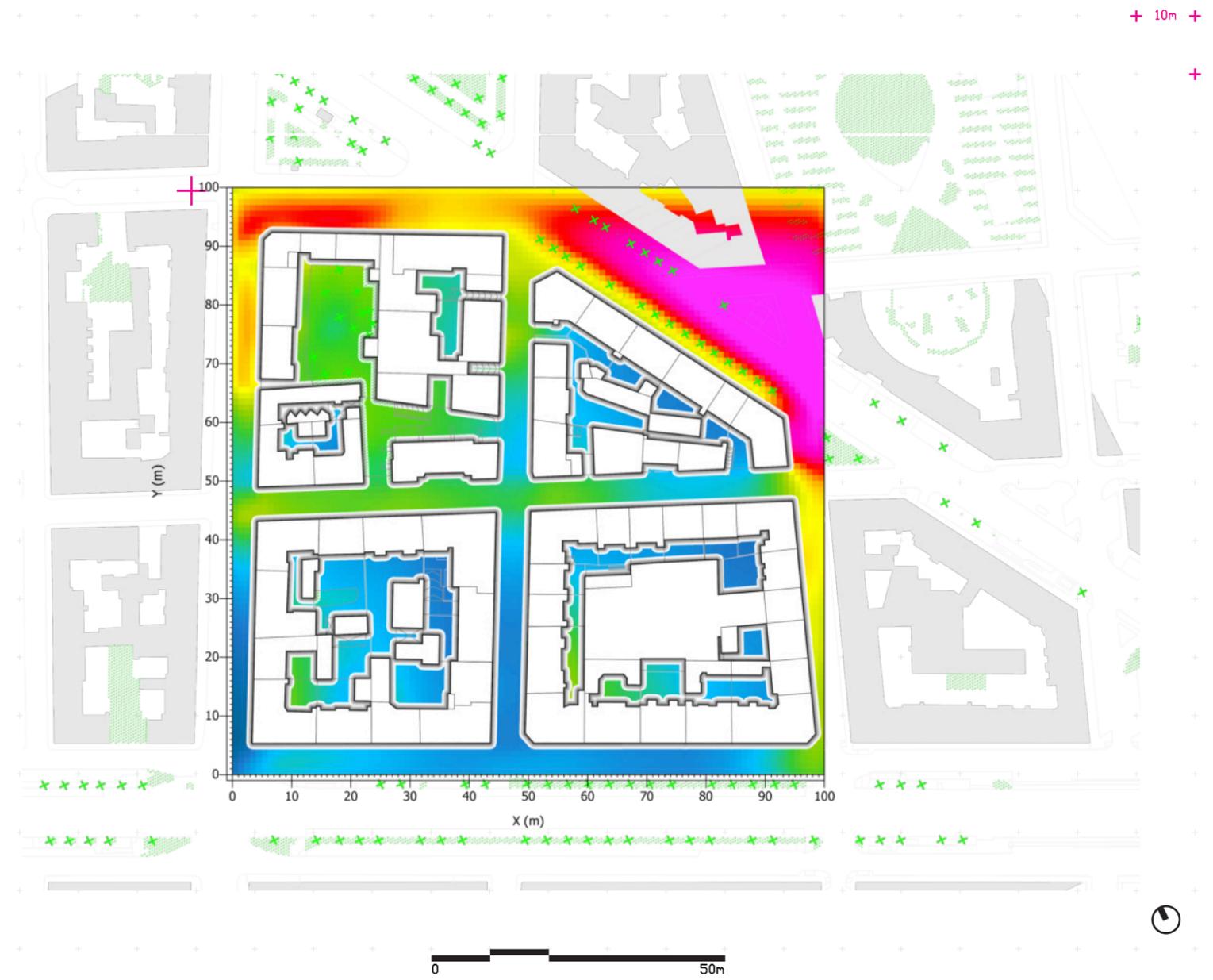
# Responso analitico \_Temperatura dell'aria

Scala 1:2000  
x/z k:2 (1.5m)

Fonte: Rielaborazione propria  
da output Envi-met



10H

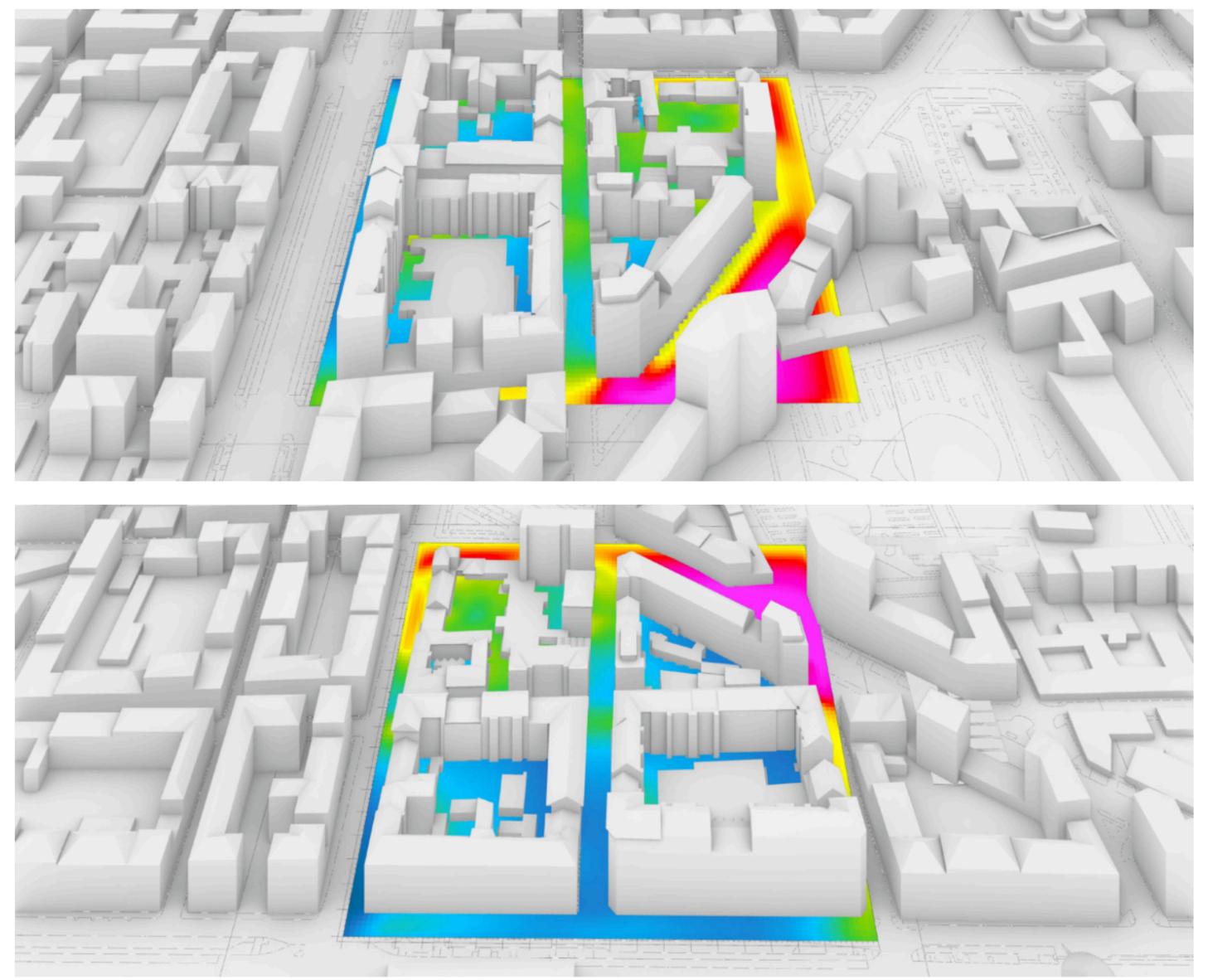


Scala 1:2000  
x/z k:2 (1.5m)

Fonte: Rielaborazione propria da  
output Envi-met

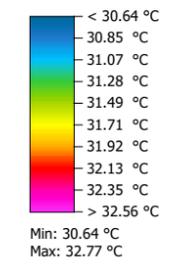
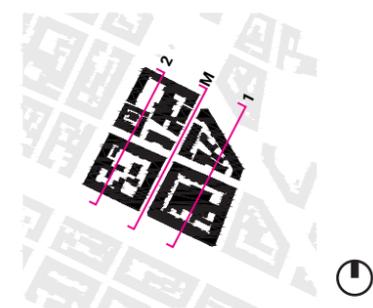


10H

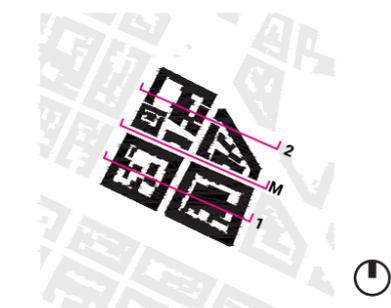


# Responso analitico \_Temperatura dell'aria

Scala 1:2000  
Sezioni Sud -Nord  
Fonte: Rielaborazione propria  
da output Envi-met



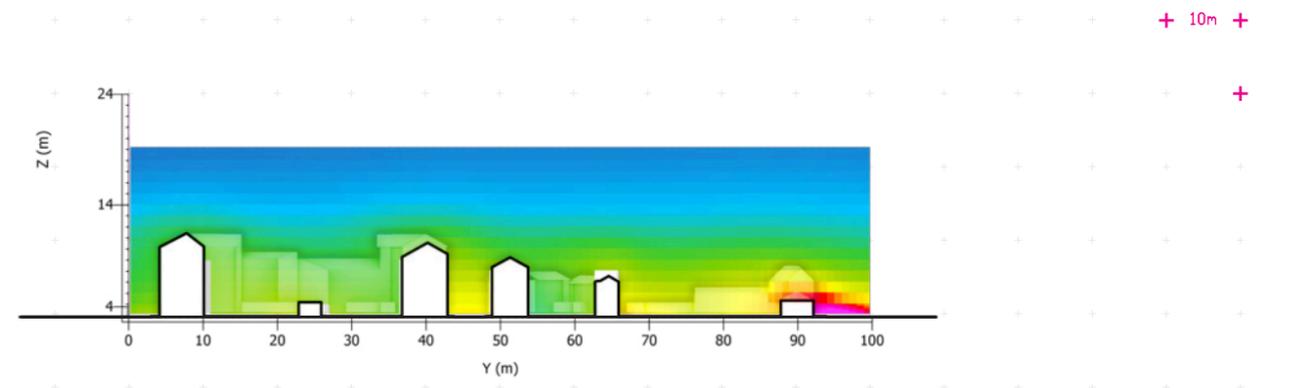
Scala 1:1000  
Sezioni Ovest-Est  
Fonte: Rielaborazione propria da  
output Envi-met



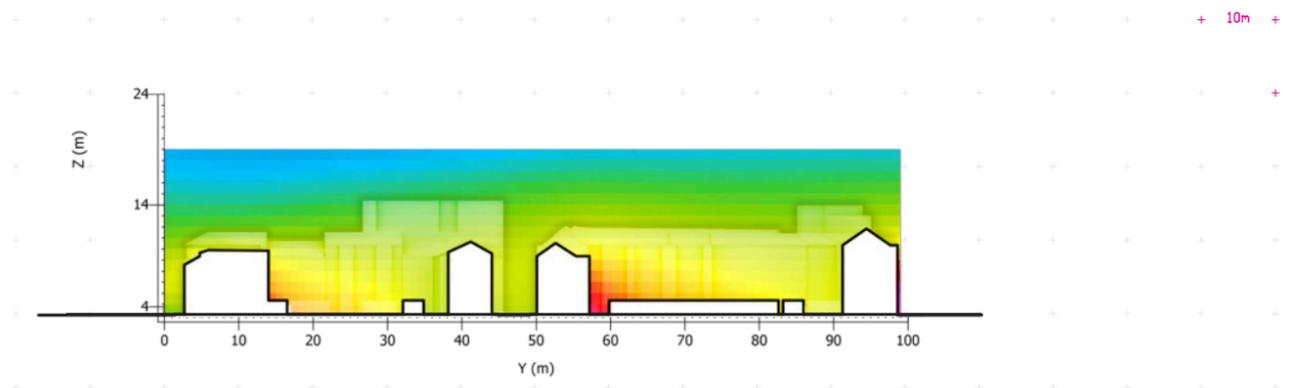
10H

10H

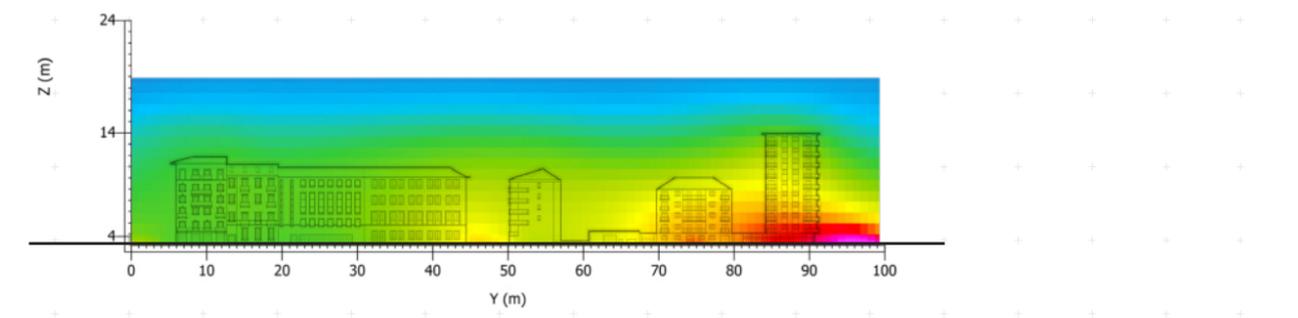
Sezione 2  
y/z j:17 (x:35m)



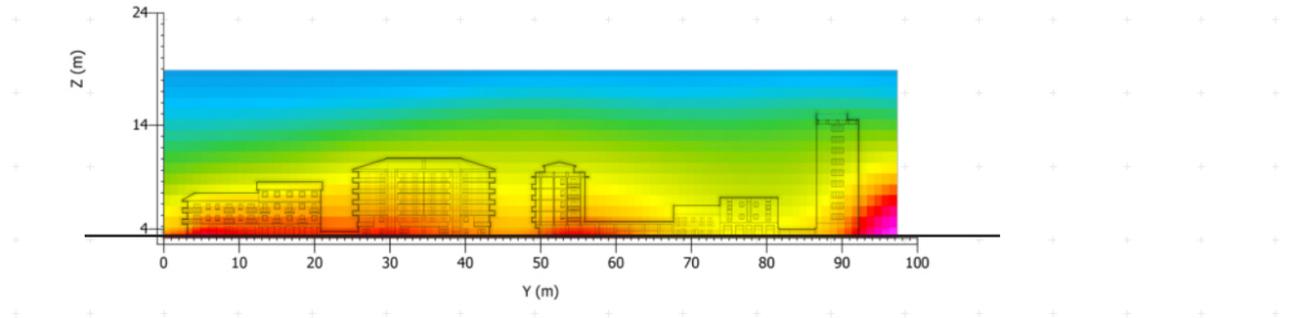
Sezione 2  
x/z j:22 (x:45m)



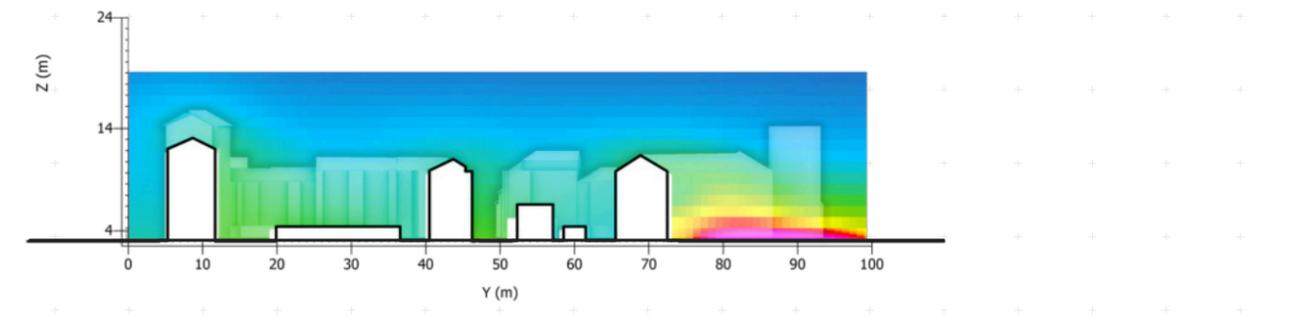
Sezione M  
y/z j:48 (x:97m)



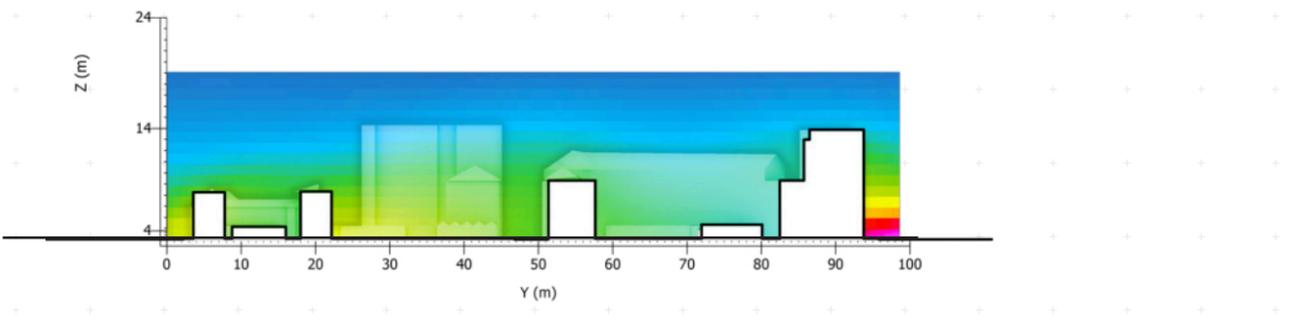
Sezione M  
x/z j:47 (x:95m)



Sezione 1  
y/z j:75 (x:151m)



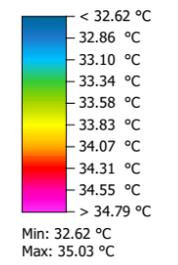
Sezione 1  
x/z j:60 (x:121m)



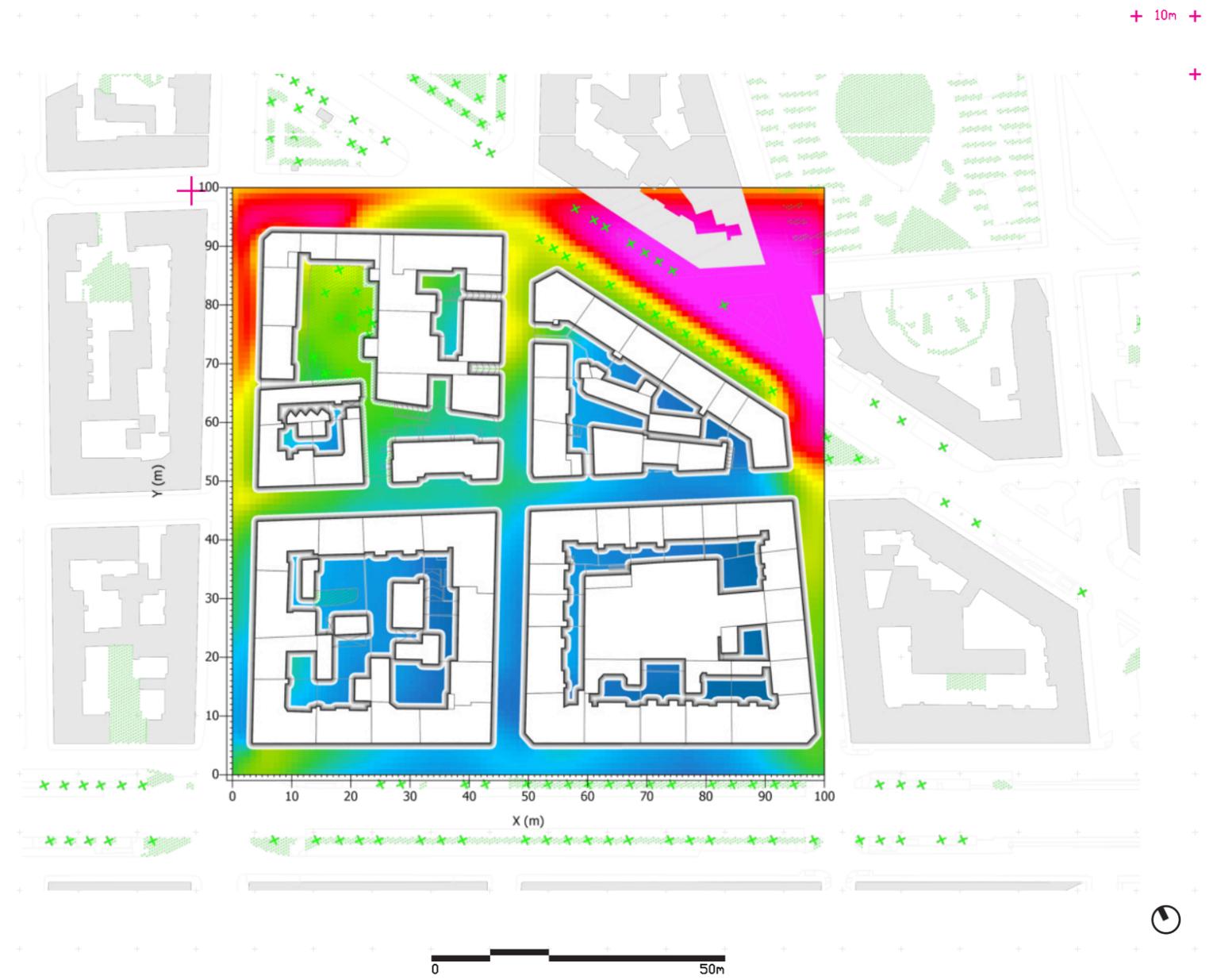
# Responso analitico \_Temperatura dell'aria

Scala 1:2000  
x/z k:2 (1.5m)

Fonte: Rielaborazione propria  
da output Envi-met



12H

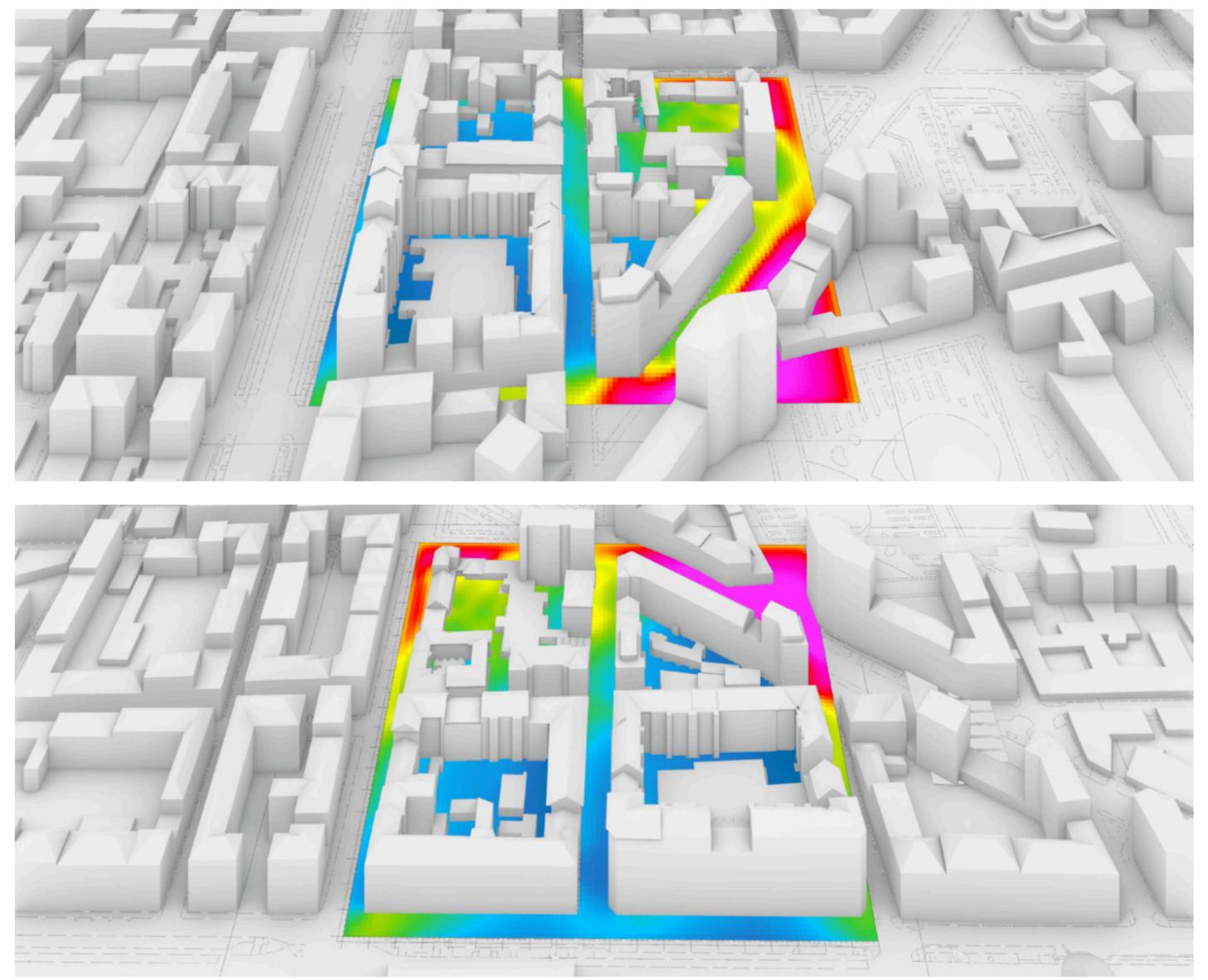


Scala 1:2000  
x/z k:2 (1.5m)

Fonte: Rielaborazione propria da  
output Envi-met

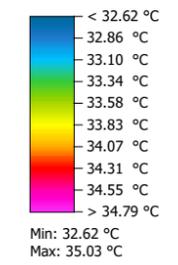


12H

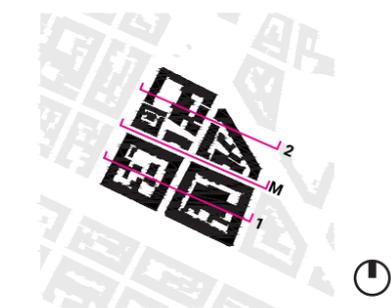


# Responso analitico \_Temperatura dell'aria

Scala 1:2000  
Sezioni Sud -Nord  
Fonte: Rielaborazione propria  
da output Envi-met



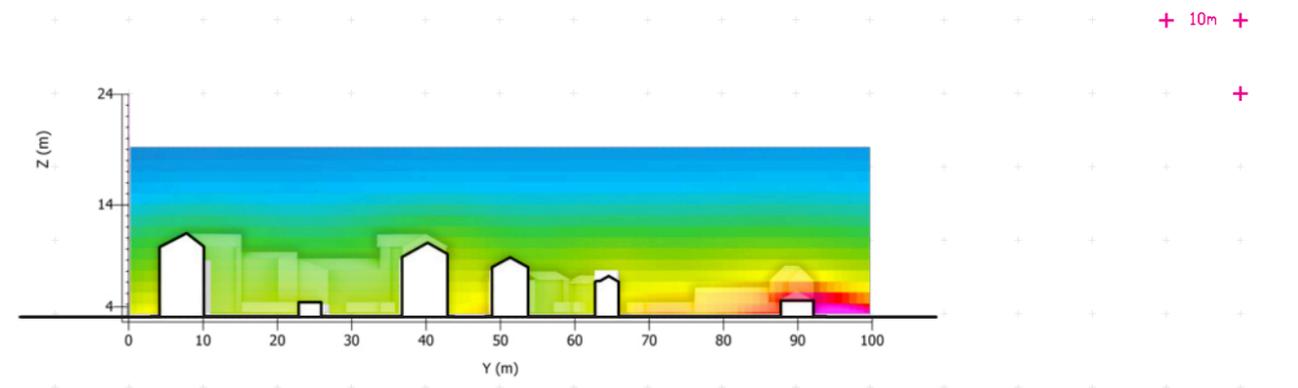
Scala 1:1000  
Sezioni Ovest-Est  
Fonte: Rielaborazione propria da  
output Envi-met



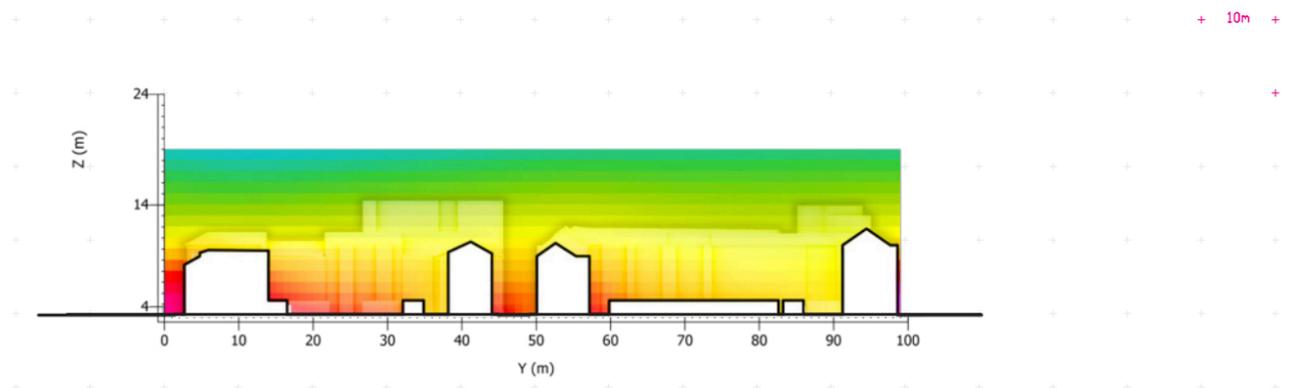
12H

12H

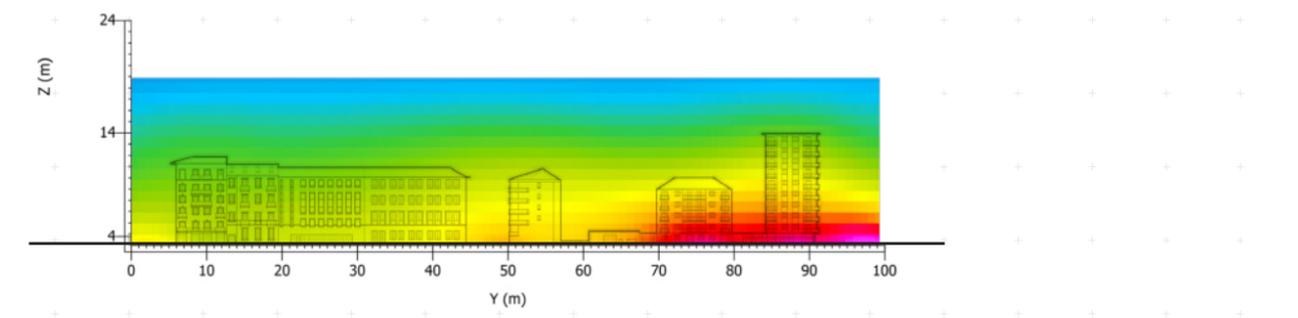
Sezione 2  
y/z j:17 (x:35m)



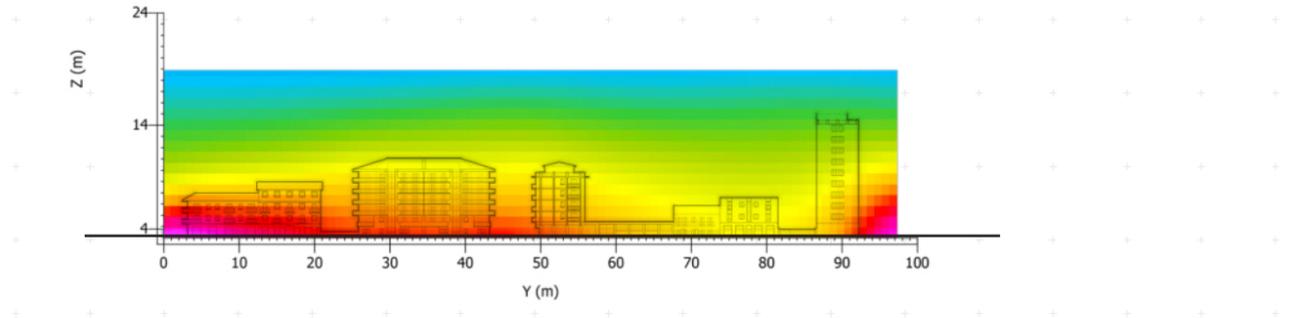
Sezione 2  
x/z j:22 (x:45m)



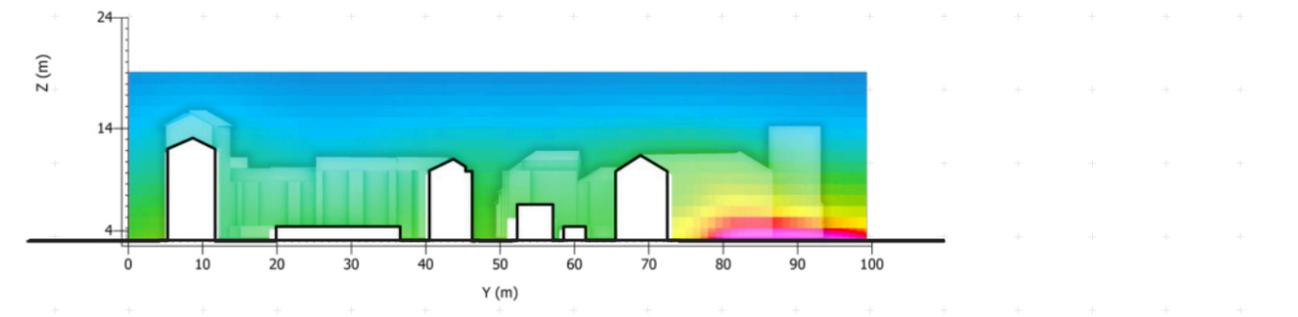
Sezione M  
y/z j:48 (x:97m)



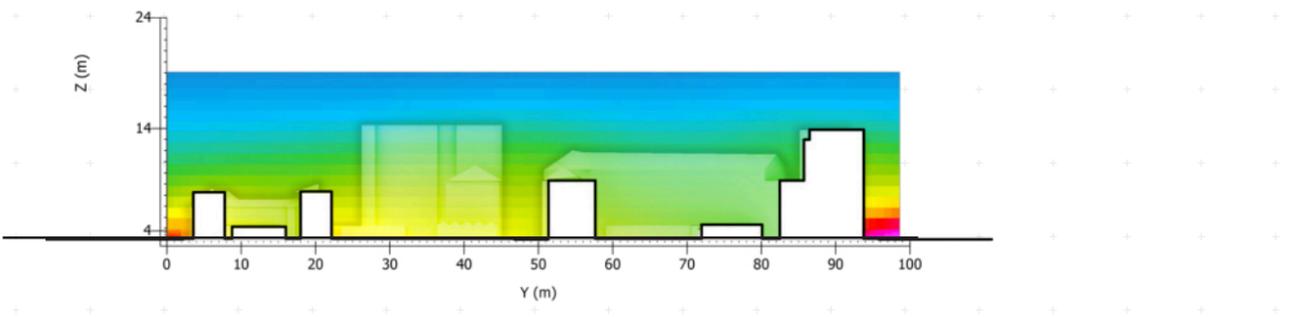
Sezione M  
x/z j:47 (x:95m)



Sezione 1  
y/z j:75 (x:151m)



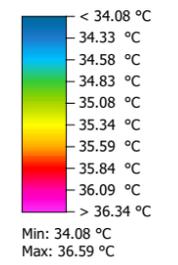
Sezione 1  
x/z j:60 (x:121m)



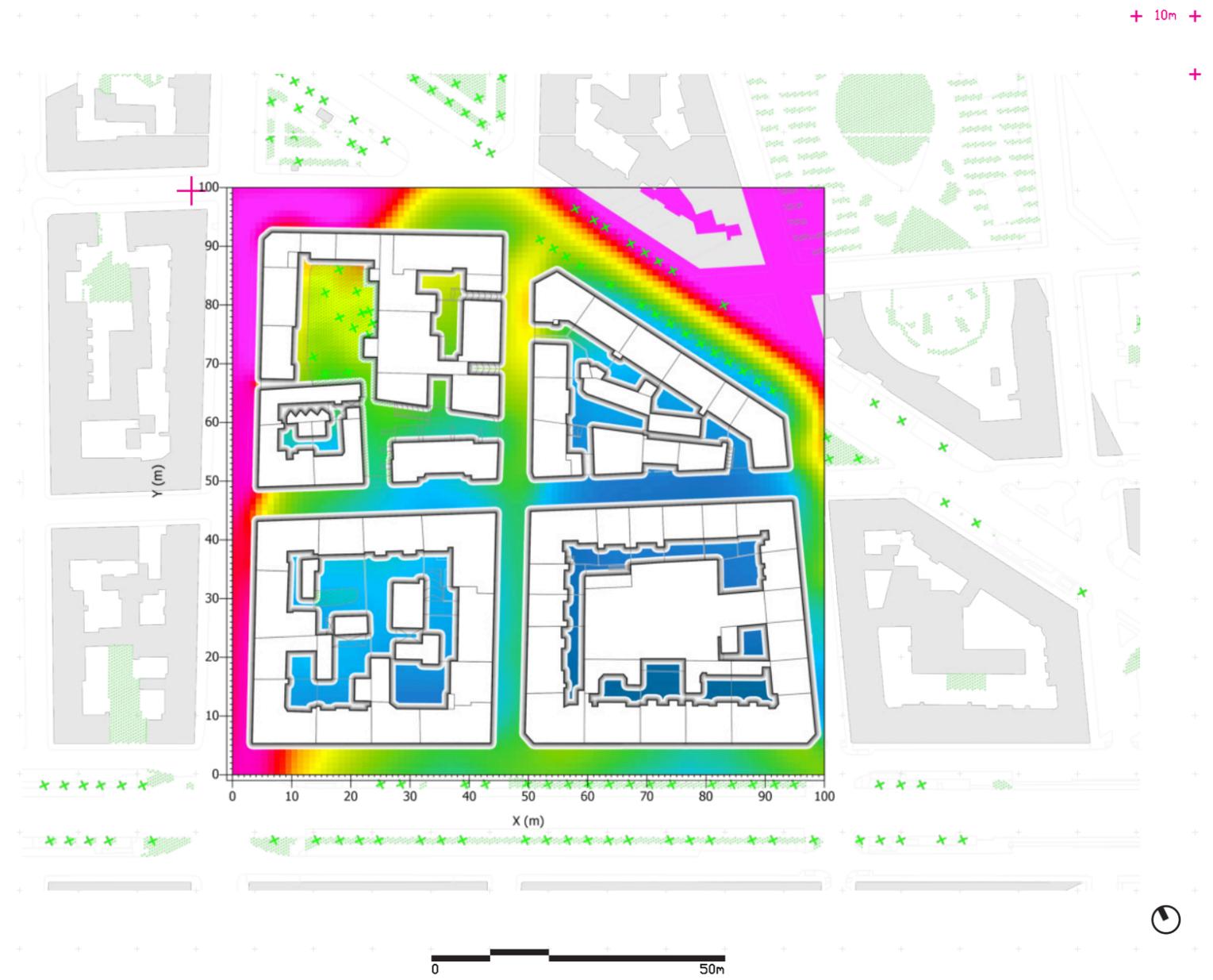
# Responso analitico \_Temperatura dell'aria

Scala 1:2000  
x/z k:2 (1.5m)

Fonte: Rielaborazione propria  
da output Envi-met

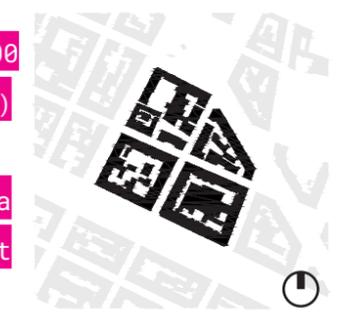


15H

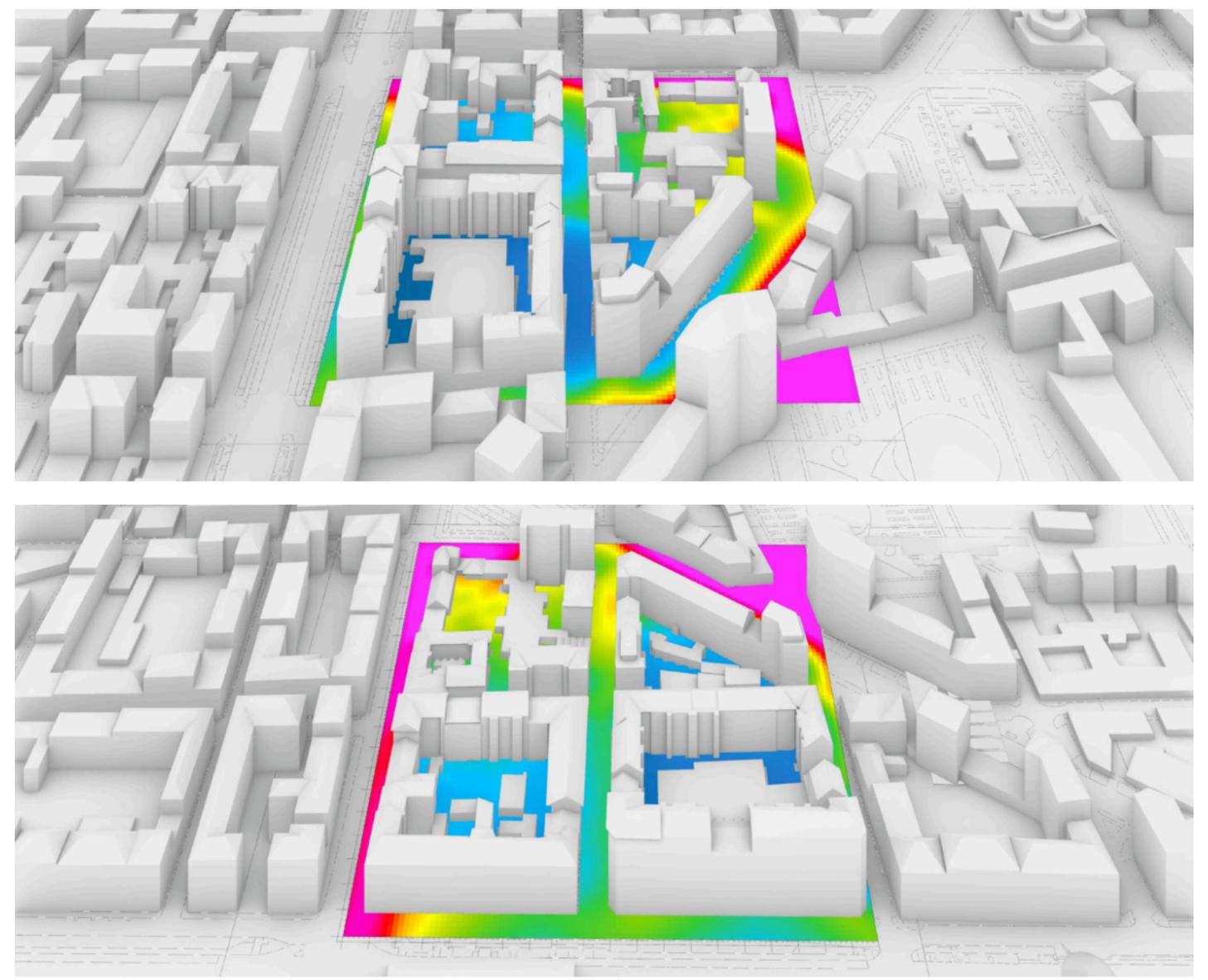


Scala 1:2000  
x/z k:2 (1.5m)

Fonte: Rielaborazione propria da  
output Envi-met

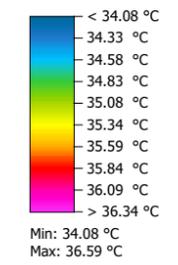
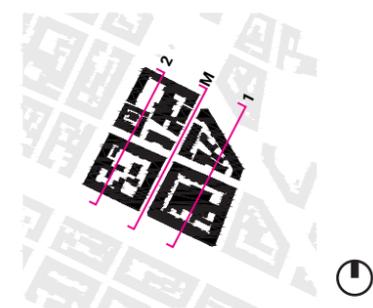


15H

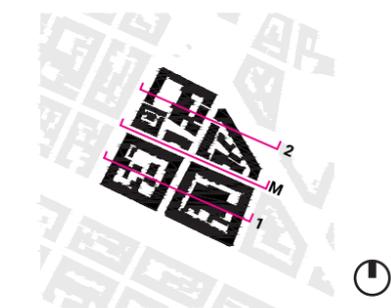


# Responso analitico \_Temperatura dell'aria

Scala 1:2000  
Sezioni Sud -Nord  
Fonte: Rielaborazione propria  
da output Envi-met



Scala 1:1000  
Sezioni Ovest-Est  
Fonte: Rielaborazione propria da  
output Envi-met



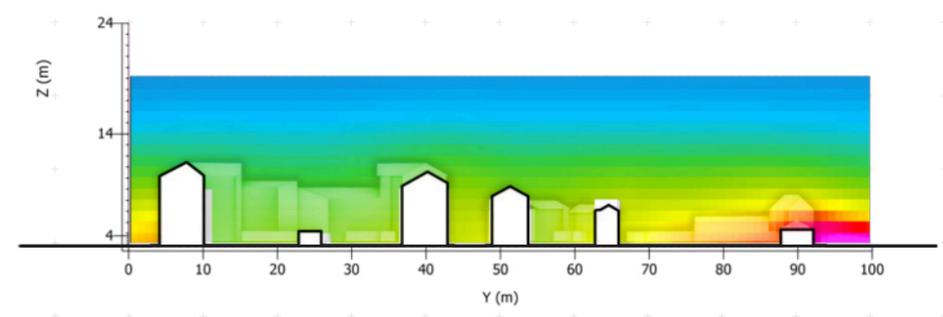
15H

15H

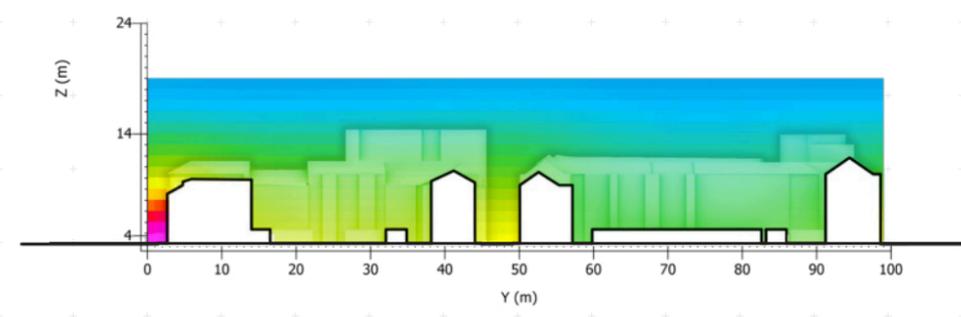
+ 10m +

+ 10m +

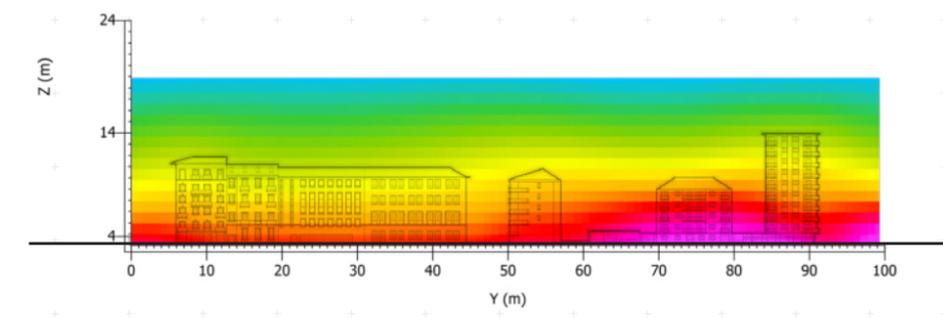
Sezione 2  
y/z j:17 (x:35m)



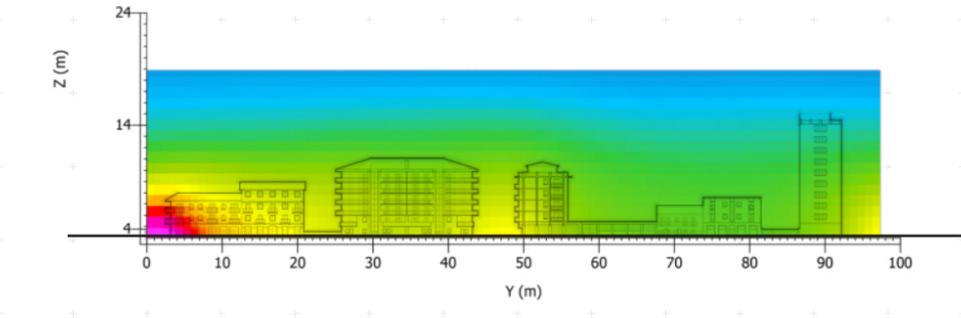
Sezione 2  
x/z j:22 (x:45m)



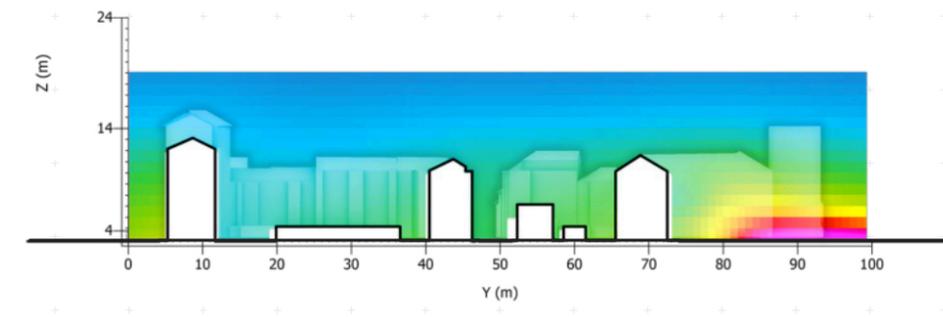
Sezione M  
y/z j:48 (x:97m)



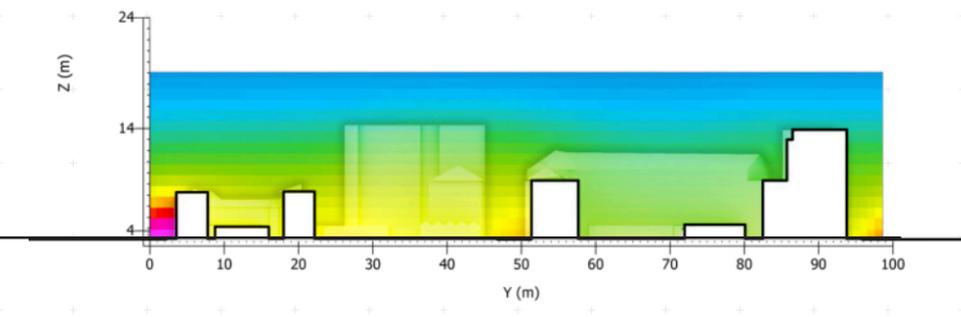
Sezione M  
x/z j:47 (x:95m)



Sezione 1  
y/z j:75 (x:151m)



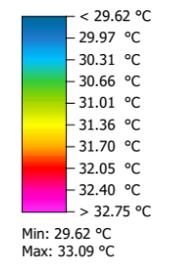
Sezione 1  
x/z j:60 (x:121m)



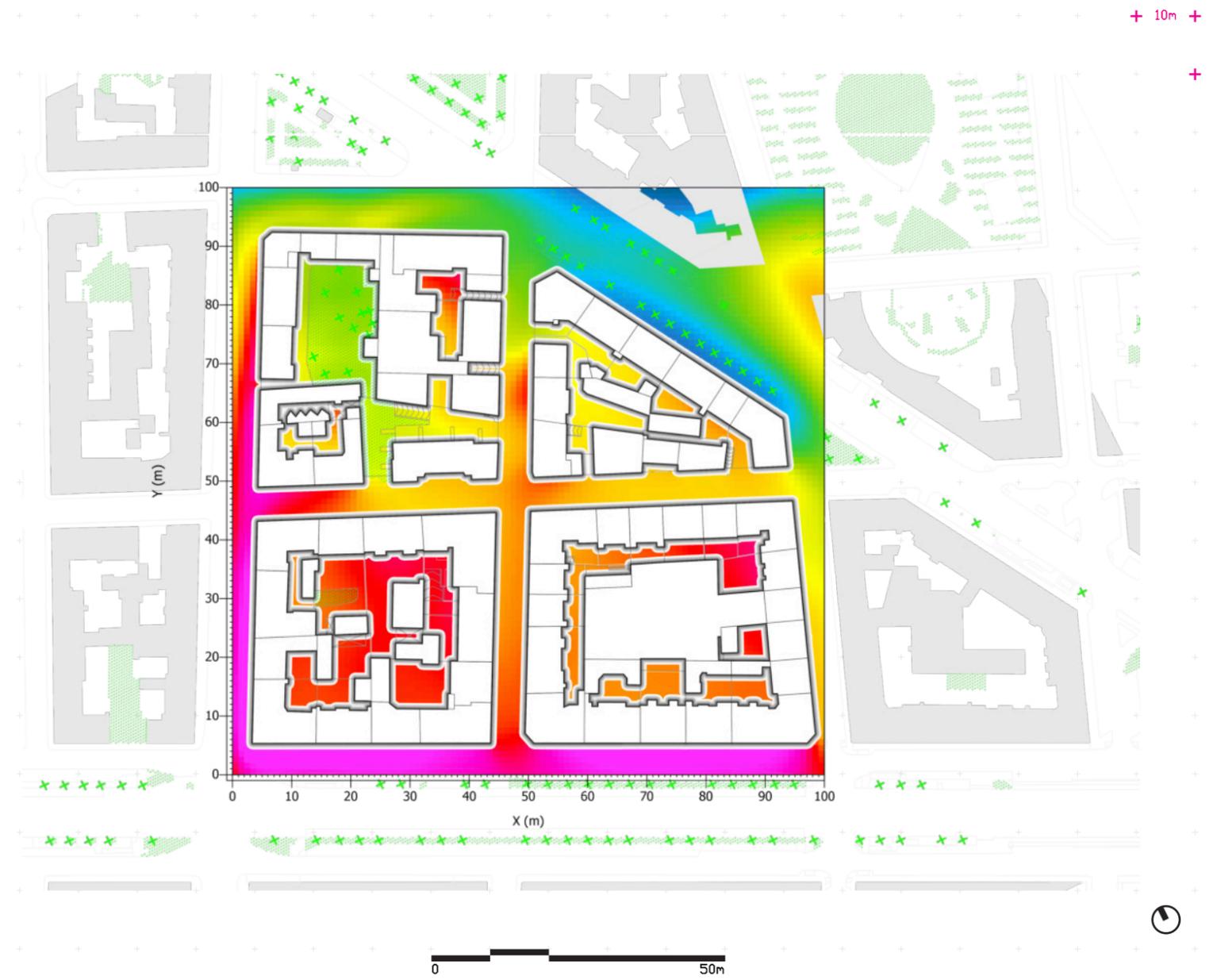
# Responso analitico \_Temperatura dell'aria

Scala 1:2000  
x/z k:2 (1.5m)

Fonte:Rielaborazione propria  
da output Envi-met

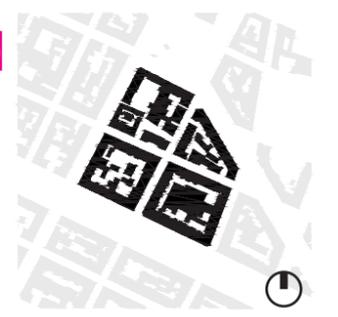


18H

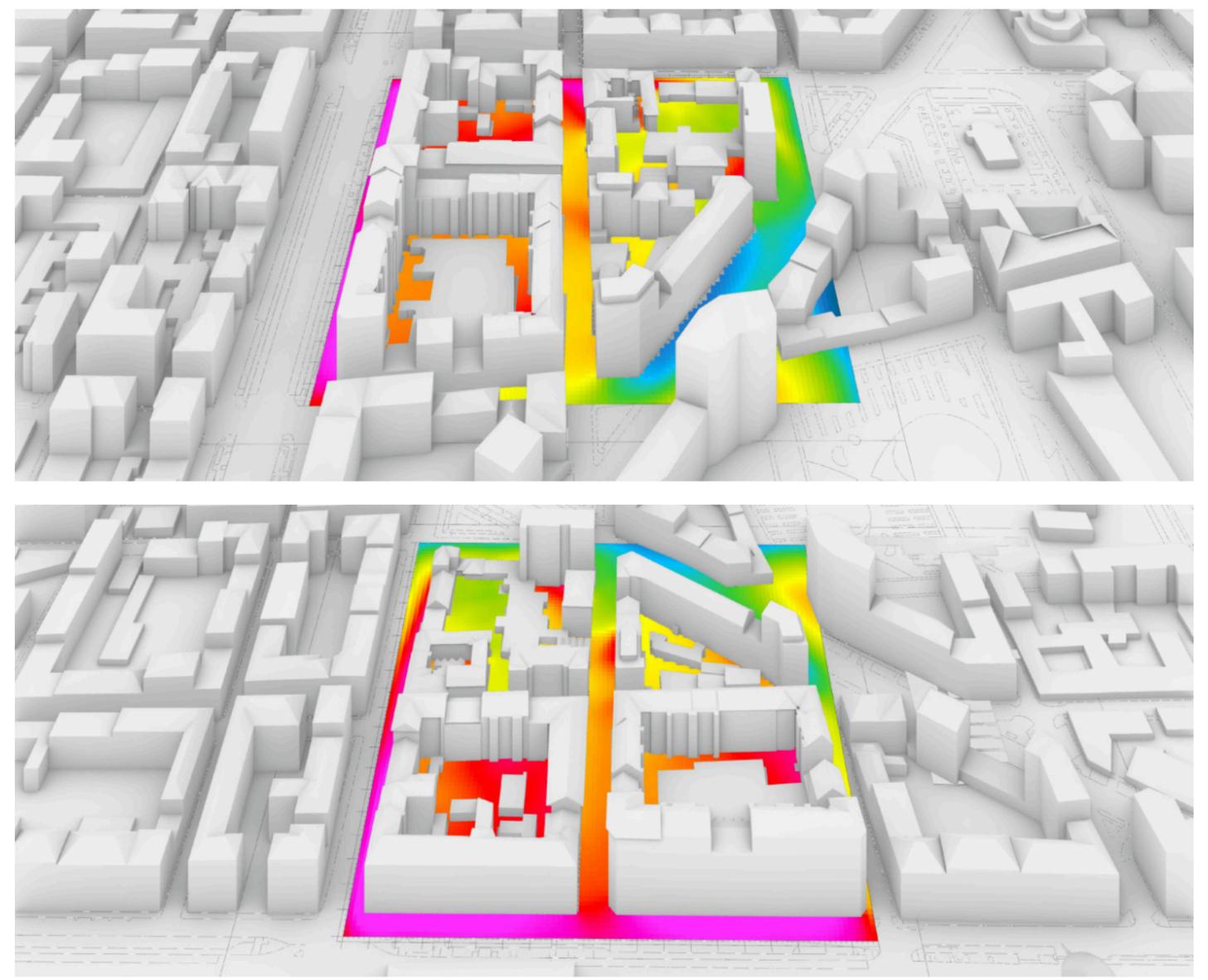


Scala 1:2000  
x/z k:2 (1.5m)

Fonte:Rielaborazione propria da  
output Envi-met

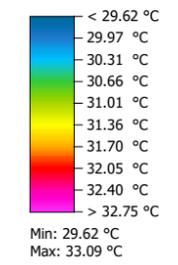
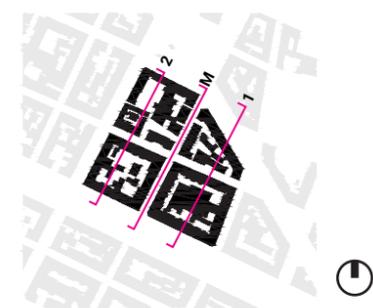


18H

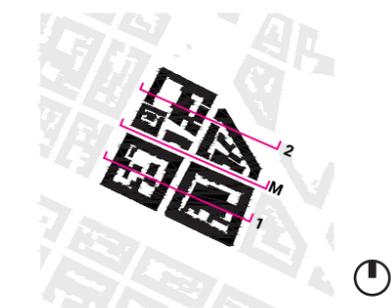


# Responso analitico \_Temperatura dell'aria

Scala 1:2000  
Sezioni Sud -Nord  
Fonte: Rielaborazione propria  
da output Envi-met



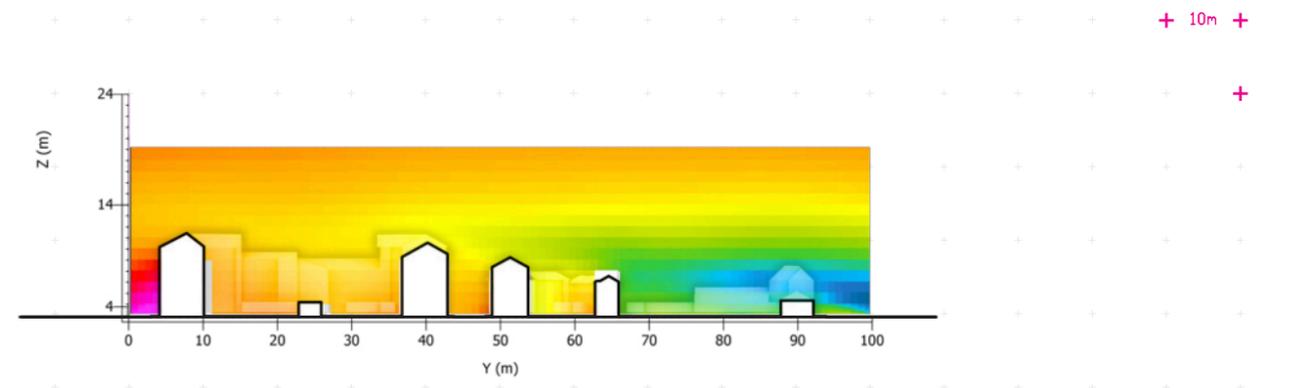
Scala 1:1000  
Sezioni Ovest-Est  
Fonte: Rielaborazione propria da  
output Envi-met



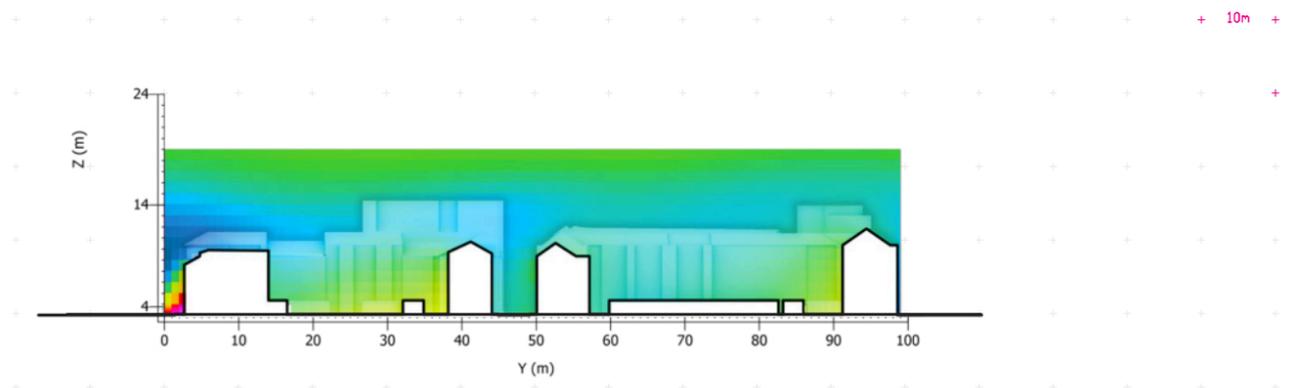
18H

18H

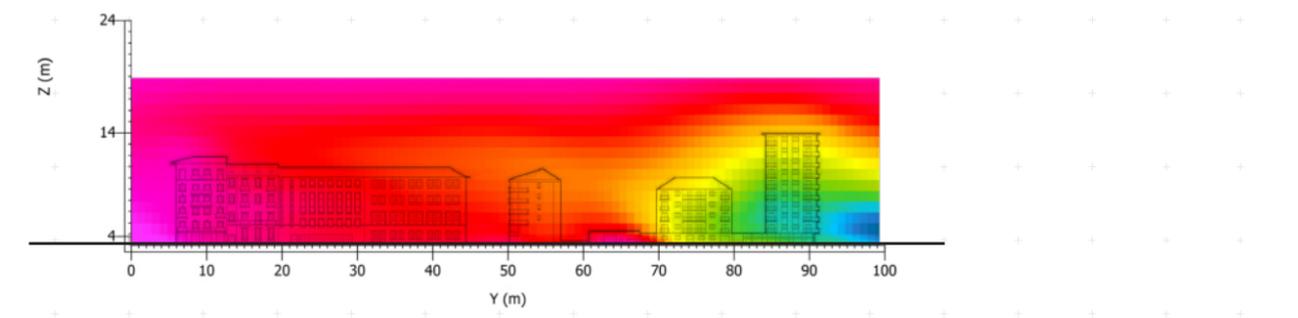
Sezione 2  
y/z j:17 (x:35m)



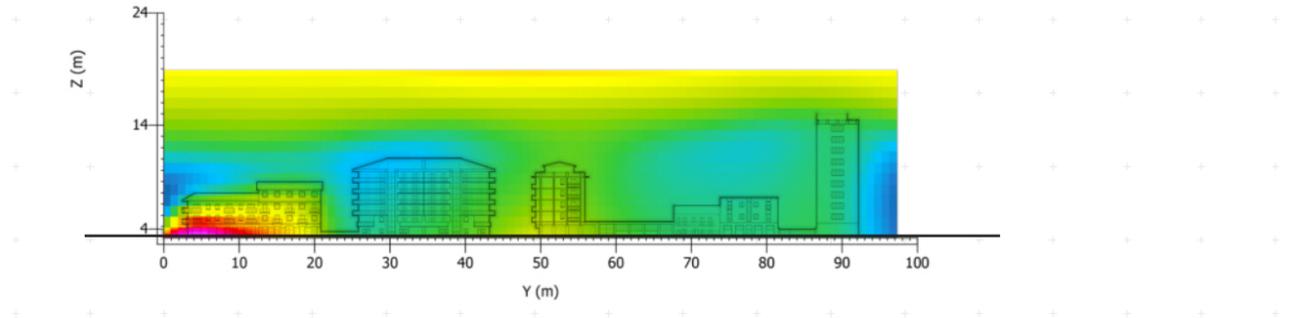
Sezione 2  
x/z j:22 (x:45m)



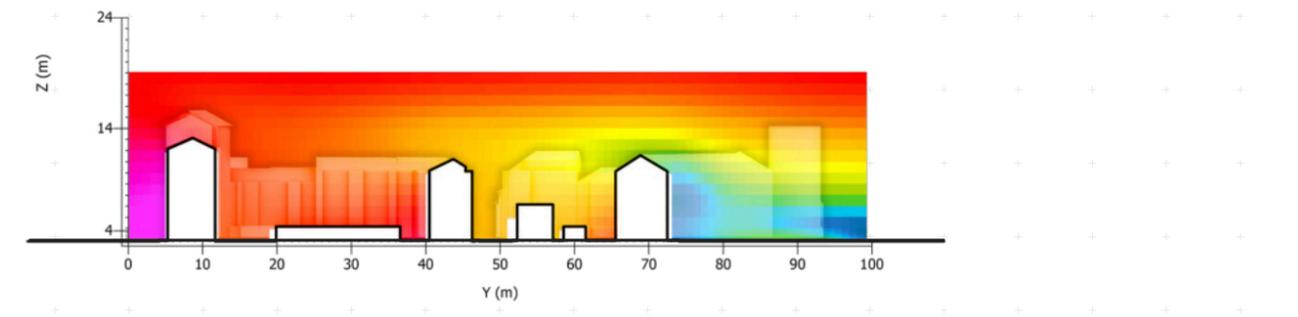
Sezione M  
y/z j:48 (x:97m)



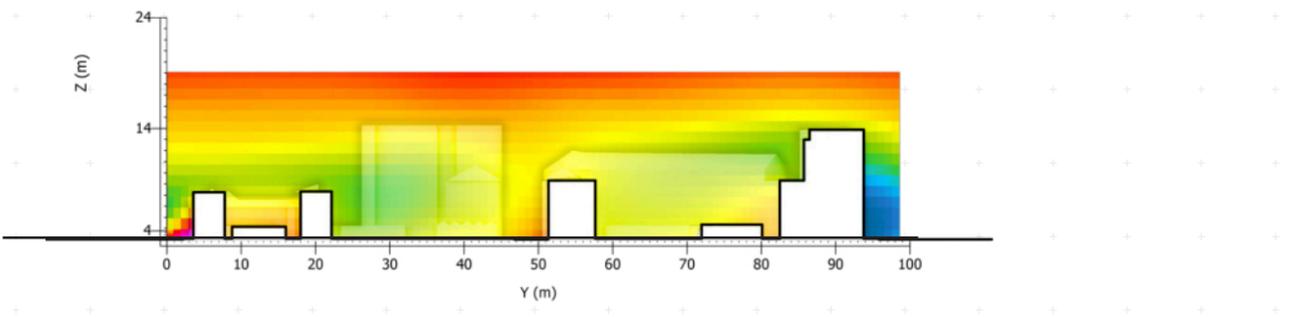
Sezione M  
x/z j:47 (x:95m)



Sezione 1  
y/z j:75 (x:151m)

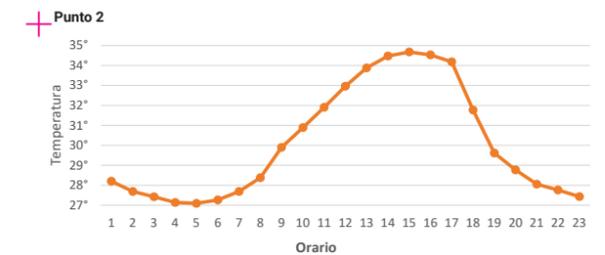
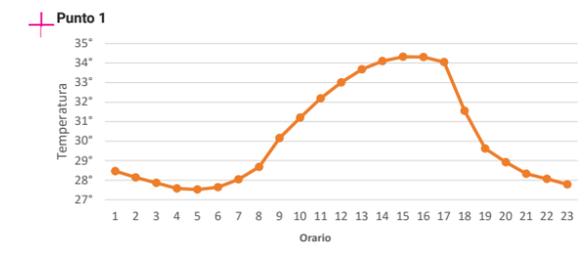
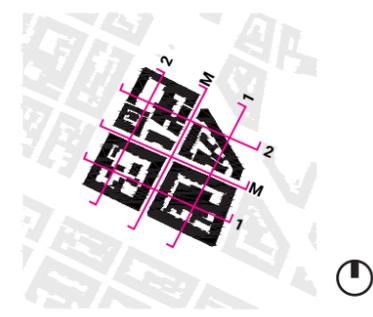


Sezione 1  
x/z j:60 (x:121m)



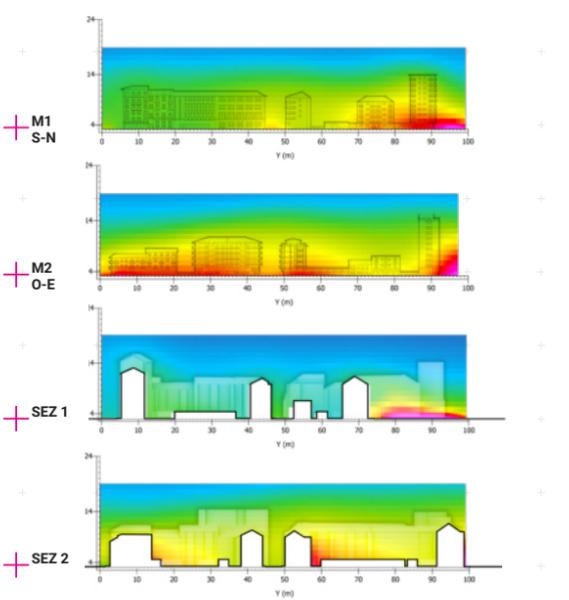
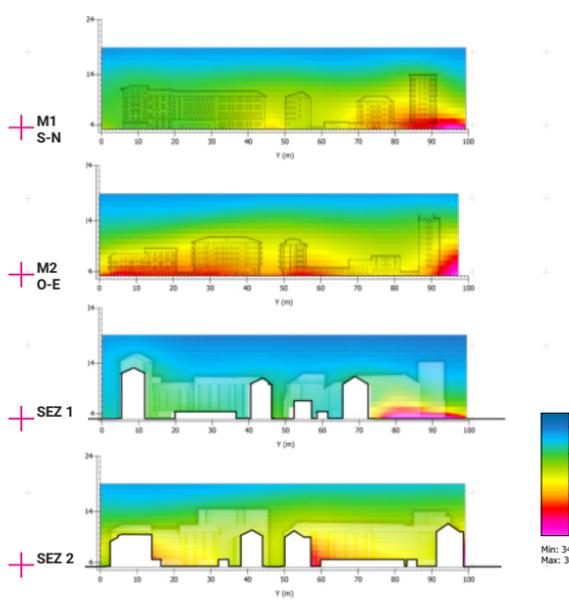
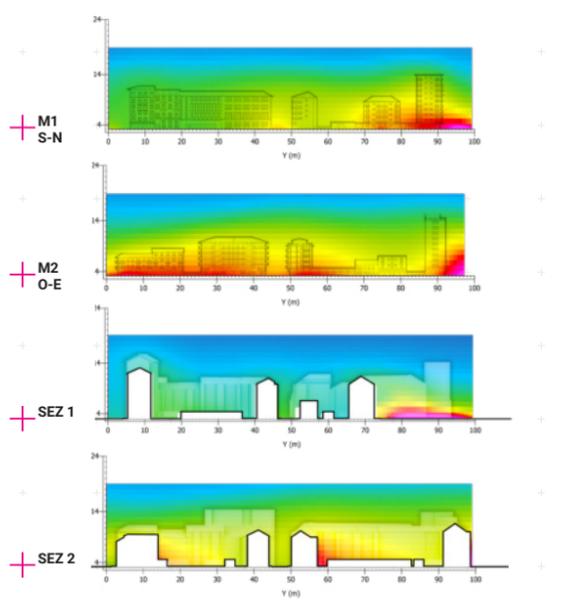
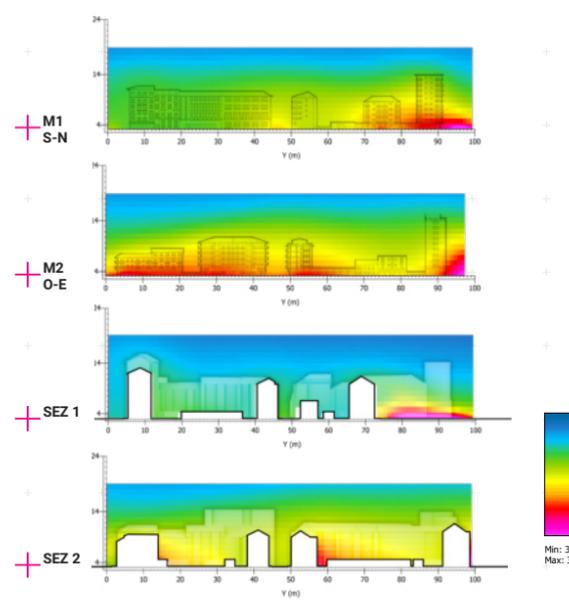
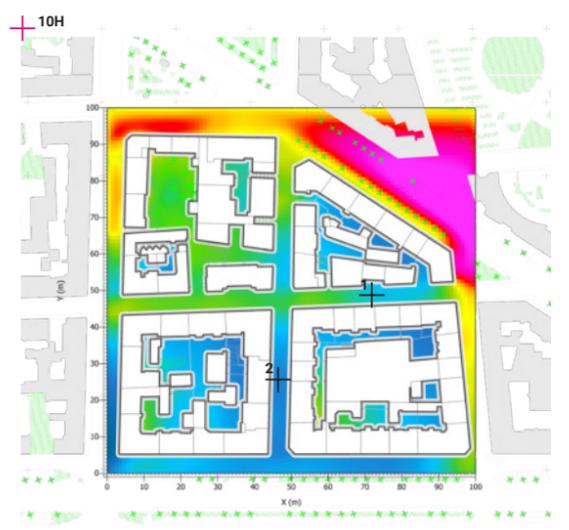
# Responso analitico \_Temperatura dell'aria

## SINTESI DI CONFRONTO



Grafici di andamento termico  
in due specifici punti di analisi

Fonte: Esportazione da Envi-met





**RESPONSO  
ANALITICO**

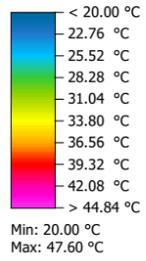
**TEMPERATURA  
SUPERFICIALE**

# Responso analitico \_Temperatura superficiale

Scala 1:2000

x/z k:2 (1.5m)

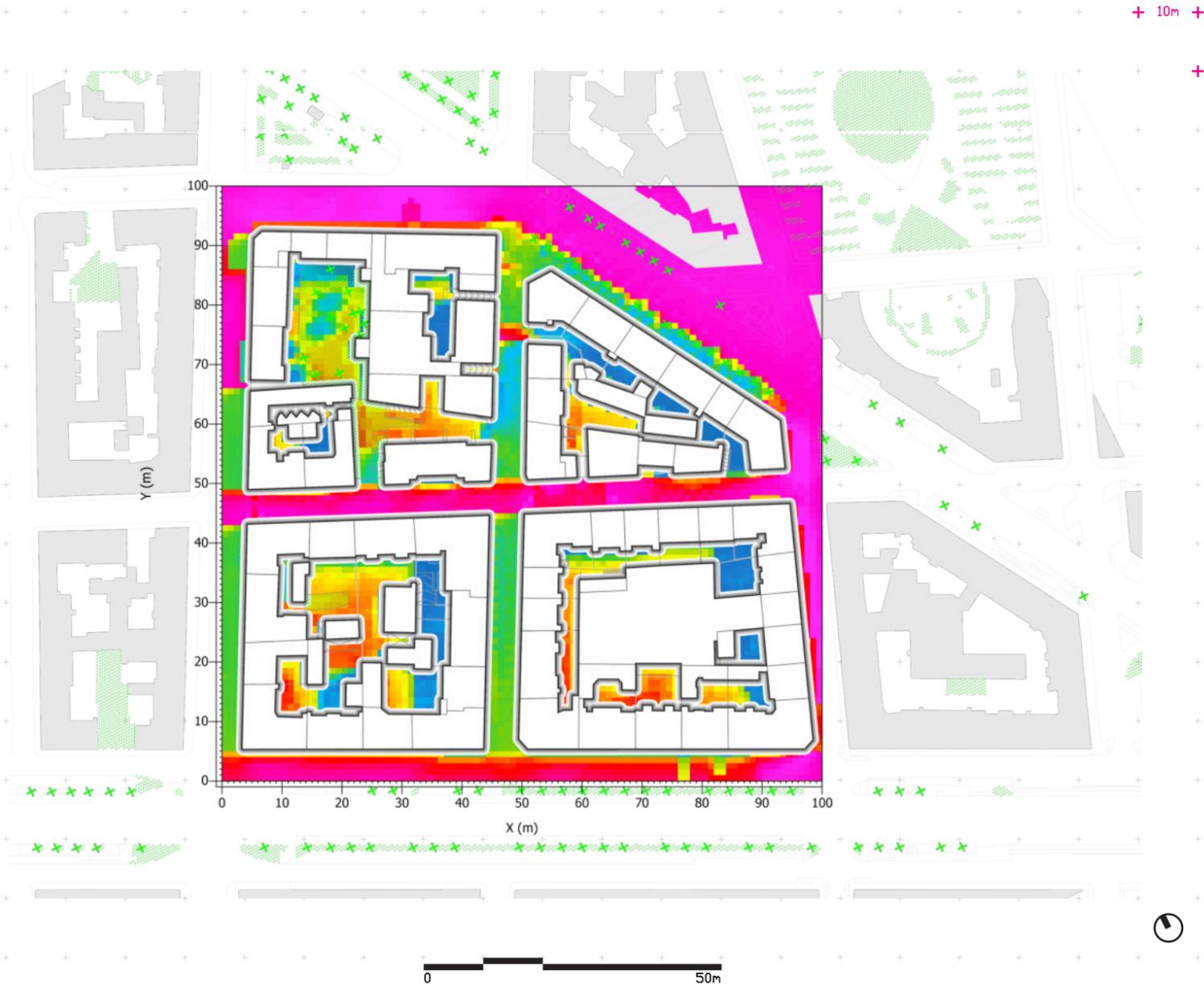
Fonte:Rielaborazione propria  
da output Envi-met



10H

+ 10m +

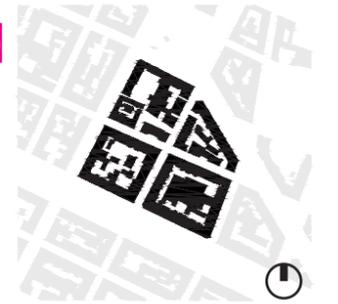
+



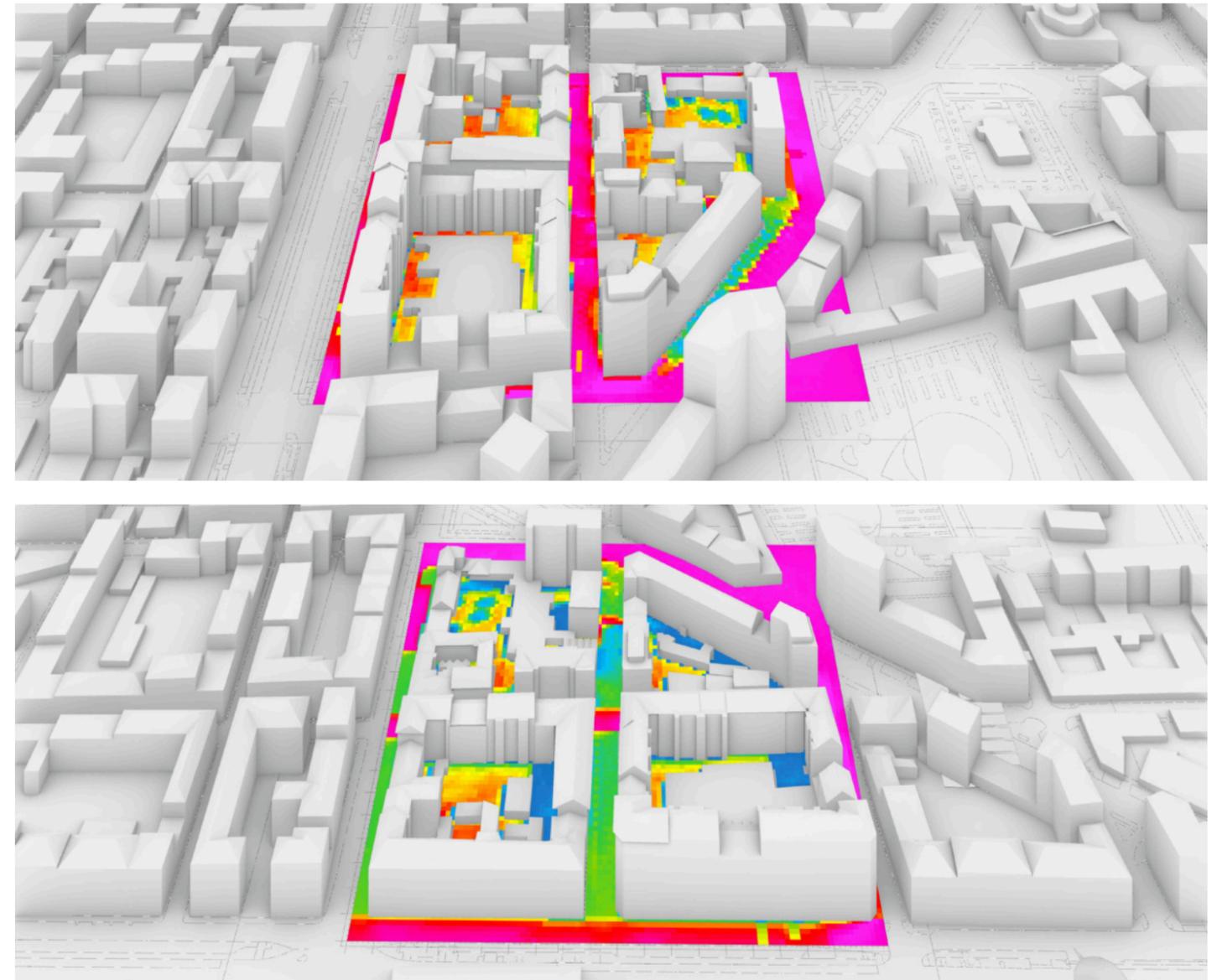
Scala 1:2000

x/z k:2 (1.5m)

Fonte:Rielaborazione propria da  
output Envi-met

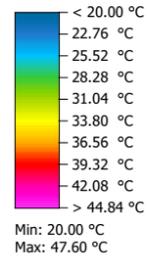


10H

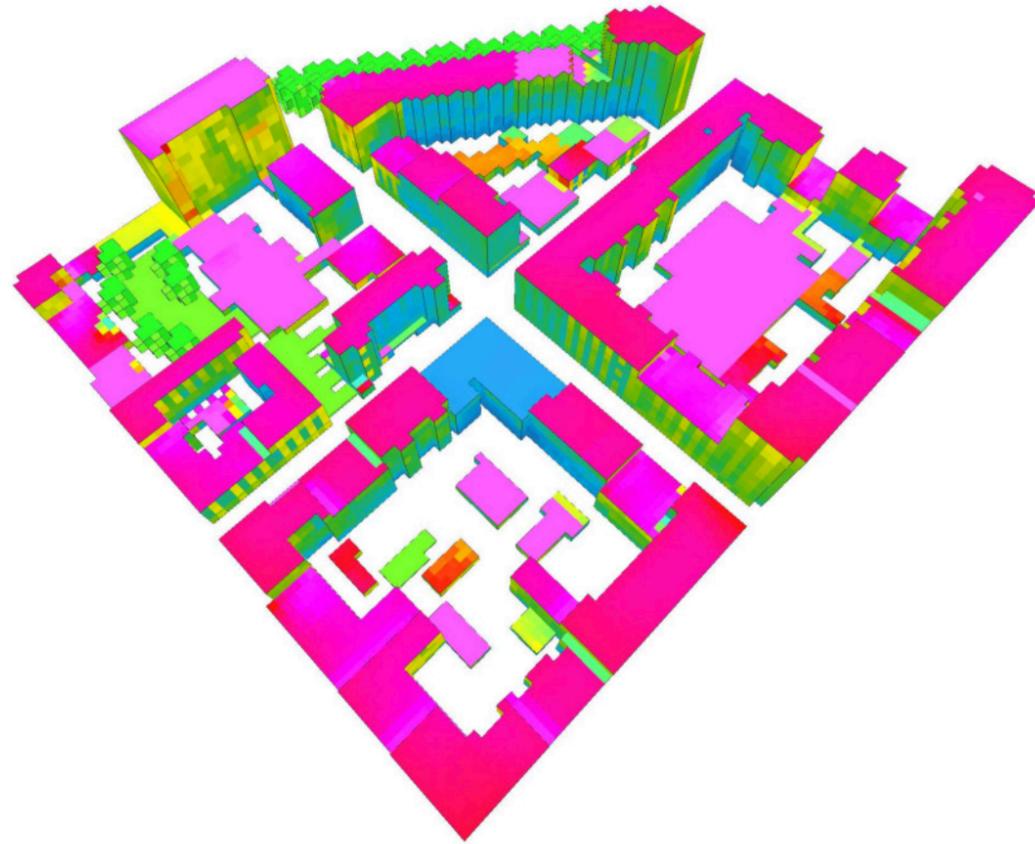


# Responso analitico \_Temperatura superficiale

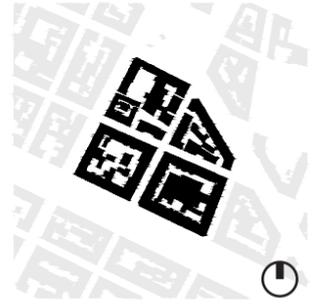
Fonte: Rielaborazione propria  
da output Envi-met



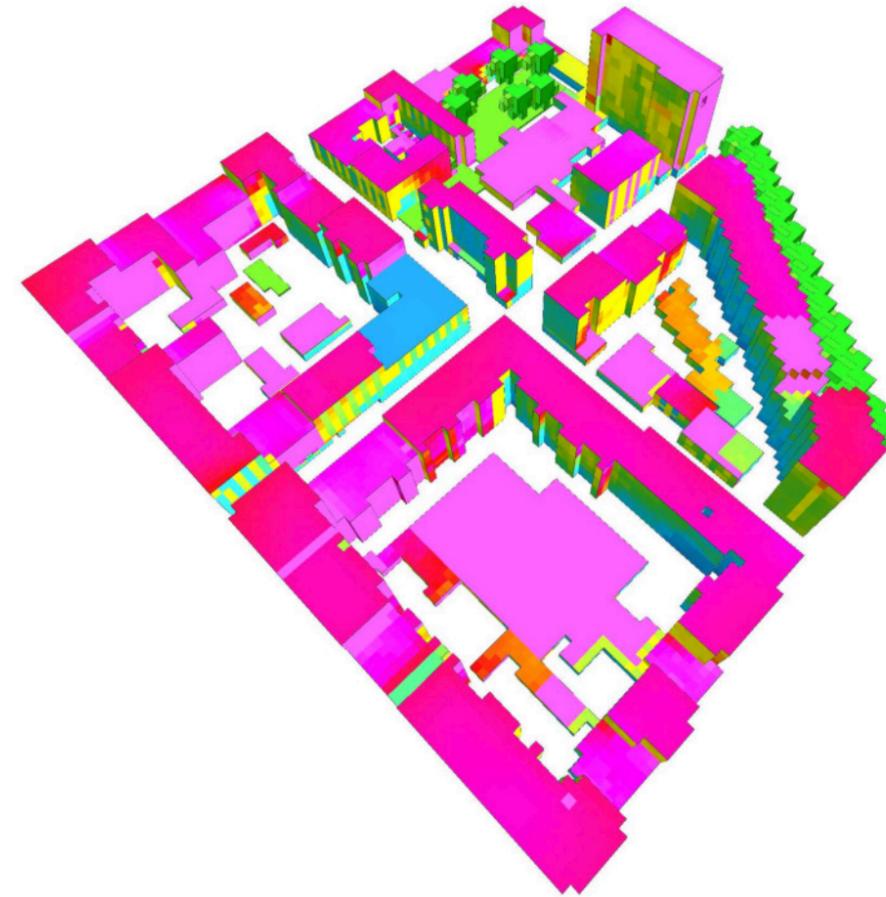
10H



Fonte: Rielaborazione propria da  
output Envi-met



10H

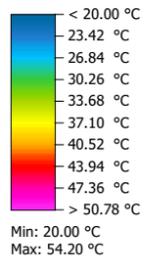


# Responso analitico \_Temperatura superficiale

Scala 1:2000

x/z k:2 (1.5m)

Fonte:Rielaborazione propria  
da output Envi-met



12H

+ 10m +

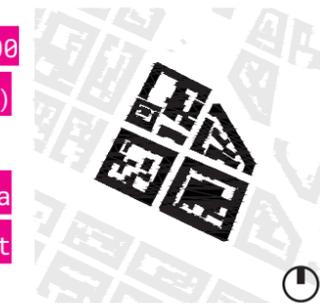
+



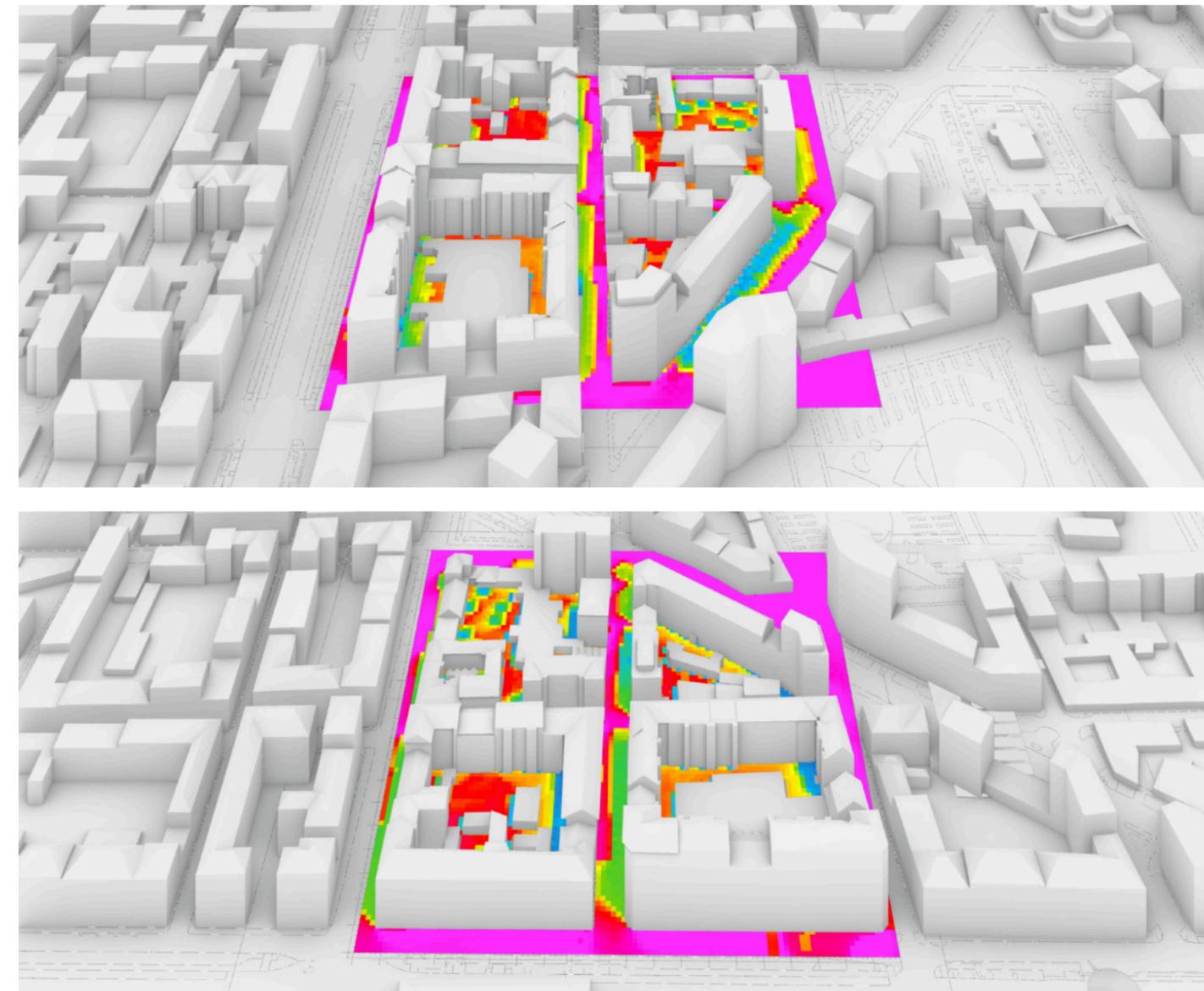
Scala 1:2000

x/z k:2 (1.5m)

Fonte:Rielaborazione propria da  
output Envi-met

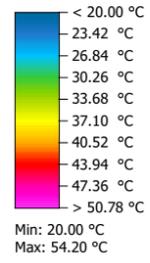


12H



# Responso analitico \_Temperatura superficiale

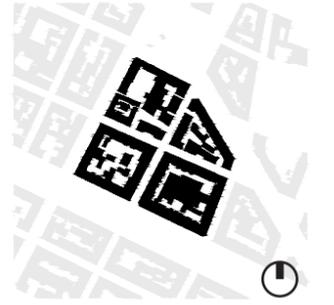
Fonte: Rielaborazione propria  
da output Envi-met



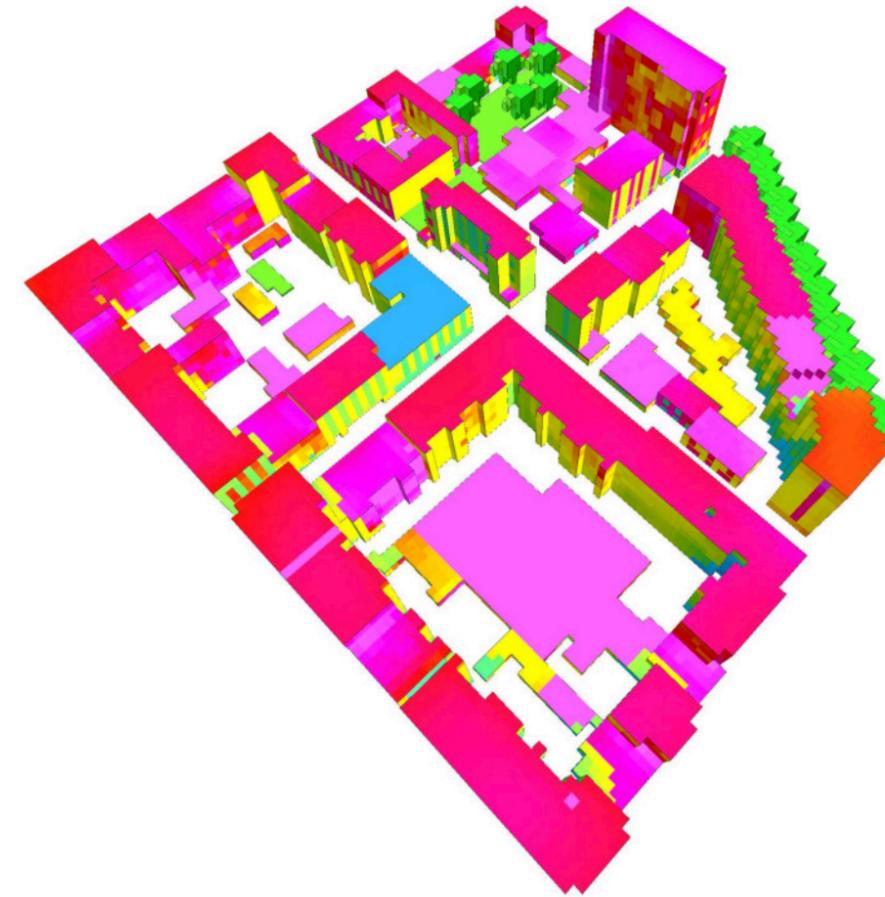
12H



Fonte: Rielaborazione propria da  
output Envi-met



12H

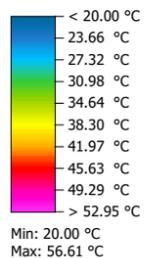


# Responso analitico \_Temperatura superficiale

Scala 1:2000

x/z k:2 (1.5m)

Fonte:Rielaborazione propria  
da output Envi-met



15H

+ 10m +

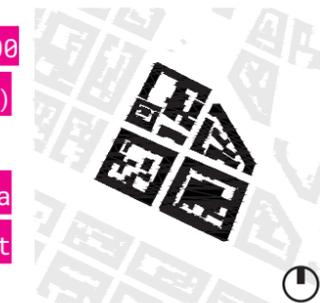
+



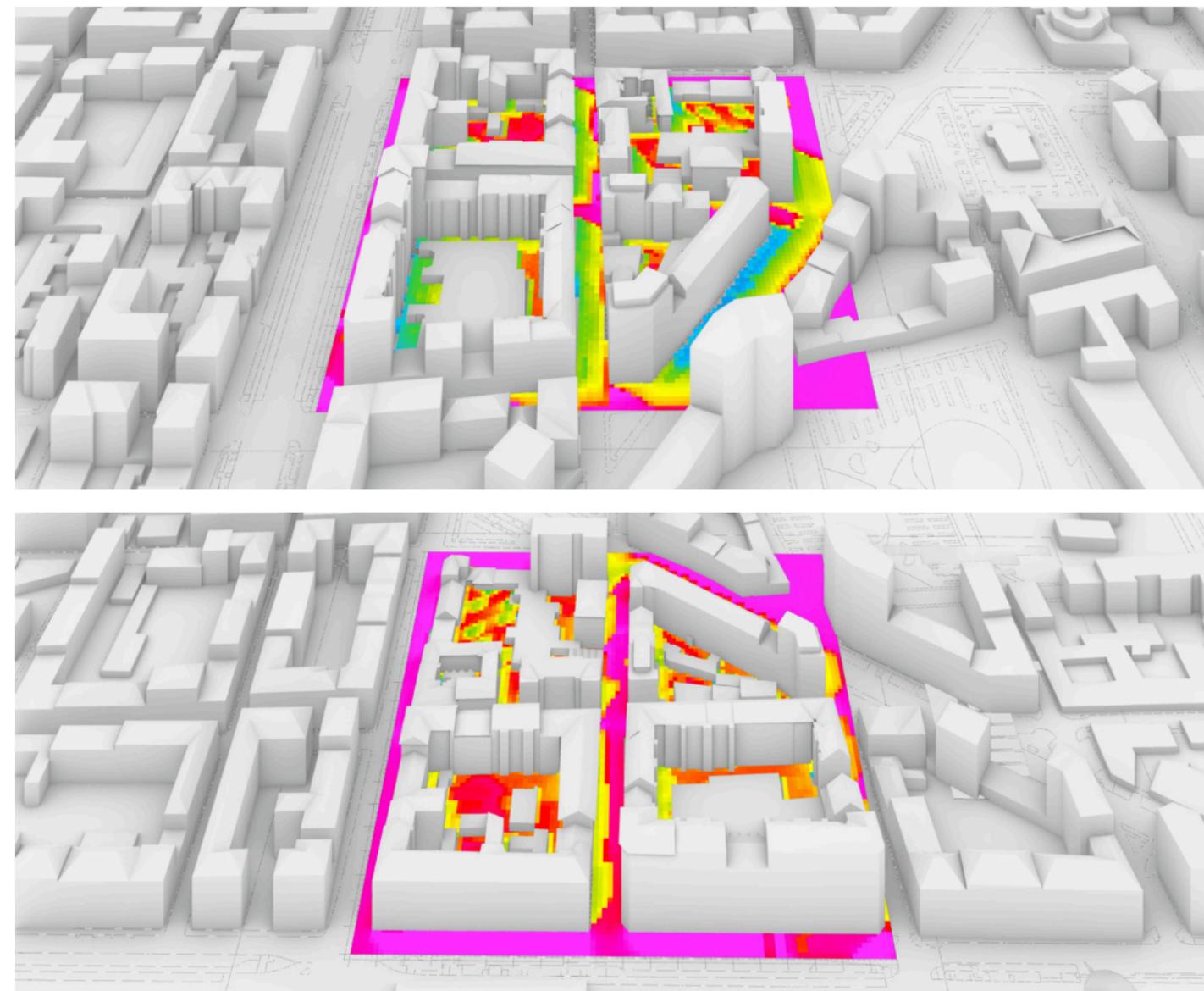
Scala 1:2000

x/z k:2 (1.5m)

Fonte:Rielaborazione propria da  
output Envi-met

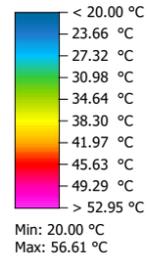


15H

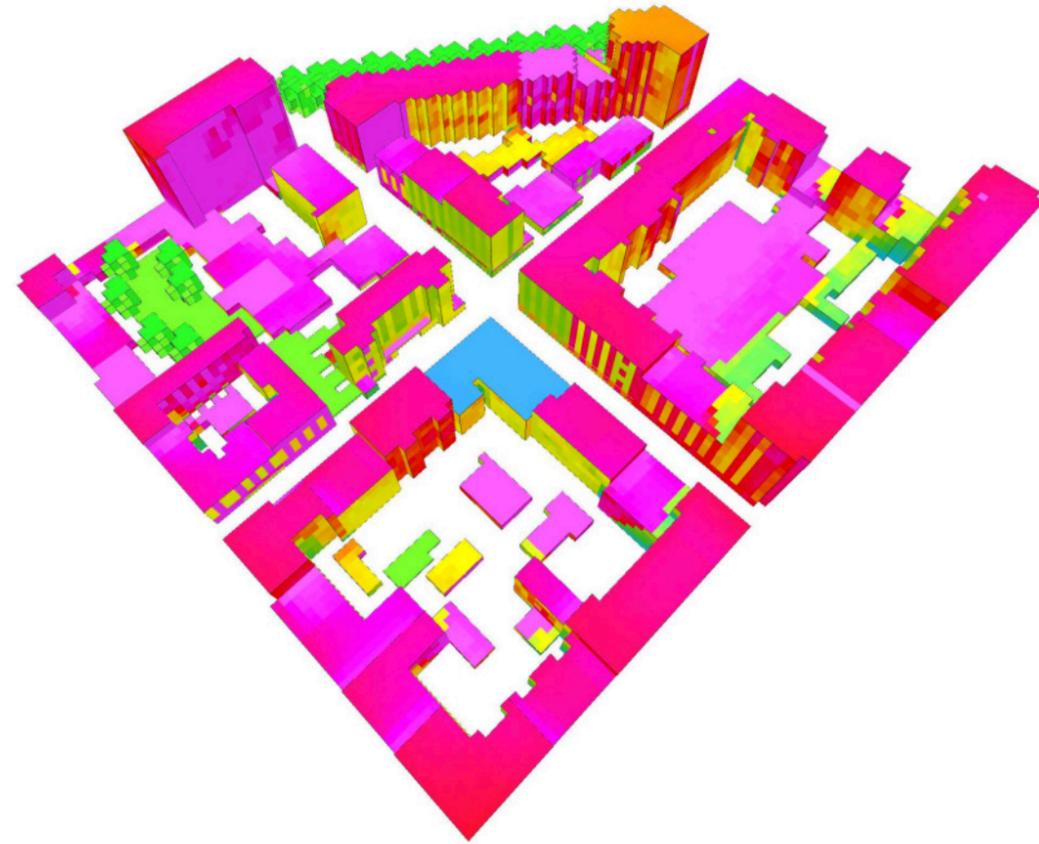


# Responso analitico \_Temperatura superficiale

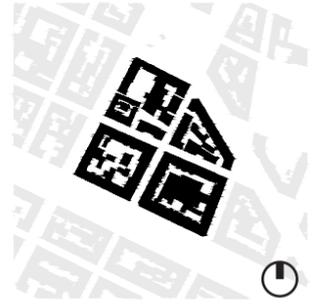
Fonte: Rielaborazione propria  
da output Envi-met



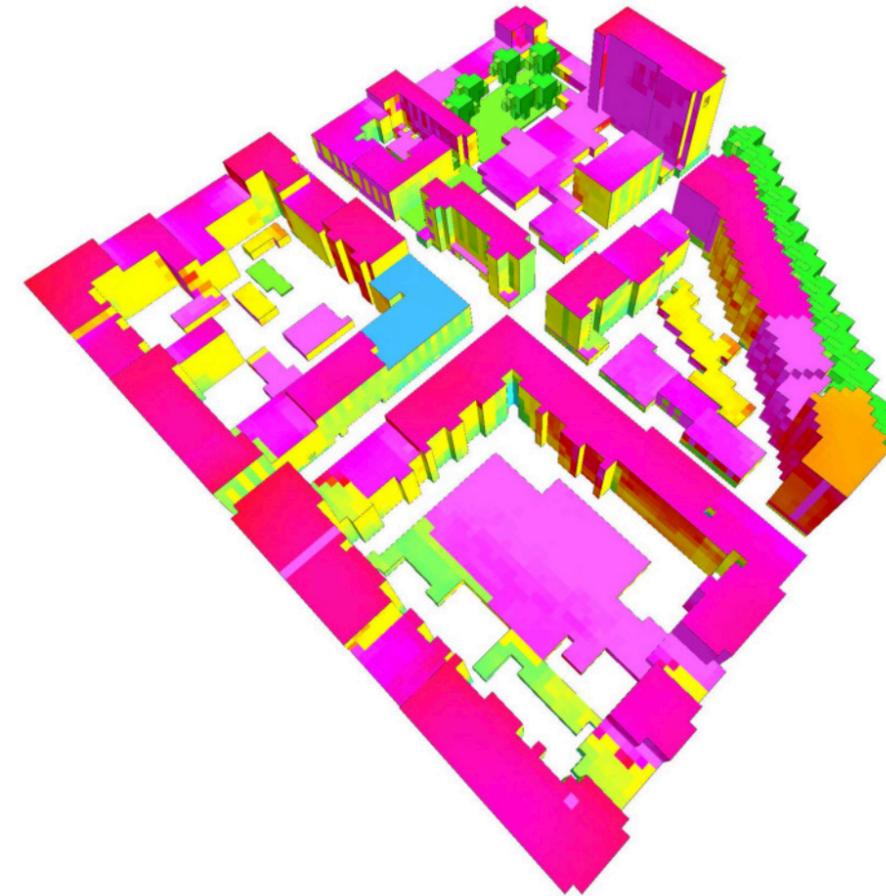
15H



Fonte: Rielaborazione propria da  
output Envi-met



15H

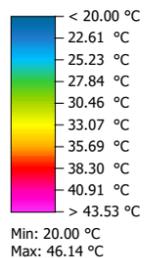


# Responso analitico \_Temperatura superficiale

Scala 1:2000

x/z k:2 (1.5m)

Fonte:Rielaborazione propria  
da output Envi-met



18H

+ 10m +

+



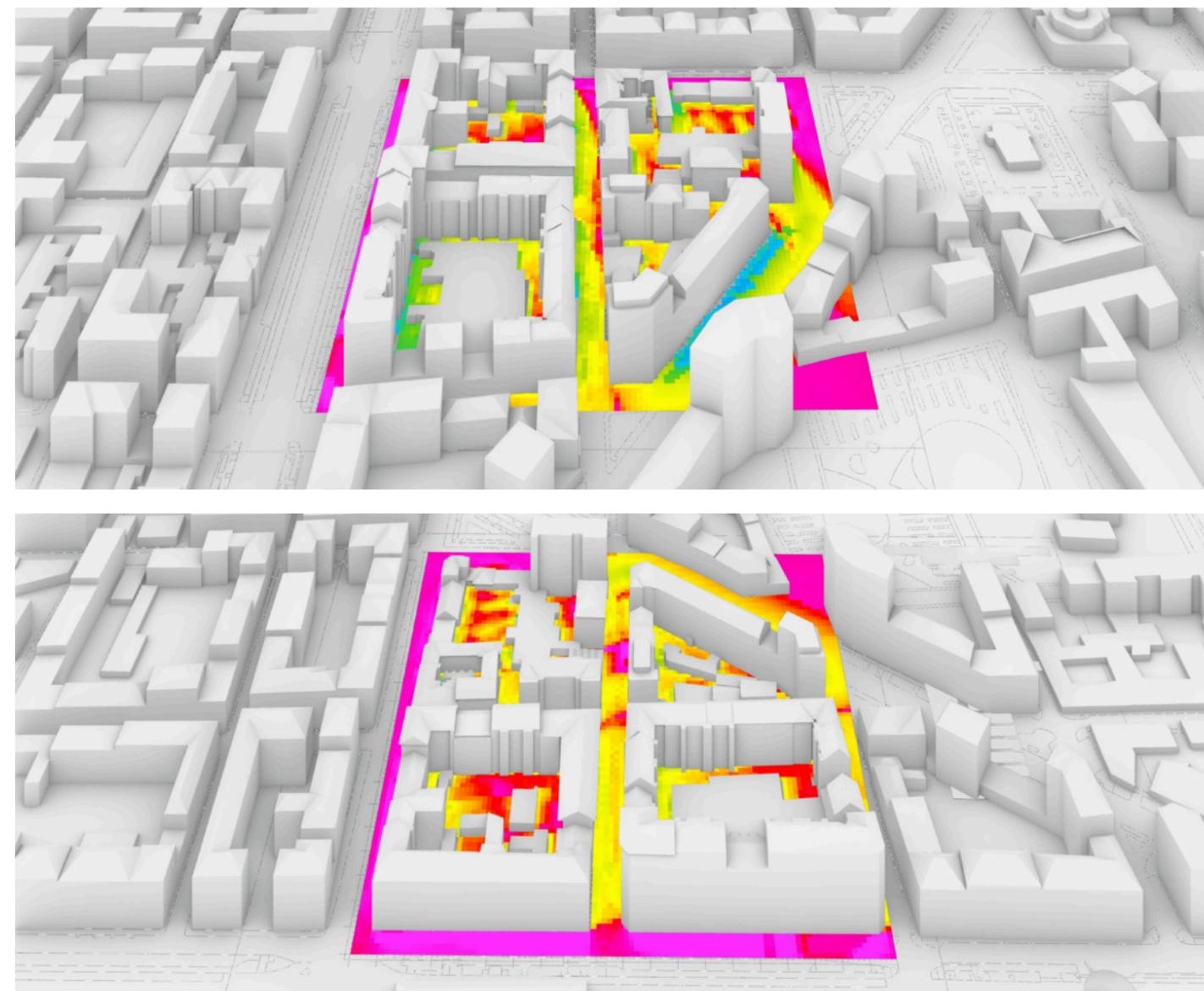
Scala 1:2000

x/z k:2 (1.5m)

Fonte:Rielaborazione propria da  
output Envi-met

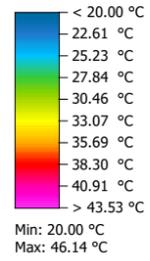


18H

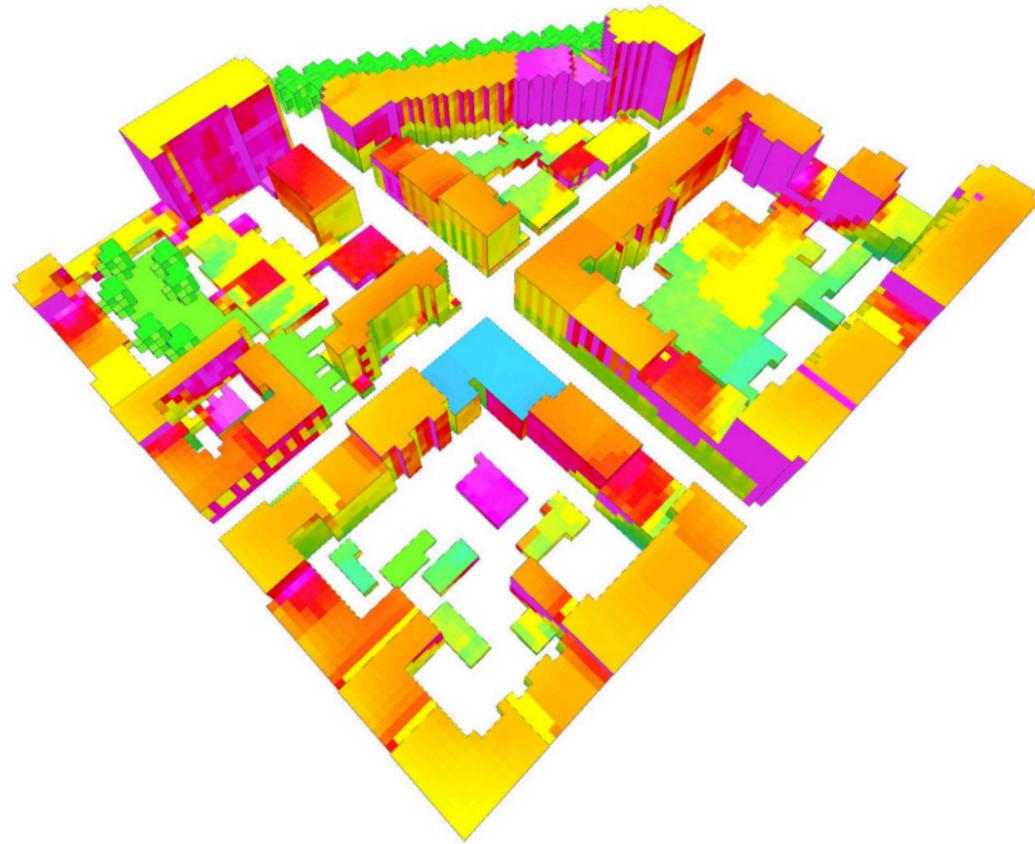


# Responso analitico \_Temperatura superficiale

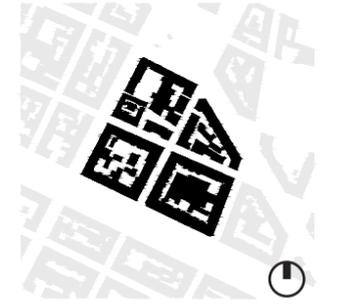
Fonte: Rielaborazione propria  
da output Envi-met



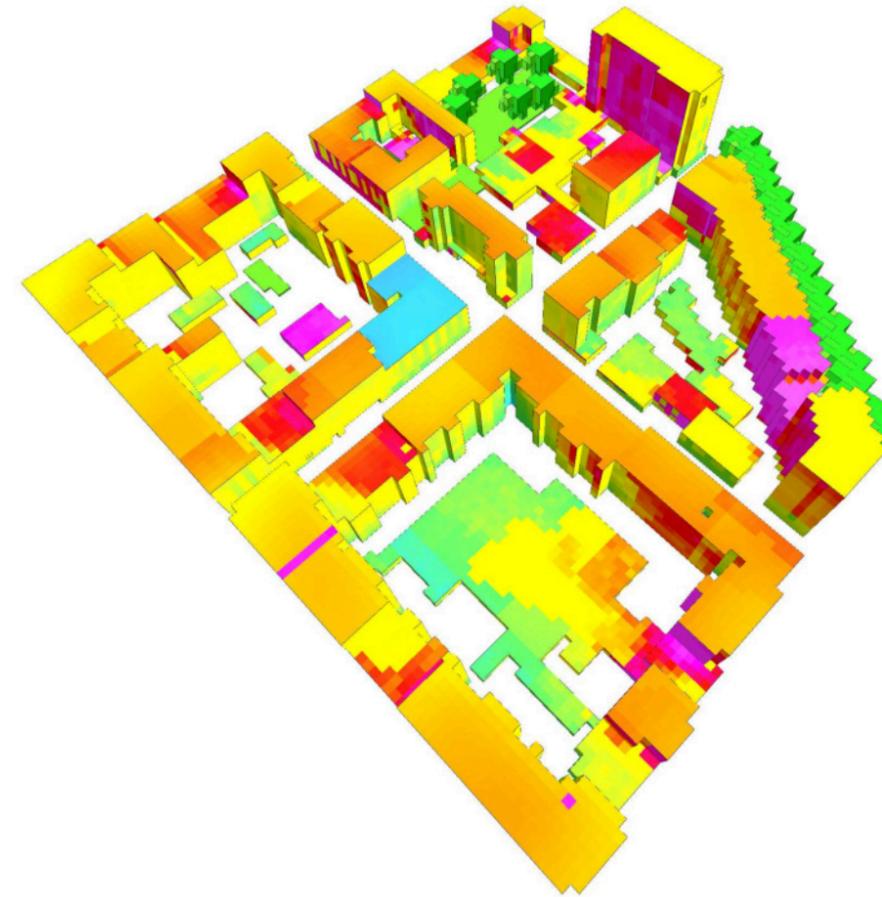
18H



Fonte: Rielaborazione propria da  
output Envi-met

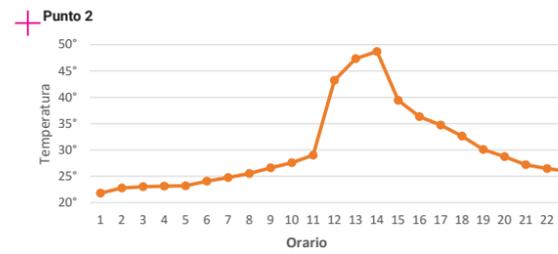
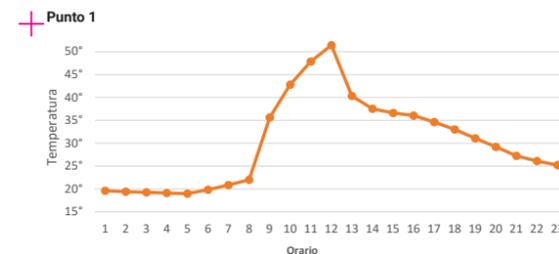


18H



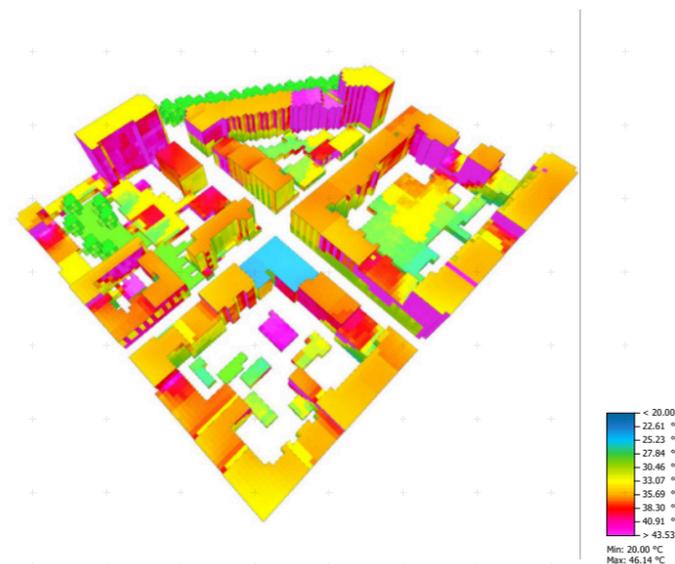
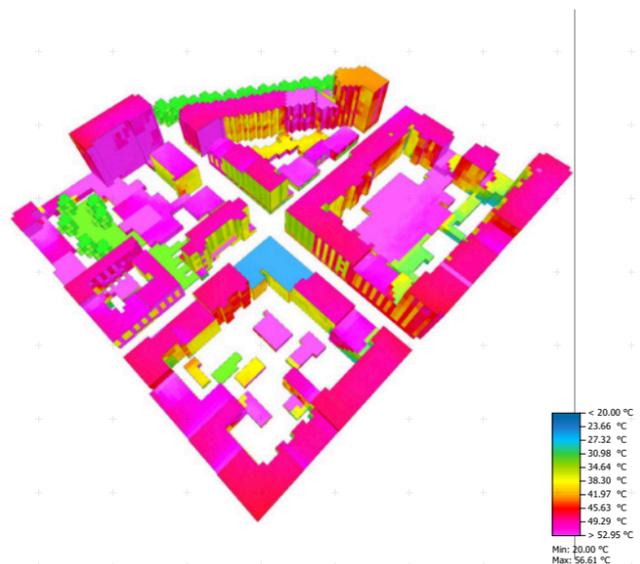
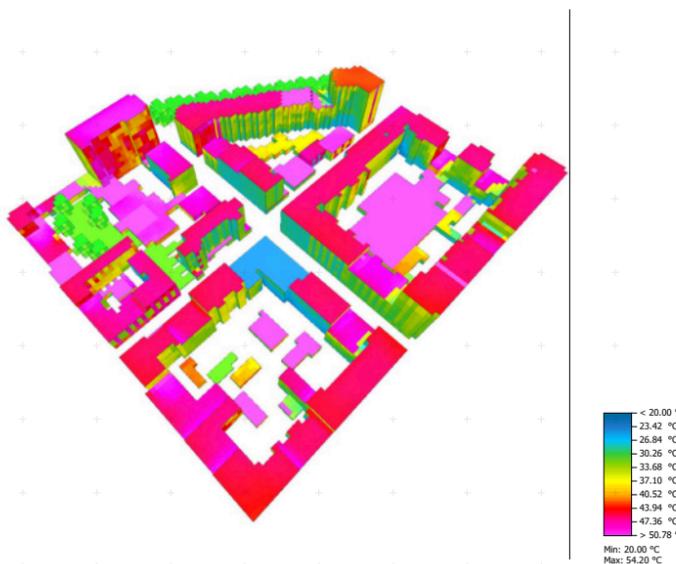
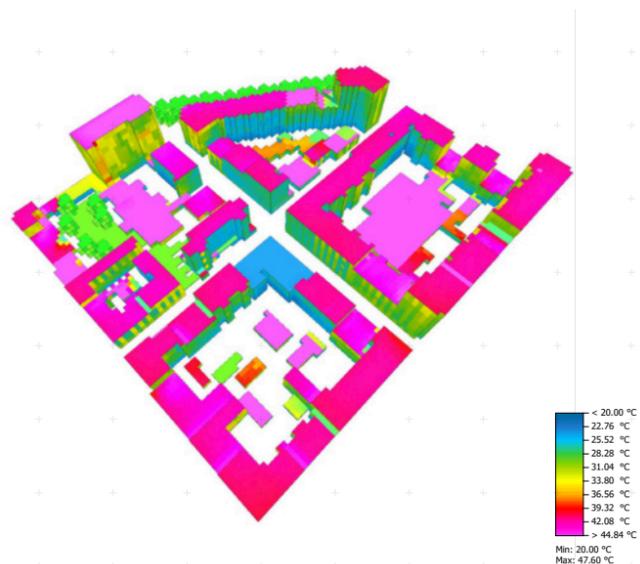
# Responso analitico \_Temperatura superficiale

## SINTESI DI CONFRONTO



Grafici di andamento termico  
in due specifici punti di analisi

Fonte: Esportazione da Envi-met





# RESPONSO ANALITICO

PET  
TEMI  
FESU  
QU  
PI  
PE  
OV  
RA  
LO  
VA  
LA  
T  
G  
E  
U  
R  
I  
N  
T  
R  
A  
C  
T  
E

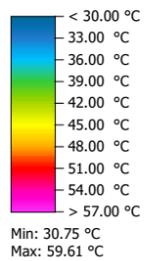
# Responso analitico \_Temperatura Fisiologica Equivalente PET

Scala 1:2000

x/z k:2 (1.5m)

Fonte:Rielaborazione propria

da output Envi-met



10H

+ 10m +

+

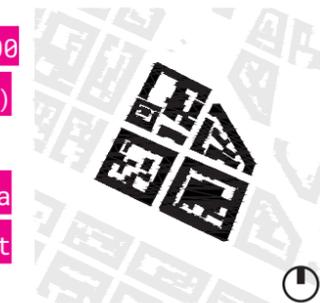


Scala 1:2000

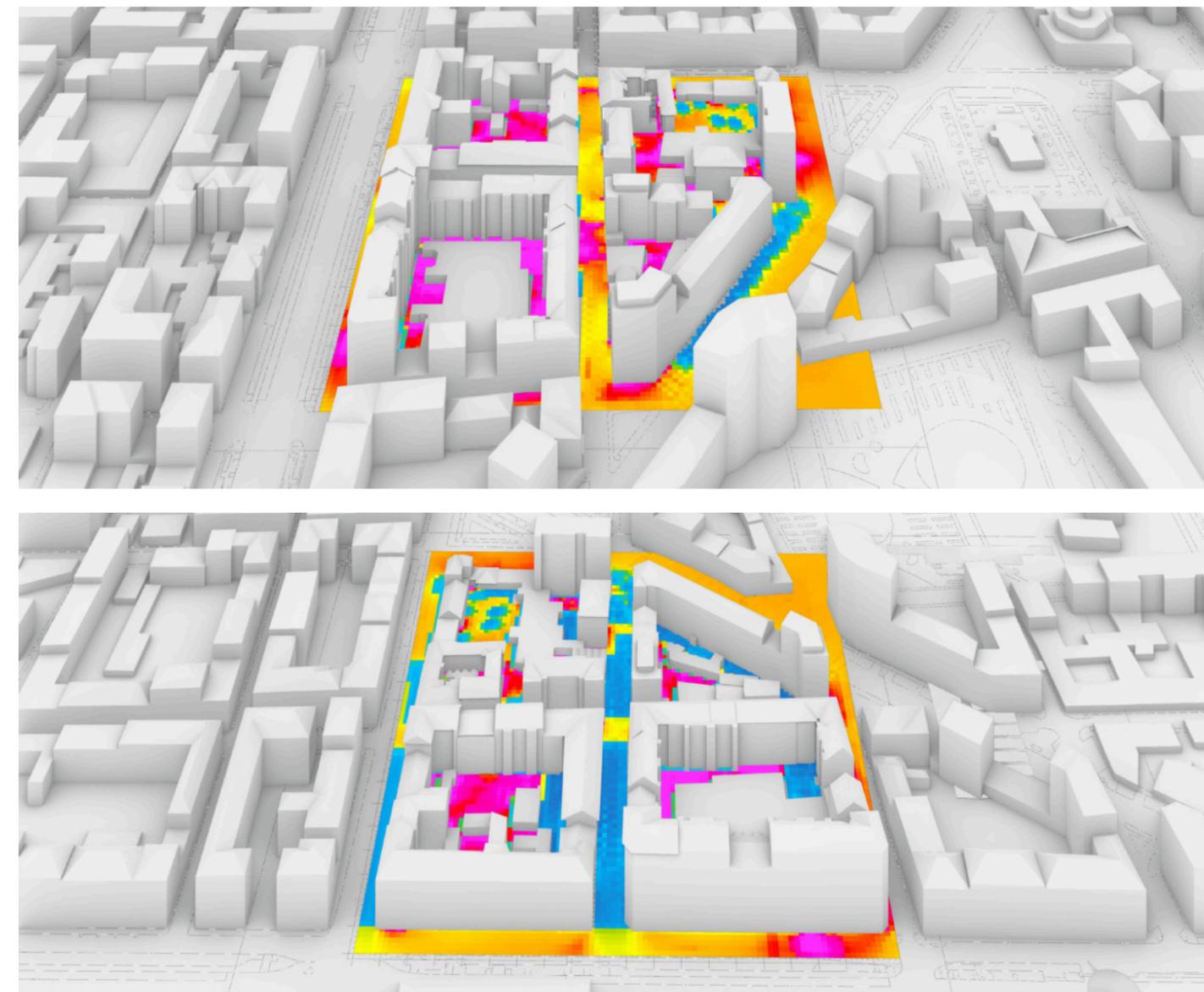
x/z k:2 (1.5m)

Fonte:Rielaborazione propria da

output Envi-met



10H



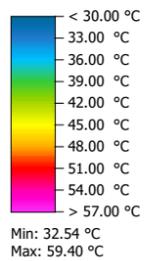
# Responso analitico \_Temperatura Fisiologica Equivalente PET

Scala 1:2000

x/z k:2 (1.5m)

Fonte:Rielaborazione propria

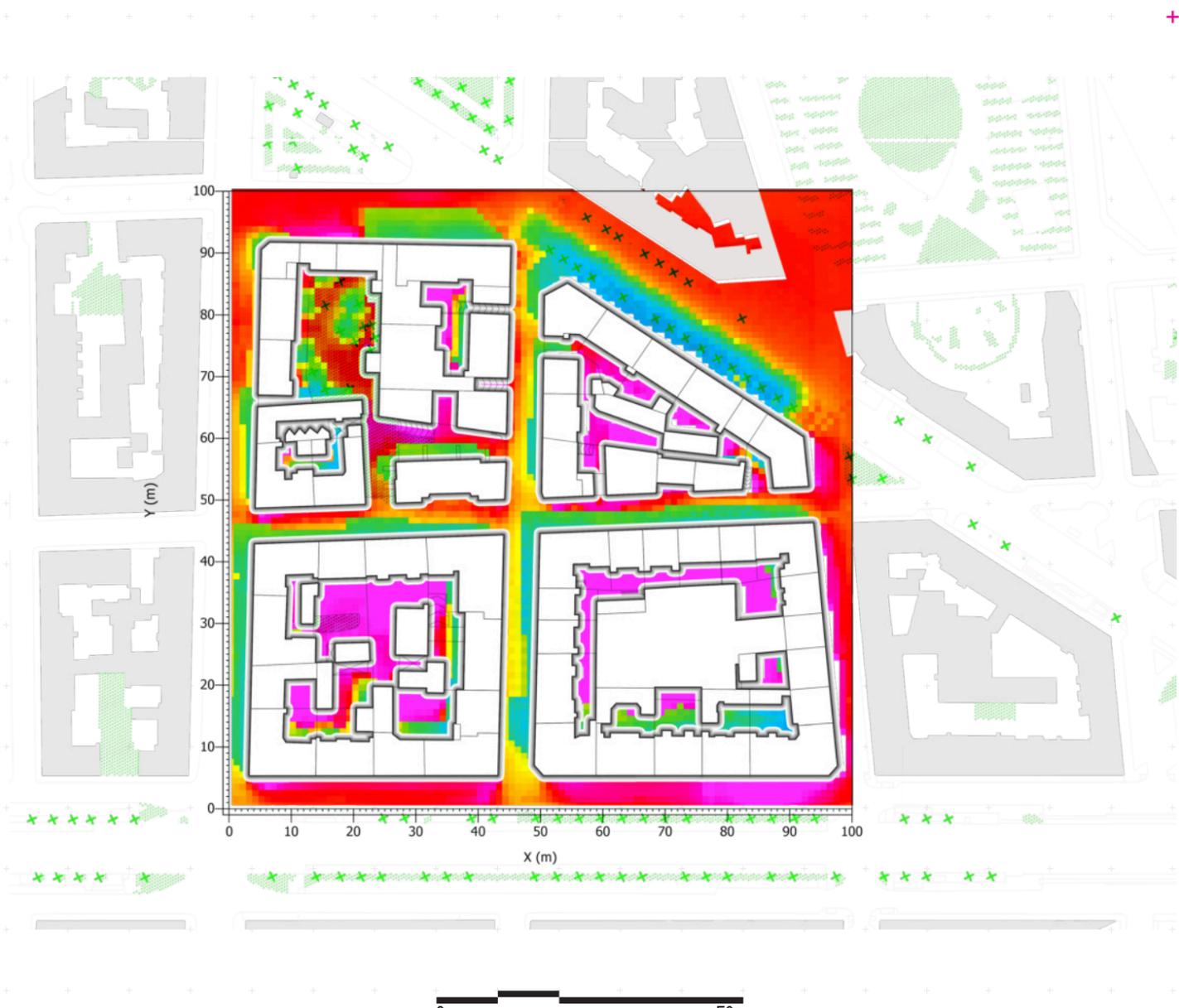
da output Envi-met



12H

+ 10m +

+

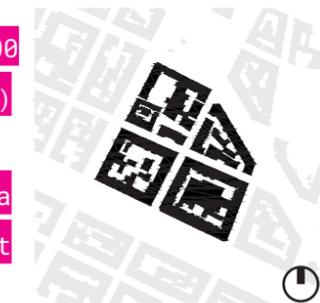


Scala 1:2000

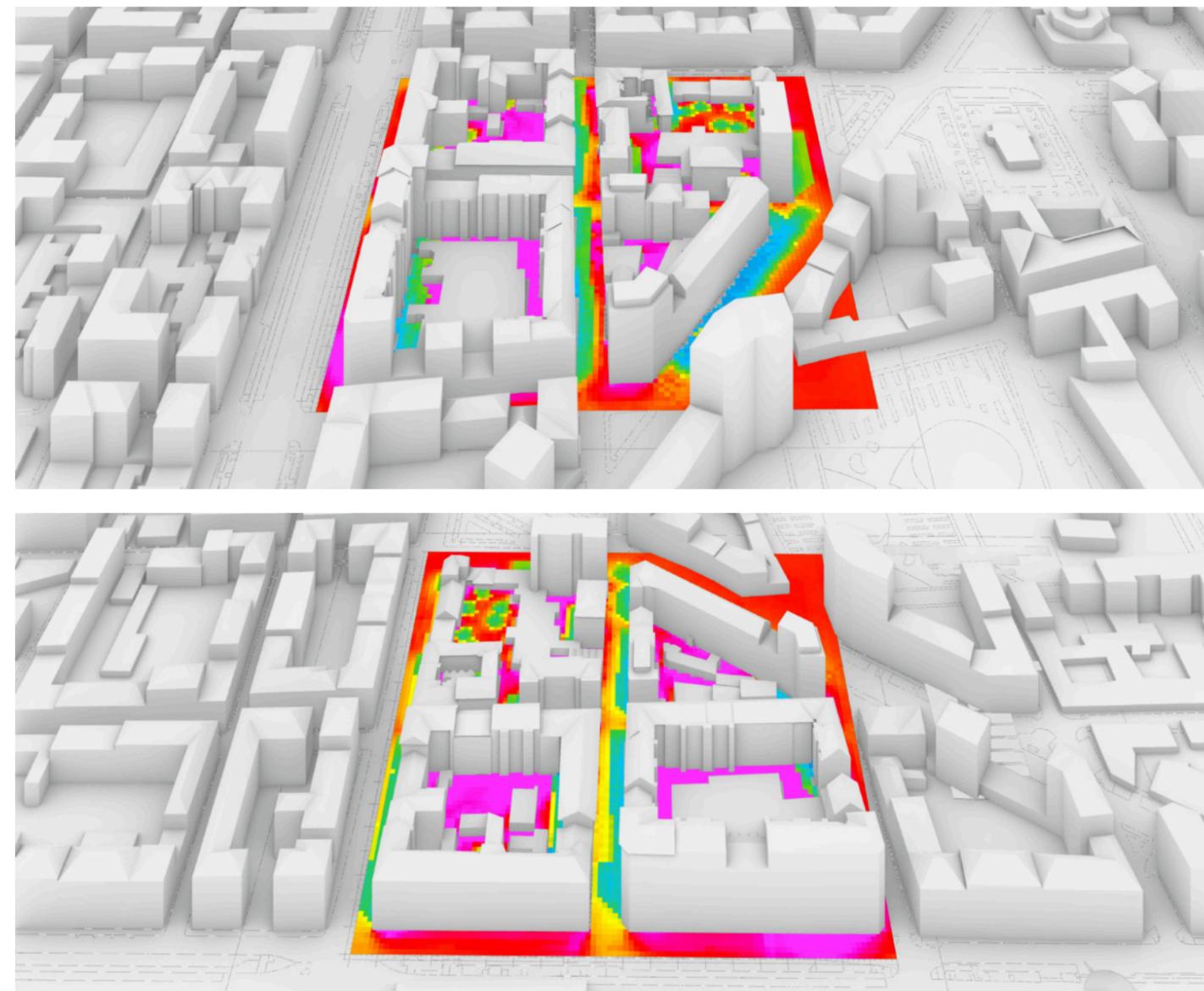
x/z k:2 (1.5m)

Fonte:Rielaborazione propria da

output Envi-met



12H



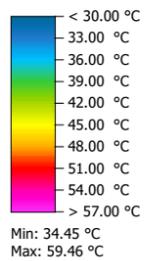
# Responso analitico \_Temperatura Fisiologica Equivalente PET

Scala 1:2000

x/z k:2 (1.5m)

Fonte:Rielaborazione propria

da output Envi-met



15H

+ 10m +

+



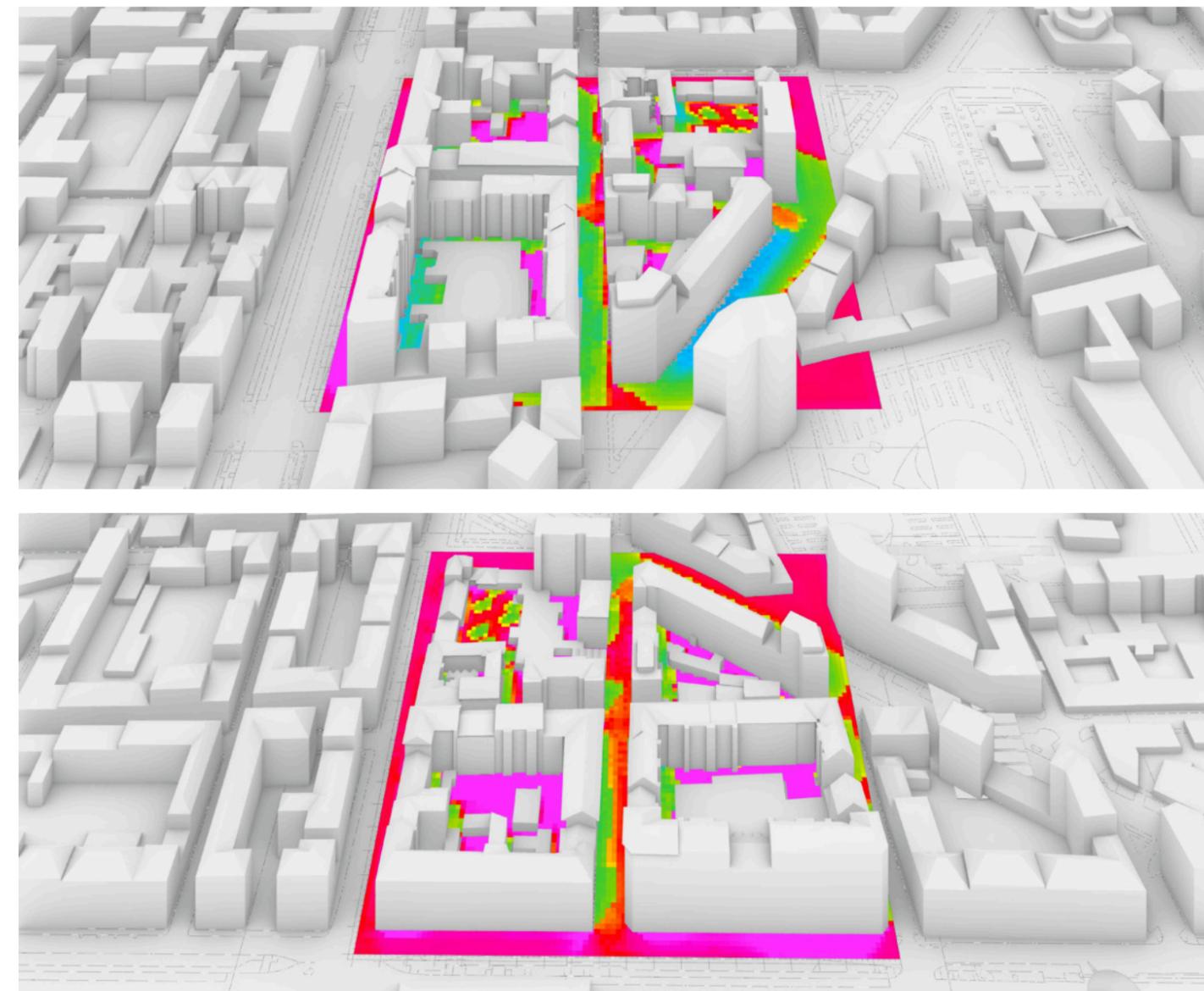
Scala 1:2000

x/z k:2 (1.5m)

Fonte:Rielaborazione propria da

output Envi-met

15H

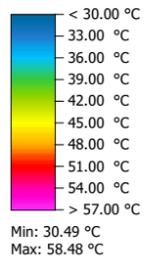


# Responso analitico \_Temperatura Fisiologica Equivalente PET

Scala 1:2000

x/z k:2 (1.5m)

Fonte:Rielaborazione propria  
da output Envi-met



18H

+ 10m +

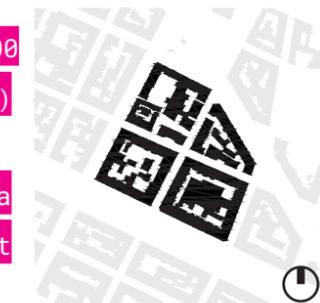
+



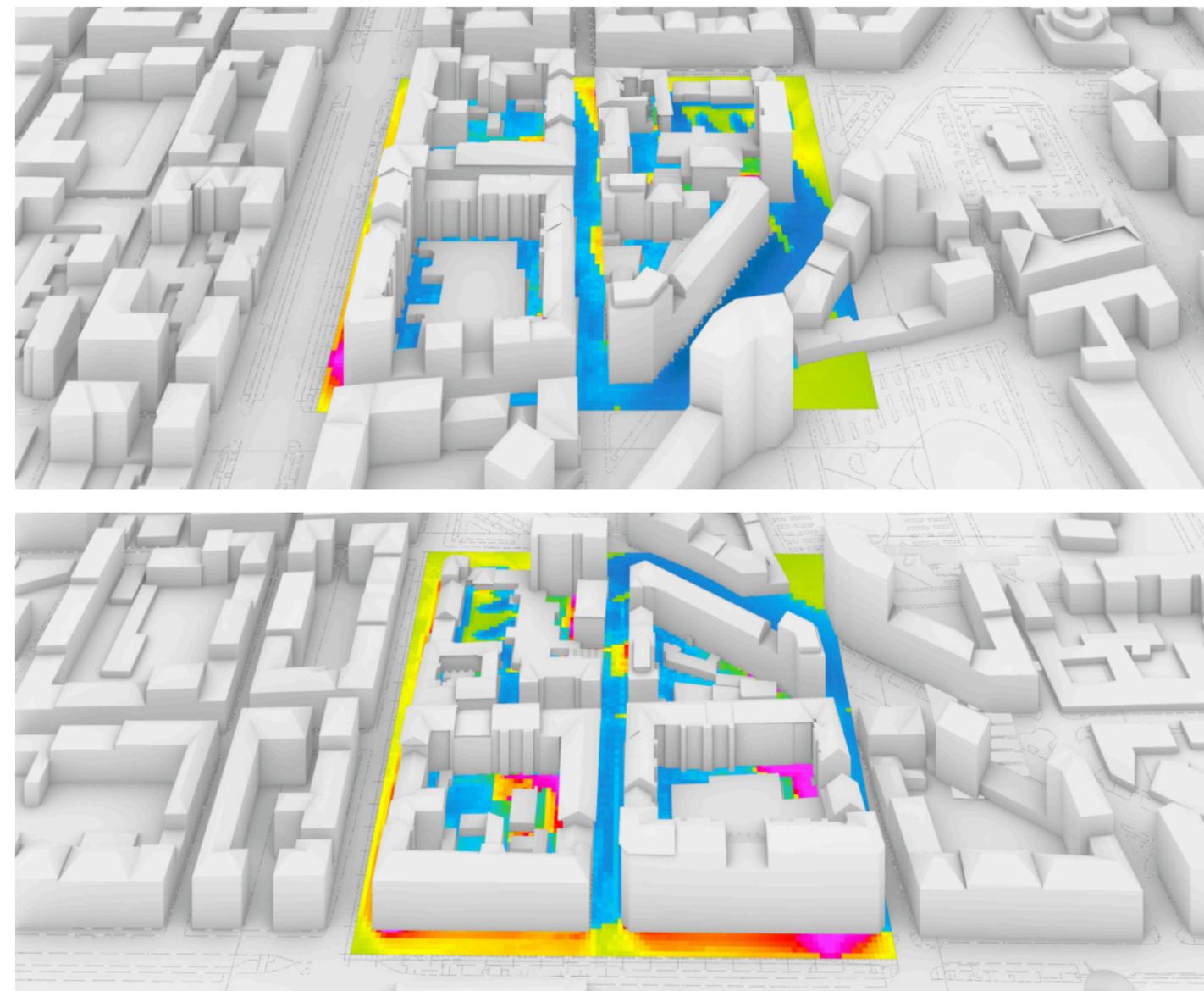
Scala 1:2000

x/z k:2 (1.5m)

Fonte:Rielaborazione propria da  
output Envi-met

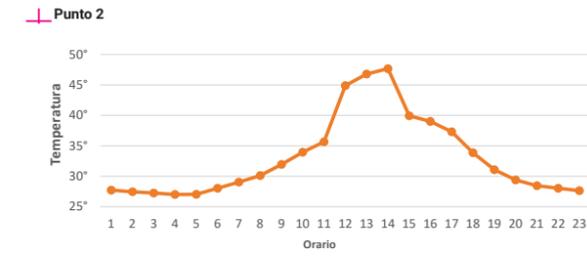
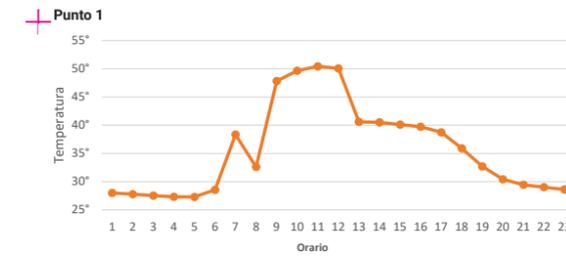


18H



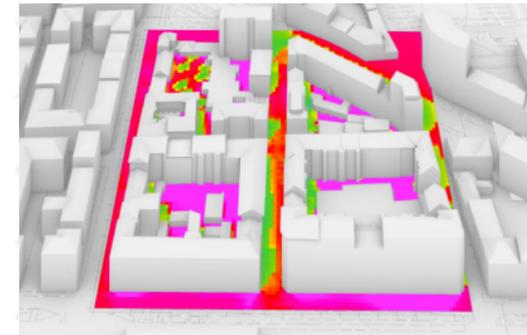
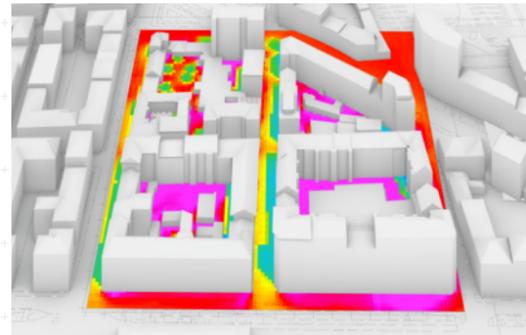
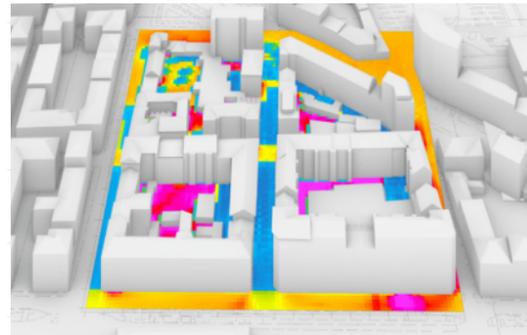
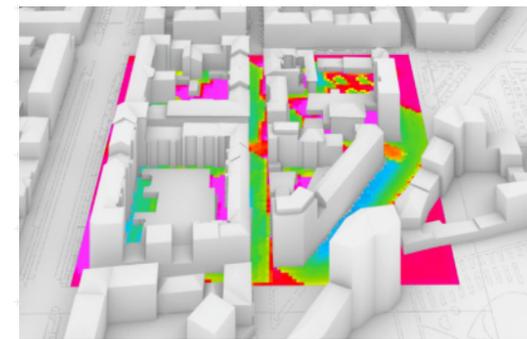
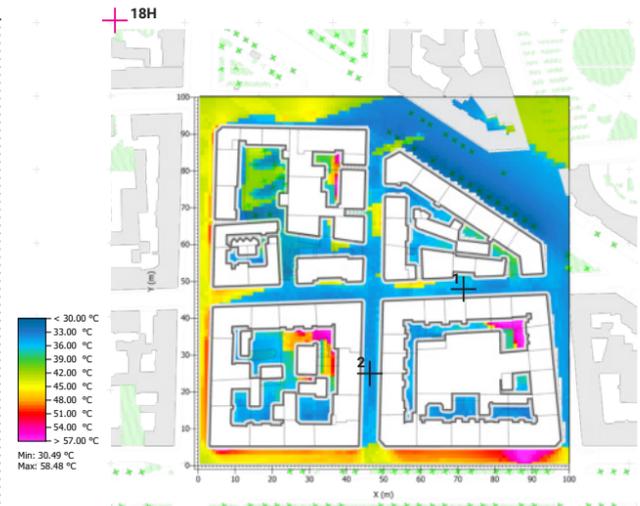
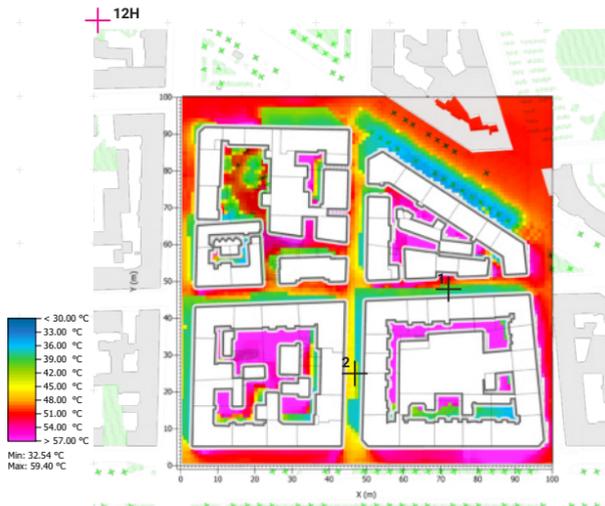
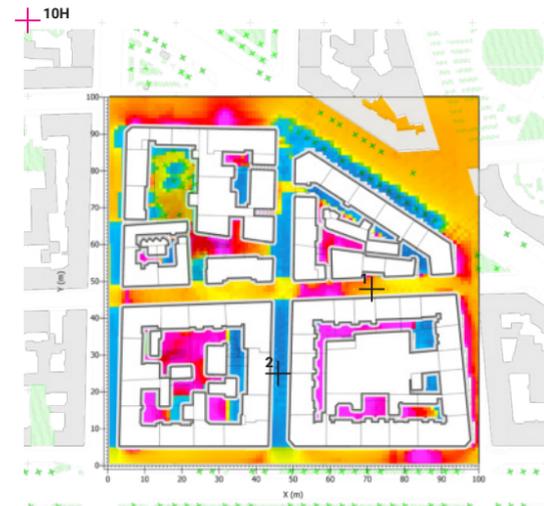
# Responso analitico \_Temperatura Fisiologica Equivalente PET

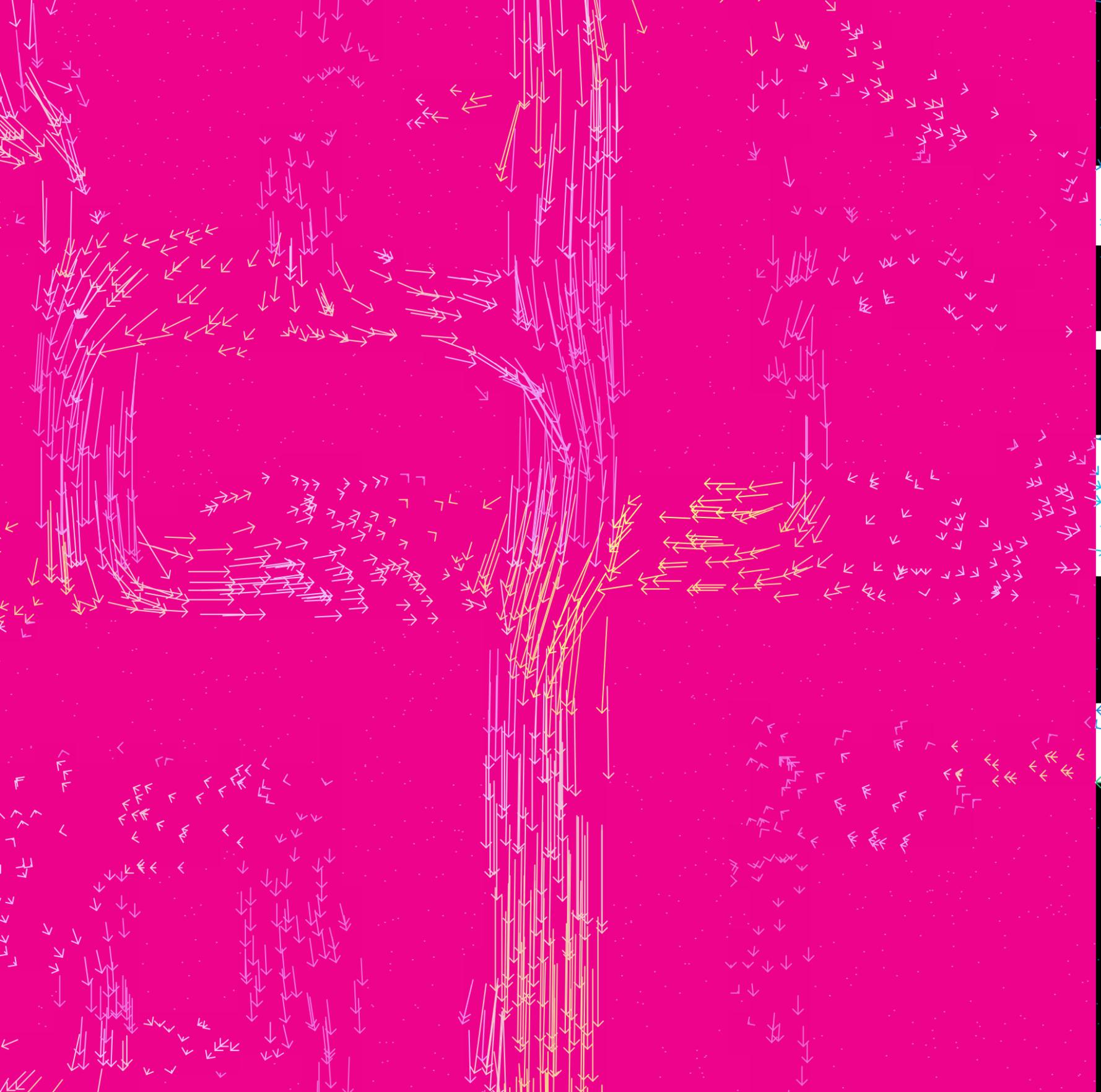
## SINTESI DI CONFRONTO



Grafici di andamento termico  
in due specifici punti di analisi

Fonte: Esportazione da Envi-met





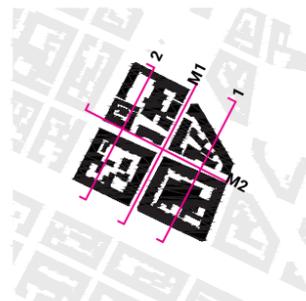
**RESPONSO  
ANALITICO**

**VELOCITÀ DEL VENTO**

# Responso analitico \_Velocità del vento

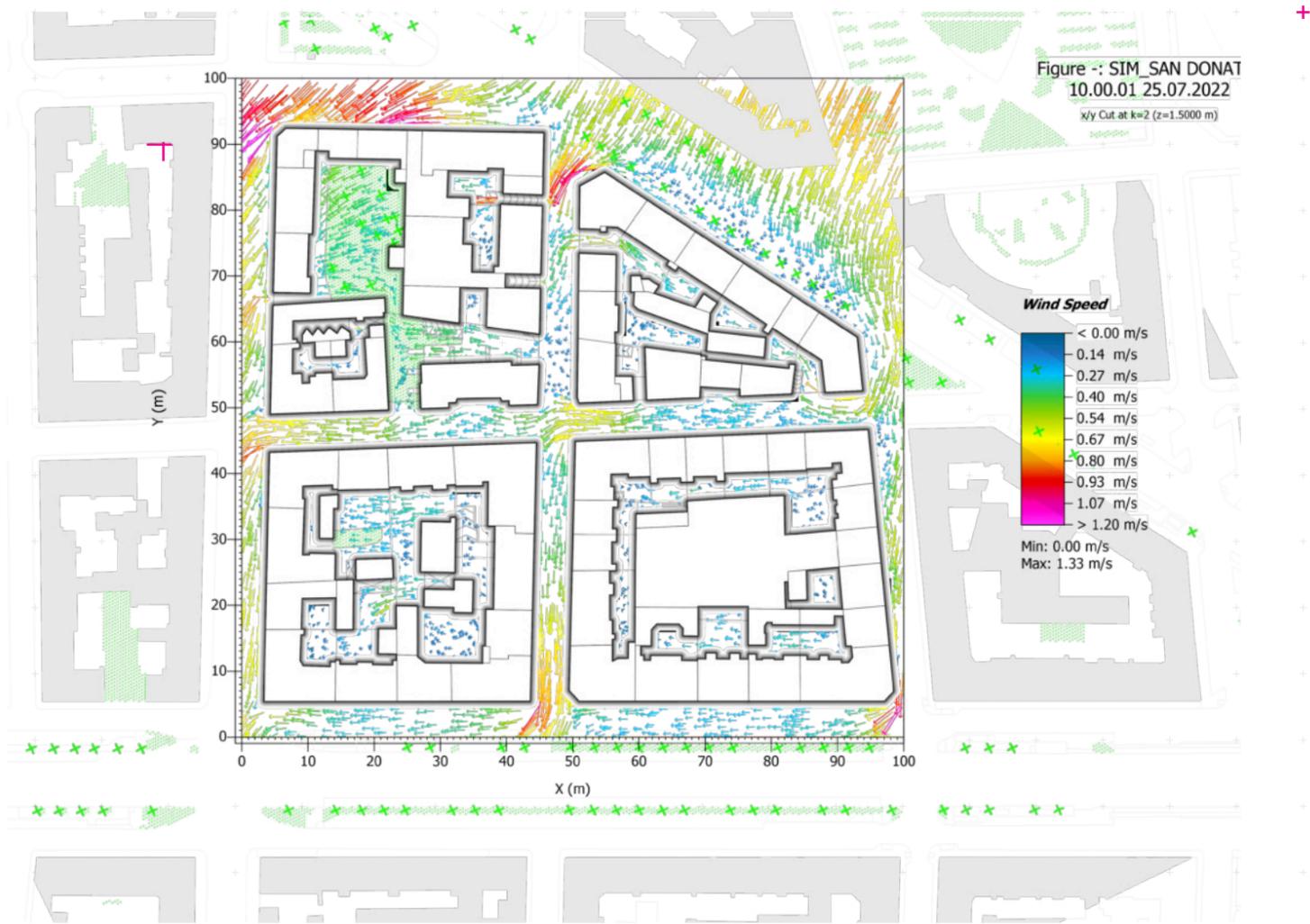
Scala 1:2000

Fonte: Rielaborazione propria  
da output Envi-met

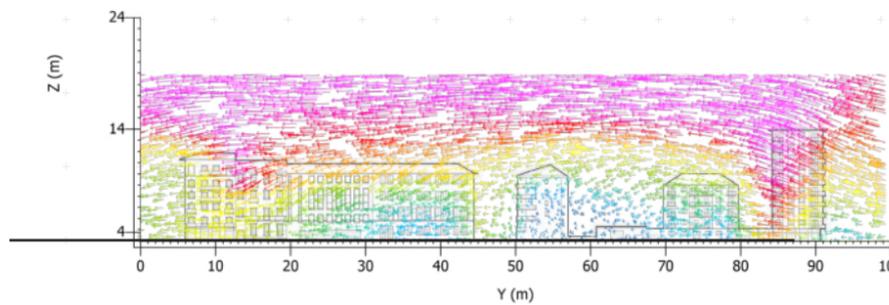


10H

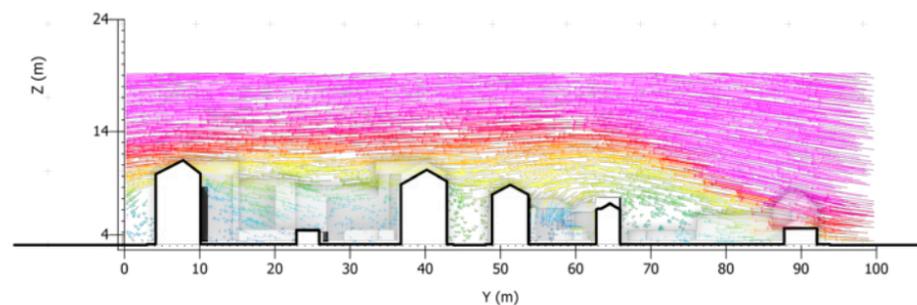
+ 10m +



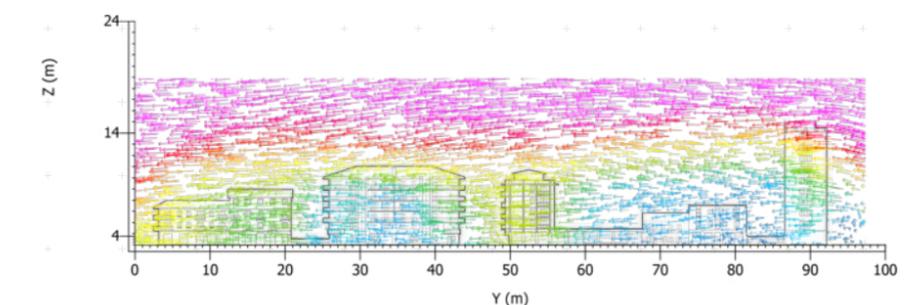
+ Sezione M1



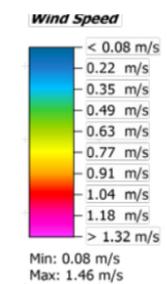
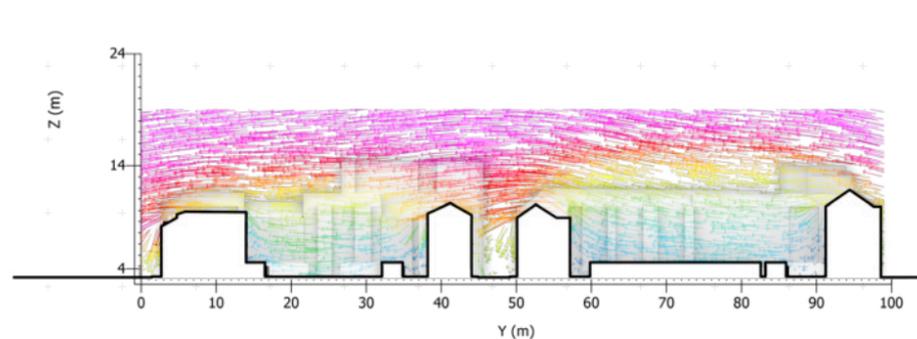
+ Sezione 2



+ Sezione M2



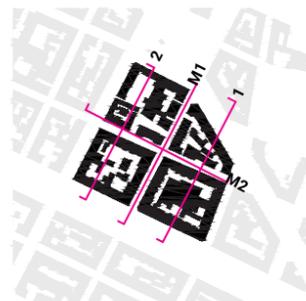
+ Sezione 1



# Responso analitico \_Velocità del vento

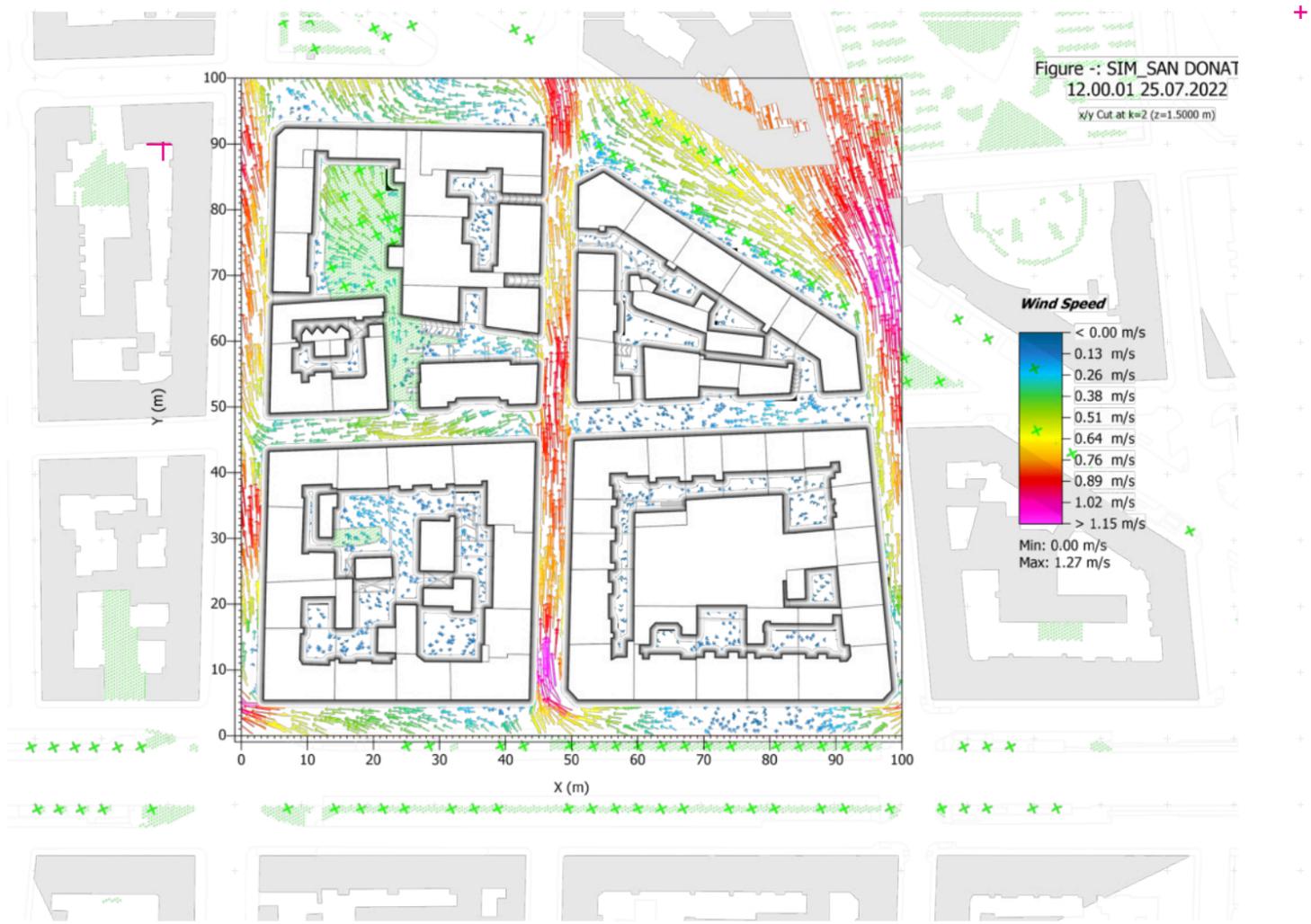
Scala 1:2000

Fonte: Rielaborazione propria  
da output Envi-met

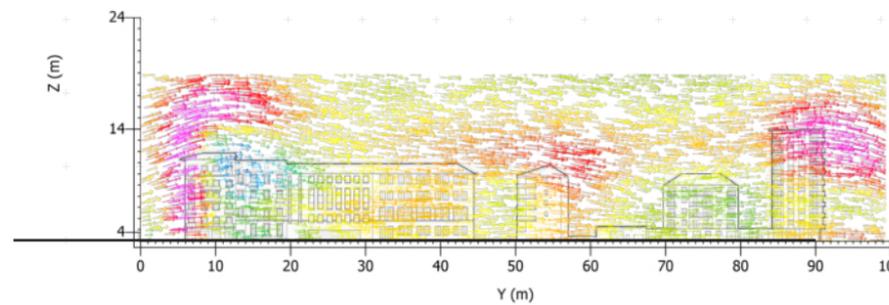


12H

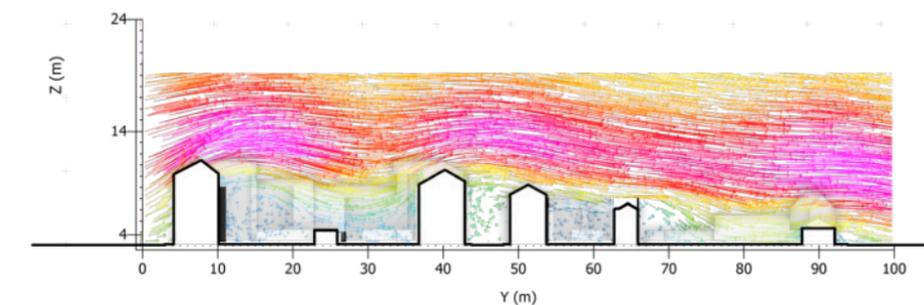
+ 10m +



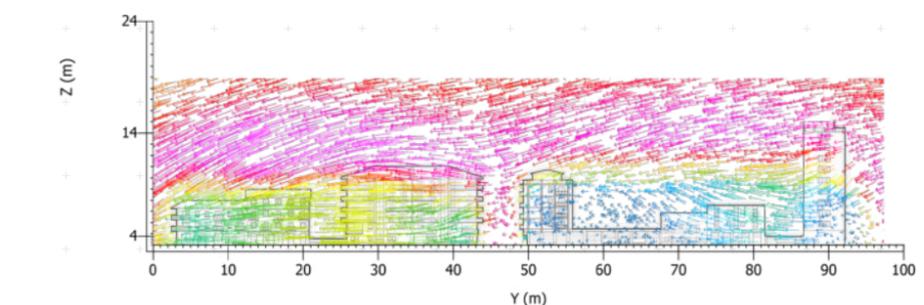
+ Sezione M



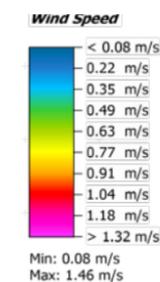
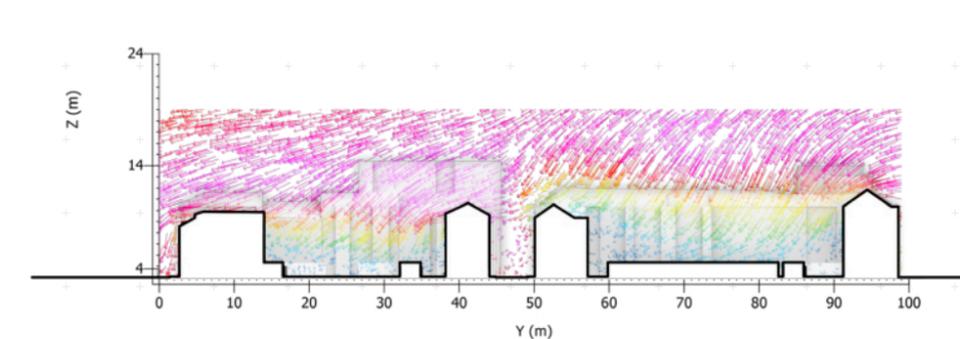
+ Sezione 2



+ Sezione M



+ Sezione 2



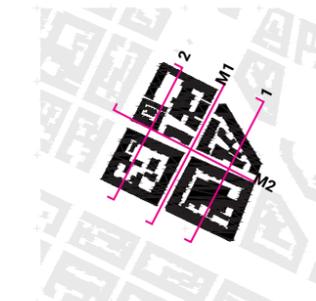
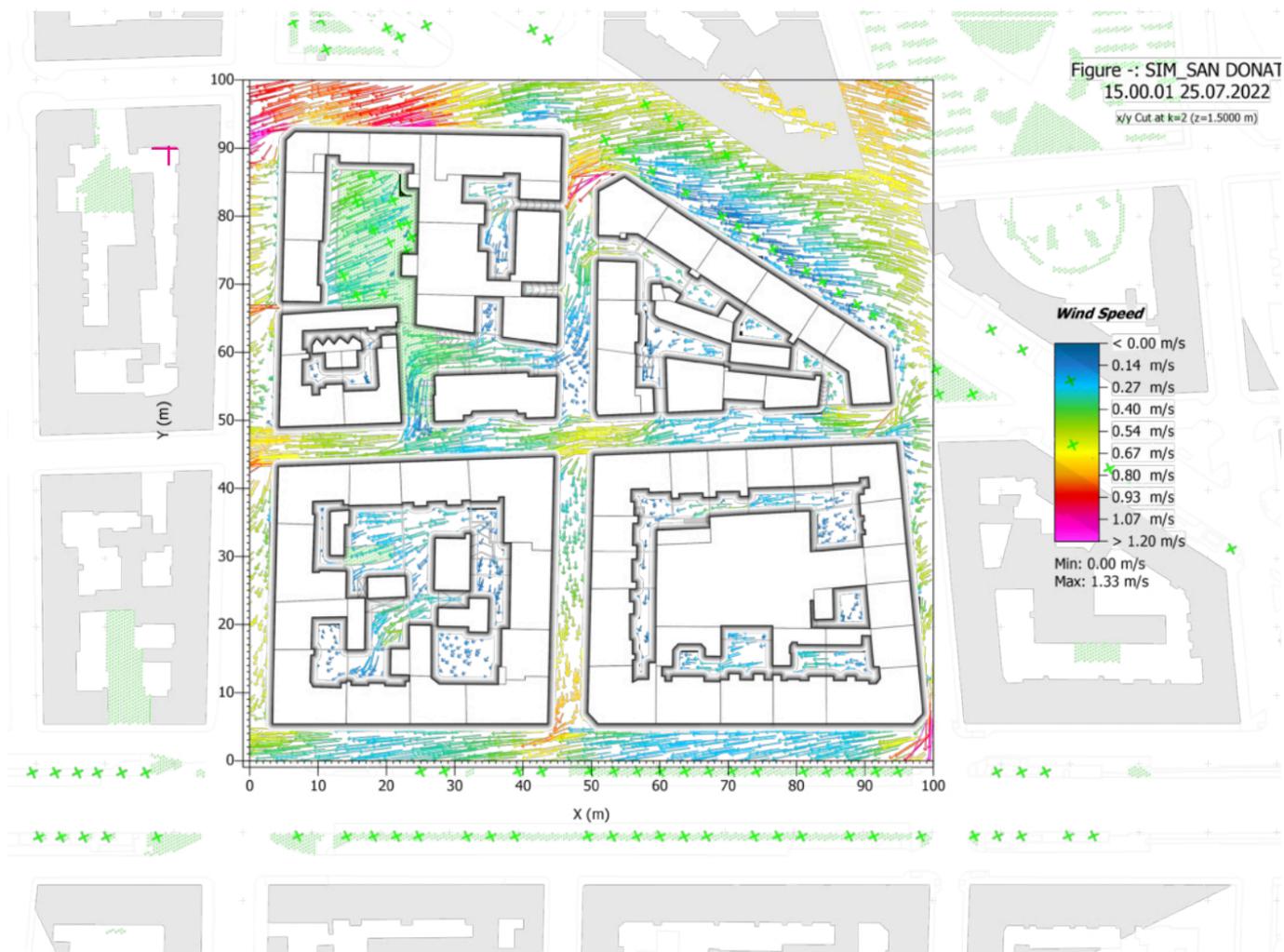
# Responso analitico \_Velocità del vento

Scala 1:2000

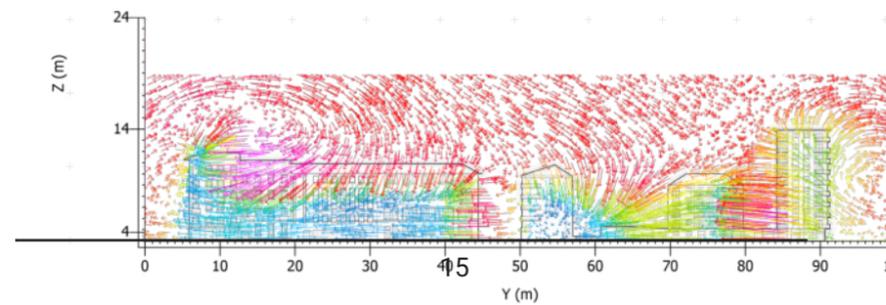
Fonte: Rielaborazione propria  
da output Envi-met

15H

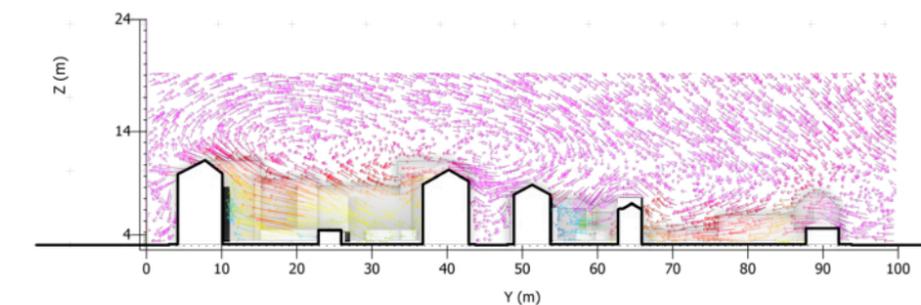
+ 10m +



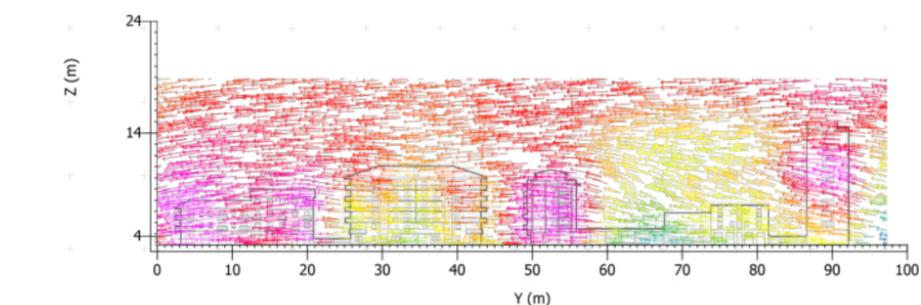
+ Sezione M



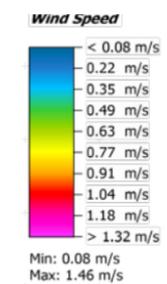
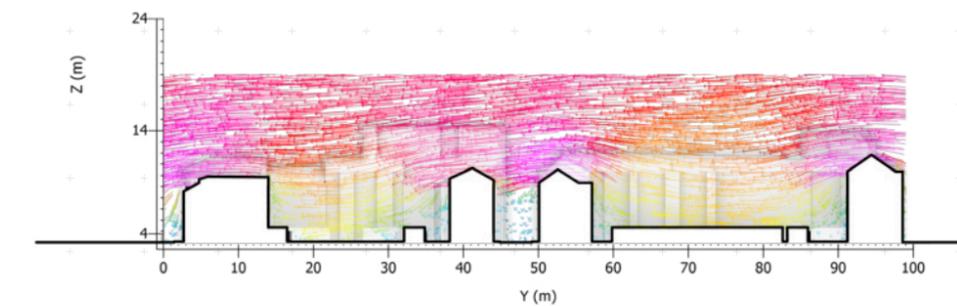
+ Sezione 2



+ Sezione M



+ Sezione 2



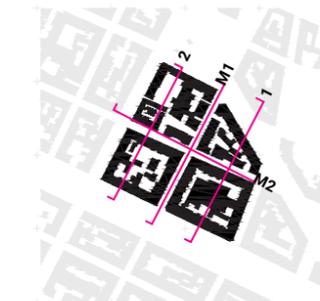
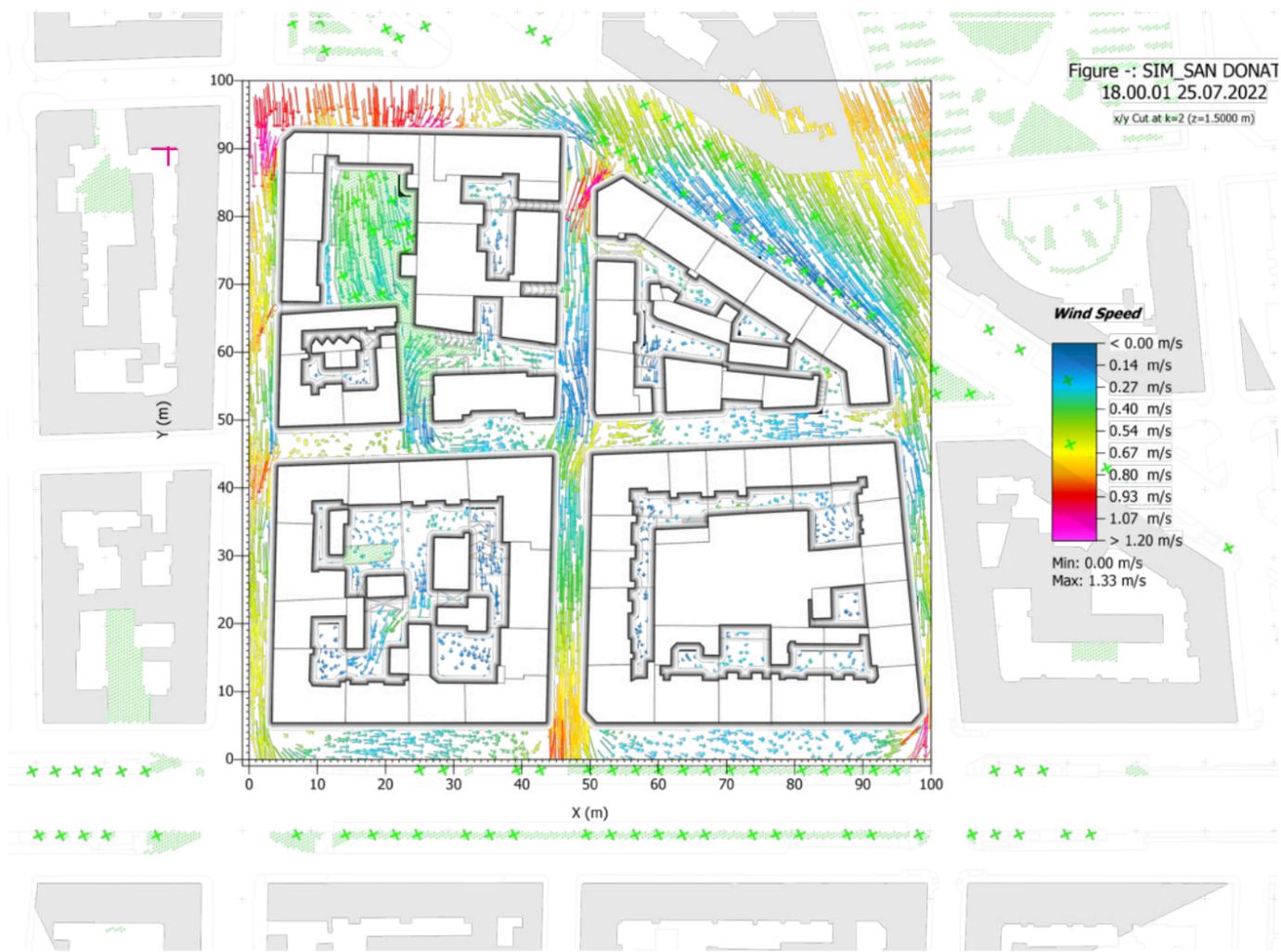
# Responso analitico \_Velocità del vento

Scala 1:2000

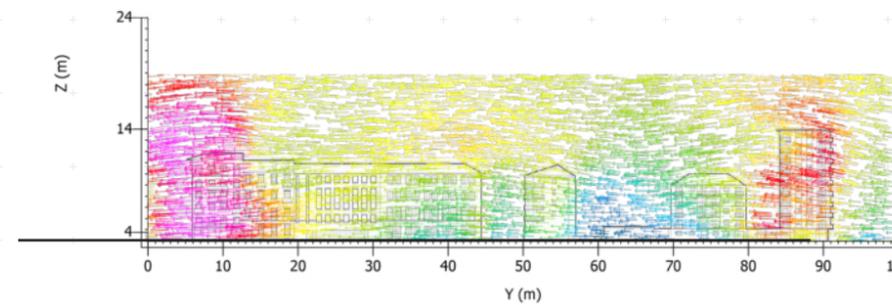
Fonte: Rielaborazione propria  
da output Envi-met

18H

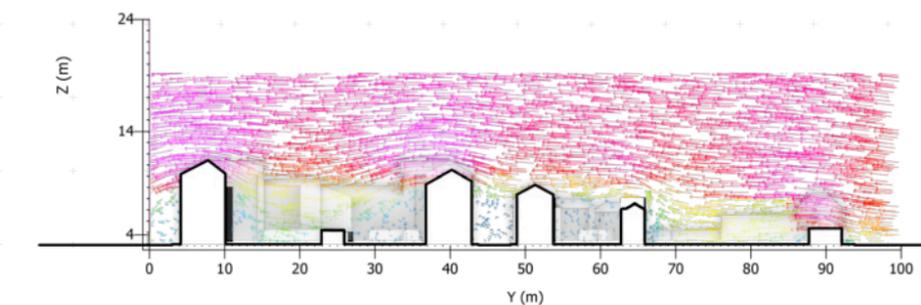
+ 10m +



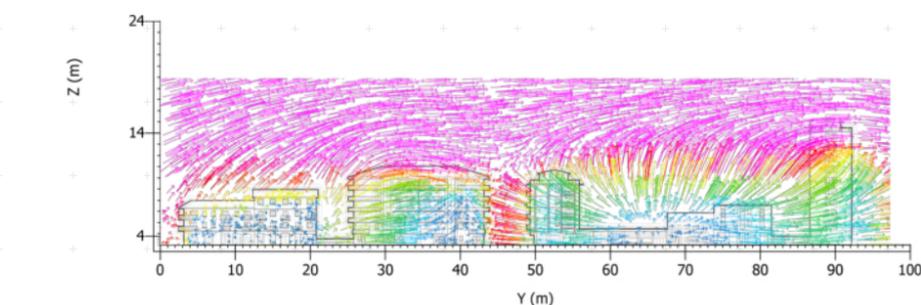
+ Sezione M



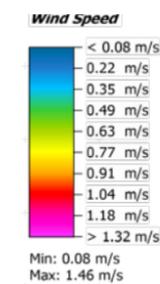
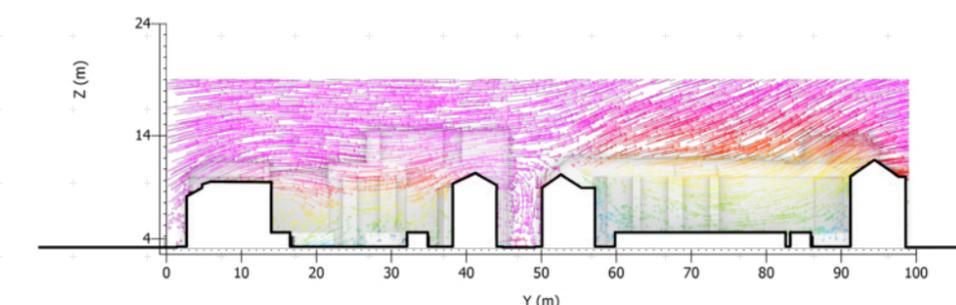
+ Sezione 2



+ Sezione M

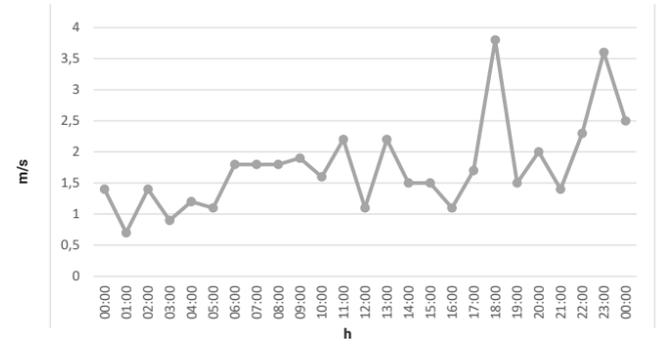
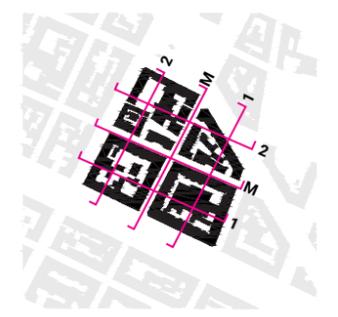


+ Sezione 2



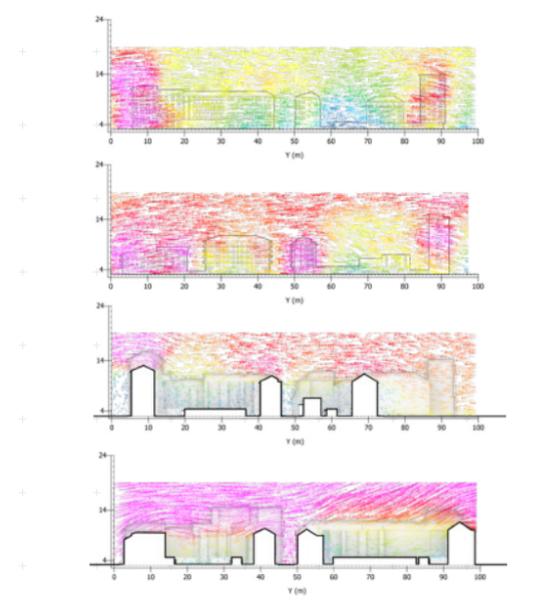
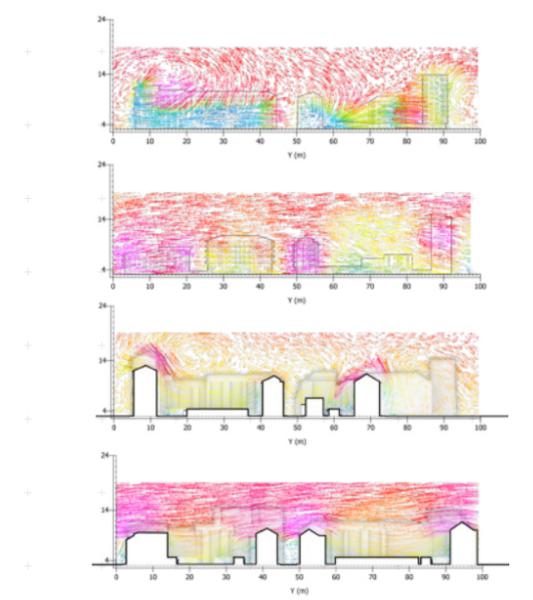
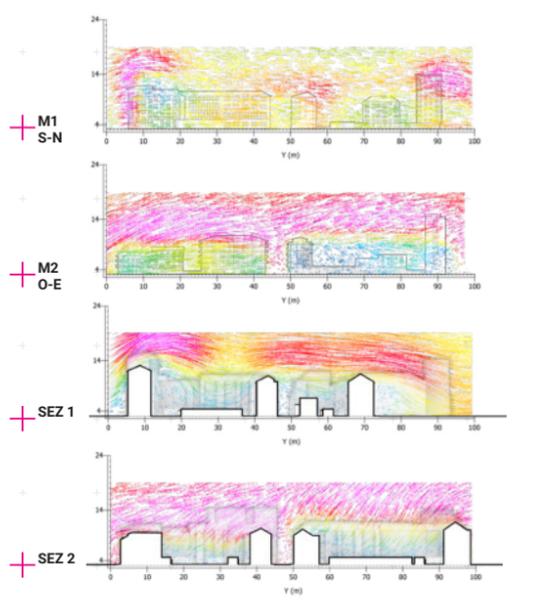
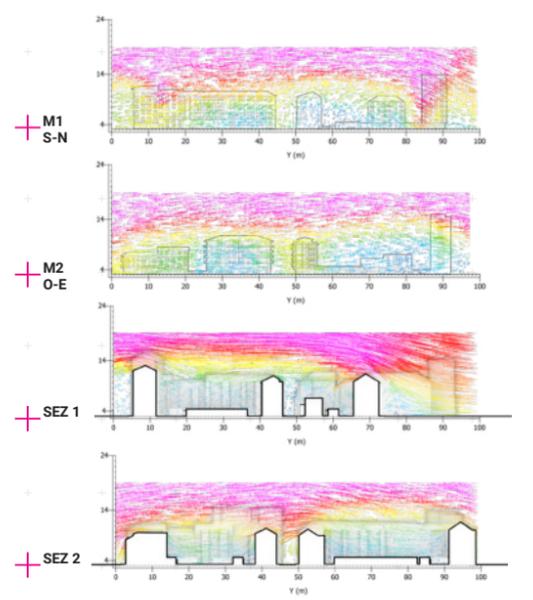
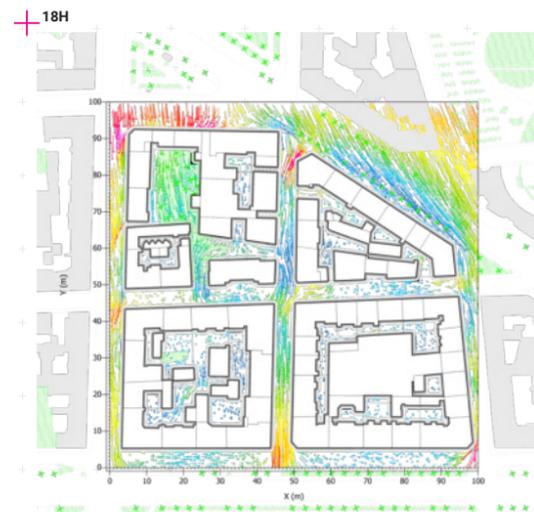
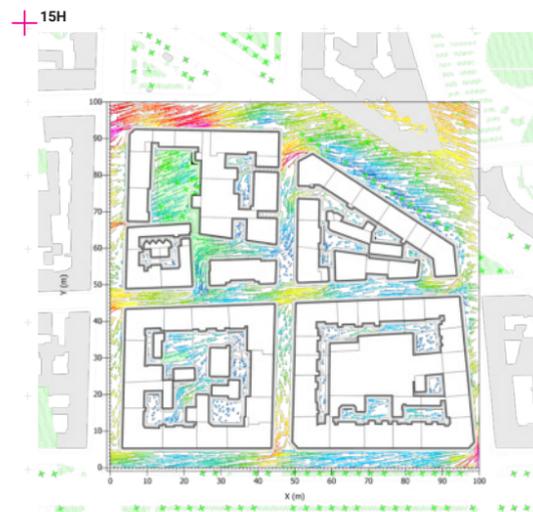
# Output envimet \_Wind speed

## SINTESI



Grafici di andamento termico  
in due specifici punti di analisi

Fonte: Esportazione da Envi-met





# APPLICAZIONE COOL MATERIALS

6.1. Abaco dei materiali impiegati

6.2. Aree di intervento

6.3. Reponso analitico \_Cool materials

Temperatura dell'aria

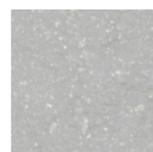
Temperatura superficiale

Temperatura Fisiologica Equivalente

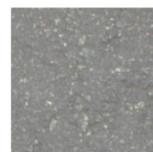
Occorre confrontare i materiali sperimentati dalla ditta Italcementi e le caratteristiche derivanti dalle nuove tecnologie cool materials all'applicazione dei materiali tradizionali e le sue modalità di utilizzo. In particolare, la sperimentazione di rivestimenti scuri come cool materials garantiscono una maggiore libertà di utilizzo di materiali scuri nel linguaggio architettonico, godendo al tempo stesso di performance termiche migliori di un classico rivestimento.

Italcementi ha indagato i cool materials sia nella versione statica che dinamica. I cool materials statici sono caratterizzati da proprietà specifiche ("statiche" appunto) del colore, di riflettanza solare ed emissività termica. I cool materials dinamici, invece, avrebbero capacità riflettenti adattive in funzione di un fissato parametro. Ad esempio, i cool materials termocromici sono caratterizzati da tonalità più scure, al di sotto di una certa temperatura di soglia, e "virano" verso tonalità più chiare al di sopra di essa.

La natura organica dei materiali cool termocromici commercialmente reperiti ha evidenziato la loro rapida tendenza alla fotodegradazione nei test di invecchiamento accelerato e naturale condotti da Italcementi, indipendentemente dalla matrice cementizia in cui sono stati integrati. È per questo motivo che Italcementi guarda ad oggi con interesse applicativo alla realizzazione di cool materials cementizi di natura statica.



**# CM1**  
**Pavimentazione drenante**  
**BIANCA**  
 SR: 0.61  
 SRI: 0.74  
 ε: 0.92



**# CM1.1**  
**Pavimentazione drenante**  
**GRIGIO**  
 SR: 0.20  
 SRI: 0.20  
 ε: 0.92



**# CM2**  
**lastra cementizia**  
**BIANCA**  
 SR: 0.80  
 SRI: 1.00  
 ε: 0.88



**# CM2.2**  
**lastra cementizia**  
**GRIGIO**  
 SR: 0.41  
 SRI: 0.46  
 ε: 0.88



**Fig.1** Mattonelle di prova realizzate in laboratorio con cool materials cementizi.

Fonte: Italcementi

La ricerca dell'azienda mira alla realizzazione di calcestruzzi "cool" avanzati caratterizzati da superfici altamente riflettenti. Per contribuire a strategie di contrasto dell'isola di calore urbano con la sperimentazione di pavimentazioni in calcestruzzo "fredde", con spiccata capacità di riflettere la radiazione solare.

Oltre allo studio di pavimentazioni chiare, la ricerca nell'ambito del progetto finanziato dal Fondo di Ricerca di Sistema Elettrico COOL IT, "Riduzione dei consumi elettrici per la climatizzazione estiva di edifici mediante sviluppo di Cool Materials (CM) cementizi ad elevata riflettanza solare" ha anche come obiettivo quello di valutare superfici colorate con capacità di riflettere la radiazione solare ben più elevata dei corrispettivi prodotti colorati con pigmenti tradizionali. Le pavimentazioni cool colorate progettate da Italcementi, anche di colorazione grigia, hanno la potenzialità di garantire valori di SRI anche maggiore di 29 che rappresenta la soglia minima da raggiungere per ottenere crediti LEED di sostenibilità ambientale delle pavimentazioni. Le pavimentazioni cool ad elevato SRI sono in grado di incidere positivamente sull'isola di calore urbano, riducendo la temperatura delle superfici esterne.

Le superfici bitumate risultano quelle a maggiore impatto, mentre quelle realizzate con un calcestruzzo drenante, come i.idro DRAIN, consentono un'importante riduzione della sensazione di calore avvertito dai pedoni nel periodo estivo di svariati gradi in meno rispetto a una pavimentazione in asfalto.

## Tipologie Cool Materials e produttori \_Index: White reflex

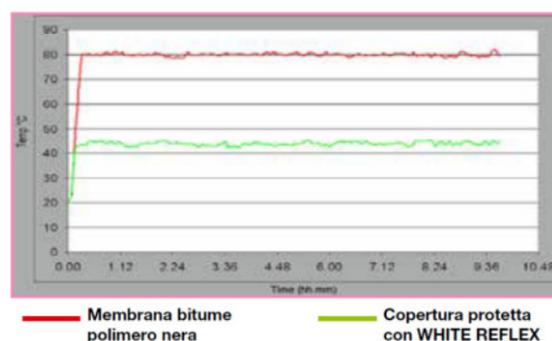


Le pitture WHITE REFLEX sono pitture bianche pigmentate con biossido di titanio monocomponenti, a base di polimeri in emulsione acquosa e additivi speciali. Una volta asciutte formano un film flessibile, resistente agli agenti atmosferici, che protegge dai raggi U.V.

Sono indicate per la protezione delle membrane bitume polimero: la finitura bianca e gli additivi speciali, oltre a prolungare la durata dei manti, riducono la temperatura, sia sulla superficie esterna che all'interno dell'edificio. L'elevata riflettanza di WHITE REFLEX (0,82) e WHITE REFLEX Fire Resistant (0,83) e WHITE REFLEX Ultra (0,86) infatti riduce sensibilmente rispetto ad una superficie scura il calore assorbito dai raggi solari, contribuisce al benessere estivo degli occupanti e consente di soddisfare i limiti per i "cool roof" dell'Allegato 1 del D.lgs. Interministeriale del 26/06/2015 sia per tetti piani che inclinati; ne conseguono una notevole diminuzione di temperatura e un consistente risparmio energetico per il condizionamento estivo degli edifici sia residenziali sia zootecnici. L'alta emissività all'infrarosso (0,91, per WHITE REFLEX Fire Resistant 0,94) favorisce la dissipazione del calore accumulato nelle ore notturne (Tab.1). Nelle aree urbane le coperture pitturate con WHITE REFLEX non si surriscaldano sotto l'irradiazione solare e contribuiscono alla riduzione del fenomeno delle "isole di calore" che sovrasta le città. La riduzione della temperatura e la luce diffusa determinate dalla pittura riflettente aumentano l'efficienza dei pannelli fotovoltaici che sono installati sulla copertura. Il rendimento dei pannelli infatti si riduce del 5% circa ogni 0,5°C di scostamento dai 25°C (temperatura a cui si ha il massimo rendimento).



# CM3  
**White reflex ultra**  
SR: 0.86  
SRI: 110  
ε: 0.91



**Tab. 1** Grafico rappresentante il confronto della temperatura di membrane in bitume polimero verniciate con White Reflex e membrane non verniciate

Fonte: Index

## Riflettanza solare SR & Indice di riflettanza solare SRI

IL 26 giugno 2015 viene presentata una nuova normativa dal Decreto Ministeriale "Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici", in cui si individuano le modalità di applicazione della metodologia di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici, e le prescrizioni e i requisiti minimi in materia di prestazioni energetiche degli edifici.

### Riflettanza solare (SR)

La riflettanza solare è la proprietà di un materiale/superficie a riflettere l'irradiazione solare. Una superficie dotata di elevata riflettanza solare riflette la maggior parte dell'irradiazione solare incidente e quindi rimane più fresca in superficie. I colori chiari, in particolare il bianco, hanno una elevata riflettanza solare. La riflettanza solare si definisce con un valore da 0 a 1, oppure in %

È un valore misurato direttamente mediante una apparecchiatura (spettrometro) e si riferisce all'intero spettro.

### Indice di Riflettanza solare (SRI)

L'indice SRI tiene conto sia della capacità del materiale di riflettere la radiazione solare, sia della capacità di emettere la radiazione solare assorbita come radiazione termica. Dal valore della temperatura superficiale TS del materiale, l'indice SRI viene calcolato in questo modo:

$$SRI = 100 \times (T_b - T_s) / (T_b - T_w)$$

in cui  $T_b$  e  $T_w$  sono le temperature raggiunte rispettivamente da una superficie di riferimento nera (fattore di riflessione solare di 0,05 - emissività di 0,9 - SRI = 0 in condizioni ambientali standard) e di una superficie di riferimento bianca (fattore di riflessione solare 0,8 - emissività 0,9 - SRI = 100 in condizioni ambientali standard) nelle medesime condizioni ambientali per cui si è calcolata  $T_s$ .

Per come è definito l'indice SRI, ha generalmente un valore compreso tra 0 e 100 anche se sono possibili valori negativi o superiori a 100. Più l'indice è alto più la superficie esposta all'irraggiamento solare rimarrà "fresca" (ovvero avrà un basso innalzamento di temperatura).

## Aree di applicazione Cool Materials

Sulla base dei risultati ottenuti dalle simulazioni effettuate sullo stato di fatto, sono state avanzate delle proposte progettuali con il fine di correggere o migliorare, per quanto possibile, le condizioni delle aree in cui si sono riscontrate maggiori criticità in termini di comfort ambientale. La determinazione dei lotti è stata altresì frutto dell'analisi morfologica e funzionale del costruito, compatibilmente con gli elevati tempi di calcolo richiesti dal software Envi-met.

La scelta dei cool materials da applicare deriva dai presupposti di minimo intervento estetico e la reperibilità dei dati forniti dai produttori. Considerando la bassa diffusione e produzione di questo tipo di materiali sono ancora pochi i produttori in Italia a indagare il tema ma soprattutto a fornire le caratteristiche termiche desunte da specifici test.

Una volta definite le aree su cui intervenire, è stata verificata la sua efficacia in merito al miglioramento del comfort termico esterno e del microclima a livello locale. L'efficacia di tale soluzione è stata testata attraverso ulteriori simulazioni in seguito alla modellazione dell'area di intervento in ambiente Envi-met, applicando nelle aree specifiche i materiali ricreati ad hoc nel database del programma.

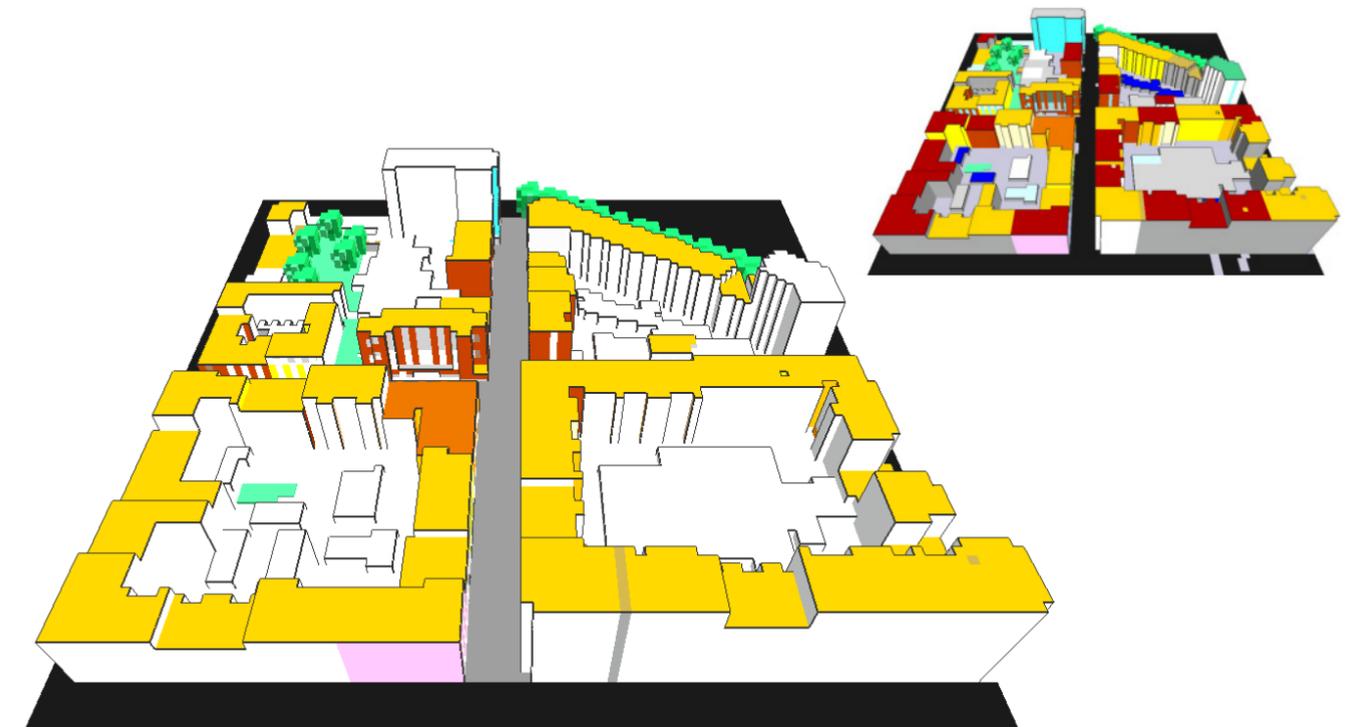
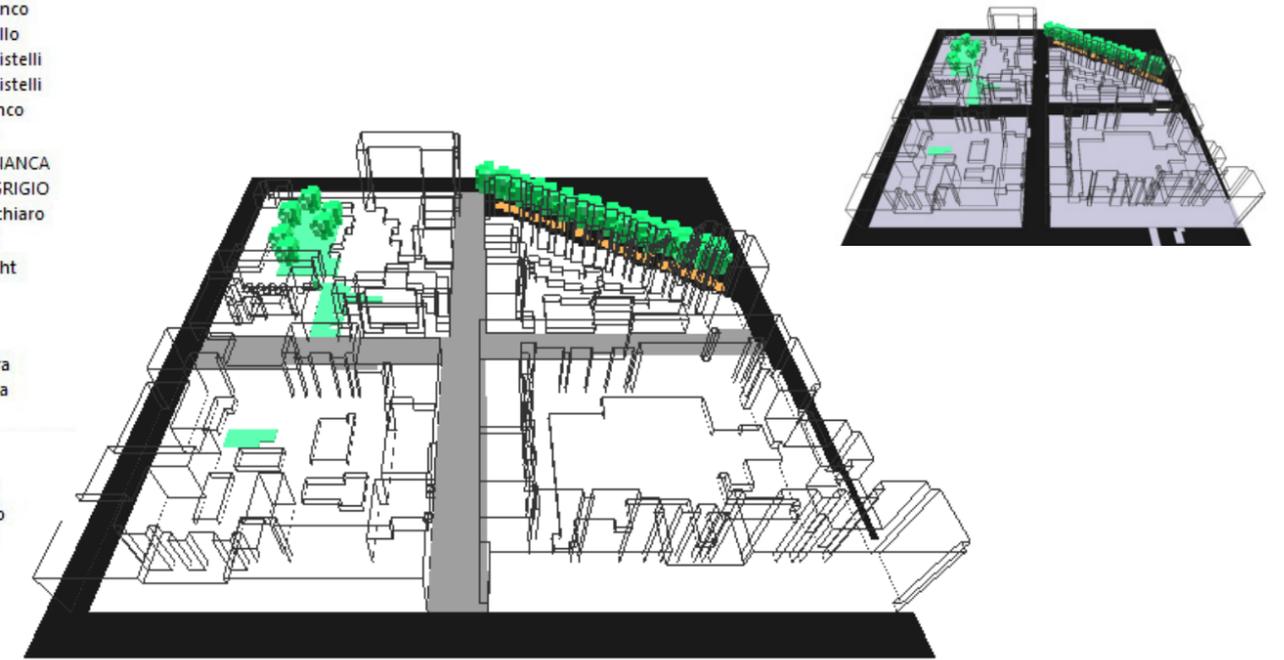
All'interno del software Envi-met sono stati creati i singoli materiali dei cool materials partendo direttamente dai dati forniti dai produttori. Non essendo state eseguiti test specifici sull'indice albedo, in sostituzione di questo è stato utilizzato l'indice SR fornito dai produttori.

Per le caratteristiche del materiale #CM2: Lastra cementizia bianca, il dato dell'indice albedo, è stato ricavato dalla media del dato di riferimento fornito dal database Envi-met versione 5.3.0. e il dato fornito da Italcementi.

L'applicazione dei materiali freddi, caratterizzati da un'alta riflettività e da un alto indice albedo, è circoscritta alle superfici esterne in corrispondenza del primo piano fuori terra quelle in corrispondenza all'aria percepita ad "altezza uomo".

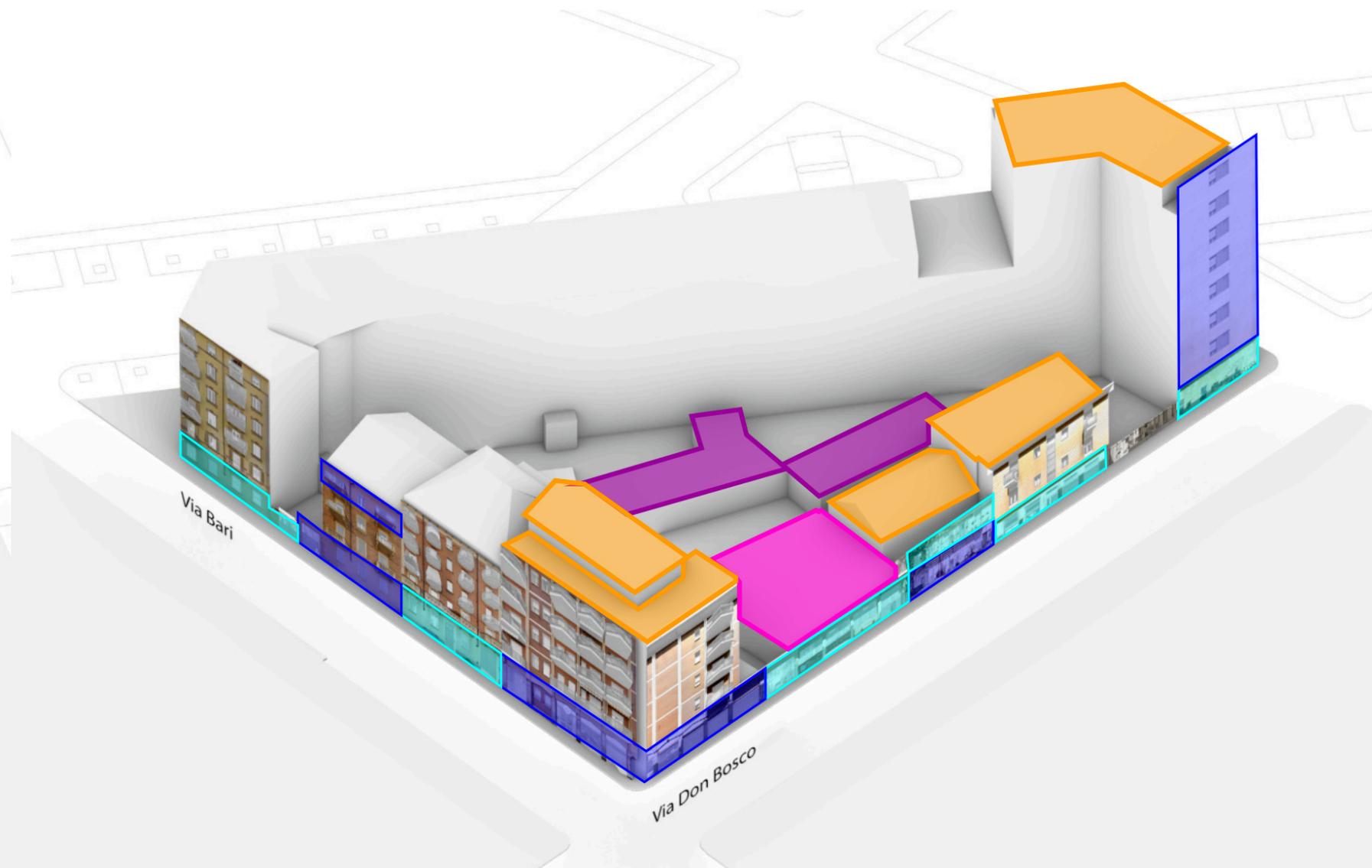
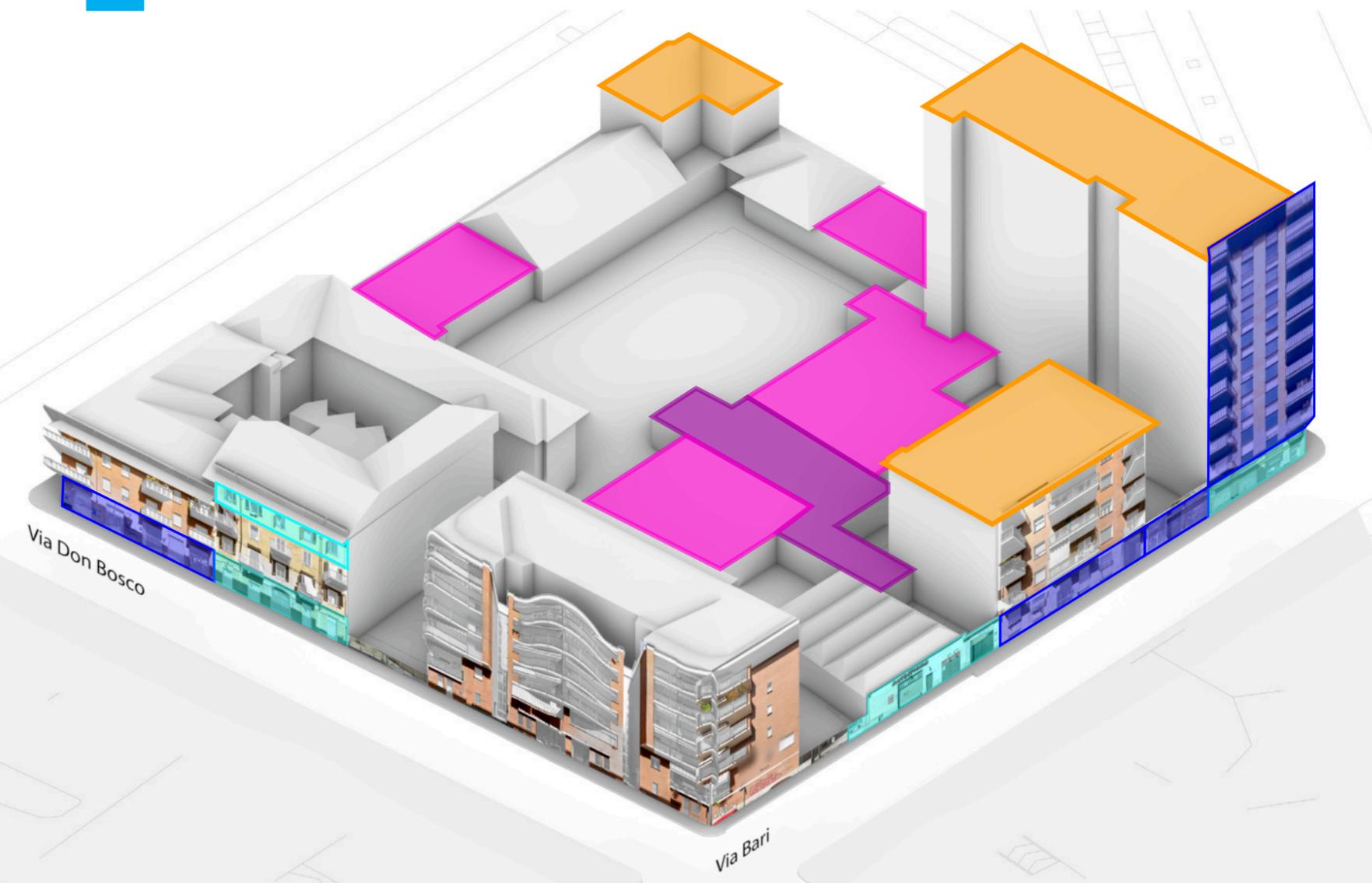
Tuttavia, sono stati applicati materiali freddi nelle coperture dei fabbricati interni agli isolati e tegole in cotto in alcune delle coperture a falda per verificare il comportamento dei materiali rispetto al microclima urbano. La pavimentazione esterna asfaltata è stata sostituita con un materiale freddo permeabile, simulando la traspirazione del materiale attraverso le caratteristiche di calore specifico e densità. Analogamente, la pavimentazione interna agli isolati è stata sostituita con un materiale cementizio traspirante di colore chiaro.

- M1 [0000M1] #M1\_Travertino cocchiame
- M2 [0000M2] #M2\_Travertino bianco
- M3 [0000M3] #M3\_Travertino giallo
- M4 [0000M4] #M4\_Travertino in listelli
- M5 [0000M5] #M5\_Travertino in listelli
- R1 [0000R1] #M2\_Travertino bianco
- R2 [0000R2] Roofing: terracotta
- C1 [0002C1] COOL: LASTA CEM BIANCA
- C2 [0002C2] COOL: LASTA CEM GRIGIO
- I2 [0000I2] #I2\_Intonaco giallo chiaro
- I1 [0000I1] #I1\_intonaco chiaro
- C2 [0000C2] Concrete: lightweight
- P1 [0000P1] Lastre in granito
- P2 [0000P2] Pietra grigia
- P3 [0000P3] Ardesia
- P4 [0000P4] Pietra occitana chiara
- P5 [0000P5] Pietra occitana grigia
- G1 [0000G1]
- G3 [0000G3] foamed glass
- G4 [0000G4] clear float glass
- L1 [0000L1] #L1\_Laterizio chiaro
- L2 [0000L2] #L2\_Laterizio arancio
- L3 [0000L3] #L3\_Laterizio cotto



# CM2  
lastra cementizia  
BIANCA  
SR: 0.74  
SRI: 1.00  
ε: 0.88

# Aree di applicazione Cool Materials



**# CM2**  
**lastra cementizia**  
**BIANCA**  
 SR: 0.74  
 SRI: 100  
 ε: 0.88



**# CM2.2**  
**lastra cementizia**  
**GRIGIO**  
 SR: 41  
 SRI: 46  
 ε: 0.88

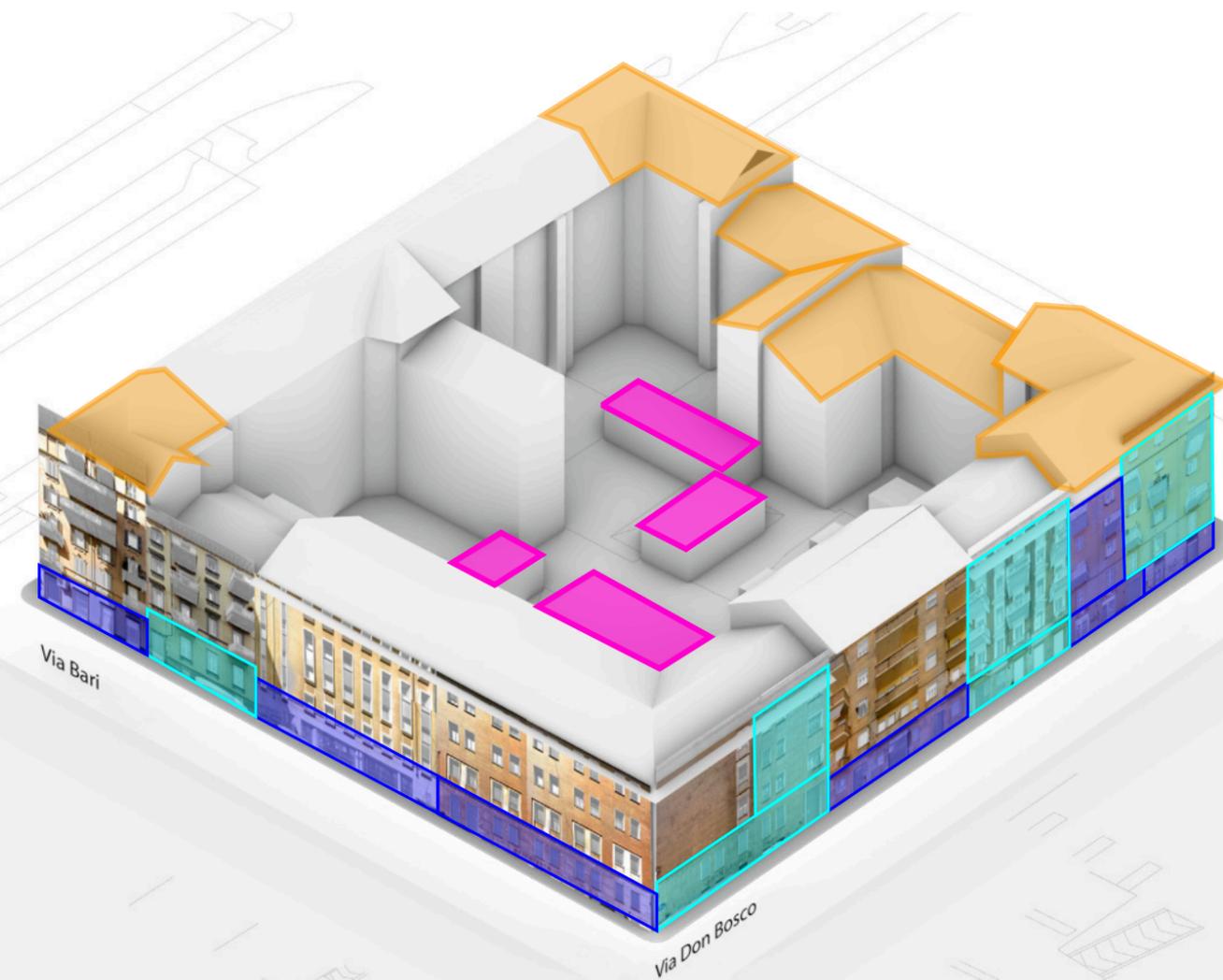
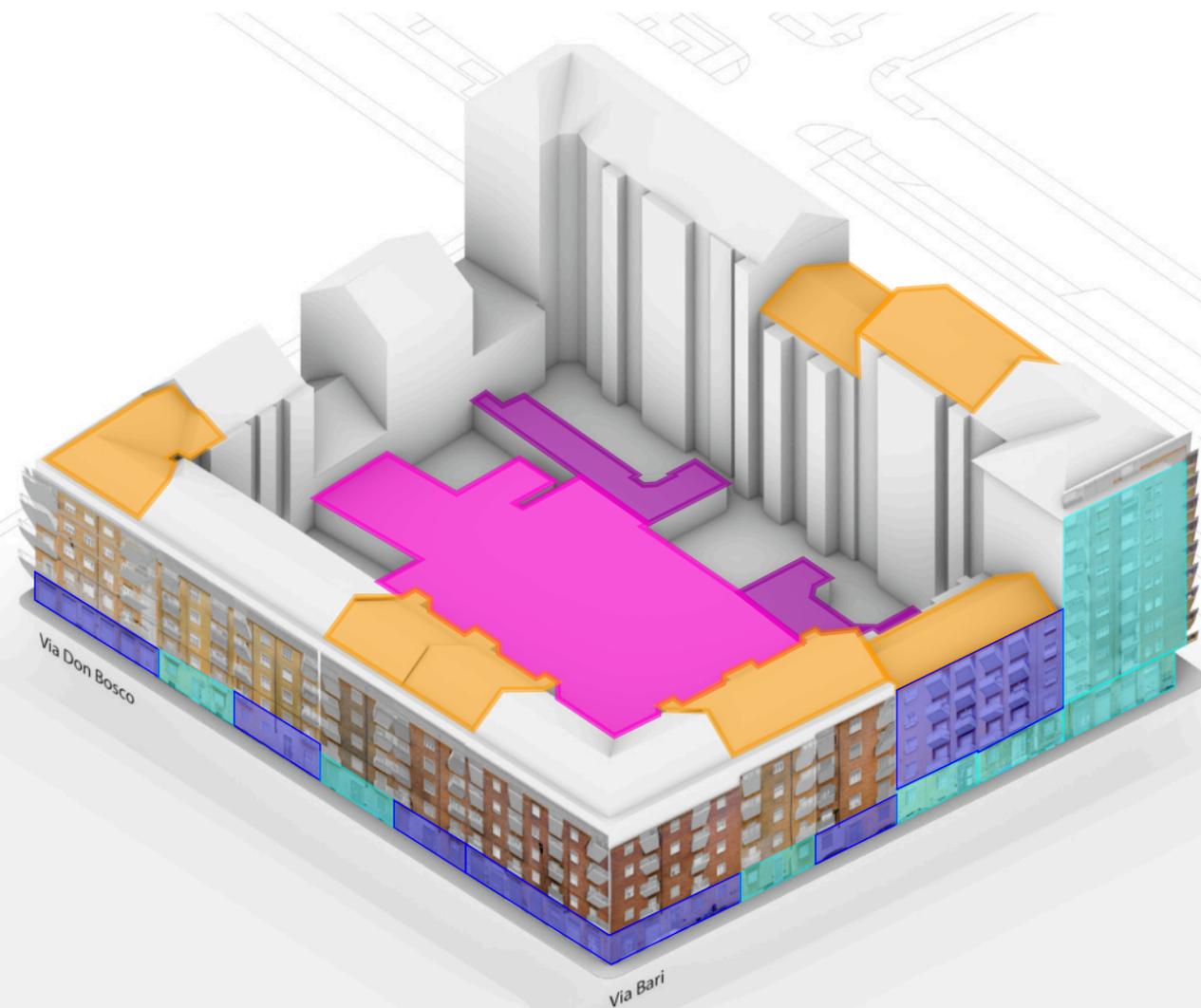


**# CM3**  
**White reflex ultra**  
 SRI: 110  
 %: 0.86  
 ε: 0.91



**# C1**  
**Coppi in laterizio nuovi**  
 A: 0.5      c: 840 J/K  
 %: 0.5      λ: 0.81 W/mK  
 ε: 0.9      ρ: 1700 kg/m³

# Aree di applicazione Cool Materials



**# CM2**  
**lastra cementizia**  
**BIANCA**  
 SR: 0.74  
 SRI: 100  
 ε: 0.88



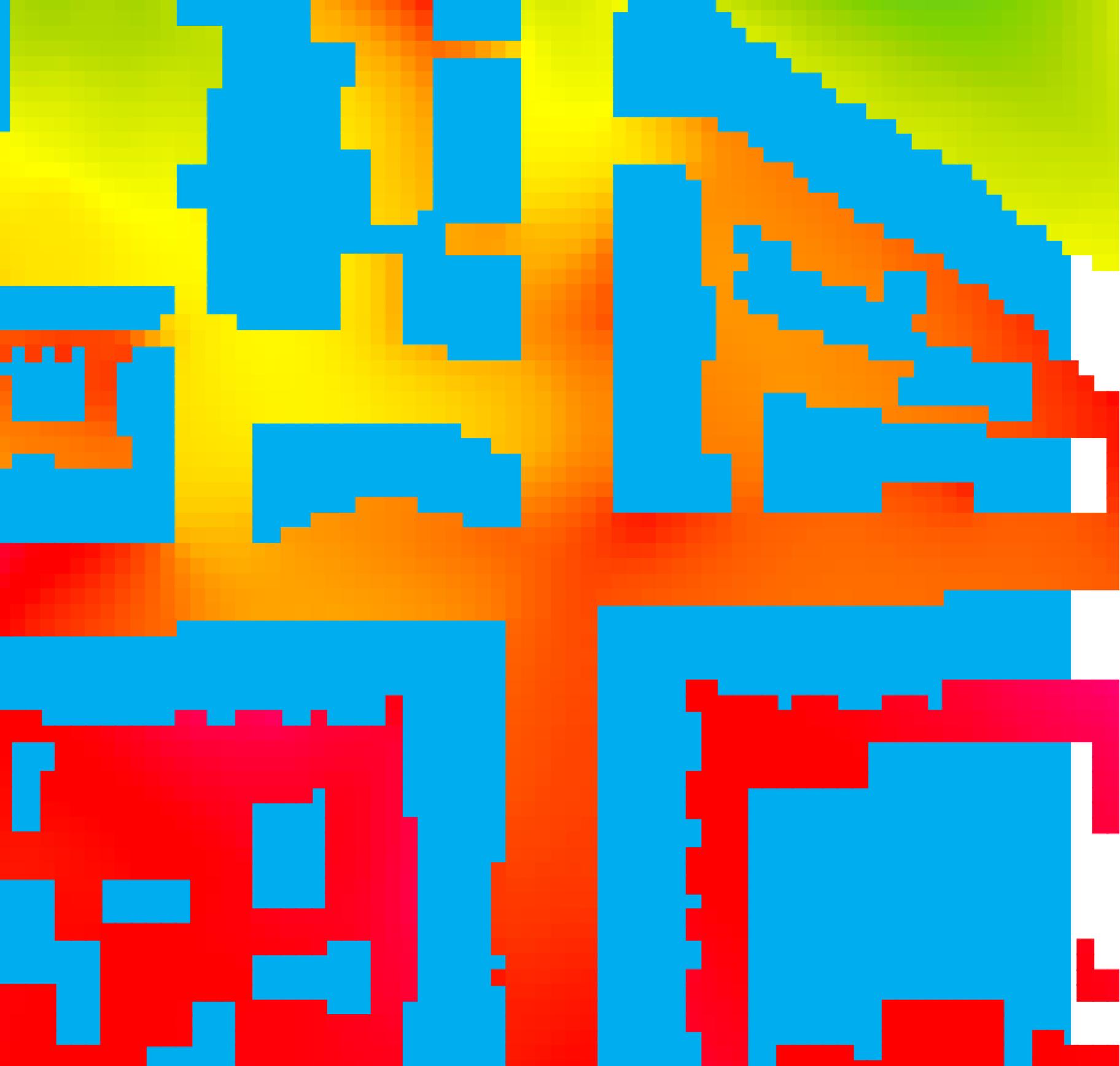
**# CM2.2**  
**lastra cementizia**  
**GRIGIO**  
 SR: 41  
 SRI: 46  
 ε: 0.88



**# CM3**  
**White reflex ultra**  
 SRI: 110  
 %: 0.86  
 ε: 0.91



**# C1**  
**Coppi in laterizio nuovi**  
 A: 0.5      c: 840 J/K  
 %: 0.5      λ: 0.81 W/mK  
 ε: 0.9      ρ: 1700 kg/m³



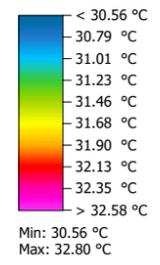
**RESPONSO  
ANALITICO**

**TEMPERATURA  
DELL'ARIA**

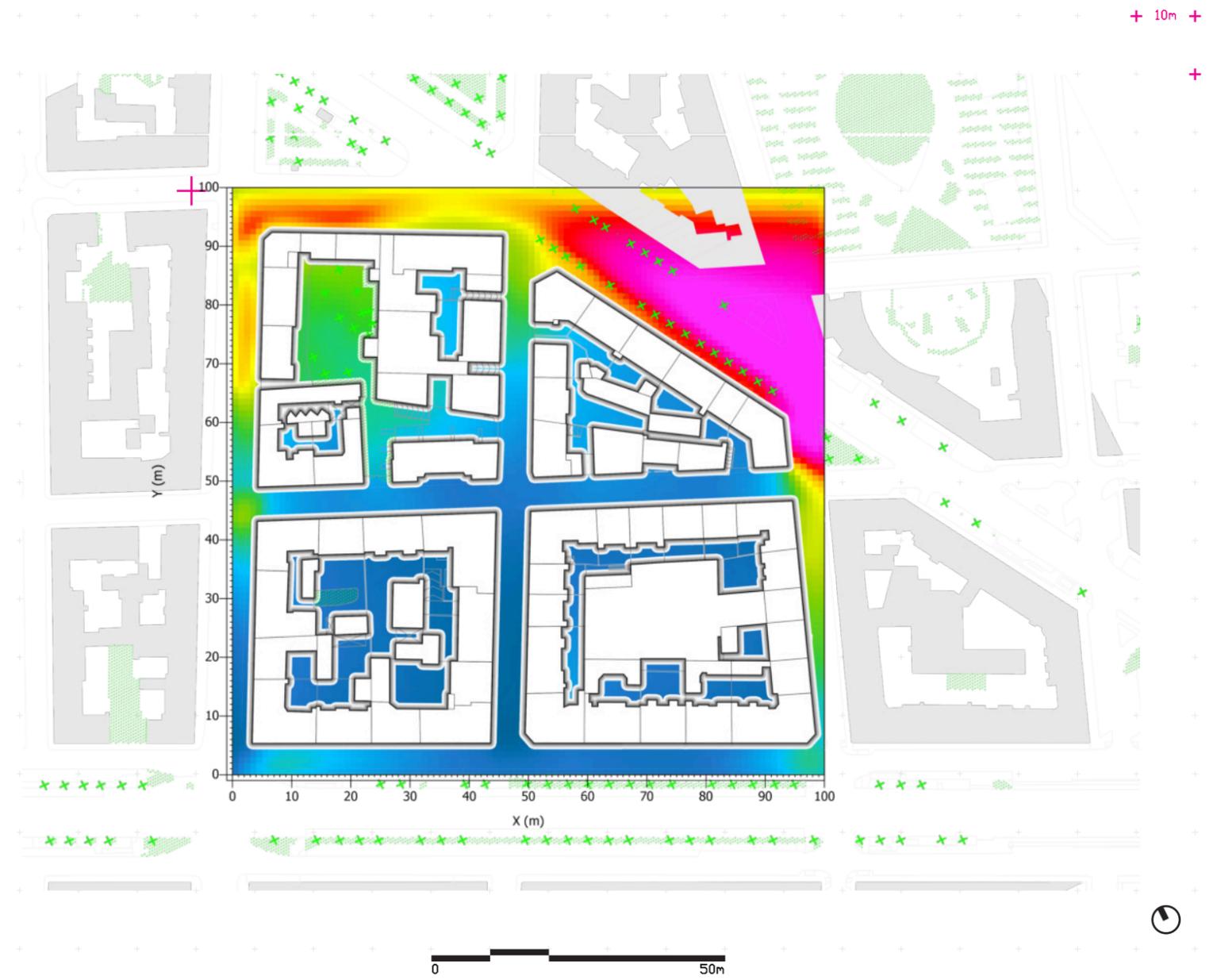
# Responso analitico \_Temperatura dell'aria

Scala 1:2000  
x/z k:2 (1.5m)

Fonte: Rielaborazione propria da  
output Envi-met

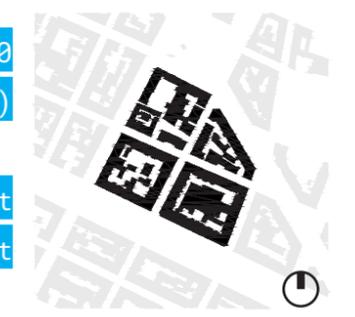


10H

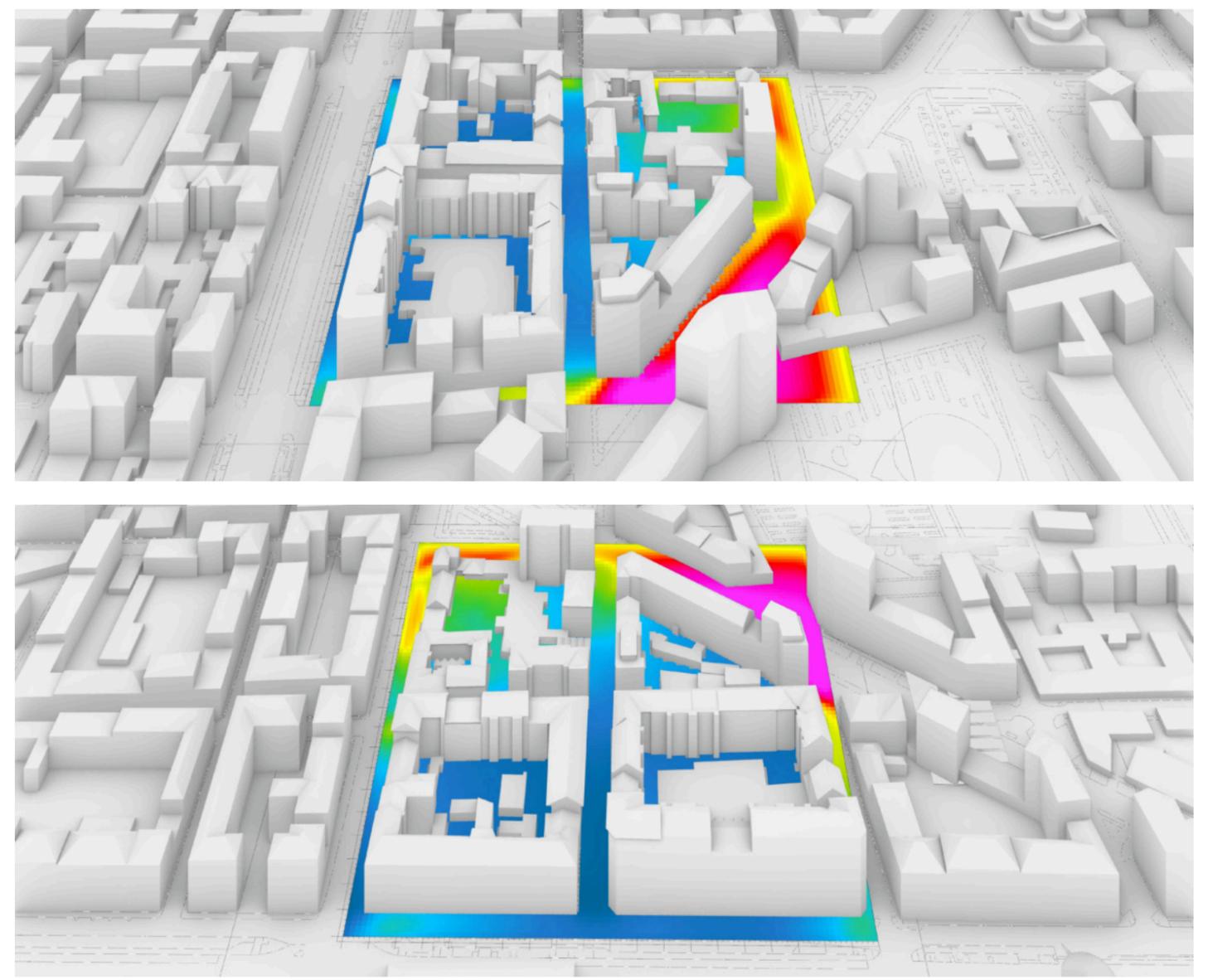


Scala 1:2000  
x/z k:2 (1.5m)

Fonte: Rielaborazione propria da output  
Envi-met

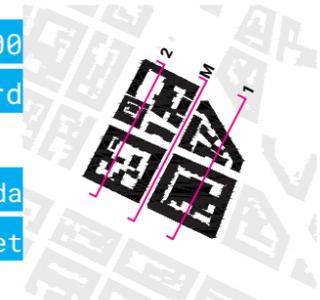
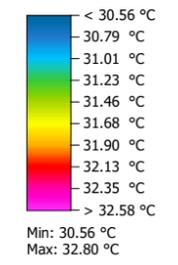


10H

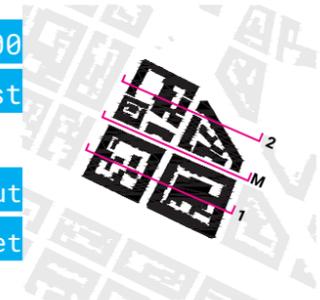


# Responso analitico \_Temperatura dell'aria

Scala 1:2000  
Sezioni Sud -Nord  
Fonte: Rielaborazione propria da  
output Envi-met

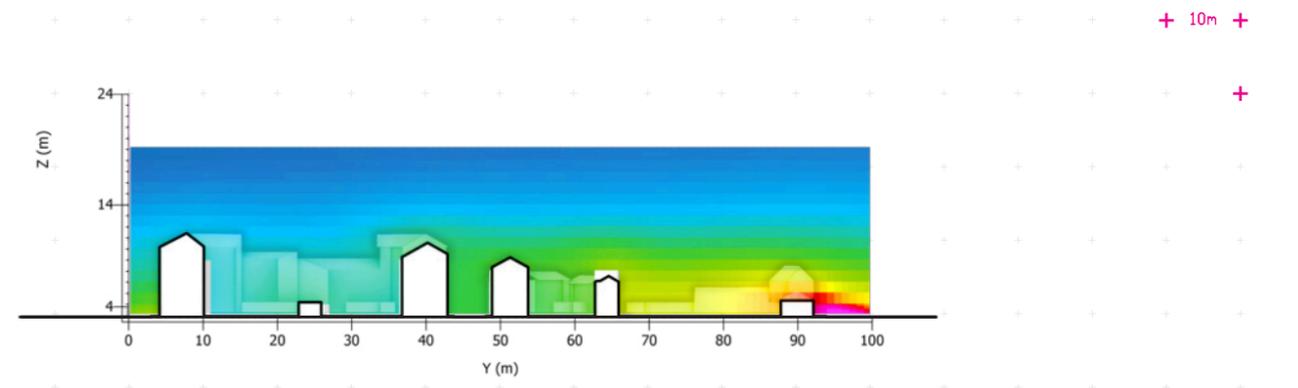
Scala 1:1000  
Sezioni Ovest-Est  
Fonte: Rielaborazione propria da output  
Envi-met



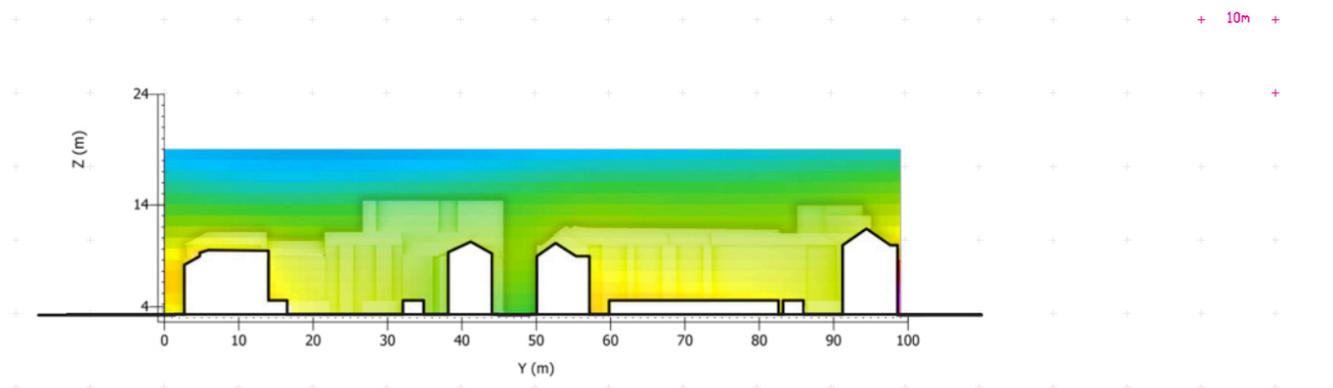
10H

10H

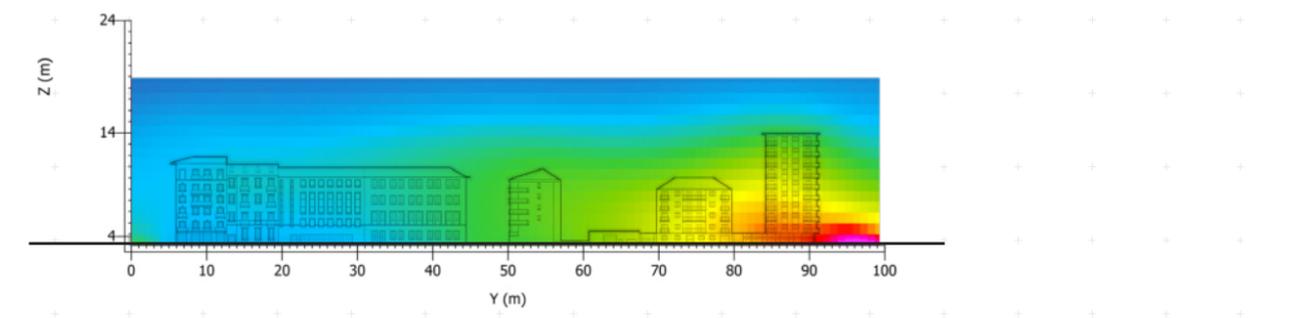
Sezione 2  
y/z j:17 (x:35m)



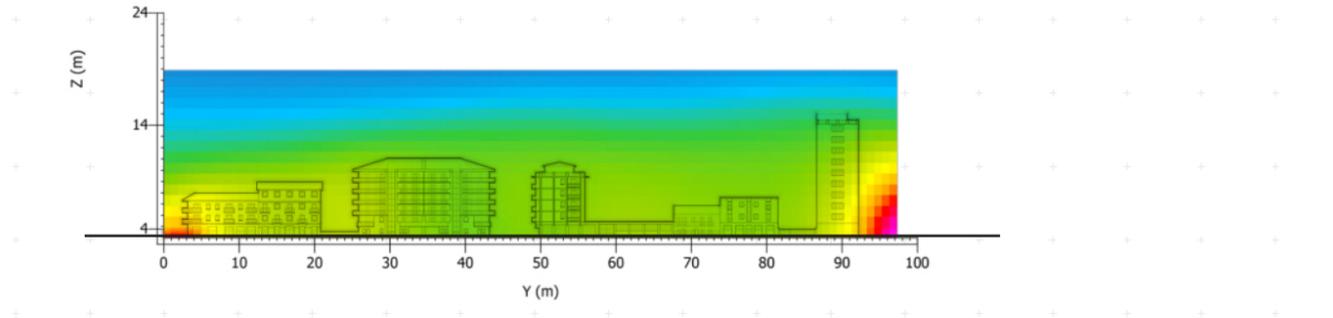
Sezione 2  
x/z j:22 (x:45m)



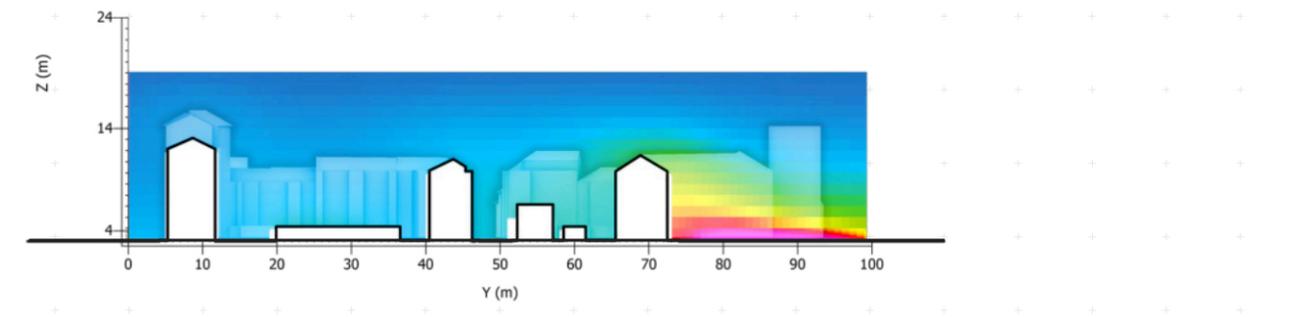
Sezione M  
y/z j:48 (x:97m)



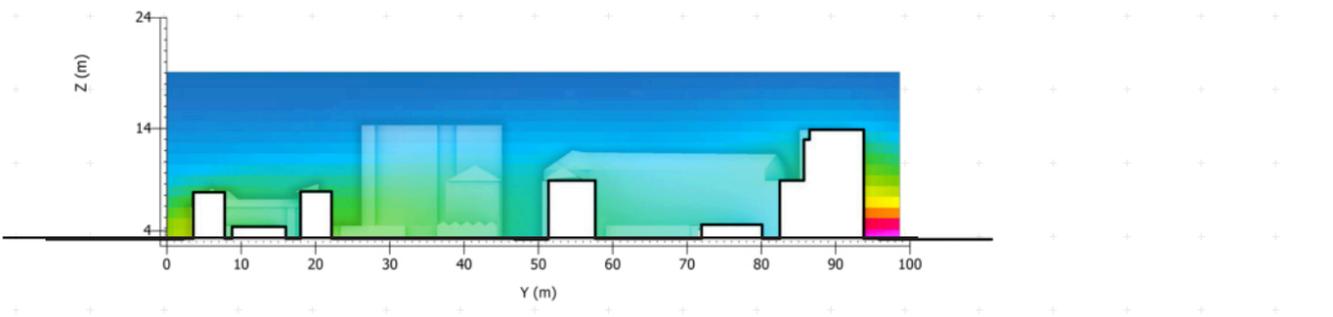
Sezione M  
x/z j:47 (x:95m)



Sezione 1  
y/z j:75 (x:151m)



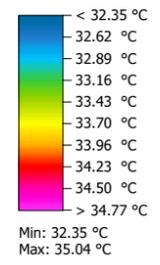
Sezione 1  
x/z j:60 (x:121m)



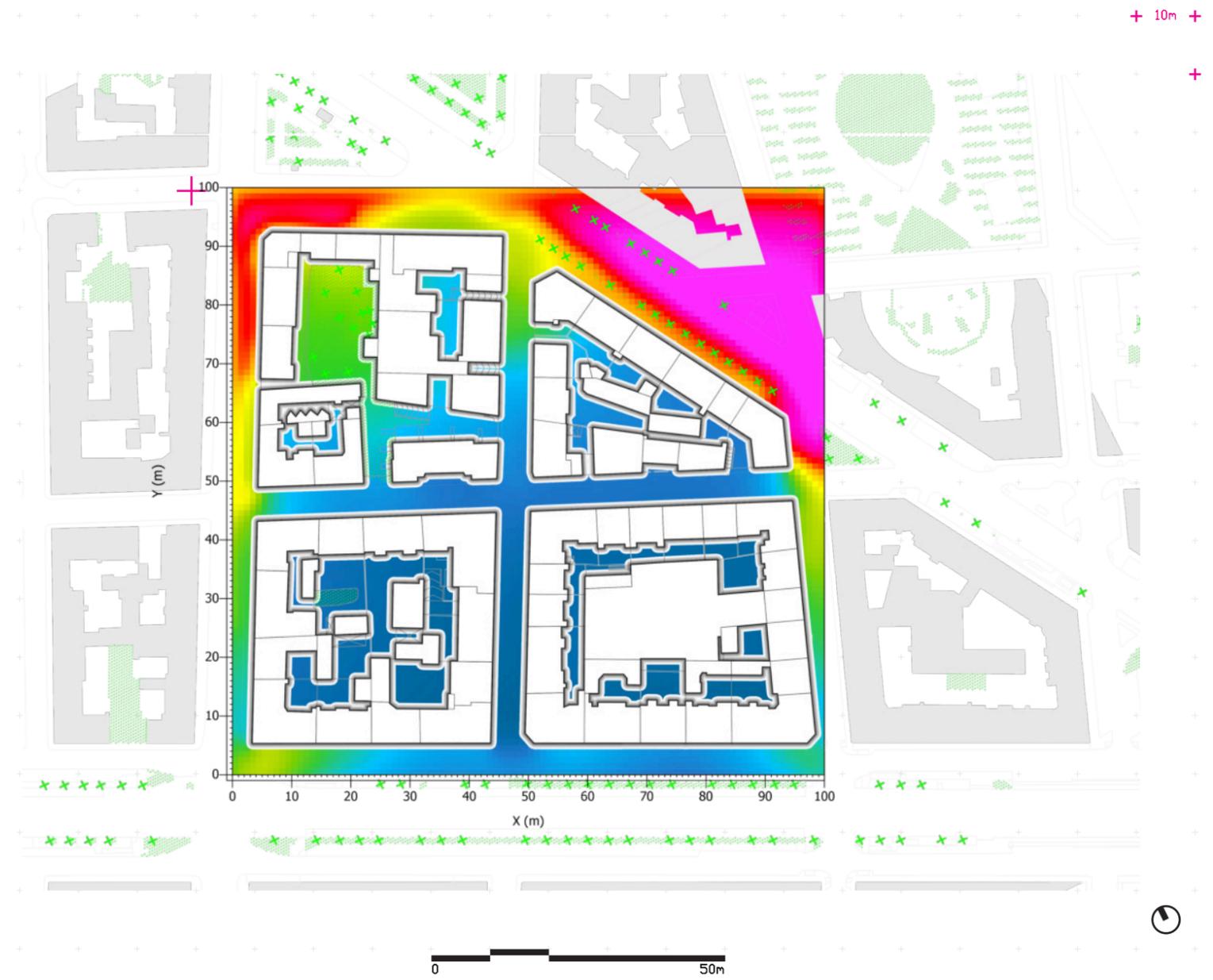
# Responso analitico \_Temperatura dell'aria

Scala 1:2000  
x/z k:2 (1.5m)

Fonte:Rielaborazione propria da  
output Envi-met

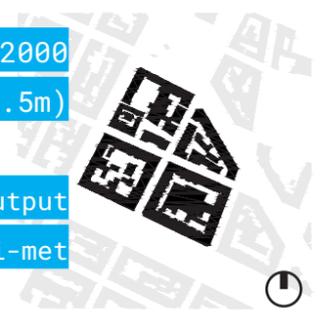


12H

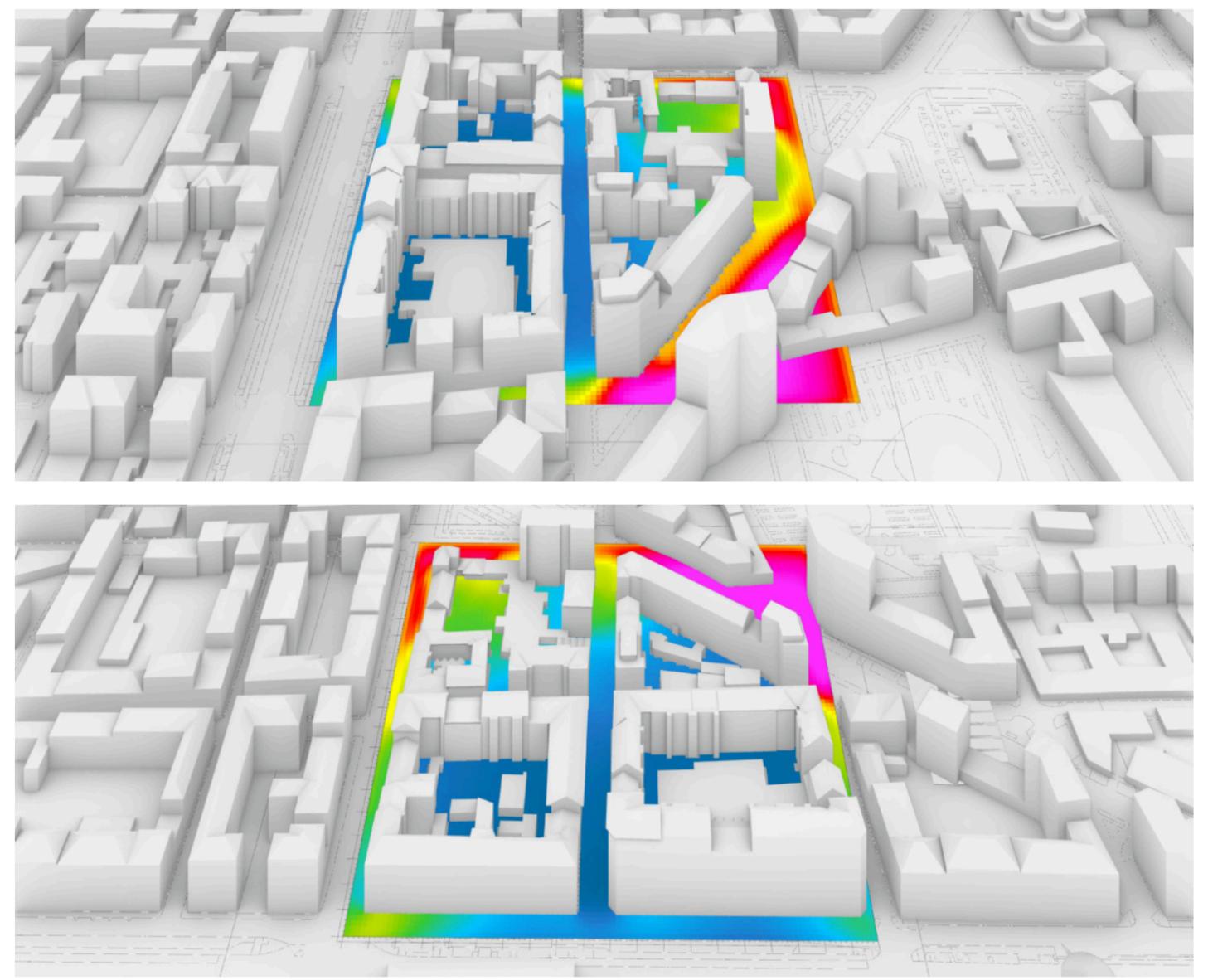


Scala 1:2000  
x/z k:2 (1.5m)

Fonte:Rielaborazione propria da output  
Envi-met

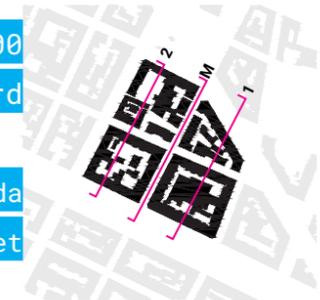
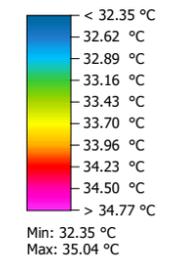


12H

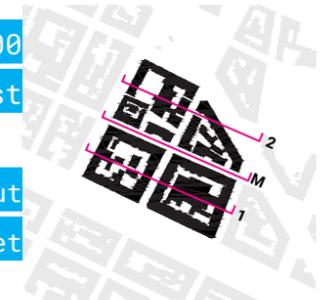


# Responso analitico \_Temperatura dell'aria

Scala 1:2000  
Sezioni Sud -Nord  
Fonte: Rielaborazione propria da  
output Envi-met

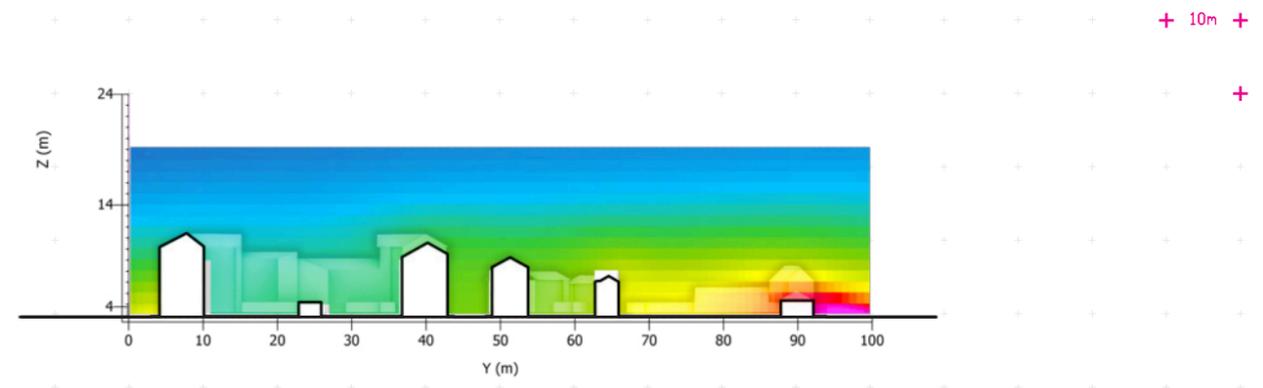
Scala 1:1000  
Sezioni Ovest-Est  
Fonte: Rielaborazione propria da output  
Envi-met



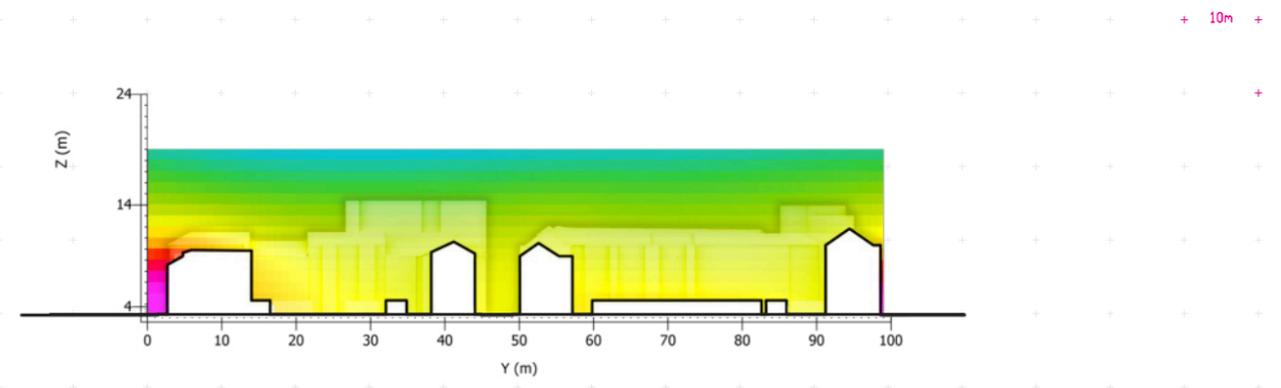
12H

12H

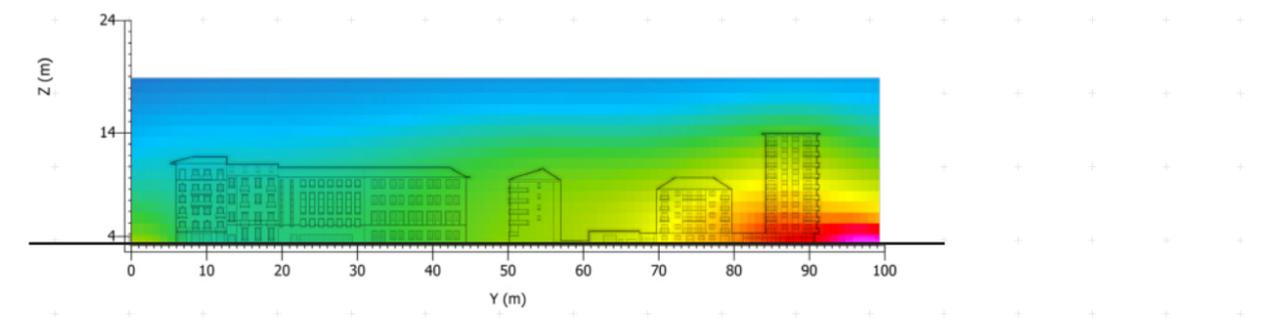
Sezione 2  
y/z j:17 (x:35m)



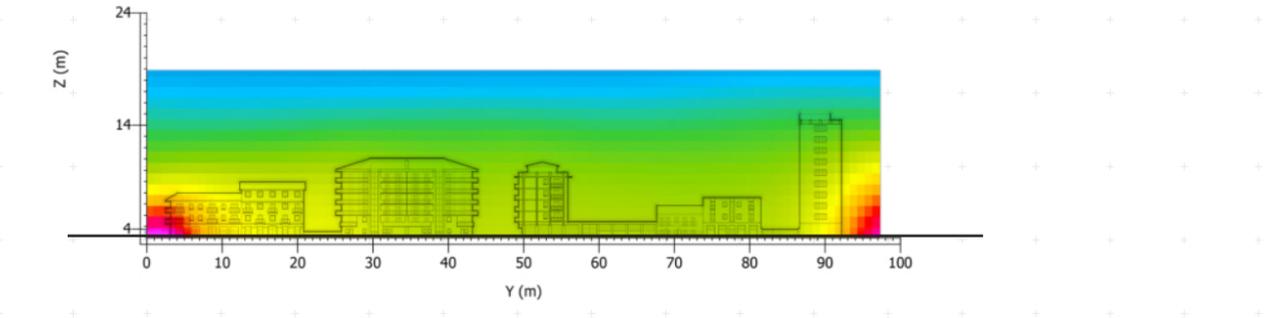
Sezione 2  
x/z j:22 (x:45m)



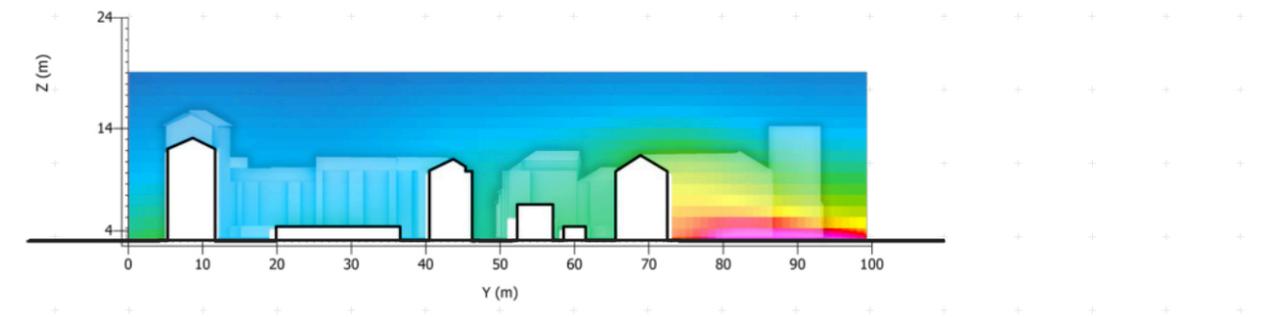
Sezione M  
y/z j:48 (x:97m)



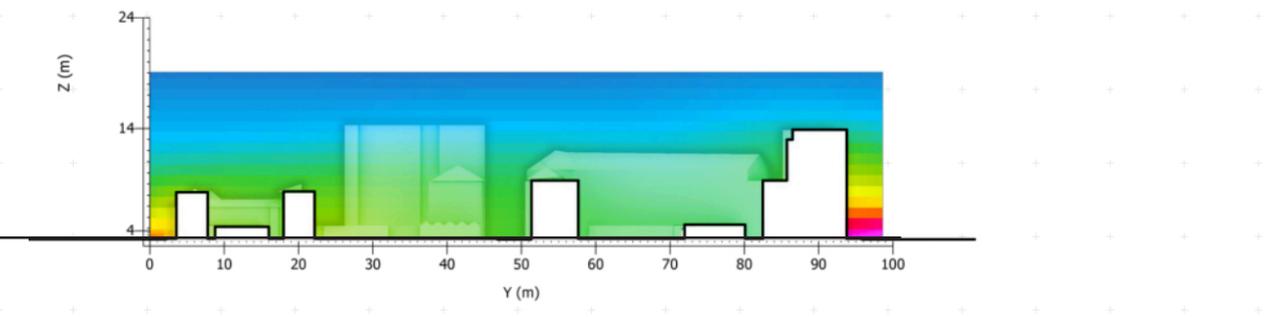
Sezione M  
x/z j:47 (x:95m)



Sezione 1  
y/z j:75 (x:151m)



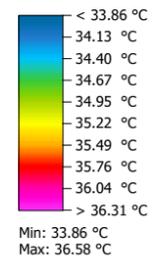
Sezione 1  
x/z j:60 (x:121m)



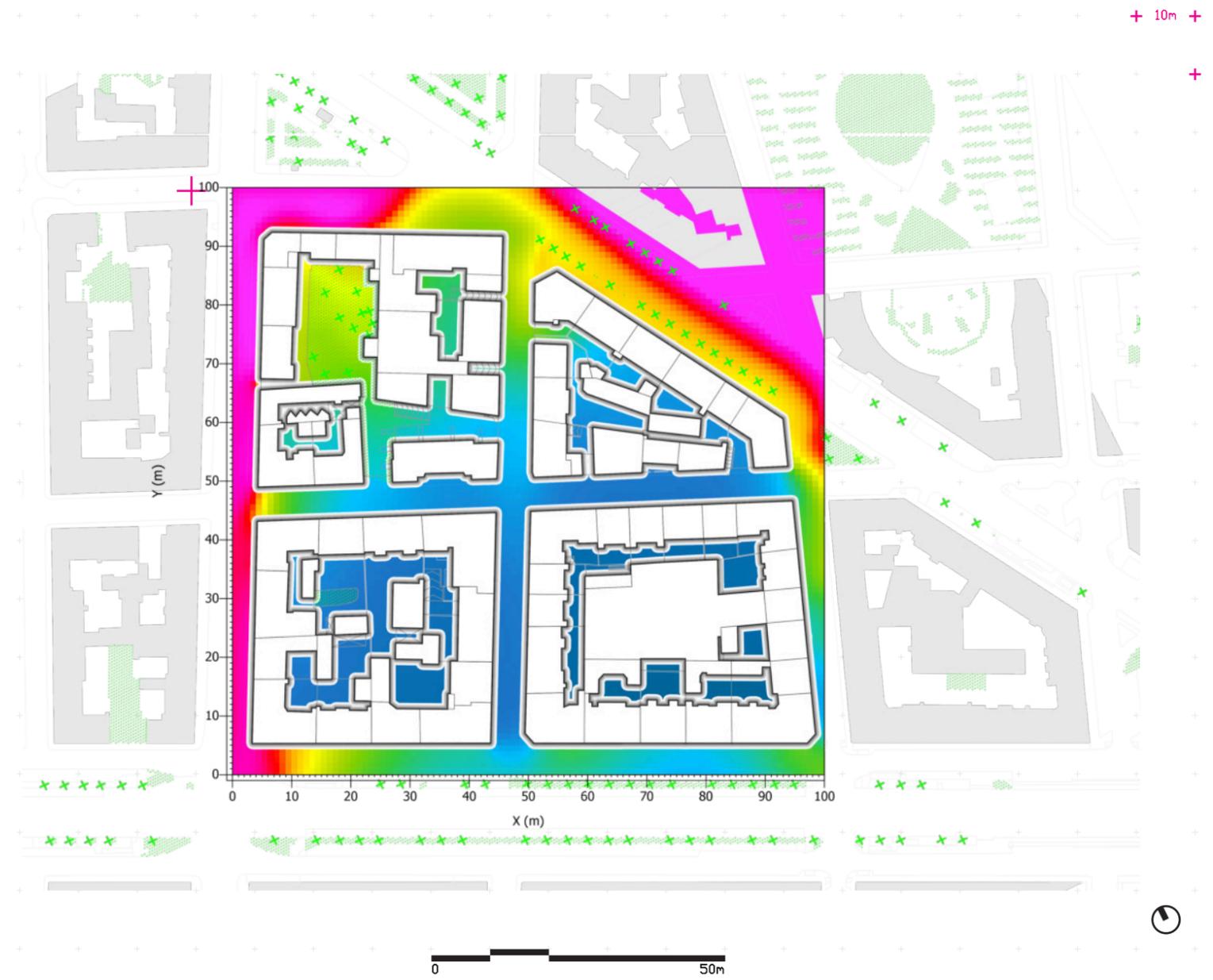
# Responso analitico \_Temperatura dell'aria

Scala 1:2000  
x/z k:2 (1.5m)

Fonte:Rielaborazione propria da  
output Envi-met

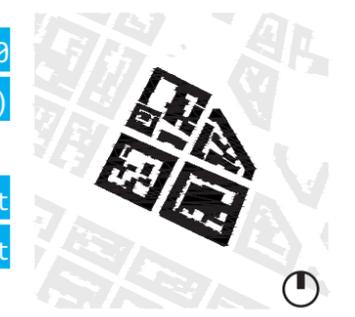


15H

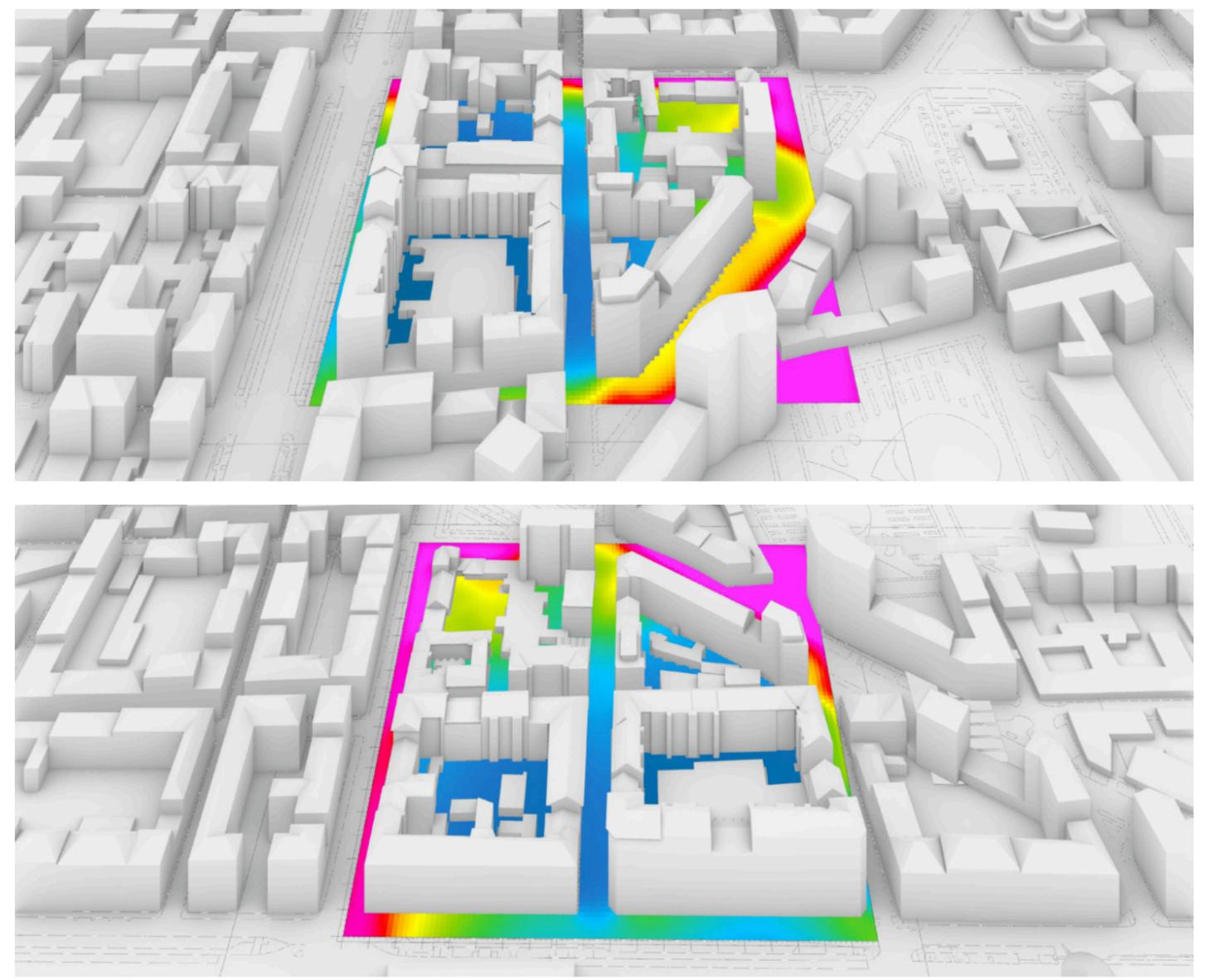


Scala 1:2000  
x/z k:2 (1.5m)

Fonte:Rielaborazione propria da output  
Envi-met



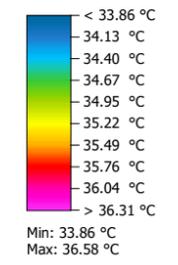
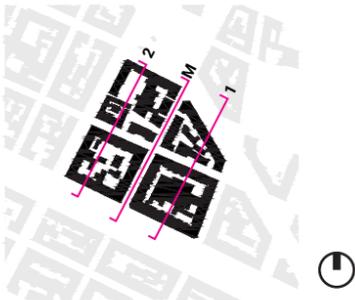
15H



# Responso analitico \_Temperatura dell'aria

Scala 1:2000  
Sezioni Sud -Nord

Fonte: Rielaborazione propria da  
output Envi-met



Scala 1:1000  
Sezioni Ovest-Est

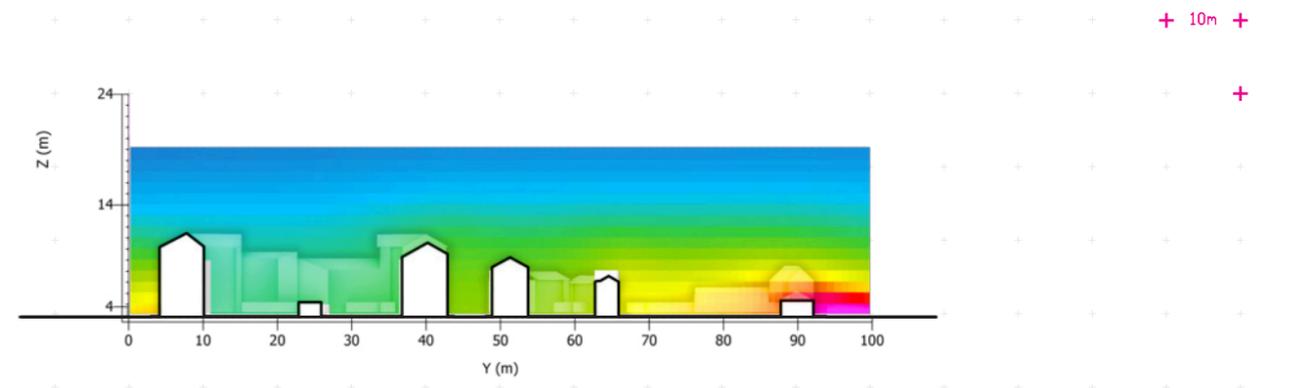
Fonte: Rielaborazione propria da output  
Envi-met



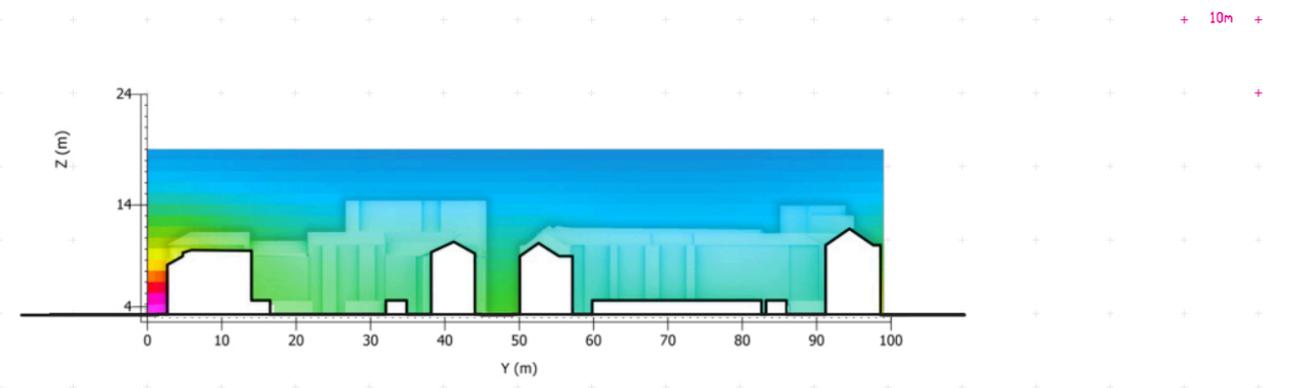
15H

15H

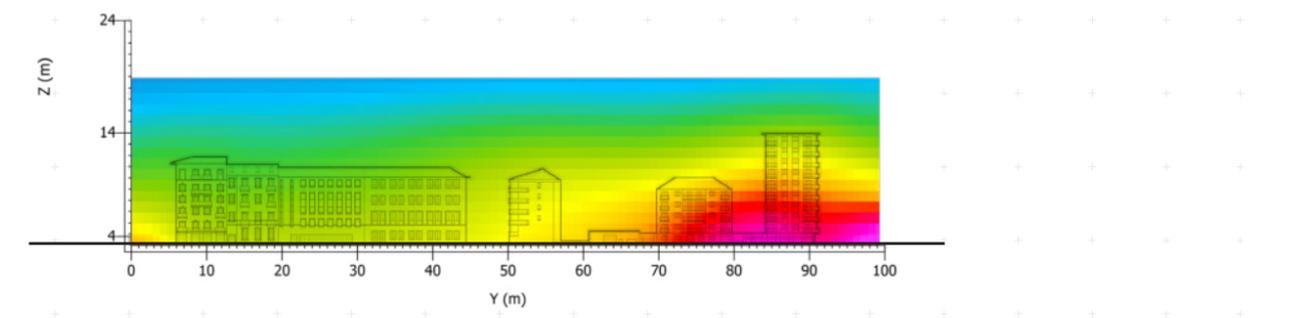
Sezione 2  
y/z j:17 (x:35m)



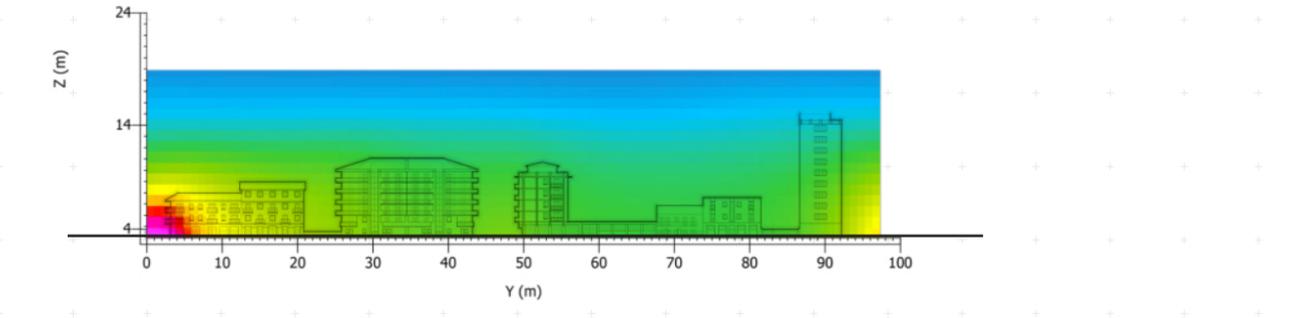
Sezione 2  
x/z j:22 (x:45m)



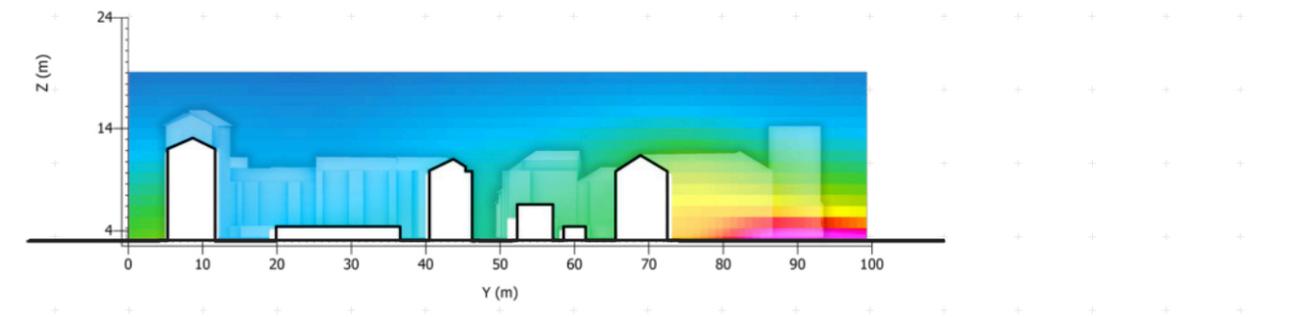
Sezione M  
y/z j:48 (x:97m)



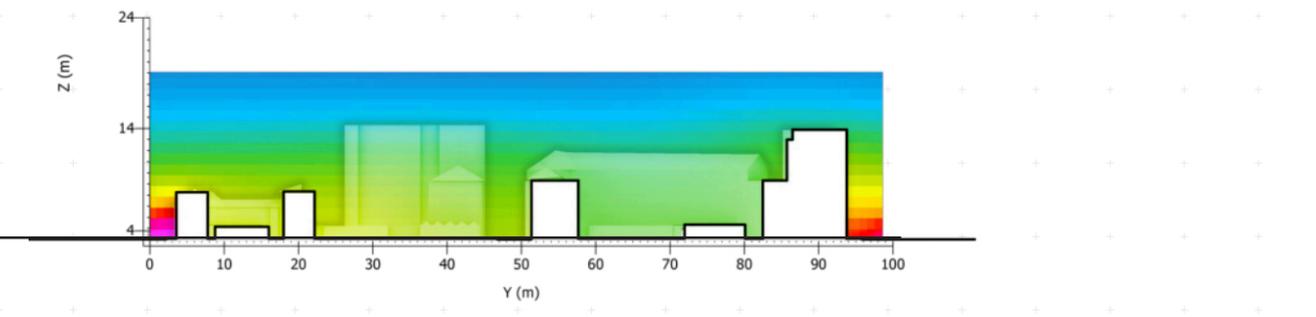
Sezione M  
x/z j:47 (x:95m)



Sezione 1  
y/z j:75 (x:151m)

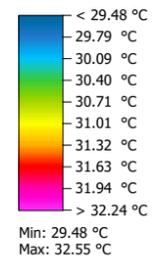


Sezione 1  
x/z j:60 (x:121m)

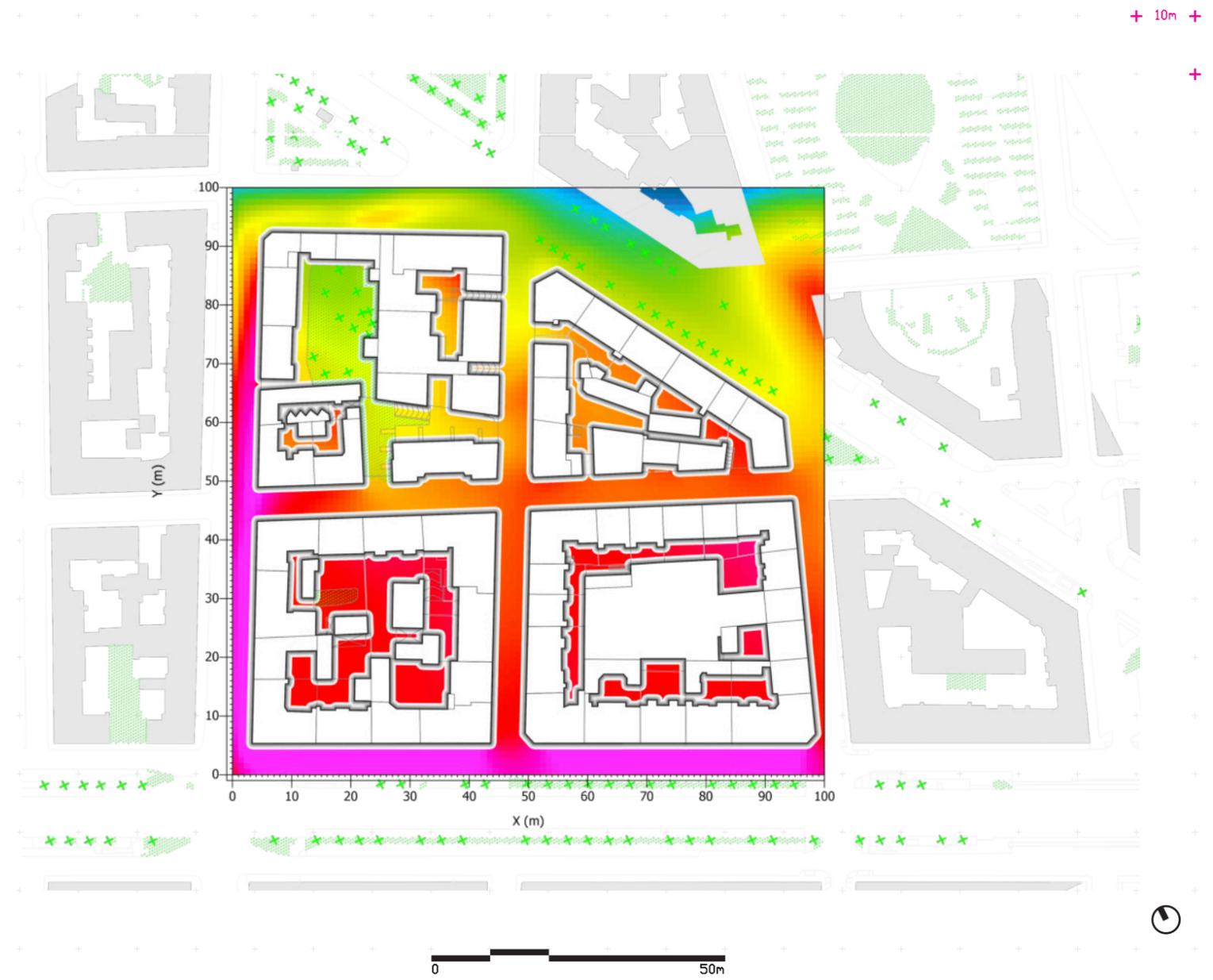


# Responso analitico \_Temperatura dell'aria

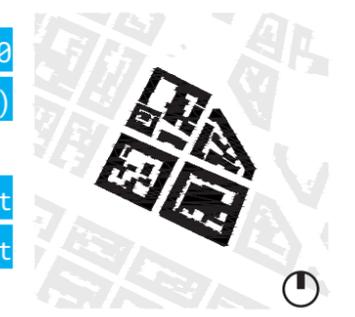
Scala 1:2000  
x/z k:2 (1.5m)  
Fonte: Rielaborazione propria da  
output Envi-met  
Min: 29.48 °C  
Max: 32.55 °C



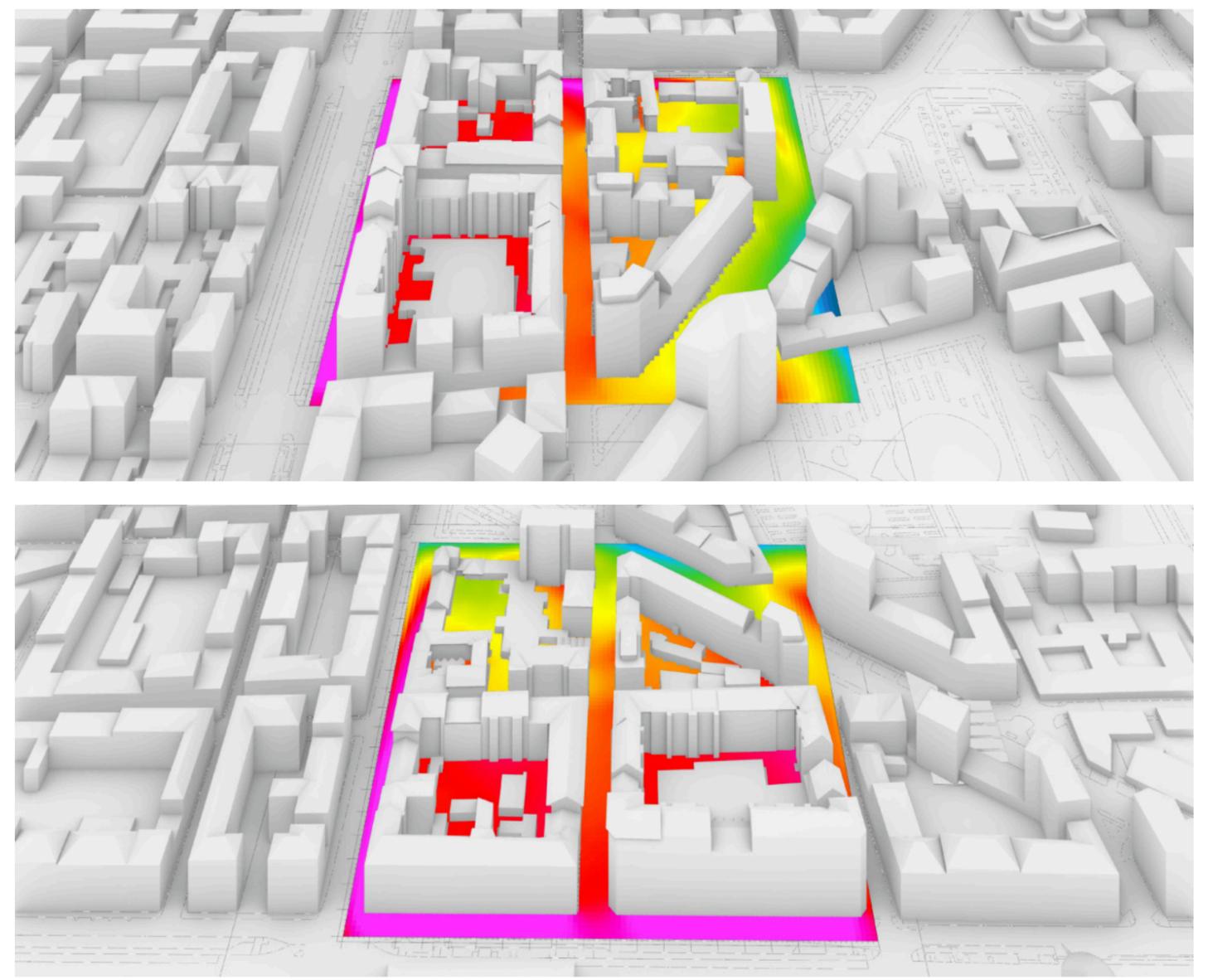
18H



Scala 1:2000  
x/z k:2 (1.5m)  
Fonte: Rielaborazione propria da output  
Envi-met



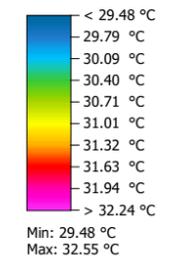
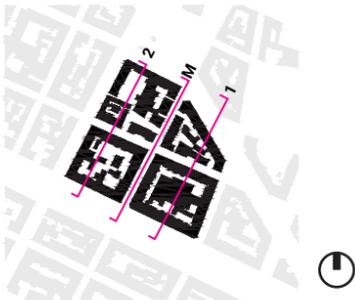
18H



# Responso analitico \_Temperatura dell'aria

Scala 1:2000  
Sezioni Sud -Nord

Fonte: Rielaborazione propria da  
output Envi-met



Scala 1:1000  
Sezioni Ovest-Est

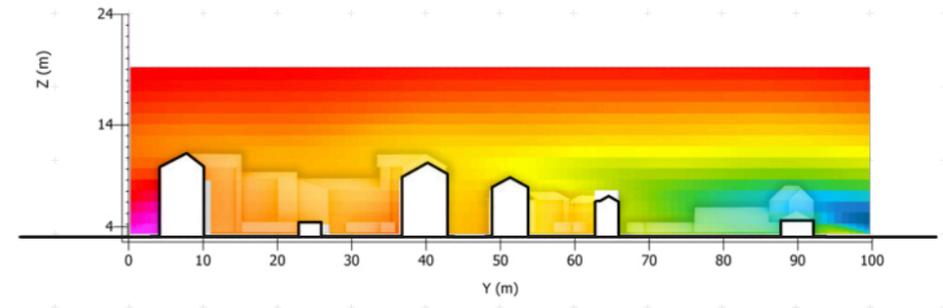
Fonte: Rielaborazione propria da output  
Envi-met



18H

18H

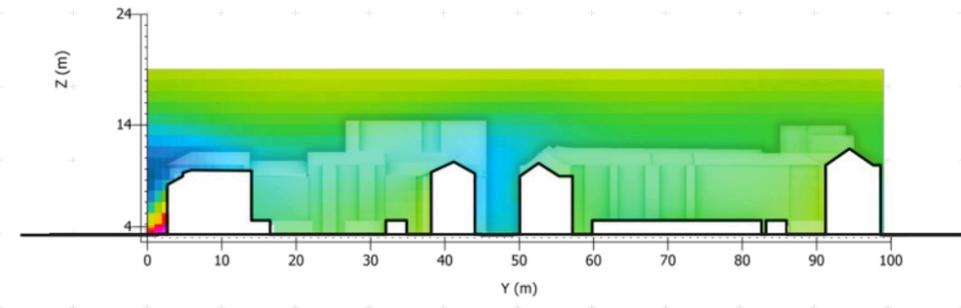
Sezione 2  
y/z j:17 (x:35m)



+ 10m +

+

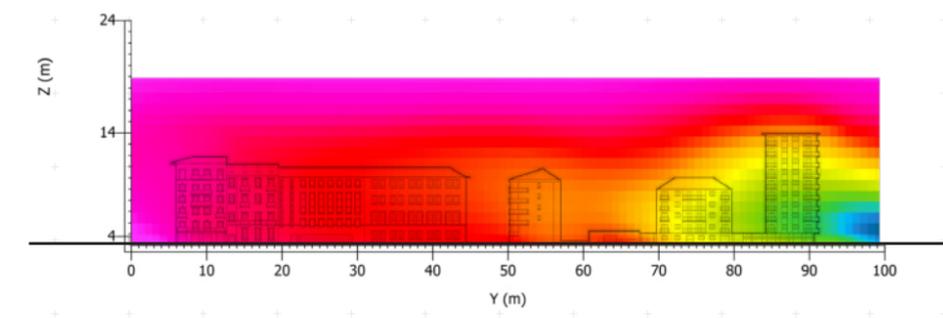
Sezione 2  
x/z j:22 (x:45m)



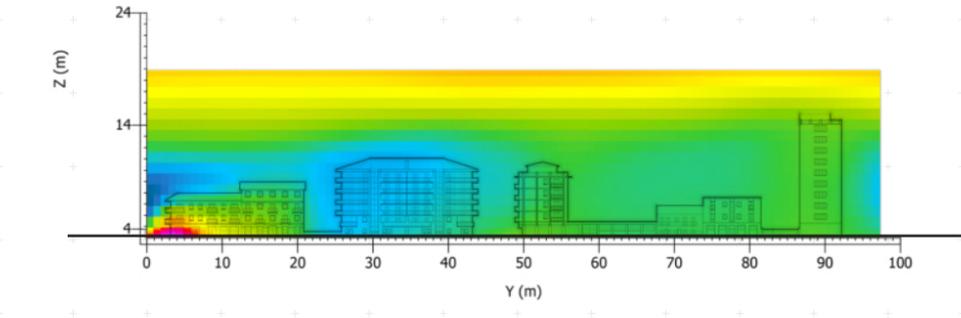
+ 10m +

+

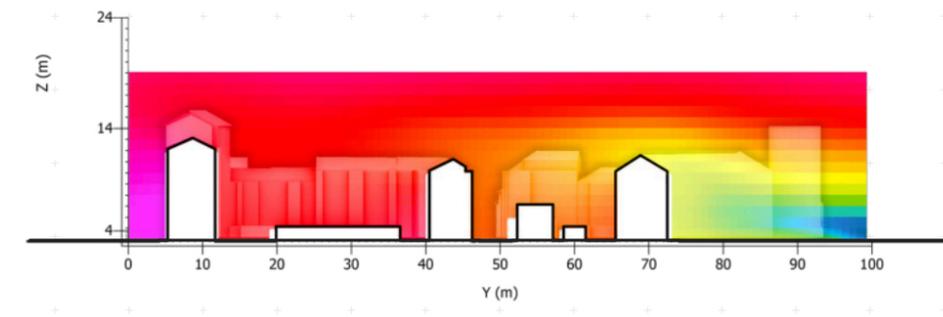
Sezione M  
y/z j:48 (x:97m)



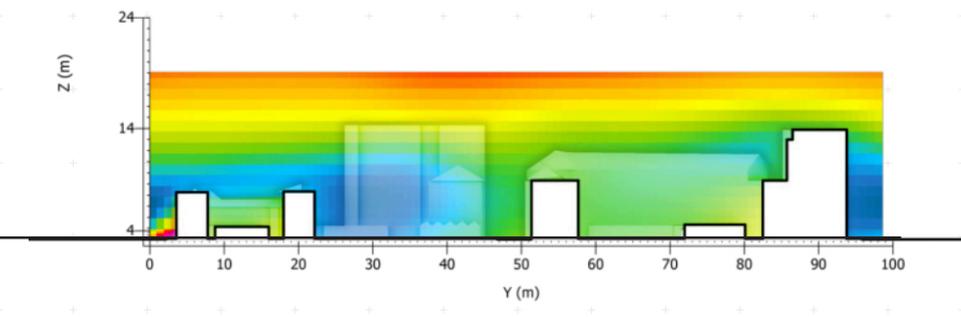
Sezione M  
x/z j:47 (x:95m)



Sezione 1  
y/z j:75 (x:151m)

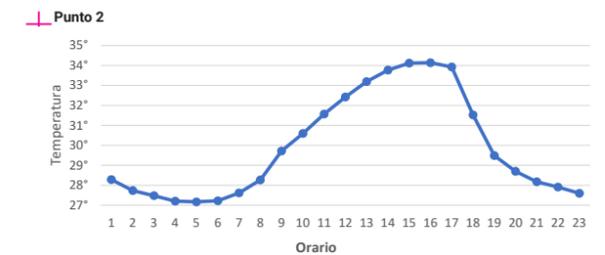
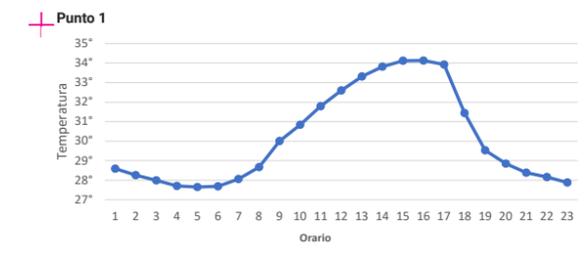


Sezione 1  
x/z j:60 (x:121m)



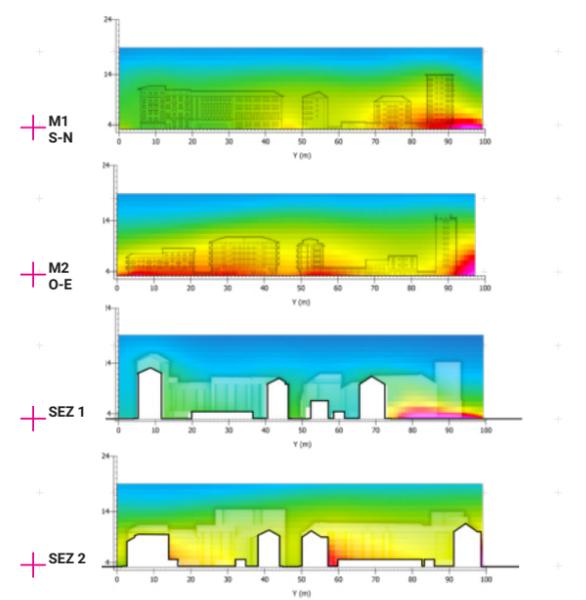
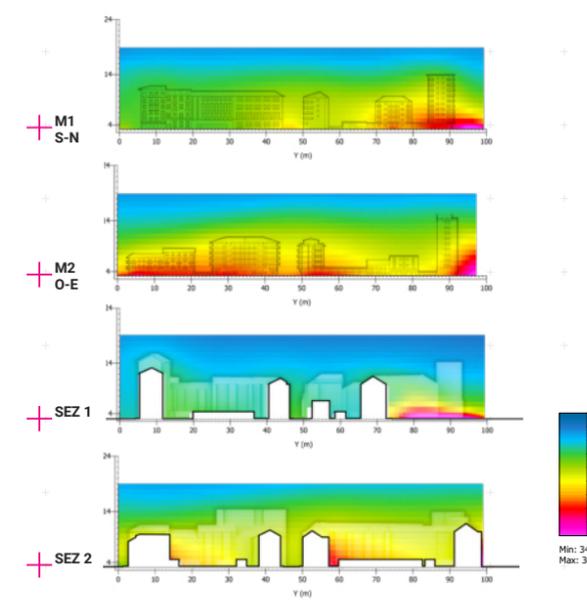
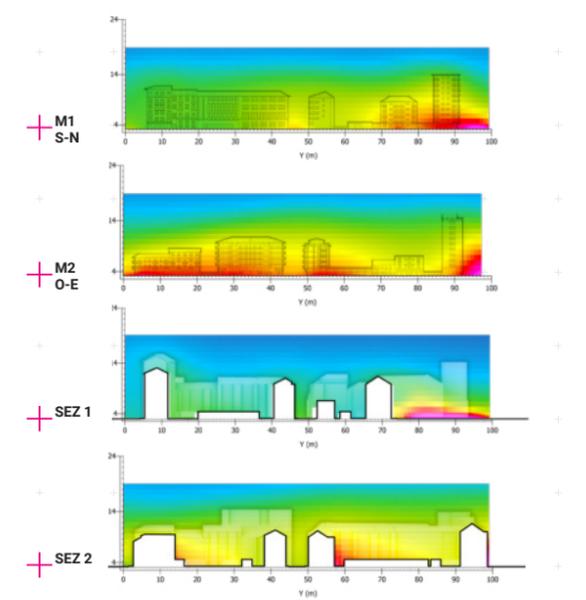
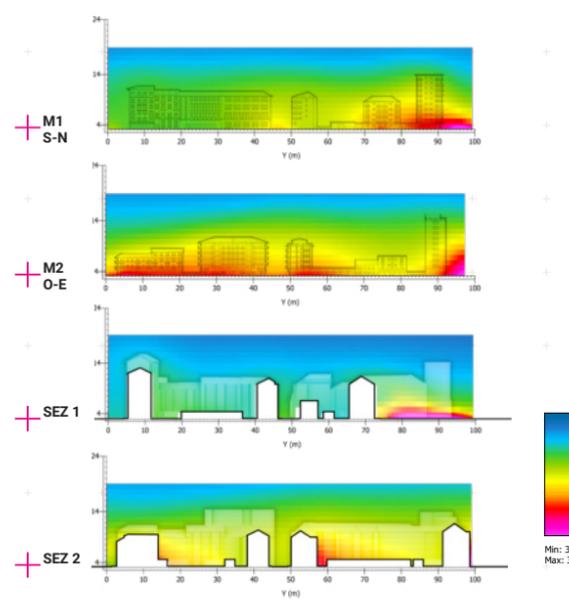
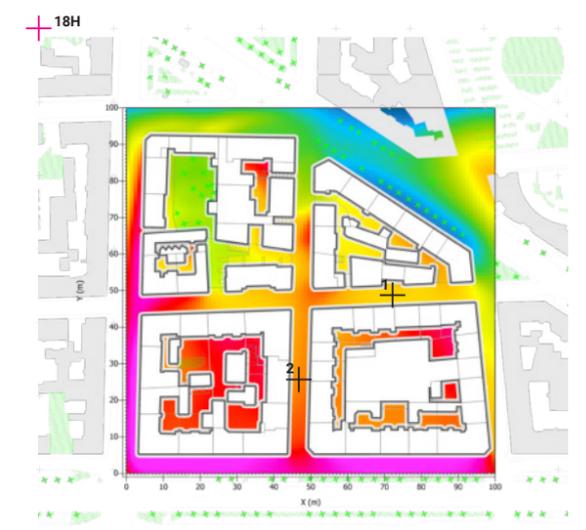
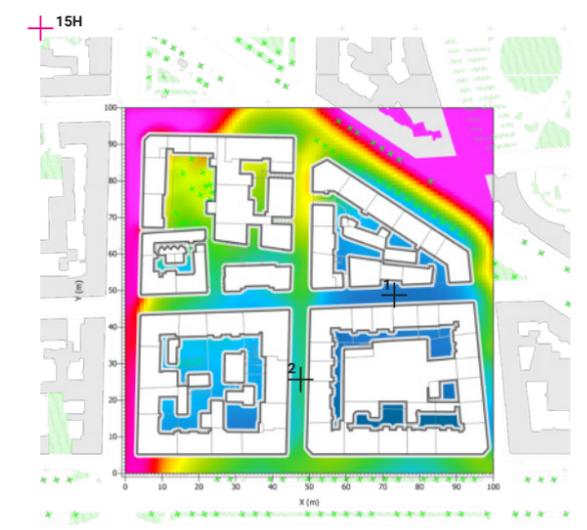
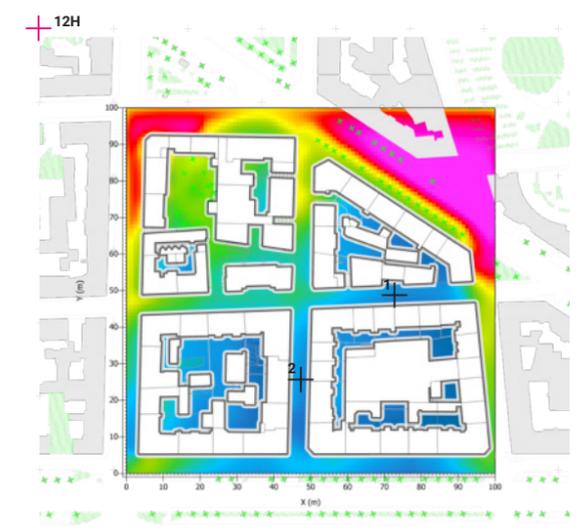
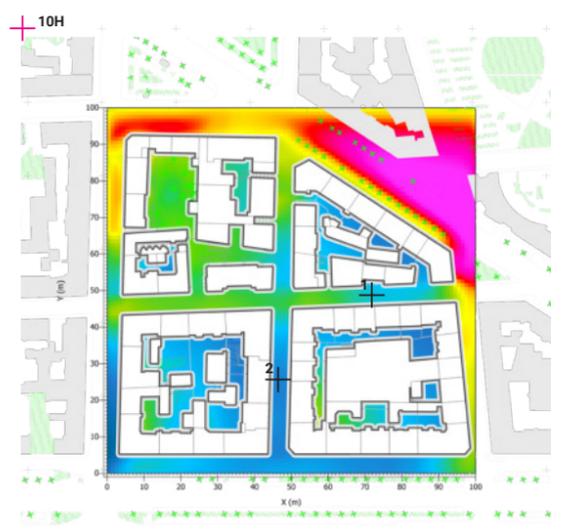
# Responso analitico \_Temperatura dell'aria

## SINTESI DI CONFRONTO



Grafici di andamento termico  
in due specifici punti di analisi

Fonte: Esportazione da Envi-met





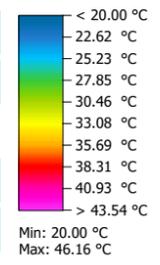
**RESPONSO  
ANALITICO**

**TEMPERATURA  
SUPERFICIALE**



Scala 1:2000  
x/z k:2 (1.5m)

Fonte: Rielaborazione propria da  
output Envi-met



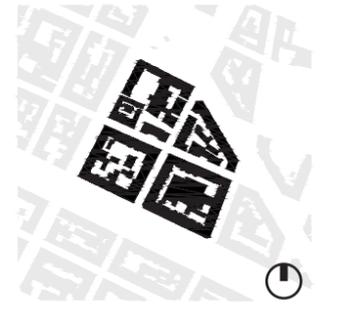
10H

+ 10m +

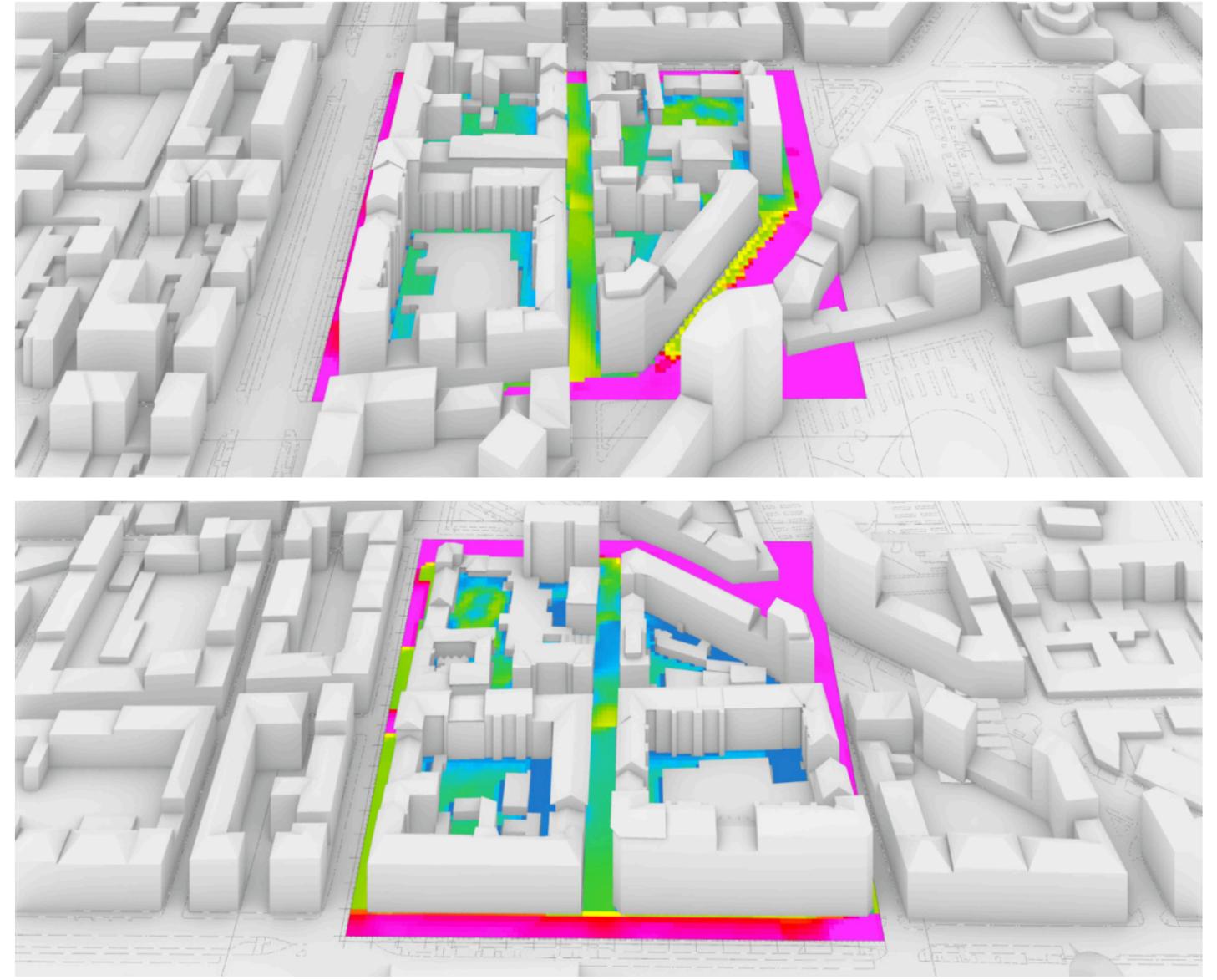


Scala 1:2000  
x/z k:2 (1.5m)

Fonte: Rielaborazione propria da output  
Envi-met

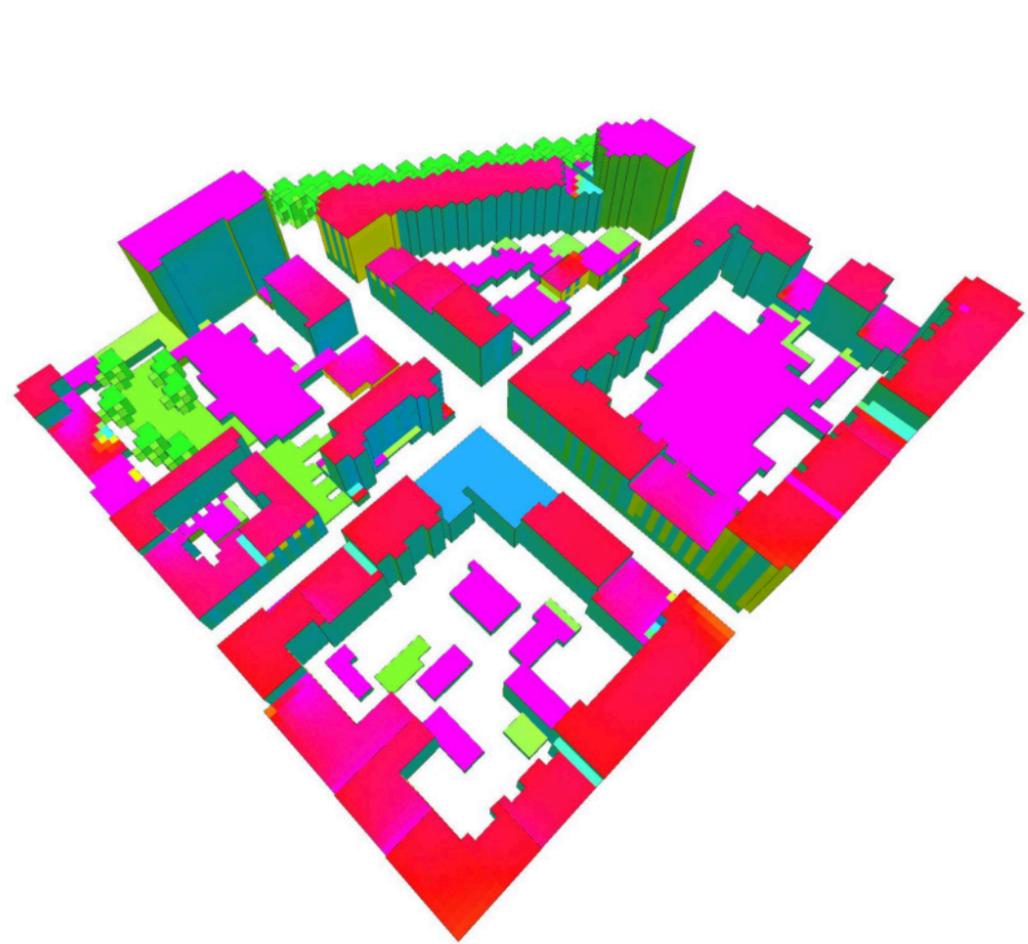
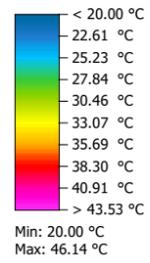


10H

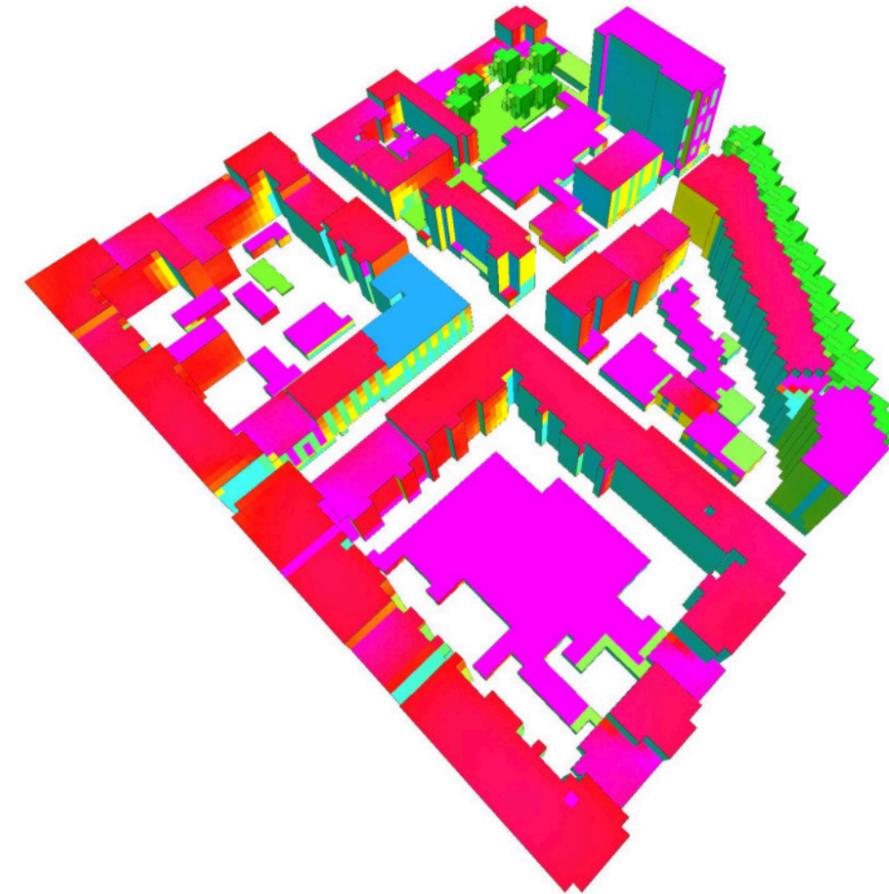
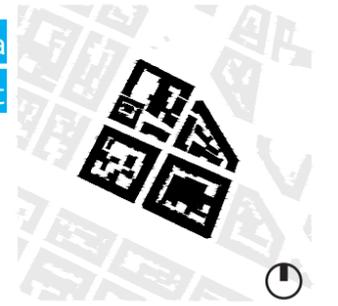


# Output envimet \_Temperatura superficiale

Fonte: Rielaborazione propria da  
output Envi-met



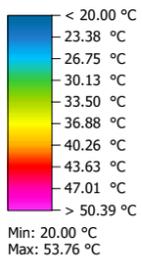
Fonte: Rielaborazione propria da  
output Envi-met



# Output envimet \_Temperatura superficiale

Scala 1:2000  
x/z k:2 (1.5m)

Fonte: Rielaborazione propria da  
output Envi-met

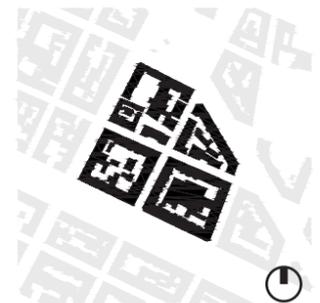


12H



Scala 1:2000  
x/z k:2 (1.5m)

Fonte: Rielaborazione propria da output  
Envi-met

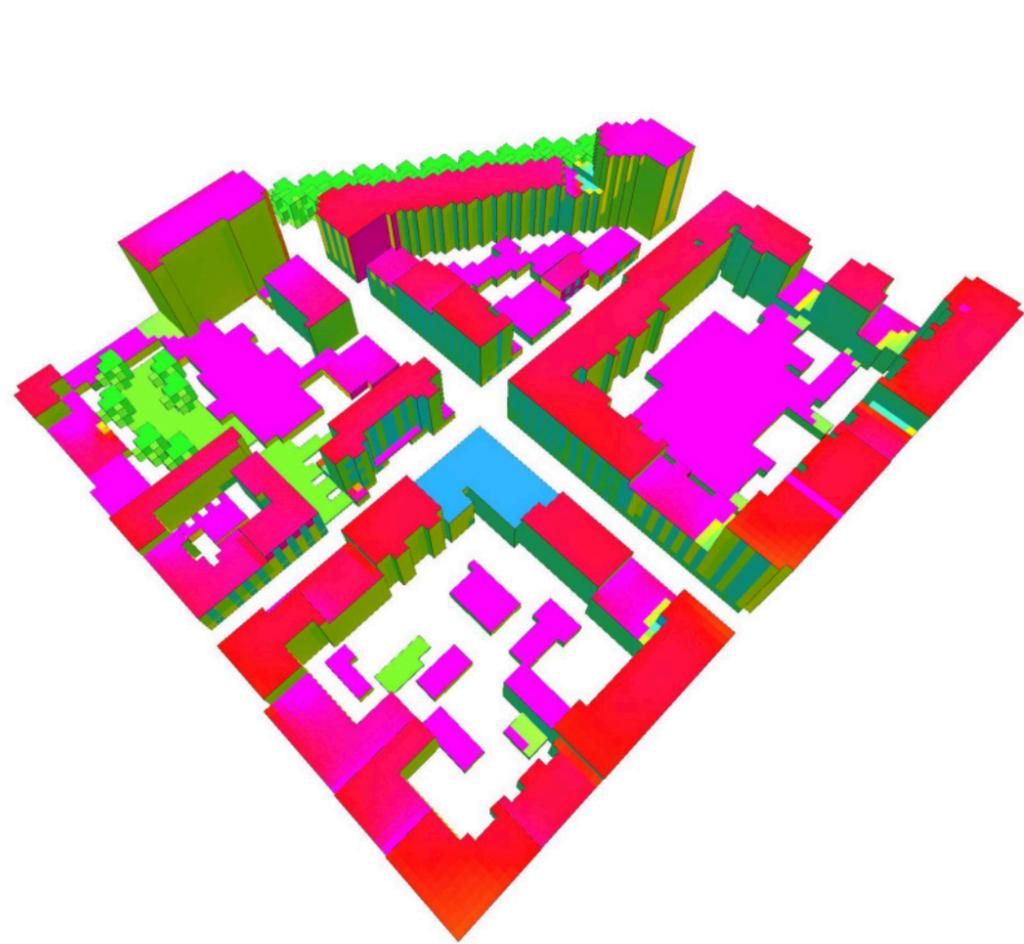
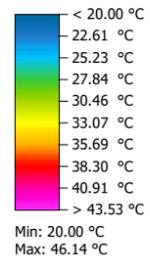


12H

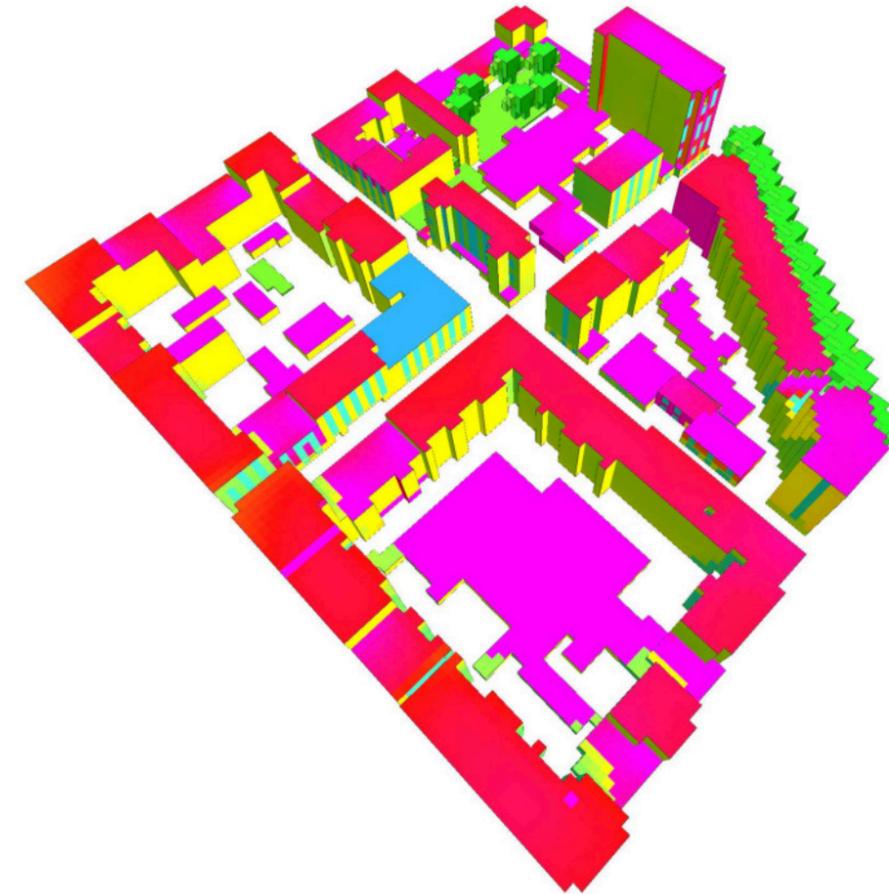
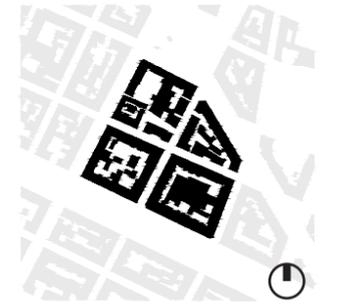


# Output envimet \_Temperatura superficiale

Fonte: Rielaborazione propria da  
output Envi-met

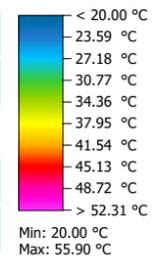


Fonte: Rielaborazione propria da  
output Envi-met



# Output envimet \_Temperatura superficiale

Scala 1:2000  
x/z k:2 (1.5m)



Fonte: Rielaborazione propria da  
output Envi-met

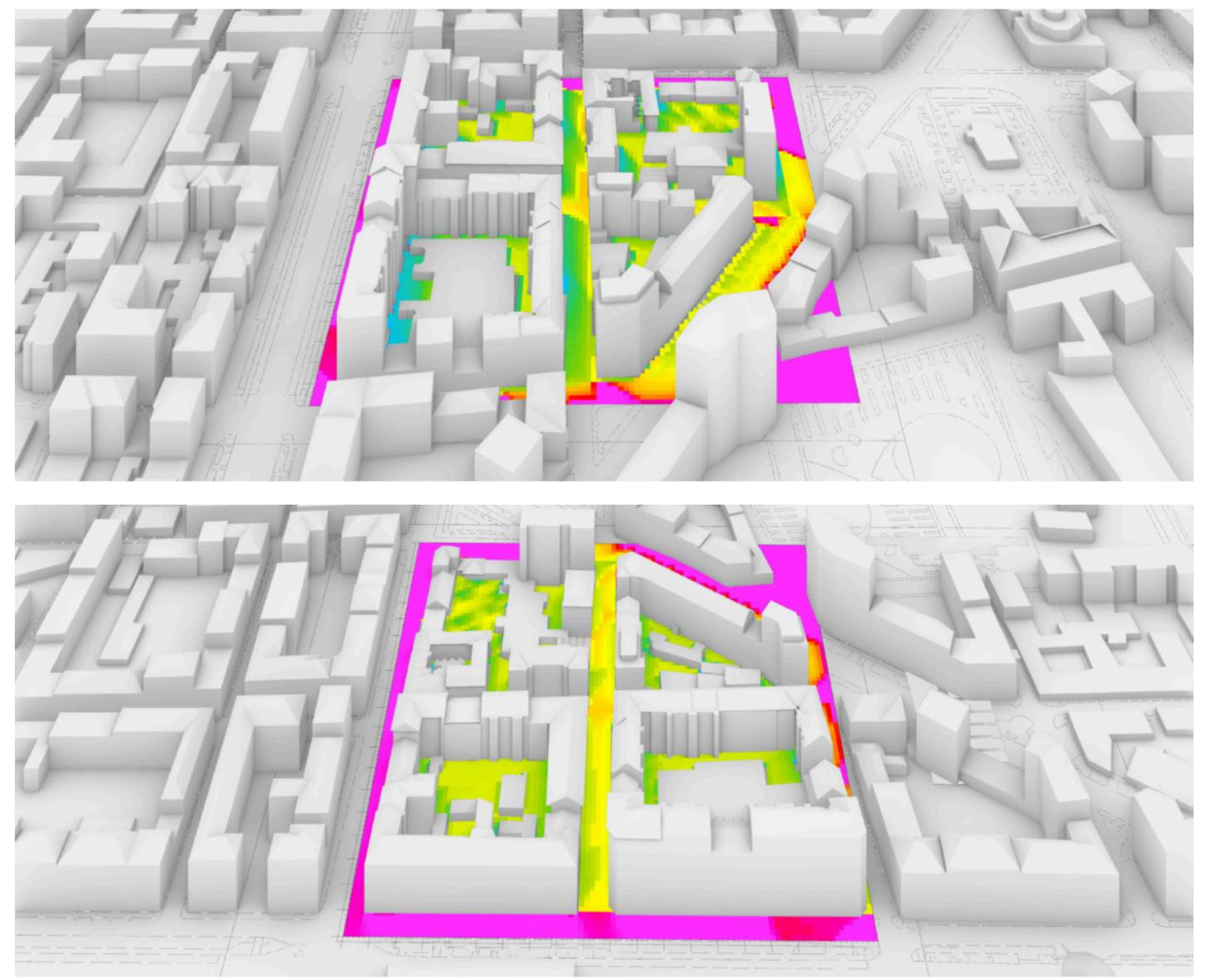
15H



Scala 1:2000  
x/z k:2 (1.5m)

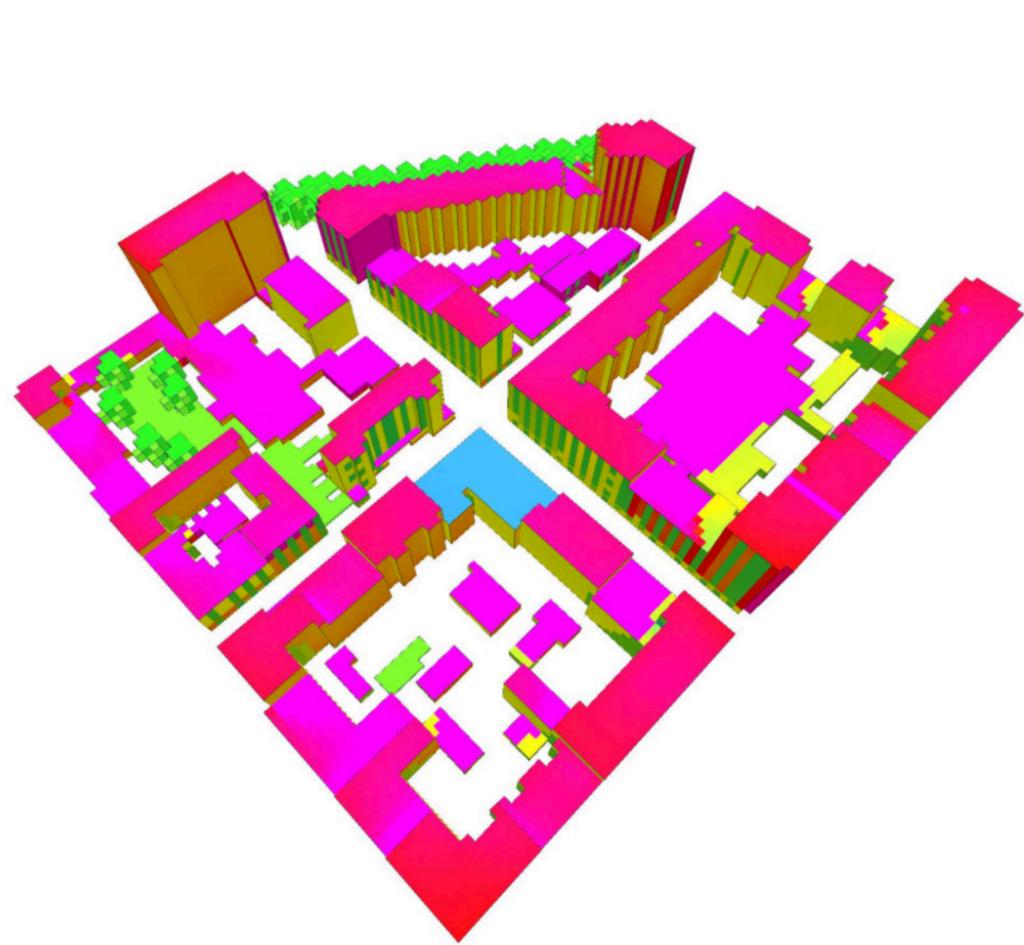
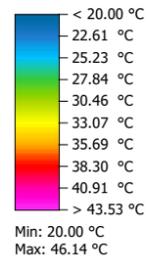
Fonte: Rielaborazione propria da output  
Envi-met

15H

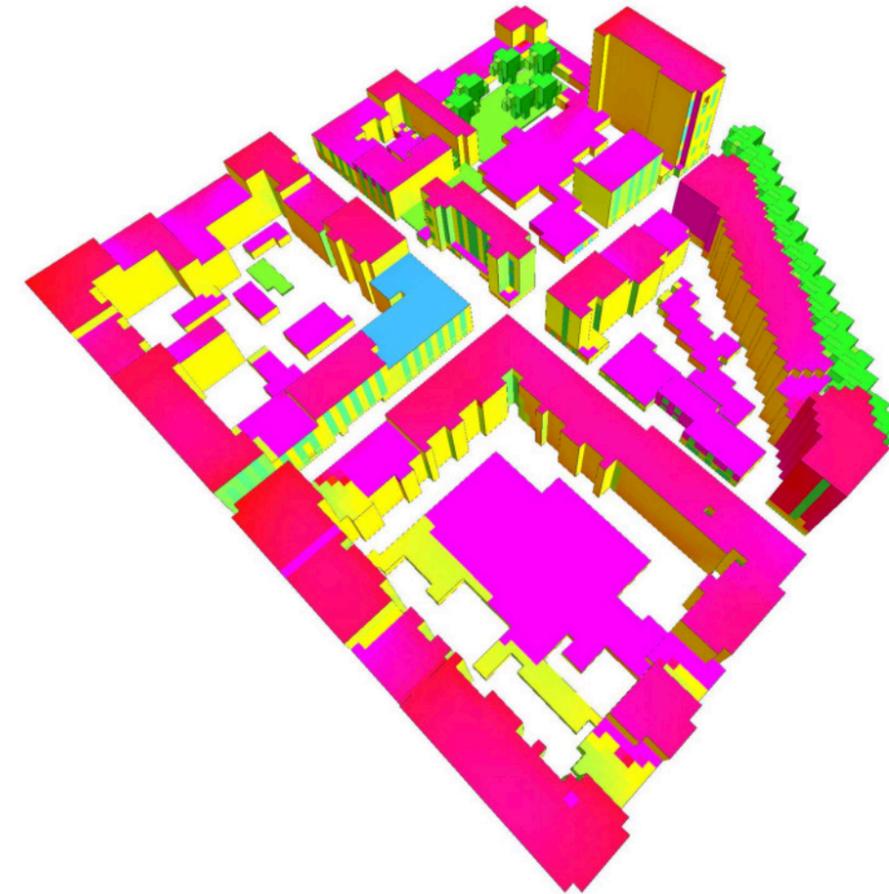
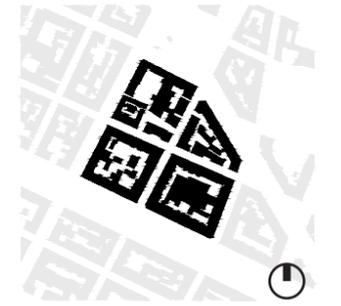


# Output envimet \_Temperatura superficiale

Fonte: Rielaborazione propria da  
output Envi-met

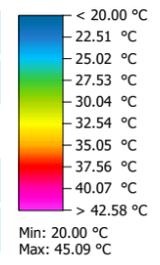


Fonte: Rielaborazione propria da  
output Envi-met



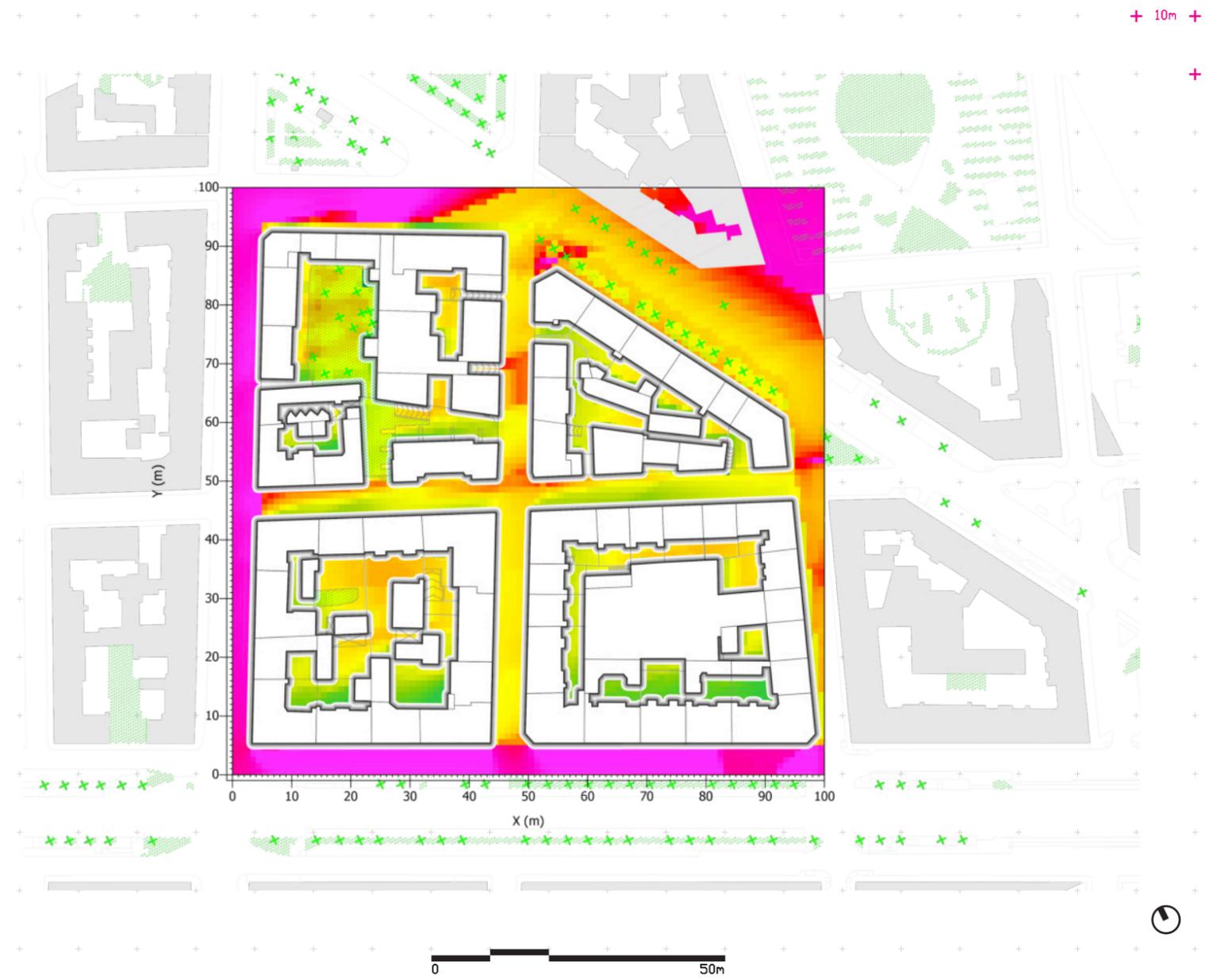
# Output envimet \_Temperatura superficiale

Scala 1:2000  
x/z k:2 (1.5m)



Fonte: Rielaborazione propria da  
output Envi-met

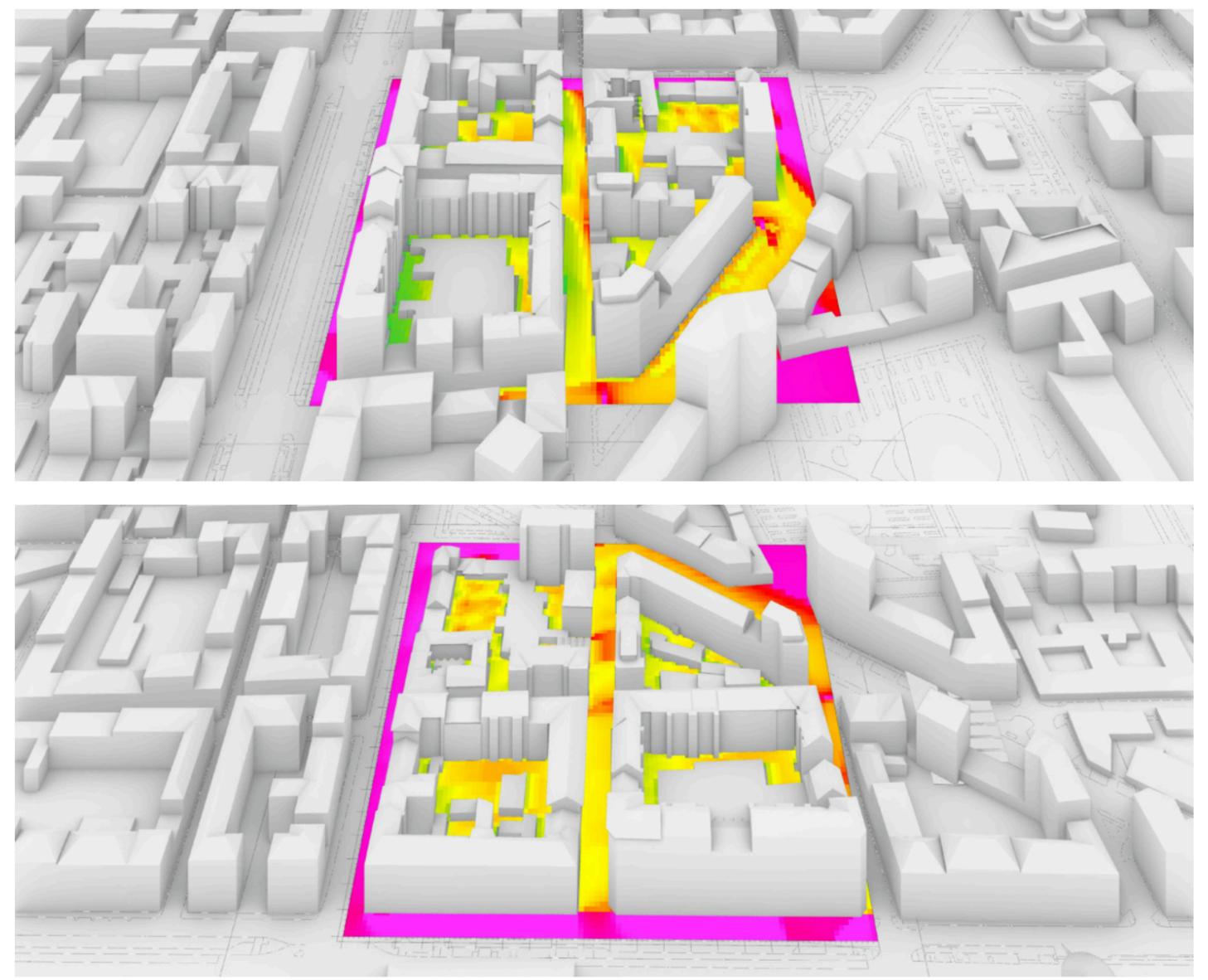
18H



Scala 1:2000  
x/z k:2 (1.5m)

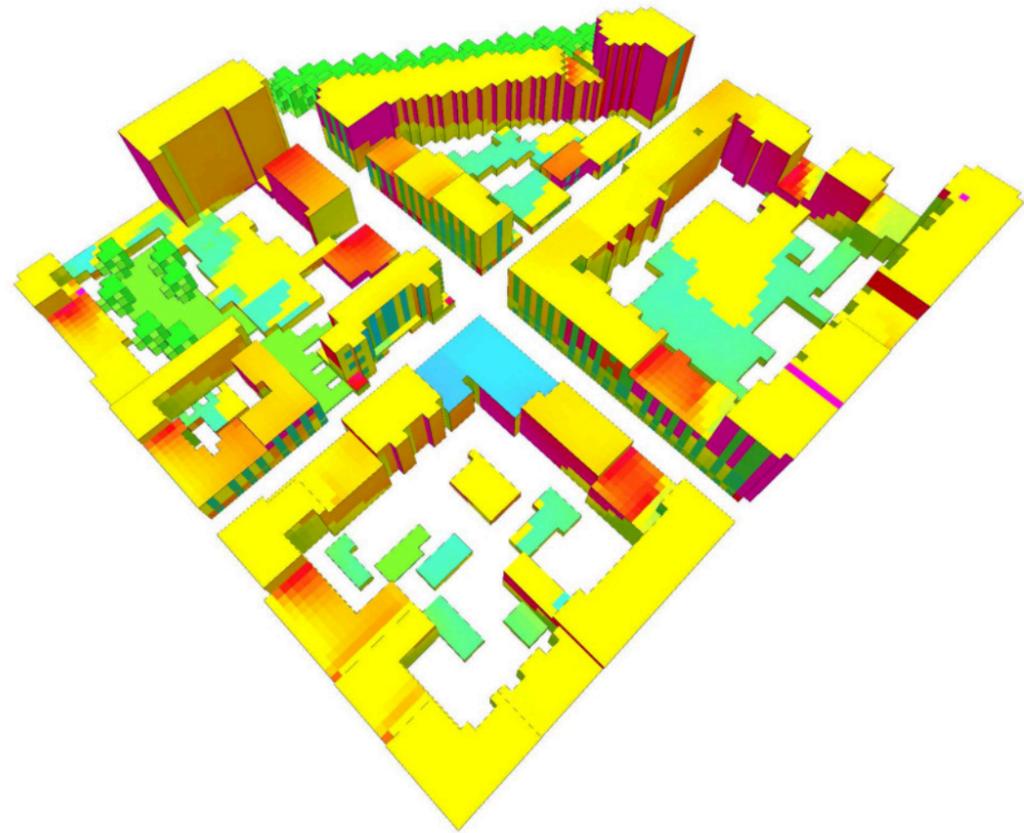
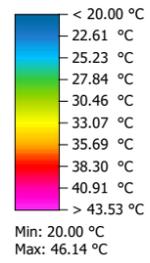
Fonte: Rielaborazione propria da output  
Envi-met

18H

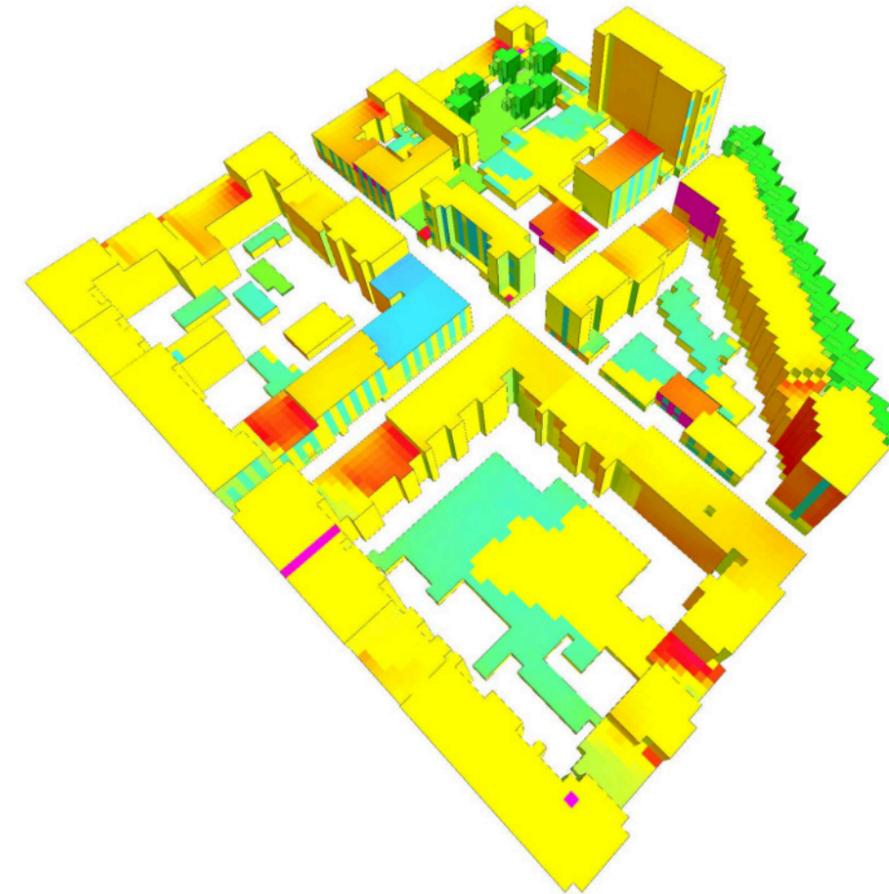
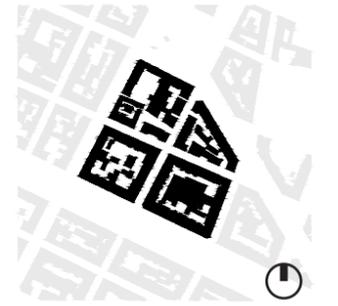


# Output envimet \_Temperatura superficiale

Fonte: Rielaborazione propria da  
output Envi-met

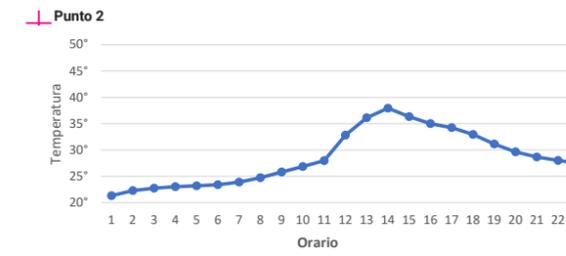
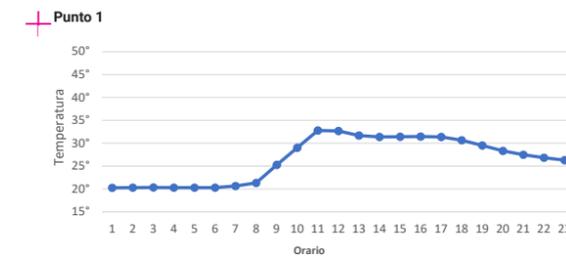


Fonte: Rielaborazione propria da  
output Envi-met



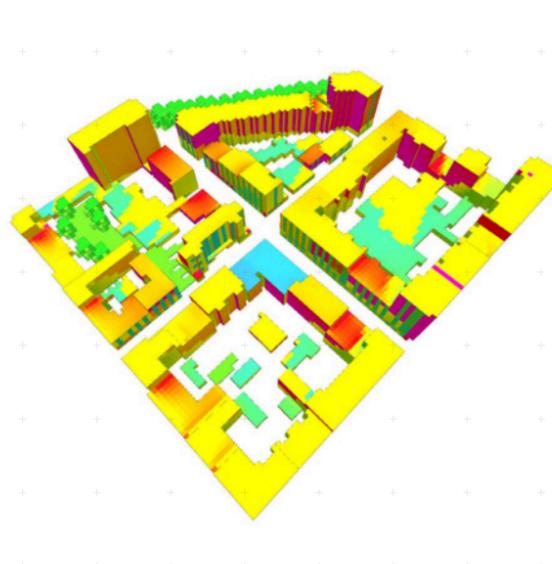
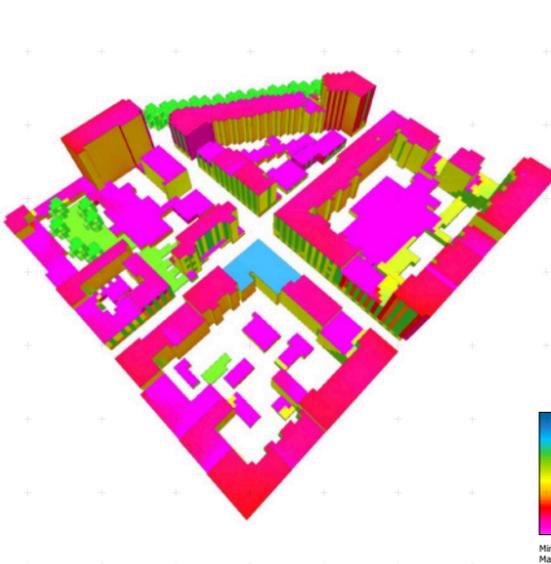
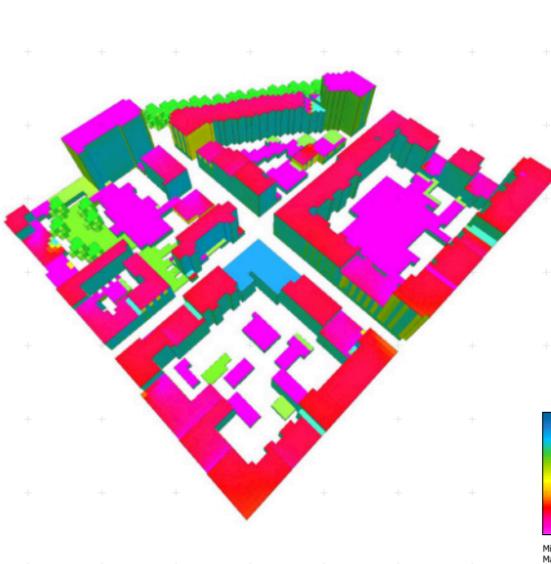
# Output envimet \_TEMPERATURA SUPERFICIALE

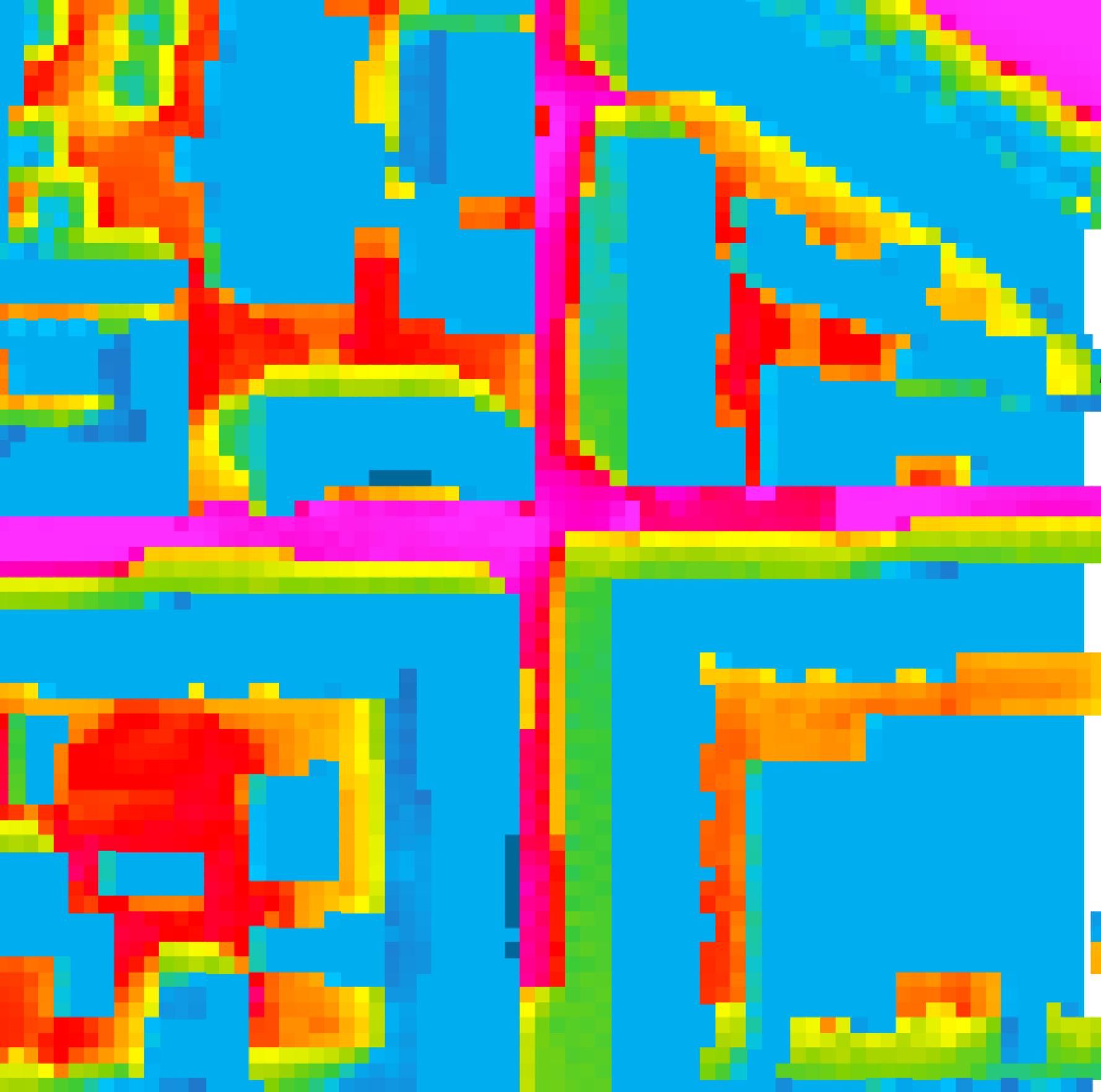
## SINTESI



Grafici di andamento termico  
due specifici punti di analisi

Fonte: Esportazione da Envi-met



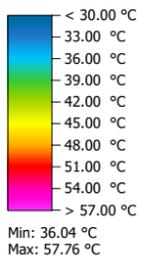


# RESPONSO ANALITICO

PET  
TEE  
EM  
PII  
POV  
RALA  
TOL  
TUR  
UR  
A  
E

# Responso analitico \_Temperatura Fisiologica Equivalente PET

Scala 1:2000  
x/z k:2 (1.5m)



Fonte: Rielaborazione propria da  
output Envi-met

10H

+ 10m +

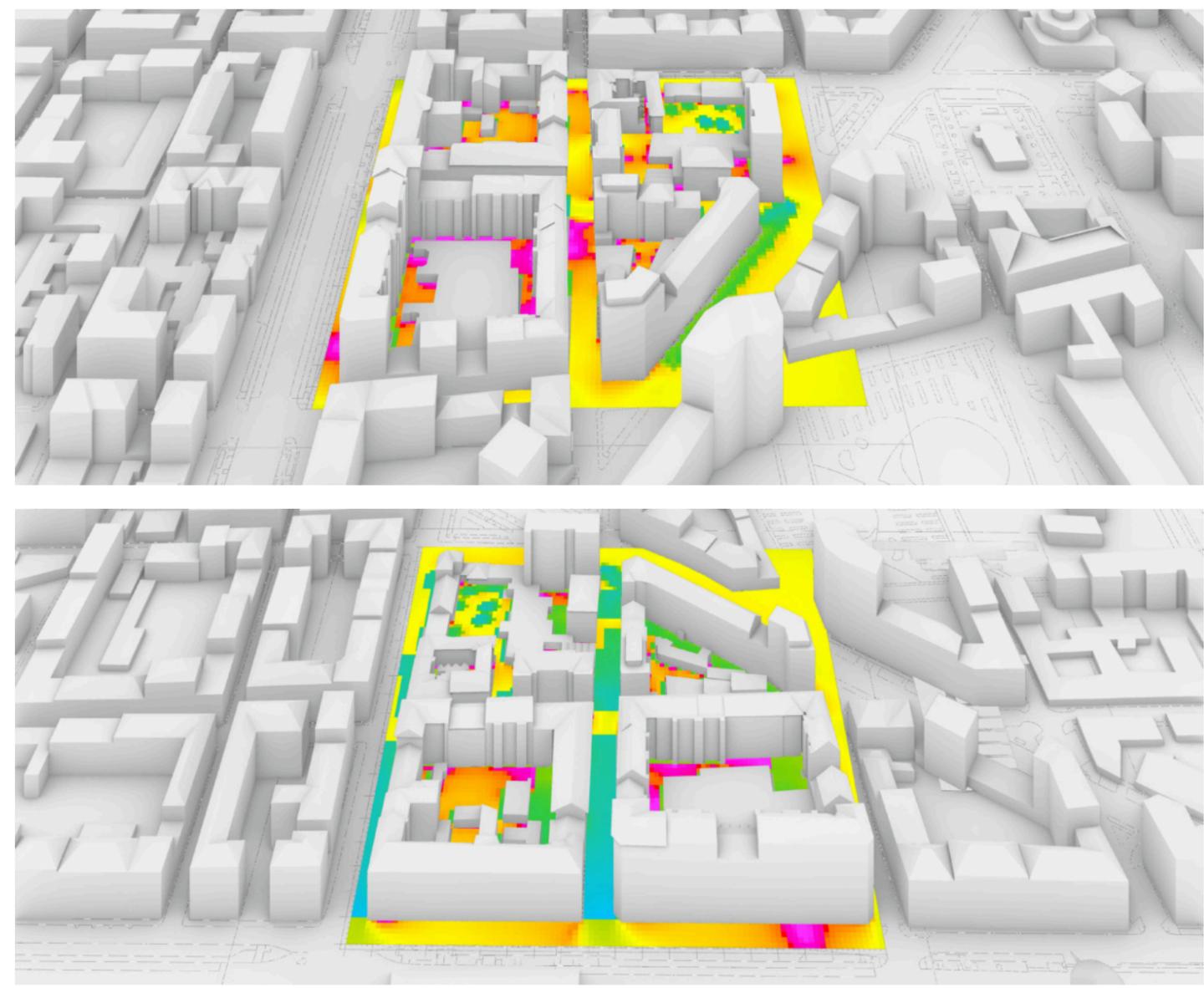
+



Scala 1:2000  
x/z k:2 (1.5m)

Fonte: Rielaborazione propria da output  
Envi-met

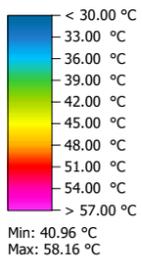
10H



# Responso analitico \_Temperatura Fisiologica Equivalente PET

Scala 1:2000  
x/z k:2 (1.5m)

Fonte: Rielaborazione propria da  
output Envi-met



12H

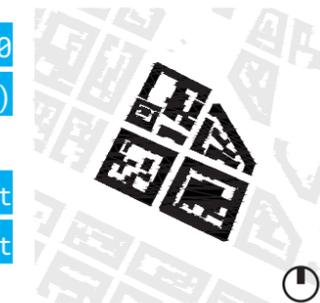
+ 10m +

+

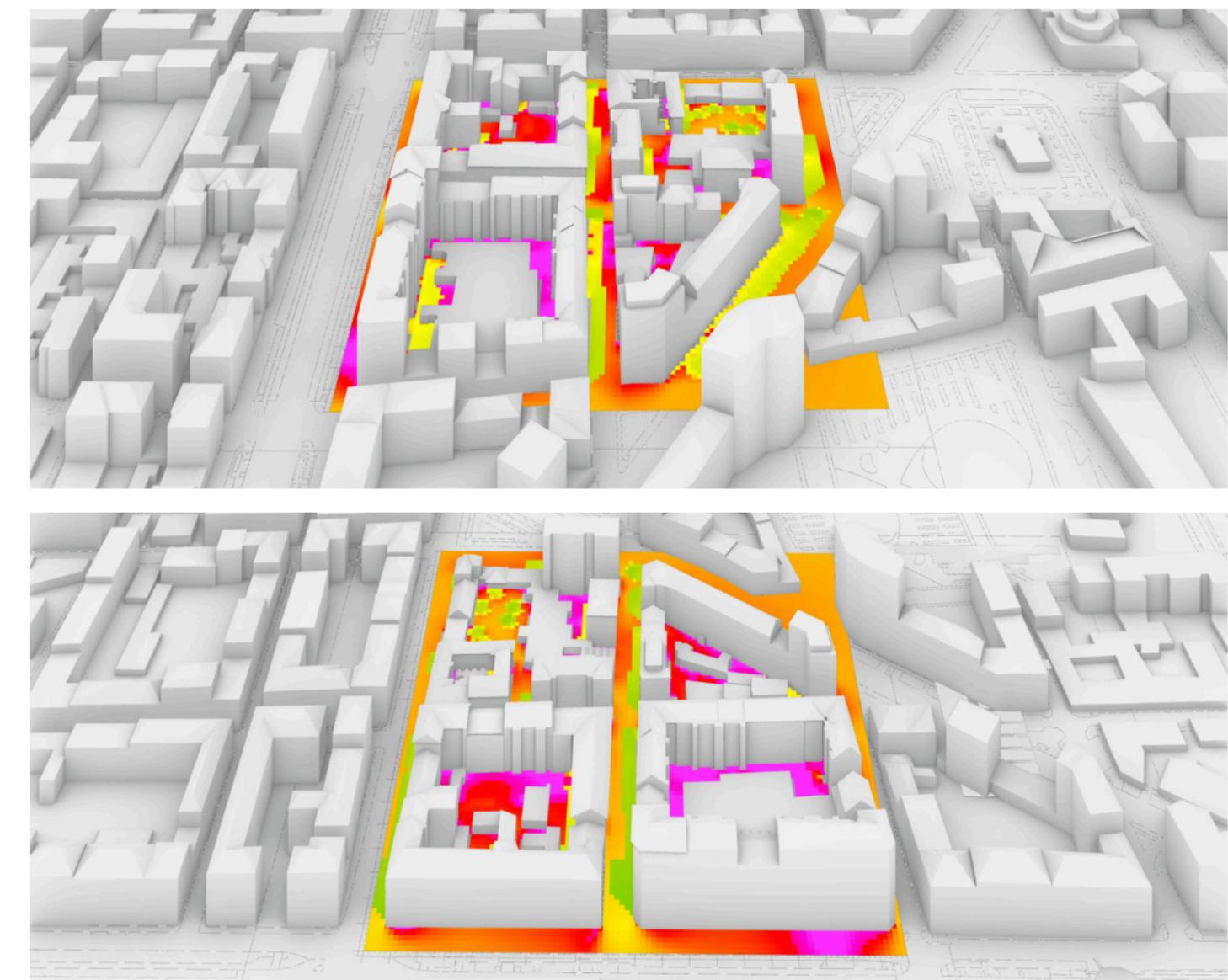


Scala 1:2000  
x/z k:2 (1.5m)

Fonte: Rielaborazione propria da output  
Envi-met



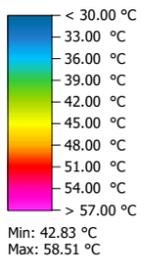
12H



# Responso analitico \_Temperatura Fisiologica Equivalente PET

Scala 1:2000  
x/z k:2 (1.5m)

Fonte: Rielaborazione propria da  
output Envi-met



15H

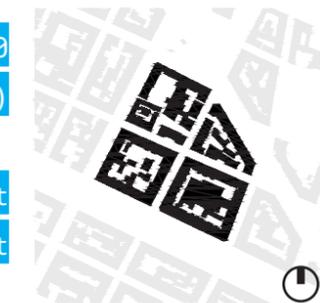
+ 10m +

+

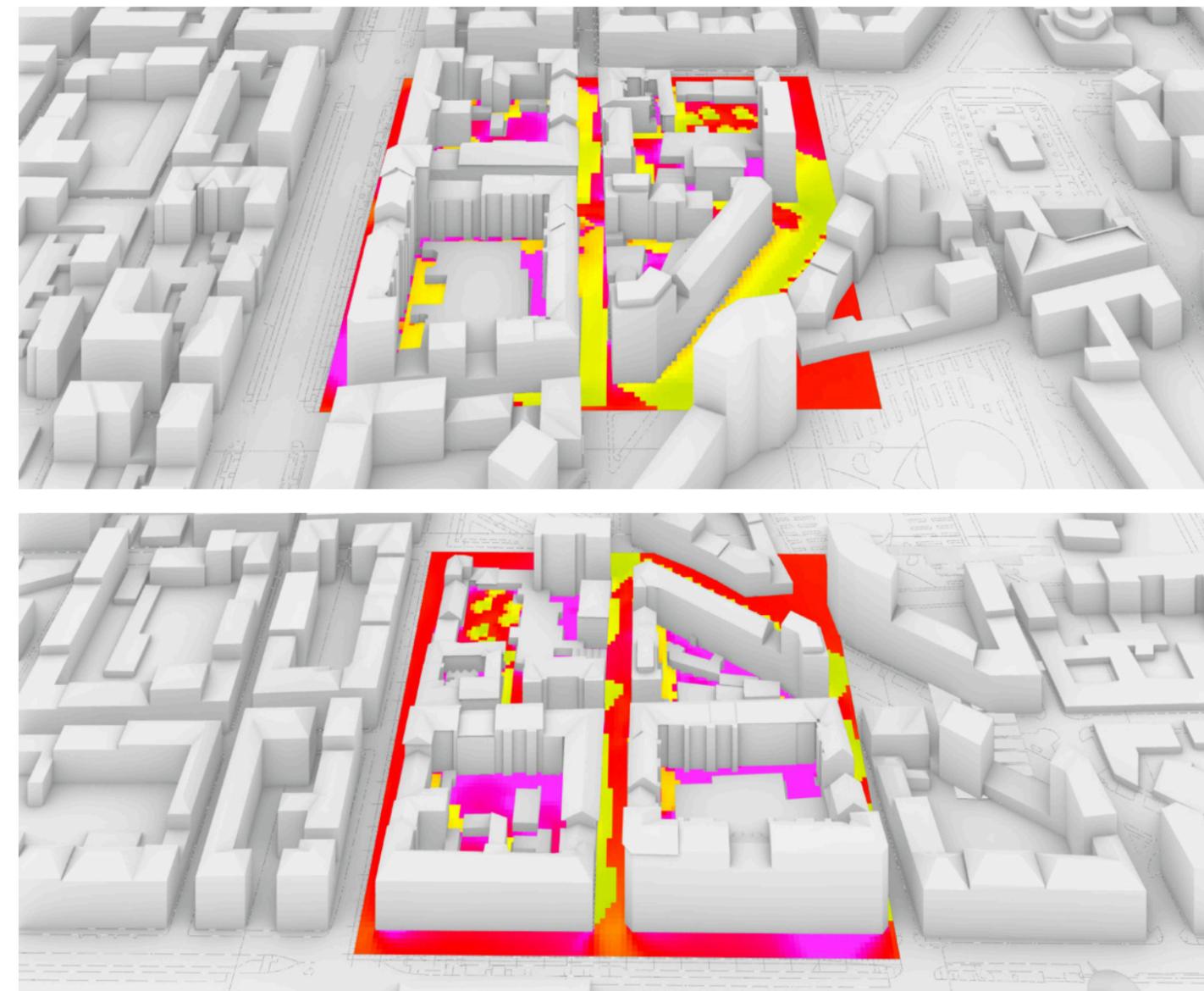


Scala 1:2000  
x/z k:2 (1.5m)

Fonte: Rielaborazione propria da output  
Envi-met



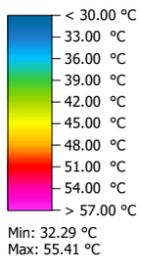
15H



# Responso analitico \_Temperatura Fisiologica Equivalente PET

Scala 1:2000  
x/z k:2 (1.5m)

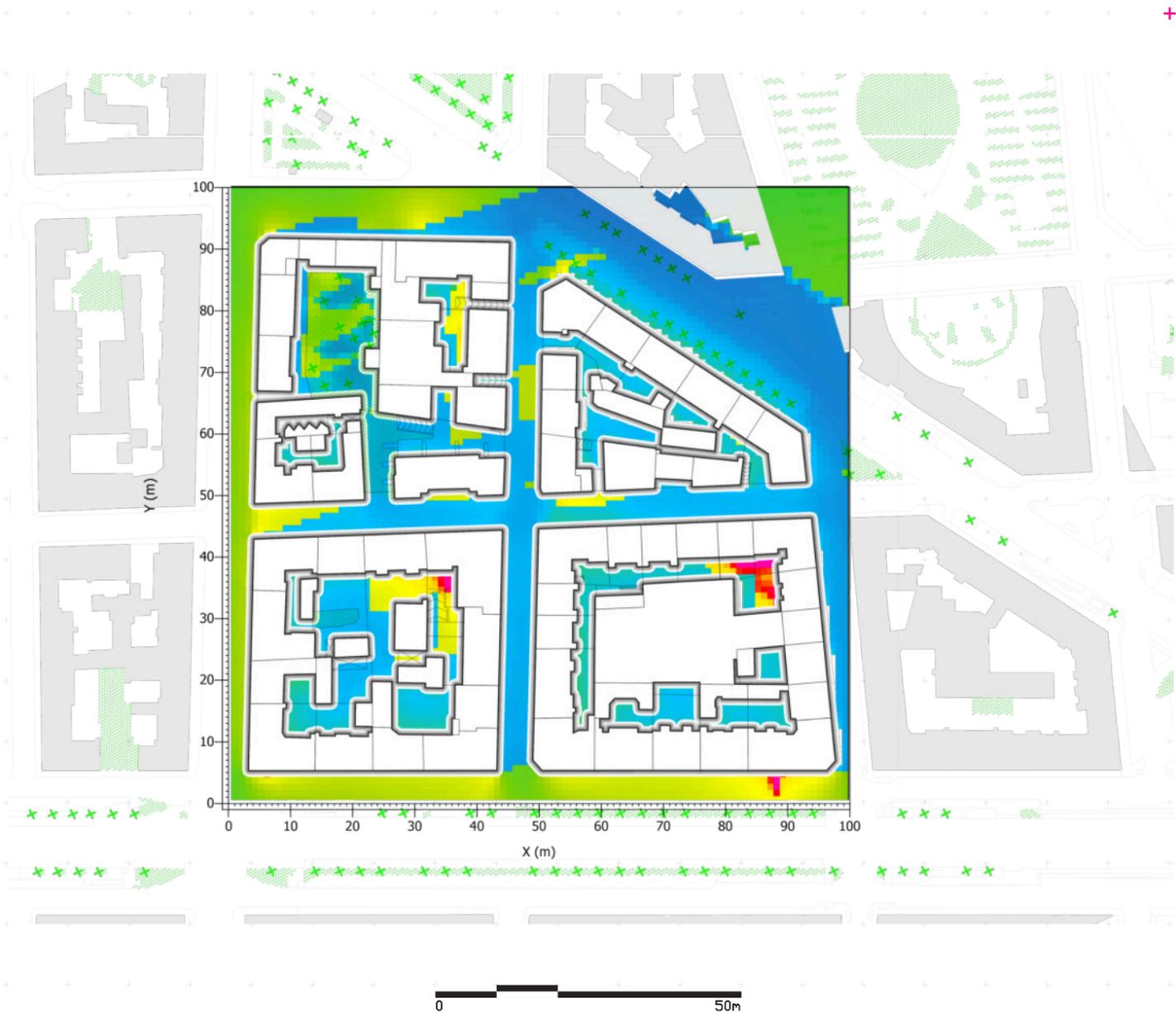
Fonte: Rielaborazione propria da  
output Envi-met



18H

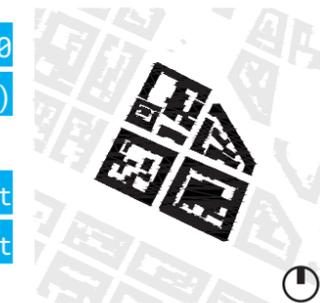
+ 10m +

+

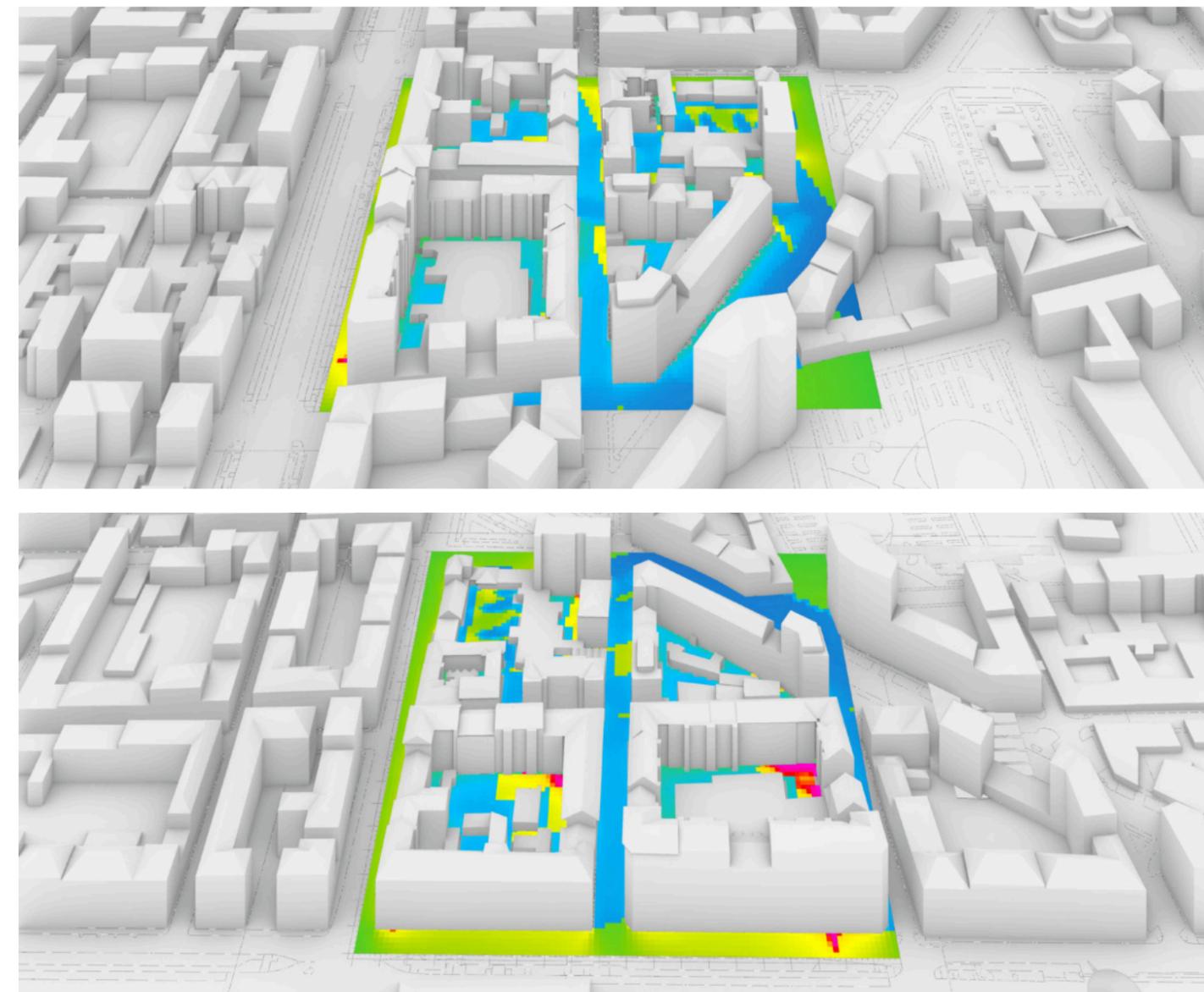


Scala 1:2000  
x/z k:2 (1.5m)

Fonte: Rielaborazione propria da output  
Envi-met

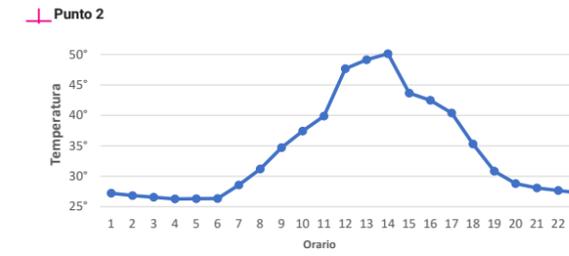
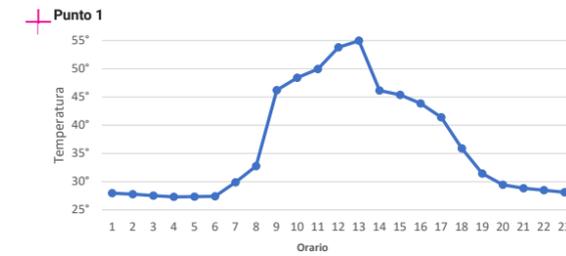


18H



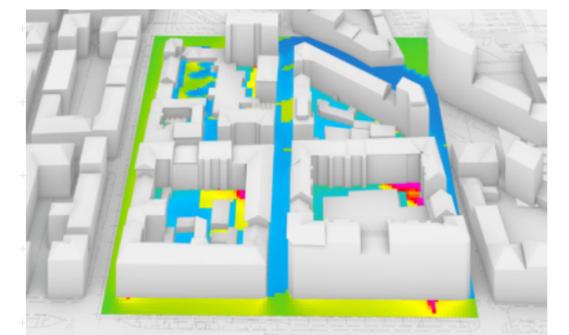
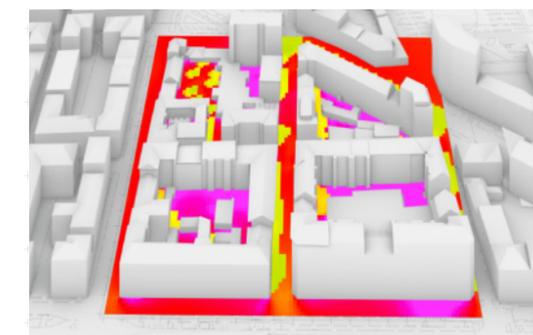
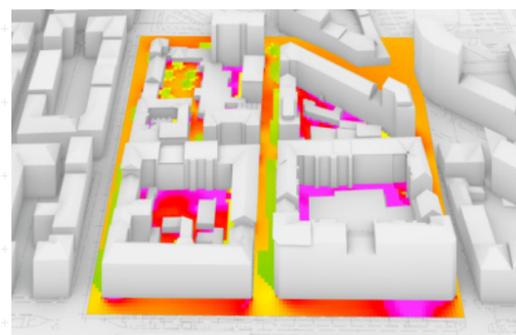
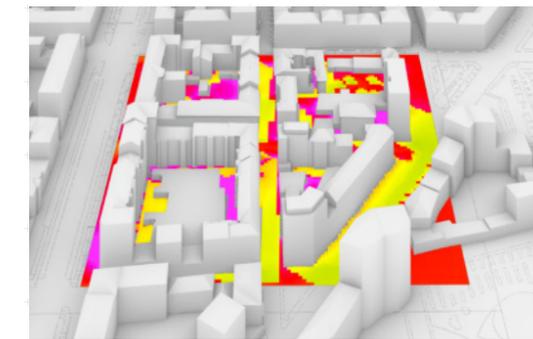
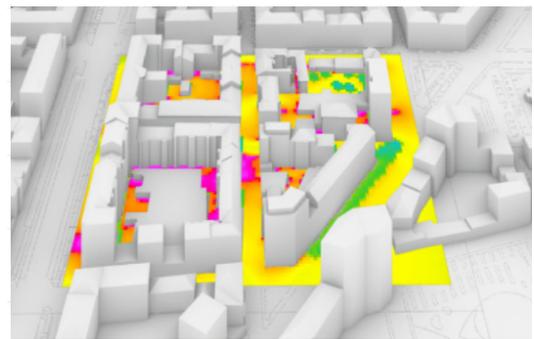
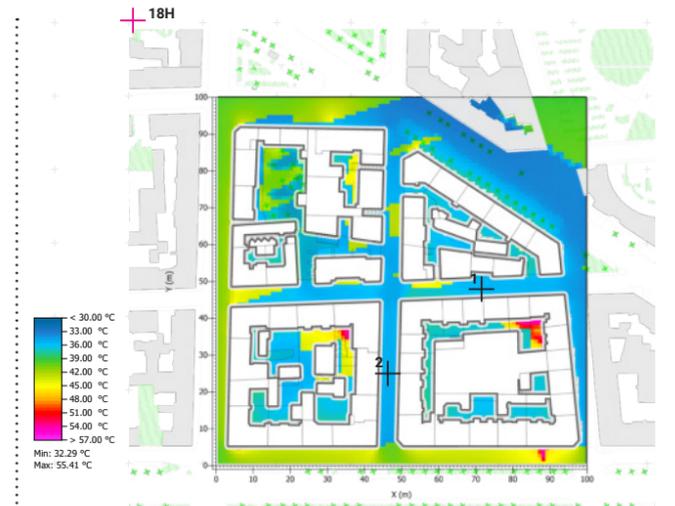
# Responso analitico \_Temperatura Fisiologica Equivalente PET

## SINTESI DI CONFRONTO



Grafici di andamento termico  
due specifici punti di analisi

Fonte: Esportazione da Envi-met



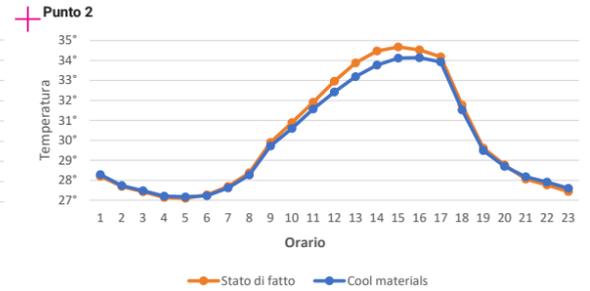
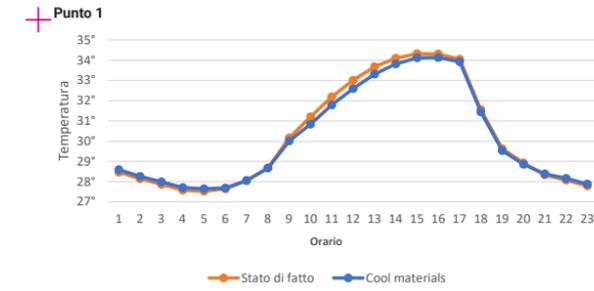
# 5

# CONCLUSIONI

- 7.1. Sintesi e confronto dei dati
- 7.2. Valutazioni sui risultati
- 7.3. Bibliografia

# Sintesi e confronto dei dati \_Potential air temperature

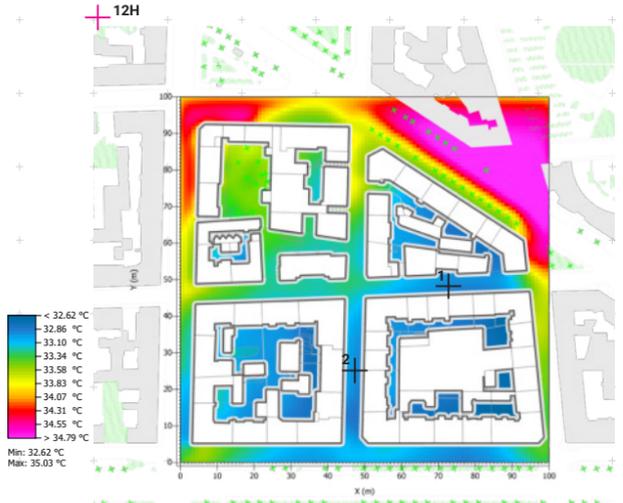
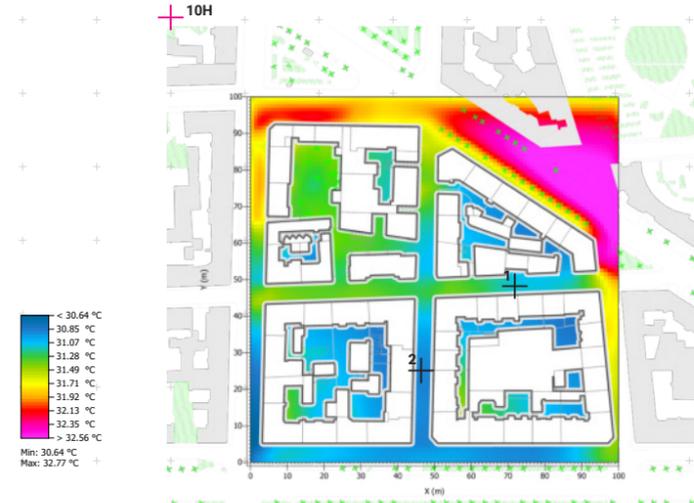
## Stato di fatto e applicazione di cool materials



Grafici di andamento termico  
in due specifici punti di analisi

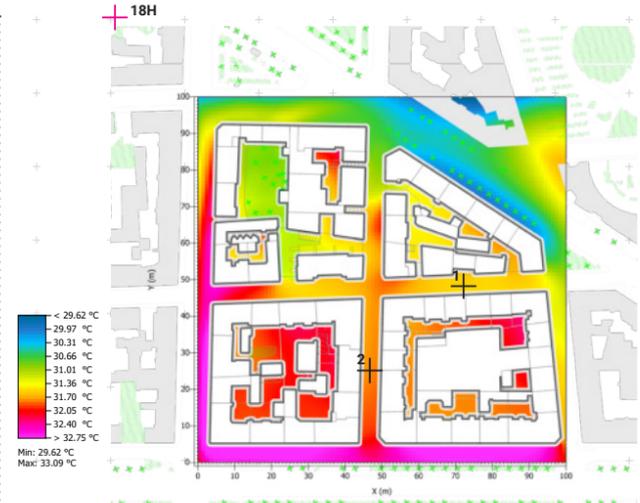
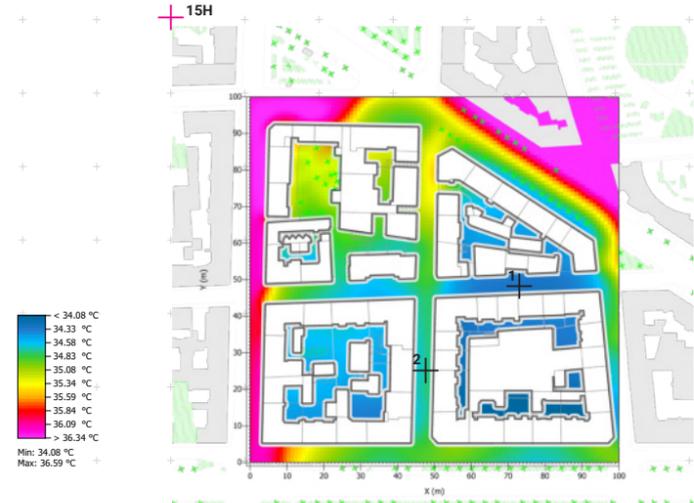
Fonte: Esportazione da Envi-met

Stato di fatto



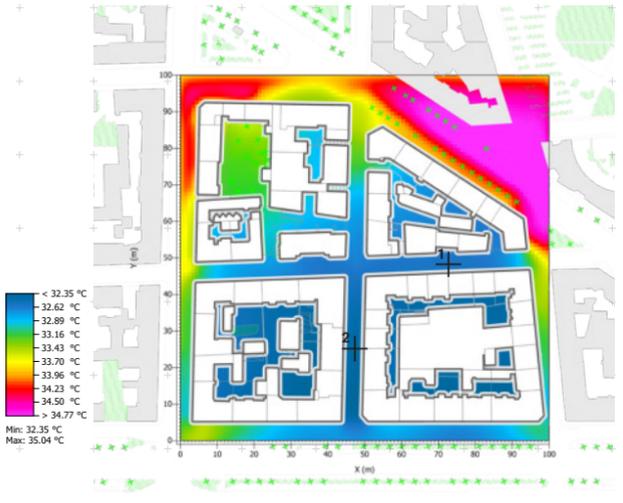
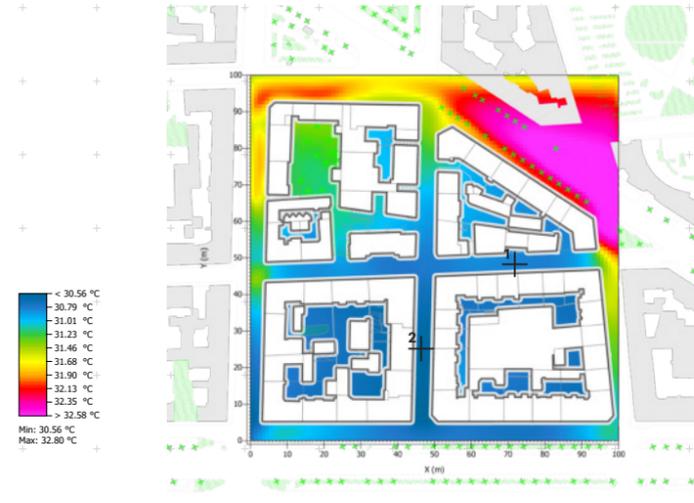
+ 10m +

Stato di fatto

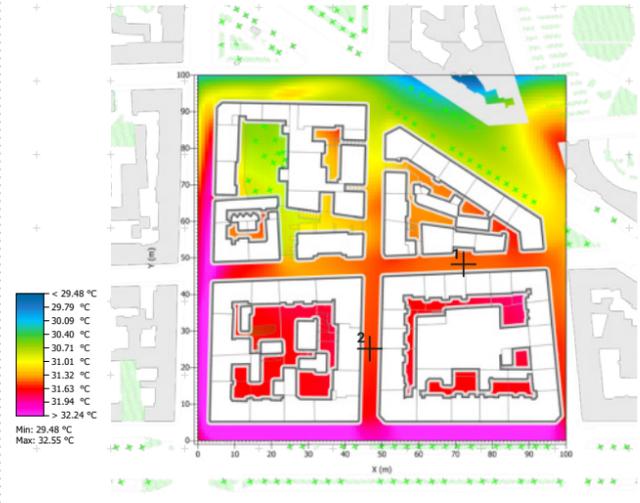
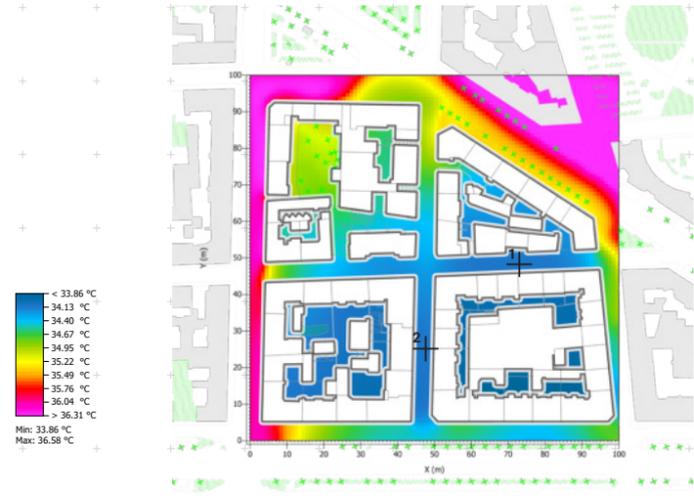


+ 10m +

Cool materials

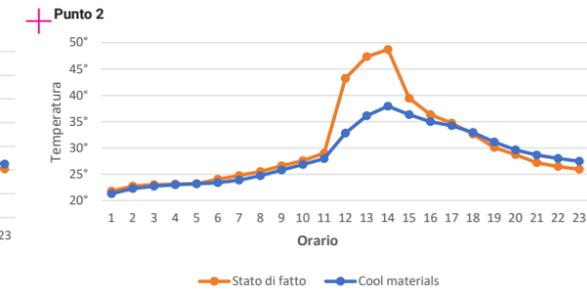
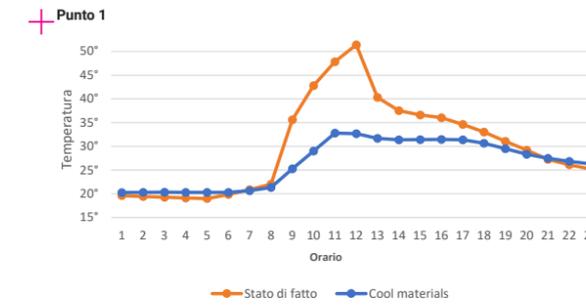


Cool materials



# Sintesi e confronto dei dati \_Temperatura superficiale

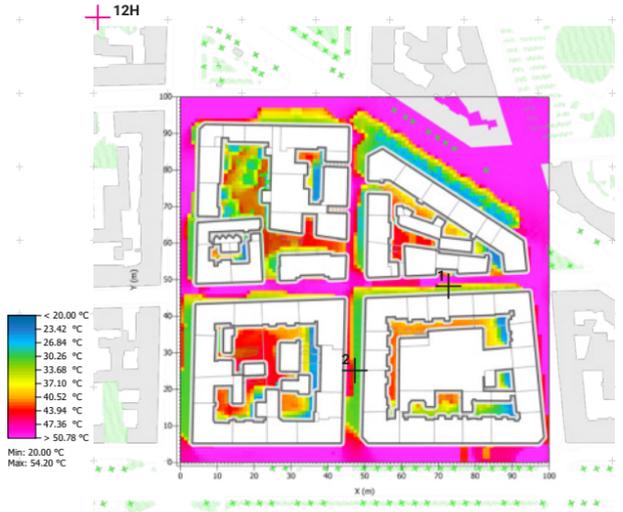
## Stato di fatto e applicazione di cool materials



Grafici di andamento termico  
in due specifici punti di analisi

Fonte: Esportazione da Envi-met

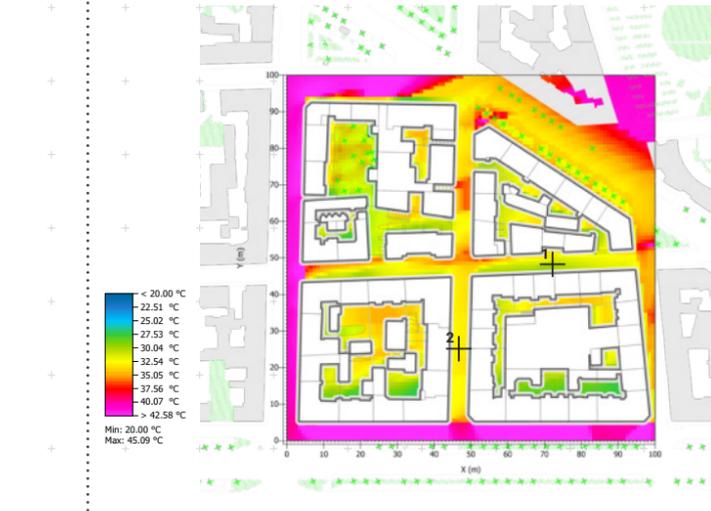
Stato di fatto



Stato di fatto

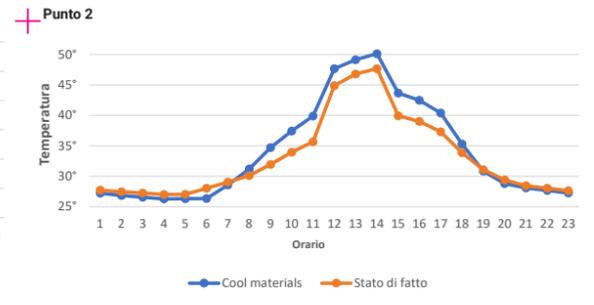
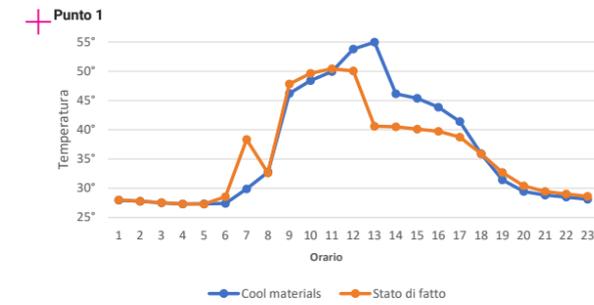


Cool materials



# Sintesi e confronto dei dati \_Temperatura Fisiologica Equivalente PET

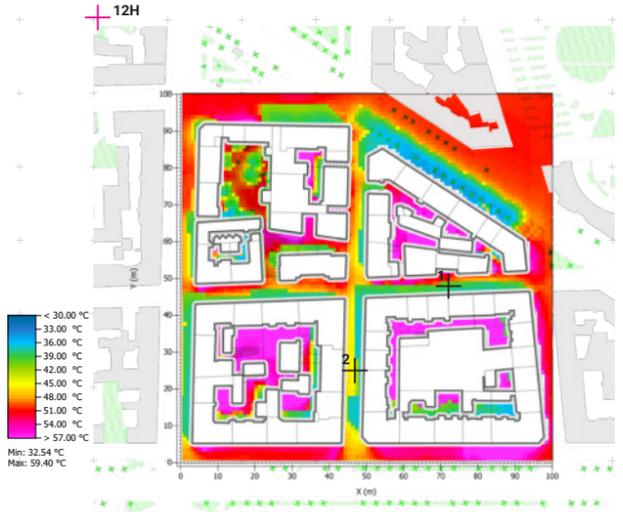
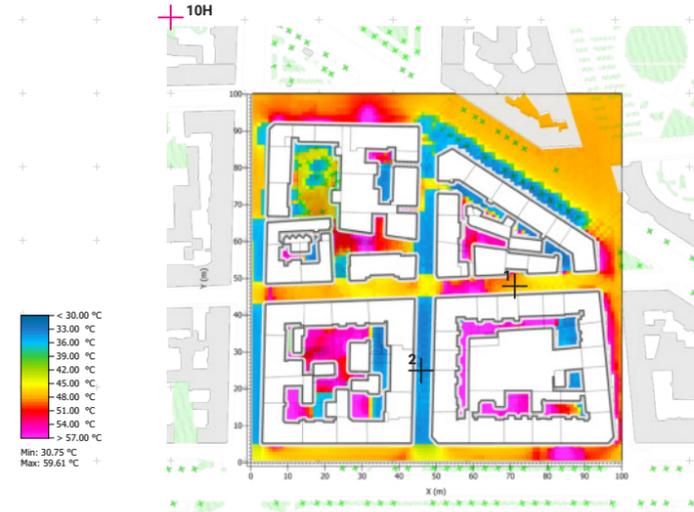
## Stato di fatto e applicazione di cool materials



Grafici di andamento termico  
in due specifici punti di analisi

Fonte: Esportazione da Envi-met

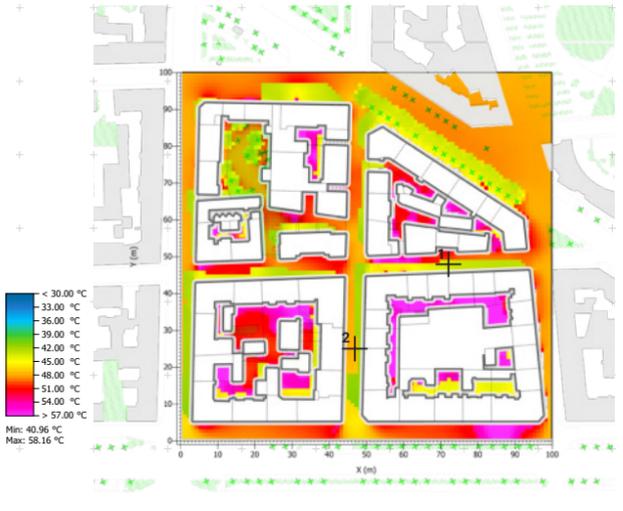
Stato di fatto



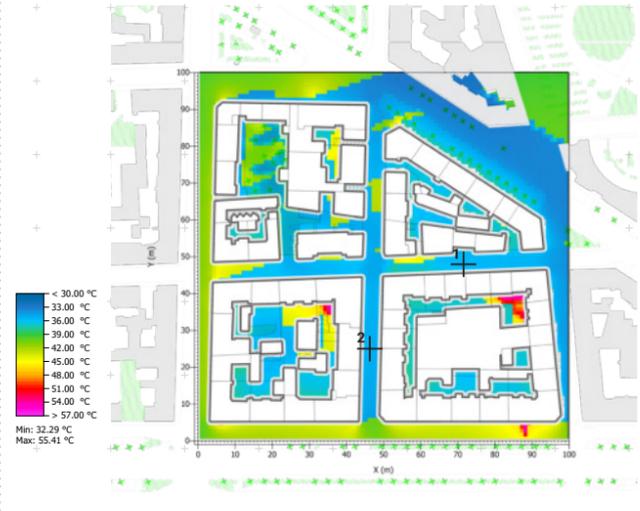
Stato di fatto



Cool materials



Cool materials



# Sintesi e confronto dei dati \_Velocità del vento

## Stato di fatto

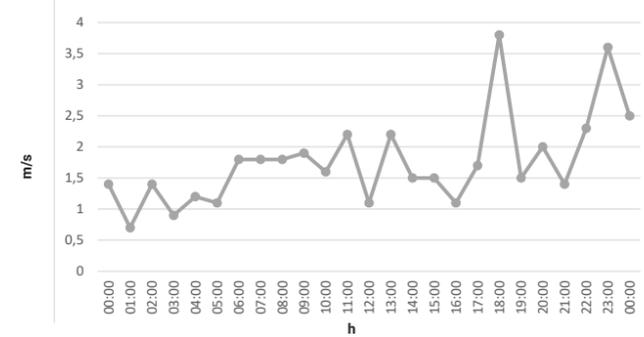
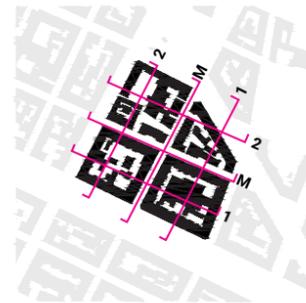


Grafico della velocità del vento

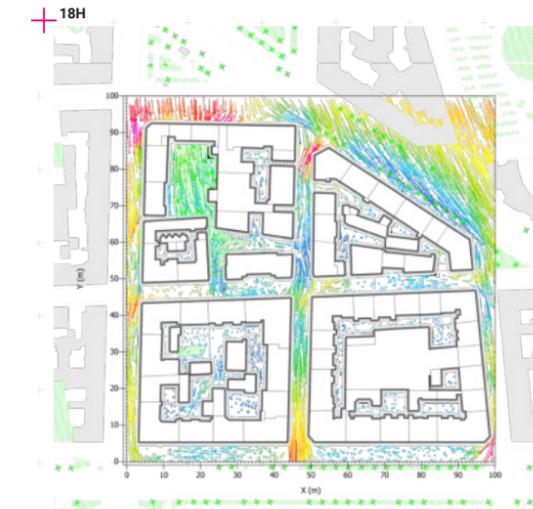
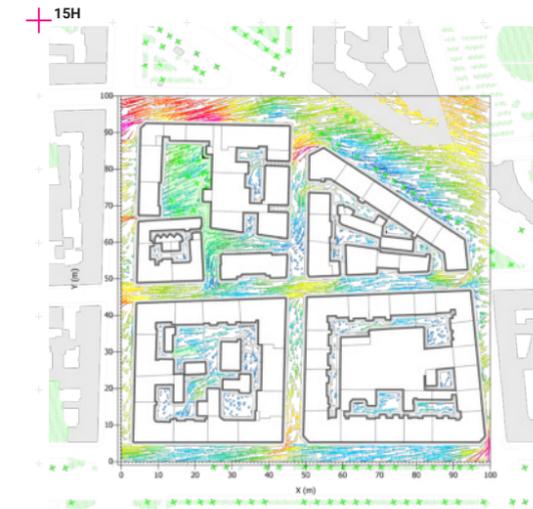
Fonte: Esportazione da Envi-met

Stato di fatto

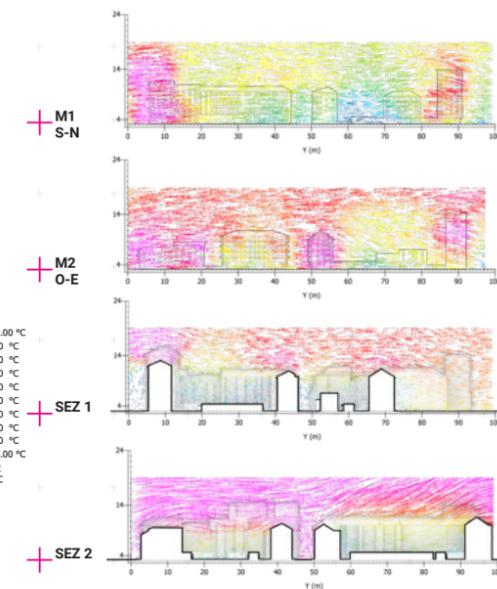
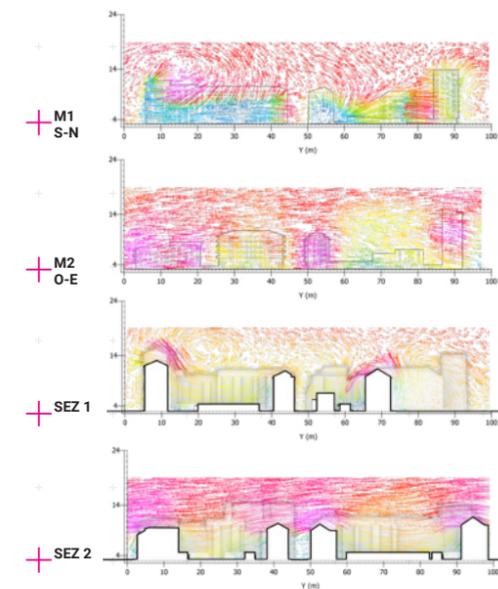
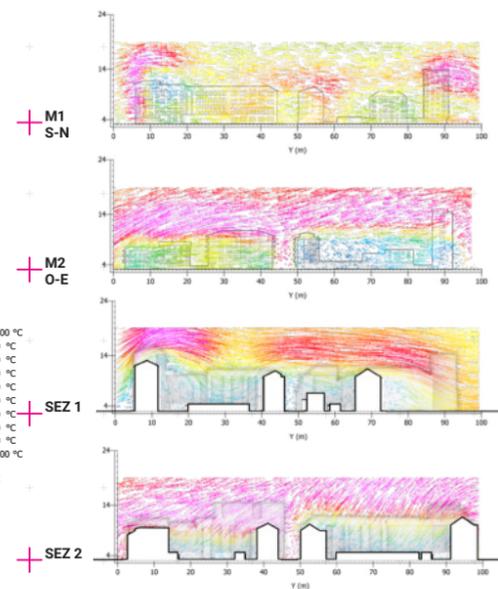
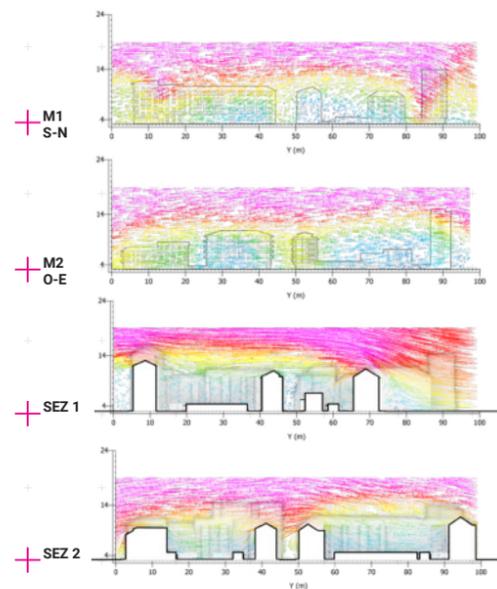


+ 10m +  
+

Stato di fatto



+ 10m +  
+



## Valutazioni sui risultati

La ricerca di tesi indaga l'efficacia dell'utilizzo dei cool materials sulla mitigazione del calore estivo e gli effetti dell'isola di calora. Nelle analisi e simulazioni seguenti vengono valute le variabili urbane che agiscono sul microclima urbano, come morfologia dell'ambito urbano, materiali delle superfici esterne e ventilazione.

Il caso studio preso in esame, presenta molteplici caratteristiche che influiscono sul microclima urbano, come la sua conformazione eterogenea e la diversa tipologia dei materiali delle superfici esterne. Queste condizioni permettono di verificare il comportamento climatico di diverse aree e individuare le zone critiche indagandone le cause.

L'applicazione di superfici altamente riflettenti dette "cool materials" pone l'obiettivo di ridurre l'assorbimento di irraggiamento termico dei materiali e limitare l'effetto dello sfasamento termico, causa in parte dell'isola di calore urbana.

Le simulazioni espone nelle pagine seguenti sono stati ottenuti ed estratti dal software Envi-met. Al fine di valutare l'efficacia di mitigazione del calore del caso studio e dei cool materials, sono state impiegate le condizioni di calore più sfavorevoli ovvero una giornata-tipo molto calda. Nel caso in esame, si è scelto il giorno 25 luglio 2022, i cui valori sono riportati nella tabella 1. I parametri climatici sono stati ricavati dai database sul sito di Arpa Piemonte, selezionando la stazione meteorologica più vicina al caso studio. I dati utilizzati si riferiscono alla temperatura dell'aria, all'umidità relativa, alla velocità e alla direzione del vento per ogni ora del giorno.

ORA	T.ARIA °C	RH %	WS m/s
00:00	29,1	60	1,4
01:00	28,6	62	0,7
02:00	28	64	1,4
03:00	27,5	64	0,9
04:00	27	66	1,2
05:00	27,2	66	1,1
06:00	27,4	64	1,8
07:00	28	62	1,8
08:00	28,7	59	1,8
09:00	31,4	49	1,9
10:00	32,2	45	1,6
11:00	33,7	41	2,2
12:00	34,6	37	1,1
13:00	35,5	34	2,2
14:00	35,2	34	1,5
15:00	35,6	34	1,5
16:00	35,6	35	1,1
17:00	35,1	32	1,7
18:00	26,7	60	3,8
19:00	25,4	63	1,5
20:00	26	64	2
21:00	25,6	62	1,4
22:00	25,9	62	2,3
23:00	25,6	59	3,6
00:00	25	64	2,5

**Tab. 1** Dati climatici di temperatura dell'aria, umidità relativa e velocità del vento riferiti al giorno 25/07/2022

Fonte: Arpa Piemonte

Le gradazioni di colore nelle mappe corrispondono ai valori di temperatura espressi in gradi Celsius. L'analisi delle simulazioni si concentrerà su quattro fasce orarie significative dal punto di vista della variazione microclimatica. Le fasce orarie studiate sono le seguenti: 10:00, 12:00, 15:00, e 18:00.

Sul software Envi-met sono stati ricreati i singoli materiali dei cool materials presi in esame, utilizzando i dati forniti dagli stessi produttori. In alcuni casi, a causa della mancanza di test specifici sull'indice albedo dei materiali, si è optato per l'utilizzo dell'indice di riflessione come parametro di albedo nell'inserimento delle caratteristiche termiche. La modellazione e il rilievo dimensionale degli edifici sono stati possibili partendo dall'acquisizione dei dati della carta dal Geoportale Torino. Per la modellazione del caso studio, è stata utilizzata la versione 5.0.3 di Envi-met, la quale comprende sei sezioni: Monde, Spaces, ENVI-guide, ENVI-core, BIO-met e Leonardo. Il modulo Projects/Workspaces è stato utilizzato per creare cartelle separate e impostazioni individuali per ogni simulazione (stato di fatto / applicazione di "cool materials").

Le condizioni microclimatiche verranno studiate analiticamente attraverso il software Envi-met, impostando parametri nell'ambito delle caratteristiche urbane (quali rapporto costruito e non costruito, rapporto verde orizzontale e rapporto asfalto) e parametri specifici delle superfici (caratteristiche dei materiali, aperture vetrate). Gli outputs della simulazione permetteranno di distinguere le risposte microclimatiche da

ciascun tipo di tessuto urbano attraverso la valutazione di valori ambientali chiave, quali la temperatura dell'aria, la temperatura superficiale, la PET (temperatura fisica equivalente) e la velocità del vento.

Tra i dati risultanti dalle simulazioni, sono state analizzate anche le variabili ambientali per i punti che presentano le condizioni di comfort esterno meno favorevoli (ovverosia i valori PET). Questa valutazione è stata effettuata attraverso i grafici esportati da Envi-met per due punti dell'area.

I dati e le mappe estrapolate dal software si riferiscono ad un'altezza di piano di 1,50m per simulare le condizioni percepite dal corpo umano.

Ogni mappa possiede una propria legenda, la quale riporta i valori minimi e massimi di temperatura presenti in quell'esatto momento. Le legende sono suddivise in una scala di dieci valori definite da una gradazione in "falsi colori".

# Valutazioni sui risultati

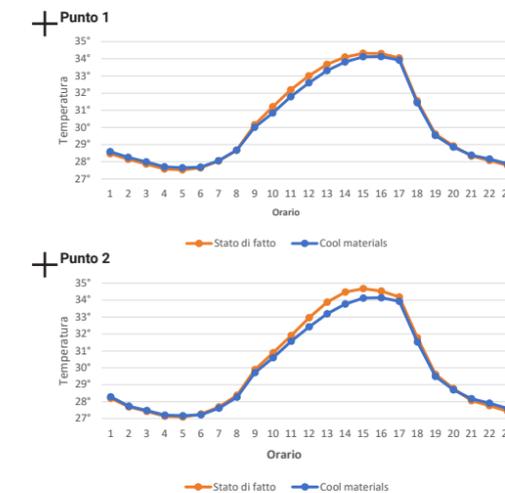
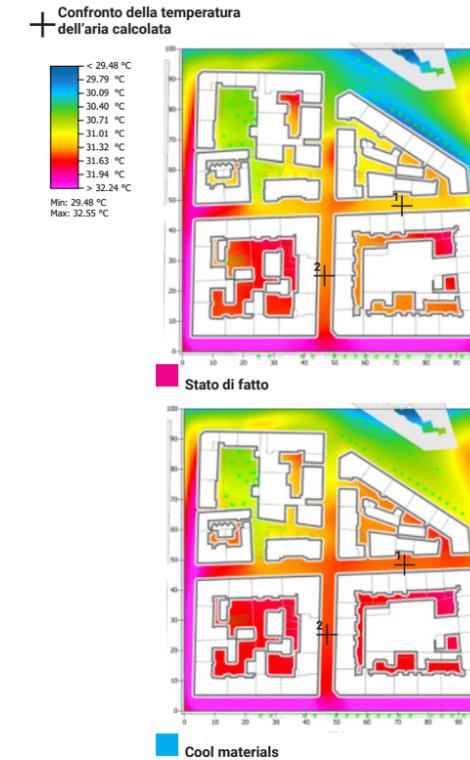
Dalle simulazioni si evince che la conformazione urbana e il ridotto rapporto H/W (altezza/ampiezza) dei canyon urbano influiscono fortemente sul microclima urbano.

Confrontando le ore del giorno analizzate riguardo le simulazioni sulla temperatura dell'aria, è possibile notare come l'aria interna di entrambi i canyon mantiene una bassa temperatura durante le ore più esposte, grazie all'ombreggiamento dato dagli edifici, mentre si ha un peggioramento durante le ore pomeridiane, dato dall'emissione di calore da parte delle superfici.

Nello scenario di progetto, l'applicazione di materiali cool non influisce in maniera rilevante. Anche i grafici riguardanti l'andamento della temperatura dell'aria registrata nei punti di controllo non registrano differenze sostanziali. Nello specifico si ha un miglioramento di circa 1°C nelle aree interne al canyon urbano e le aree interne agli isolati.

In questo senso, è importante valutare le diverse tipologie morfologiche degli isolati.

Le mappe delle simulazioni sulla temperatura dell'aria dimostrano una temperatura minore all'interno degli isolati a sud - ovest con tipologia di conformazione urbana ad isolati "chiusi", rispetto ai blocchi nord-est caratterizzati da un tipo di morfologia "aperta". La presenza di aperture e discontinuità nella maglia urbana rende più esposto l'interno dell'isolato all'irraggiamento solare aumentandone la temperatura delle superfici verticali la cui riflessione riscalda l'aria antistante. Nelle ore pomeridiane gli isolati ovest e sud ovest sono più esposti alla radiazione solare, così l'aria all'interno degli isolati N-E si mantiene più fresca rispetto agli isolati S-O.



Questo andamento è dato dal contributo della ventilazione che, interagendo con la morfologia degli edifici, verrebbe alimentato dalle differenze di altezza e la presenza di aperture. La permeabilità dell'isolato consente uno smaltimento di calore dato dalle correnti di ventilazione entranti. Queste condizioni definiscono una differenza di temperatura di circa 2°C. A questo proposito, i dati e le simulazioni sulla velocità e direzione del vento sono stati importanti per capire l'influenza sul microclima urbano.

Il riscaldamento dell'aria nelle ore pomeridiane è riconducibile all'emissione dei materiali ed al successivo scambio termico tra superficie aria. La mancanza di ventilazione interna crea una condizione stazionamento e accumulo di calore dove si raccoglie la massa termica.

Il punti di controllo presi in esame dimostrano l'effetto positivo dell'ombreggiamento. Nelle ore pomeridiane l'abbassamento dell'altezza del sole fa sì che l'ombra degli edifici sia più estesa raffrescando l'ambiente. Come dimostrato dalle mappe e dai grafici delle temperature superficiali che seguono pressoché lo stesso andamento.

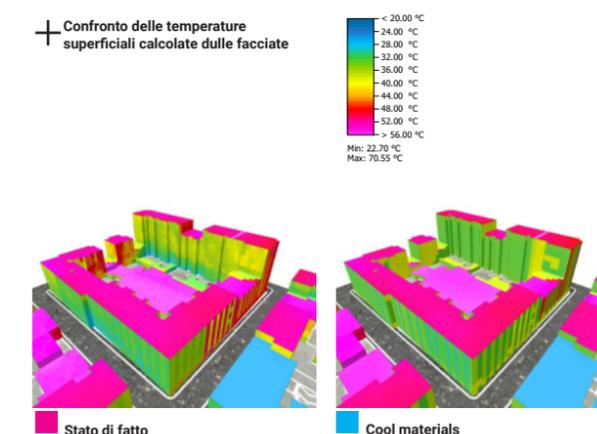
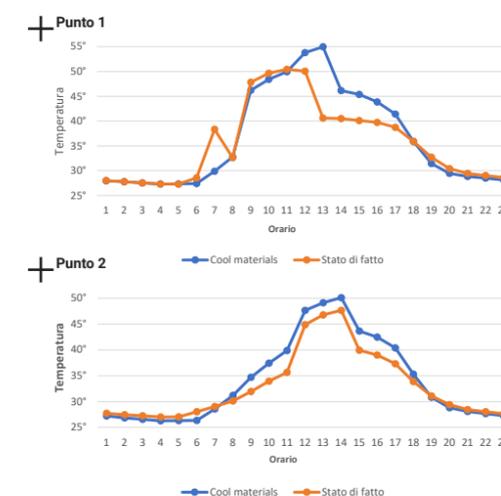
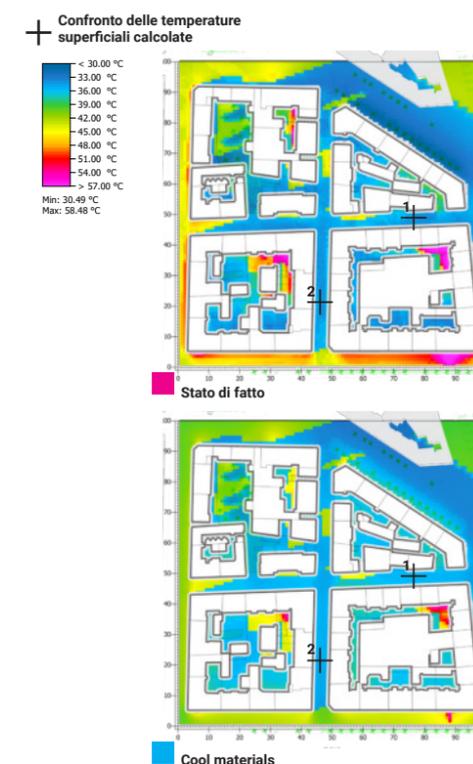
Come visibile sia dalle mappe che dai grafici, l'applicazione dei cool materials peggiora la temperatura dell'aria e del comfort termico in alcuni punti. La riflessione dei materiali in facciata incontra le superfici antistanti scatenando dinamiche di riflessione reciproca che provocano un aumento delle temperature. Questo fenomeno è visibile soprattutto nelle misurazioni dell'indice PET. Diversi studi di simulazione sostengono che il disagio

dei pedoni aumenta a causa dell'aumento della radiazione solare riflessa sul corpo umano. J. Yang et al. (2016) hanno calcolato un aumento dello stress termico fino a  $100 \text{ W/m}^2$  sui pedoni all'ora di mezzogiorno in uno scenario di elevata albedo. La stessa conclusione può essere raggiunta osservando i valori di PET in una simulazione di Taleghani e Berardi (2018), in cui l'aumento dell'albedo a 0,4 ha causato un aumento della PET di 6 K a mezzogiorno.

Diversamente avviene con i risultati sulla temperatura superficiale, in cui l'applicazione dei cool materials è fortemente rilevante per le temperature delle superfici orizzontali, dimostrando un decisivo miglioramento della temperatura. Le aree caratterizzate da un basso albedo e da un'alta emissività, assorbono la maggior parte della radiazione solare ricevuta e parte di questa viene convertita in energia termica provocando una sensazione di calore sulle superfici esterne, e un effettivo riscaldamento dell'aria. Anche nei dati registrati dai punti di controllo dimostrano una riduzione delle temperature superficiali di  $10 \text{ °C}$  in corrispondenza delle ore più esposte all'irraggiamento solare ovvero 12:00/15:00. Anche le aree interne degli isolati a maglia chiusa, riscontrano un netto miglioramento termico, limitando l'effetto del rilascio di calore nell'aria.

Come dimostrato nelle simulazioni di Rosso et al. (2018) lo scenario con il minor stress termico utilizzava una pavimentazione ad alta albedo e pareti a bassa albedo.

La presenza di vegetazione influisce sul microclima locale principalmente attraverso l'ombreggiamento. Il caso studio preso in esame presenta



poche aree caratterizzate dalla presenza di vegetazione; un'area verde con la presenza di alberi all'interno del cortile nord e in congiunzione con l'asse ovest est di via Don bosco e la presenza di un filare di alberi al confine con isolato nord est, in corrispondenza con il Corso Umbria. Dalle mappe di analisi è visibile come queste due aree abbiano un comportamento dissimile dato dalla diversa composizione spaziale.

Nel caso dell'isolato a nord la presenza della vegetazione migliora la temperatura dell'aria e la temperatura superficiale principalmente nelle aree ombreggiate dalla chioma degli alberi. Nelle simulazioni dell'indice PET, si può constatare un importante miglioramento delle condizioni di comfort termico, dato appunto dalle aree ombreggiate e la vegetazione del terreno che, come indagato in letteratura, riduce la temperatura grazie ai processi di evotraspirazione. I dati registrano una diminuzione delle temperature di circa  $5 \text{ °C}$ .

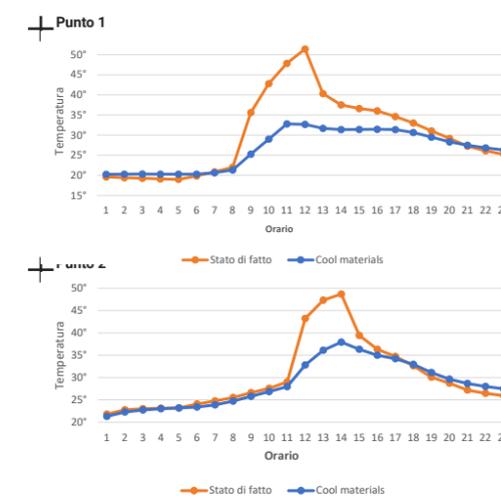
Confrontando tutte le analisi, il lungo il filare di alberi ad est può essere considerato il punto che gode della migliore condizione. È possibile constatare una ridotta temperatura dell'aria, costante nell'arco della giornata, così come le mappe di temperatura superficiale e PET. Il reciproco ombreggiamento degli alberi e della facciata adiacente, fa sì che l'area in questione sia in costanti condizioni di ombra e quindi di barriera all'irraggiamento solare, limitando il surriscaldamento del suolo e delle superfici.

I bordi degli edifici presentano un maggiore stress termico a causa delle aree asfaltate. Nelle analisi delle temperature superficiali, l'asfalto presenta una temperatura maggiore rispetto agli altri materiali di superficie. In tutte le fasce orarie analizzate l'andamento delle temperature superficiali segue in modo diretto l'andamento solare. Infatti, dalle mappe di temperatura superficiale dello stato di fatto, è possibile distinguere le aree esposte da quelle ombreggiate, con un picco termico di 52 °C alle ore 12:00. Dalle stesse mappe si evince che le superfici che raggiungono la temperatura più alta sono le superfici asfaltate. Aree caratterizzate da un basso albedo e alta emissività.

Dalle simulazioni è possibile notare che le aree con maggior discomfort si verifica in prossimità delle facciate più esposte rispetto all'andamento solare. I livelli di disagio più elevati si concentrano all'interno degli isolati, e in corrispondenza delle superfici più esposte.

Dopo il processo di confronto, si è notato che la temperatura dell'aria è la variabile ambientale che fluttua meno rispetto alle due condizioni di analisi. L'andamento delle variabili termiche sono state analizzate nello specifico con l'inserimento di due punti di controllo nei canyon urbani del caso studio. Le due strade sono caratterizzate da diversi orientamenti, i canyon urbani orientati a NO-SE hanno ospitato condizioni più svantaggiose per tutte le variabili ambientali, rispetto a quelli orientati a NE-SO.

In tutte le aree urbane, per l'orientamento NO-SE, la radiazione solare ha avuto il più alto impatto sul comfort termico in termini di disagio termico a a livello pedonale.



Dalle analisi si evince che nel caso dell'applicazione dei cool materials, i punti selezionati dai canyon urbani hanno livelli di comfort maggiori in termini di PET rispetto alla condizione di stato di fatto. Allo stesso modo i dati sulla temperatura superficiale dimostrano un netto miglioramento e quindi un miglior comfort termico outdoor.

In generale, dal confronto delle mappe di stato di fatto e di progetto è visibile come, nonostante le aree interne agli isolati chiusi godano di un maggior ombreggiamento durante il giorno, queste abbiano una condizione microclimatica peggiore rispetto agli isolati aperti. Questo dimostra l'influenza dello scambio di massa termica tra materiali e aria esterna peggiorato dalla condizione morfologica. Al contrario, negli isolati aperti e caratterizzati dalla presenza di vegetazione, si rileva un abbassamento delle temperature.

Nell'applicazione dei cool materials, la riduzione potenziale delle temperature e dell'indice PET coinvolge soprattutto le aree interne agli isolati, migliorando le condizioni termiche date dall'accumulo di calore visibile nello stato di fatto. Tale condizione non si verifica in alcuni punti del perimetro degli isolati, probabilmente a causa dell'effetto di riflessione dei cool materials sulle aree adiacenti e ombreggiate dagli edifici.

Occorre sottolineare che anche la temperatura dell'aria è fortemente influenzata dai fattori morfologici e la ventilazione. Anche in questo caso, infatti, le zone più critiche sono quelle contraddistinte dall'assenza di elementi ombreggianti.

## BIBLIOGRAFIA

AA.VV., Progetto RUROS, Progettare gli spazi aperti nell'ambiente urbano: un approccio bioclimatico, CRES (Centre for Renewable Energy Sources, Departmento of Buildings), 2004.

Akbari, H, Davis, S, Huang, J, Dorsano, S, and Winnett, S. Cooling our communities: A guidebook on tree planting and light-colored surfacing, US Environmental Protection Agency, Office of Policy Analysis, Climate Change Division, 1992.

Akbari, H., Menon, S. & Rosenfeld, A. Global cooling: increasing world-wide urban albedos to offset CO<sub>2</sub>, *Climatic Change* 94, pp. 275–286, 2009. <https://doi.org/10.1007/s10584-008-9515-9>.

Andreou, E. (2013). Thermal comfort in outdoor spaces and urban canyon microclimate. *Renewable Energy*, 55, 182–188. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.12.040>

Antonini, E. & Tucci, F., *Architettura, città e territorio verso la Green Economy. La costruzione di un manifesto della Green economy per l'architettura e la città del futuro*, Edizioni Ambiente, Milano. p. 89, 2017.

Antonini, E. & Tucci, F. (eds) (2017). *La costruzione di un manifesto della Green economy per l'architettura e la città del futuro*, in Antonini E. & Tucci F. (eds), *Architettura, Città e Territorio verso la Green Economy*, Edizioni Ambiente, Milano. Edizioni Ambiente, Milano. p. 89

Arpa Piemonte, Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali, *Analisi di Vulnerabilità Climatica della Città di Torino*, Città di Torino, 2020. [http://www.comune.torino.it/torinosostenibile/documenti/200806\\_analisi\\_vulnerabilita\\_climatica.pdf](http://www.comune.torino.it/torinosostenibile/documenti/200806_analisi_vulnerabilita_climatica.pdf). Visualizzato il 12 dicembre 2022.

Arpa Piemonte, Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali, *Dati Ambientali*, n.d. <https://www.arpa.piemonte.it/dati-ambientali>. Visualizzato il 2 maggio 2023.

Arpa Piemonte, Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali, *Il Clima in Piemonte nel 2021*. [https://www.regione.piemonte.it/web/sites/default/files/media/documenti/2022-06/sintesi\\_dati\\_arpa-1.pdf](https://www.regione.piemonte.it/web/sites/default/files/media/documenti/2022-06/sintesi_dati_arpa-1.pdf). Visualizzato il 13 luglio 2022.

Bank, W. (2021). *A Catalogue of Nature-Based Solutions for Urban Resilience* (Washington, D.C., Ed.). World Bank Group.

Barlag, A.-B., & Kuttler, W, The significance of country breezes for urban planning. *Energy and Buildings*, Vol. 15, Issues 3-4, pp. 291–297, 1990. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(90\)90001-y](https://doi.org/10.1016/0378-7788(90)90001-y).

Beatley, T., & Newman, P, *Biophilic Cities Are Sustainable, Resilient Cities*. *Sustainable Cities*, pp. 3–28, 2017. <https://doi.org/10.1201/b19796-3>.

Beatley, T., & Newman, P, *Green Urbanism Down Under*, Island Press, USA, 2008.

Browder, G., Ozment, S., Rehberger Bescos, I., Gartner, T., & Lange, G.-M, *Integrating Green and Gray: Creating Next Generation Infrastructure*, WRI Publications, 2019. <https://doi.org/10.46830/wriipt.18.00028>.

Cartografia Geoportale - Città di Torino. (n.d.). <http://geoportale.comune.torino.it/web/cartografia/>.

Casavecchia G., *Covid-19 e qualità dell'aria*, Pearson, pp. 34-37, n.d. <https://it.pearson.com/content/dam/region-core/italy/pearson-italy/images/Pearson%20per%20le%20scienze/SCIENZE-PDF-agenda2030-Covid19-qualita-aria.pdf>. Visualizzato il 9 giugno 2023.

Chatzidimitriou, A., & Axarli, K., *Street Canyon Geometry Effects on Microclimate and Comfort; A Case Study in Thessaloniki*, *Procedia Environmental Sciences*, Vol. 38, pp. 643–650, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.144>.

Chatzidimitriou, A., & Yannas, S., Street canyon design and improvement potential for urban open spaces; the influence of canyon aspect ratio and orientation on microclimate and outdoor comfort, *Sustainable Cities and Society*, Vol. 33, pp. 85–101, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.05.019>.

Cheng, V., Givoni, B., 2005. Effect of envelope color and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate. *Solar Energy* 78, 528–534.

Chen Y, Wong NH. Thermal benefit of city parks, *Energy and buildings*, Vol. 38, Issue 2, pp. 105-20, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.04.003>.

Chen, J., Xu, C., Gao, M., & Li, D., Carbon peak and its mitigation implications for China in the post-pandemic era. *Scientific Reports* 12(1), 2022. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07283-4>.

Climate Protection Partnership Division, *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of strategies*, U.S. Environmental Protection Agency, 2008. <https://www.epa.gov/heatislands/heat-island-compendium>. Visualizzato il 25 gennaio 2023.

CMCC, IPCC AR6 Sesto Rapporto di Valutazione sui Cambiamenti Climatici - GLOSSARIO MINIMO dell'IPCC (traduzione a cura di Laura Caciagli per Ipcc Focal Point per l'Italia), 2022. [https://www.cmcc.it/wp-content/uploads/2014/04/IPCC\\_AR5\\_Glossario\\_IT.pdf](https://www.cmcc.it/wp-content/uploads/2014/04/IPCC_AR5_Glossario_IT.pdf). Visualizzato il 16 febbraio 2023.

Comune di Torino, *Il verde a Torino – Verde Pubblico*, (n.d.). <http://www.comune.torino.it/verdepubblico/il-verde-a-torino/>. Visualizzato il 16 febbraio 2023.

Comune di Torino, *Piano Strategico dell'Infrastruttura Verde, 2020b* [https://servizi.comune.torino.it/consiglio/prg/documenti1/atti/allegati/202002957\\_1tc.pdf](https://servizi.comune.torino.it/consiglio/prg/documenti1/atti/allegati/202002957_1tc.pdf)

Deserti, M. (2020). *REPORT COVID-19: studio preliminare degli effetti delle misure covid-19 sulle emissioni in atmosfera e sulla qualità dell'aria nel bacino padano*, C. Agostini, lifeprepare, 2020. [https://www.lifeprepare.eu/wp-content/uploads/2020/06/COVIDQA-Prepair-19Giugno2020\\_final.pdf](https://www.lifeprepare.eu/wp-content/uploads/2020/06/COVIDQA-Prepair-19Giugno2020_final.pdf). Visualizzato il 6 maggio 2023.

Dimoudi, A., Zoras, S., Kantzioura, A., Stogiannou, X., Kosmopoulos, P., & Pallas, C., Use of cool materials and other bioclimatic interventions in outdoor places in order to mitigate the urban heat island in a medium size city in Greece. *Sustainable Cities and Society*, Vol.13,pp. 89–96, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2014.04.003>.

Dionysia-Denia Kolokotsa, Mattheos Santamouris, & Akbari, H., *Advances in the Development of Cool Materials for the Built Environment*, Bentham Science Publishers, 2013. <https://doi.org/10.2174/97816080547181130101>.

Dipasquale, L., & Mecca, I., Vernacular architecture as codified model for the contemporary sustainable project, *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, Vol. 12, pp. 190-198, 2016. <https://doi.org/10.13128/Techne-19352>.

Donadio, C., & Forelli, A., *Adattarsi al clima che cambia. Innovare la conoscenza per il progetto ambientale*, Rigenerazione Urbana, Maggioli Editore, pp. 61-64, 2020.

E. Andreou, Thermal comfort in outdoor spaces and urban canyon microclimate, *Renewable Energy*, Vol. 55, pp. 182-188, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.12.040>.

Emmanuel, R., Rosenlund, H., & Johansson, E., Urban shading—a design option for the tropics? A study in Colombo, Sri Lanka, *International Journal of Climatology*, Vol. 27(14), pp. 1995–2004, 2007. <https://doi.org/10.1002/joc.1609>.

ENVI-met, ENVI-met. A holistic Microclimate Modelling System, 2021. ENVI-met. A holistic Microclimate Modelling System [A holistic microclimate model]. Visualizzato il 16 maggio 2023.

Erell, E., Pearlmutter, D., & Williamson, T. J., *Urban microclimate: Designing the Spaces Between Buildings*, Routledge., 2010. <https://doi.org/10.4324/9781849775397>.

European Commission, *Nature-Based Solutions & Re-Naturing Cities*, Final Report of the Horizon 2020 Expert Group, 2015.

Frantzeskaki, N., Seven lessons for planning nature-based solutions in cities, *Environmental Science & Policy*, Vol. 93, pp. 101–111, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.12.033>.

Finster, M. E., & Gray, K. E. (2001). The Urban Heat Island, Photochemical Smog, and Chicago: Local Features of the Problem and Solution. In *Energy and Climate in the Urban Built Environment*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315073774>

Finster, M. E., & Gray, K. E. (1999). The Urban Heat Island, Photochemical Smog, and Chicago: Local Features of the Problem and Solution. *Advances in the development of cool materials for the built environment*. Bentham Science Publishers, 3. <https://doi.org/10.2174/9781608054718113010005>  
Created from polito-ebooks on 2022-10-05

Garzena, D., Acquavota, F., & Fratianni, S. (2018). Analysis of the long-time climate data series for Turin and assessment of the city's urban heat island. *Weather*, 74(10), 353–359. <https://doi.org/10.1002/wea.3292>

Georgakis, Ch., Zoras, S., & Santamouris, M., Studying the effect of “cool” coatings in street urban canyons and its potential as a heat island mitigation technique, *Sustainable Cities and Society*, Vol. 13, pp. 20–31. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2014.04.002>.

Gilbert, H. E., Rosado, P. J., Ban-Weiss, G., Harvey, J. T., Li, H., Mandel, B. H., Millstein, D., Mohegh, A., Saboori, A., & Levinson, R. M., Energy and environmental consequences of a cool pavement campaign, *Energy and Buildings*, Vol. 157, pp. 53–77, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.051>.

Gray, K. A., & Finster, M. E., *The Urban Heat Island, Photochemical Smog, and Chicago: Local Features of the Problem and Solution*, 1999.

Han, D., Fei, J., Mandal, J., Liu, Z., Li, H., Raman, A. P., & Ng, B. F., Sub-ambient radiative cooling under tropical climate using highly reflective polymeric coating. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 240, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2022.111723>.

Helm, D., Climate-change policy, *The Economics and Politics of Climate Change*, pp. 9–35, 2009. <https://doi.org/10.1093/acprof:osobl/9780199573288.003.0002>

Henry Feriadi, Thermal comfort for naturally ventilated residential buildings in tropical climate, National University of Singapore, 2004. <http://scholarbank.nus.edu.sg/handle/10635/13922>.  
Visualizzato il 3 aprile 2022.

Höppe, P., The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment, *International Journal of Biometeorology*, Vol. 43, pp. 71–75, 1999. <https://doi.org/10.1007/s004840050118>

IPCC, AR5 Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, *ipcc.ch*, 2014. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>. Visualizzato il 20 giugno 2022.

Jha, A. K., Bloch, R., & Lamond, J., *Cities and flooding a guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century*, World Bank, 2021. <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-8866-2>.

Kaufui V. Wong and M. Jacqueline Pape Wong, *Climate Change and Theories*, Momentum Press, 2015.

Karlessi T, Santamouris M, Apostokalis K, Synnefa A, Livada I. Development and testing of thermochromic coatings for buildings and urban structures. *Solar Energy* 2008; 83: 538-51.

Karlessi, T., Santamouris, M., Apostolakis, K., Synnefa, A., & Livada, I. (2009). Development and testing of thermochromic coatings for buildings and urban structures. *Solar Energy*, 83(4), 538–551. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.10.005>.

Klein, R. J. T., Eriksen, S. E. H., Næss, L. O., Hammill, A., Tanner, T. M., Robledo, C., & O'Brien, K. L., Portfolio screening to support the mainstreaming of adaptation to climate change into development assistance, *Climatic Change*, Vol. 84, pp. 23–44, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10584-007-9268-x>.

Lai, D., Liu, W., Gan, T., Liu, K. and Chen, Q. A review of mitigating strategies to improve the thermal environment and thermal comfort in urban outdoor spaces, *Science of the Total Environment*, n. 661/2019, pp. 337– 353, 2019. 10.1016/j.scitotenv.2019.01.062. Visualizzato il 20 giugno 2022.

Landscapefor. (1995) Indagine Sulla morfologia Urbana di torino. campo per piani. . , da <https://www.landscapefor.eu/documents/racconti/rappresentazioni/60-sul-campo-per-piani/108-l%E2%80%99indagine-sulla-morfologia-urbana-nel-quadro-della-ricerca-sulle-periferie-per-il-prg-di-torino?limit=1&start=1>

Larsen, L., Rajkovich, N., Leighton, C., McCoy, K., Calhoun, K., Mallen, E., Bush, K., Enriquez, J., Pyke, C., McMahon, S. & Kwok, A., *Green Building and Climate Resilience: Understanding Impacts and Preparing for Changing Conditions*, University of Michigan, US Green Building Council, 2011.

Lee, H., Mayer, H., & Chen, L., Contribution of trees and grasslands to the mitigation of human heat stress in a residential district of Freiburg, Southwest Germany, *Landscape and Urban Planning*, Vol. 148, pp. 37–50, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.12.004>.

Lobaccaro, G., De Ridder, K., Acero, J. A., Hooyberghs, H., Lauwaet, D., Maiheu, B., Sharma, R., & Govehovitch, B., Applications of models and tools for mesoscale and microscale thermal analysis in mid-latitude climate regions— A review, *Sustainability*, Vol. 13, 2021. <https://doi.org/10.3390/su132212385>.

Locatelli, B., *Mitigation-Adaptation Synergies*, Center for International Forestry Research (CIFOR), 2014. <https://www.cifor.org/knowledge/publication/4263/>. Visualizzato il 15 marzo 2023.

Locatelli, B., *Synergies between adaptation and mitigation in a nutshell*, Center for International Forestry Research (CIFOR), 2011. <https://doi.org/10.17528/cifor/003619>.

Lucarelli, M. T., & Rigillo, M., Resilience and technological culture of design: the centrality of method, *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, n. 15, pp. 60-64, 2018. <https://doi.org/10.13128/Techne-23204>.

Lucarelli, M. T., D'Ambrosio, V. & Milardi, M., *Resilienza e adattamento dell'ambiente costruito*", in Antonini E. & Tucci F., *Architettura,Città e Territorio verso la Green Economy*, Edizioni Ambiente, Milano, 2017

MacKinnon, K., C. Sobrevila, V., Hickey, *Biodiversity, Climate change and adaptation: Nature-based solutions from the Word Bank portfolio*, World Bank, 2008.

Mario L., Maria Teresa L., Marina R., & Renata V., *Adattarsi al clima che cambia. Innovare la conoscenza per il progetto ambientale*, Rigenerazione Urbana, Maggioli Editore, 2020.

Melis Turkan Ozalp., *Microclimatic response to urban morphology: The case of Turin*. Rel. Riccardo Pollo, Matteo Trane. Politecnico di Torino, Corso di laurea magistrale in Architettura Per Il Progetto Sostenibile, 2022. <http://webthesis.biblio.polito.it/id/eprint/23925>. Visualizzato il 4 luglio 2023.

Mercogliano, P., & Fondazione Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici, *Cambiamento climatico, Adattarsi al clima che cambia. Innovare la conoscenza per il progetto ambientale*, Rigenerazione Urbana, Maggioli Editore, 2020.

Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, *Strategia Nazionale per lo Sviluppo Sostenibile*, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, 2018. <https://ricercadelibere.programmazioneeconomica.gov.it/media/docs/2017/E170108.pdf>. Visualizzato il 23 giugno 2023

Mitchell, R., Popham, F. Effect of exposure to natural environment on health inequalities: An observational population study, *Lancet*, Vol. 373, pp. 1655–1660, 2008. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(08\)61689-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(08)61689-X).

Moffat A, Schiler M., *Landscape design that saves energy*, William Morrow and Company, 1981.

Nikolopoulou, M., Chrisomallidou, N., Steemers, K., Compagnon, R., Kang, J., Kofoed, N.,et al., *Rediscovering the urban realm and open spaces (RUROS)*, 2001 2003. Key action 4, city of tomorrow and cultural heritage, from the program energy, environment and sustainable development, within the fifth framework program of the EU, 2004.

Oke TR, *Boundary Layer Climates*, Routledge, p. 33-76, 1987.

P. Missios, D. Banting, H. Doshi, J. Yiuwah Li, *Report on the Environmental Benefits and Costs of Green Roof Technology for the City of Toronto*, Ryerson University, 2005. <http://www.toronto.ca/greenroofs/pdf/fullreport103105.pdf>. Visualizzato il 7 giugno 2023.

Claus Kondrup, Mercogliano, P., Bosello, F., Jaroslav Mysiak, Enrico Scoccimarro, Rizzo, A., Rhian Ebrey, Marleen de Ruiter, Ad Jeuken, & Watkiss, P. (2022). *Climate Adaptation Modelling*. Springer.

Paroli, R. M., Dutt, O., Delgado, A. H., & Stenman, H. K. , *Ranking PVC Roofing Membranes Using Thermal Analysis*, *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 5(1), pp. 83–95, 1993 [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0899-1561\(1993\)5:1\(83\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0899-1561(1993)5:1(83)).

Paul & Banting, Doug & Doshi, Hitesh & Li, James & Au, Angela & Currie, Beth & Verrati, Michael, *Report on the Environmental Benefits and Costs of Green Roof Technology for the City of Toronto*, 2005.

Pisello, A. L., & Cotana, F., *The thermal effect of an innovative cool roof on residential buildings in Italy: Results from two years of continuous monitoring*, *Energy and Buildings*, Vol. 69, pp. 154–164, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.10.031>.

Pollo, R. & Trane, M., *Adaptation, Mitigation, and Smart Urban Metabolism towards the Ecological Transition*, *ELETTRONICO*, pp. 74-89, 2021. 433249 (polito.it).

Pollo, R., Trane, M., & Giovanardi, M. *Urban, Metabolism, interdisciplinary models and design at micro-urban scale*, *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, Vol. 21, pp. 154-164, 2021. <https://doi.org/10.13128/techne-98577>.

Radhi, H., Assem, E., & Sharples, S., *On the colours and properties of building surface materials to mitigate urban heat islands in highly productive solar regions*, *Building and Environment*, Vol. 72, pp. 162–172, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.11.005>.

Raymond, C. M., Frantzeskaki, N., Kabisch, N., Berry, P., Breil, M., Nita, M. R., Geneletti, D., & Calfapietra, C., *A framework for assessing and implementing the co-benefits of nature-based solutions in urban areas*, *Environmental Science & Policy*, Vol. 77, pp. 15–24, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.07.008>.

Rehan R. M., *Cool city as a sustainable example of heat island management case study of the coolest city in the world*, *HBRC Journal*, Vol. 12(2), pp. 191–204, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.hbrcj.2014.10.002>.

Rigillo, M., *Rischio, vulnerabilità e resilienza nuovi paradigmi del progetto urbano*, in D'Ambrosio, V. & Leone, M. F., *Progettazione ambientale per l'adattamento al Climate Change 1. Modelli innovativi per la produzione di conoscenza*, Clean edizioni, pp. 180-189, 2016.

Rizzuto, E., *Edilizia circolare è l'inizio della rivoluzione*, *ArchDaily*, 2021. <https://www.archdaily.com/931240/the-facts-about-architecture-and-climate-change>

Rosenfeld, A. H., Akbari, H., Romm, J. J., & Pomerantz, M., *Cool communities: strategies for heat island mitigation and smog reduction*, *Energy and Buildings*, Vol. 28(1), pp. 51–62. 1998. [https://doi.org/10.1016/s0378-7788\(97\)00063-7](https://doi.org/10.1016/s0378-7788(97)00063-7).

Rossi, R., Università degli Studi di Firenze, Maria Vittoria Arnetoli, Mercogliano P., & Fondazione Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici, *Resilienza, Adattarsi al clima che cambia. Innovare la conoscenza per il progetto ambientale*, Maggioli Editore, p. 31, 2020.

Rosso, F., Golasi, I., Castaldo, V.L., Piselli, C., Pisello, A.L., Salata, F., Ferrero, M., Cotana, F., de Lieto Vollaro, A., 2018. *On the impact of innovative materials on outdoor thermal comfort of pedestrians in historical urban canyons*. *Renew. Energy* 118, 825–839. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.11.074>.

Saito I., O. Ishihara, T. Katayama, *Study of the effect of green areas on the thermal environment in an urban area*, *Energy and Buildings*, Vol 15-16, pp. 493-98, 1990.

Salata, F., Golasi, I., Vollaro, A. de L., & Vollaro, R. de L., How high albedo and traditional buildings' materials and vegetation affect the quality of urban microclimate. A case study, *Energy and Buildings*, Vol. 99, pp. 32–49, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.04.010>

Santamouris, M. (Ed.). *Energy and Climate in the Urban Built Environment*, Routledge, 2013. <https://doi.org/10.4324/9781315073774>.

Scalzo, I. (2019) Il comfort termoigrometrico nel progetto di riqualificazione dei cortili scolastici: implicazioni pedagogiche, sociali e ambientali. Due casi studio nel quartiere Lingotto di Torino. Politecnico di Torino

Scott, K., Simpson, J., & McPherson, E. G., Effects of Tree Cover on Parking Lot Microclimate and Vehicle Emissions, *Journal of Arboriculture*, Vol. 25(3), pp. 129–142, 1999. <https://doi.org/10.48044/jauf.1999.019>.

Shahidan, M. F., Jones, P. J., Gwilliam, J., & Salleh, E., An evaluation of outdoor and building environment cooling achieved through combination modification of trees with ground materials, *Building and Environment*, Vol. 58, pp. 245–257, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.07.012>,

Siegel, R., & Howell, J. R., *Thermal radiation heat transfer*, Taylor & Francis, 2020.

Stone, B., *The Green Factor, The city and the coming climate: Climate change and the places we live*, Cambridge University Press, pp. 97–126, 2012. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139061353>.

Synnefa, A., Santamouris M., White or light-colored cool roofing materials. *Advances in the development of cool materials for the built environment*, Bentham Science Publishers, 34, 2013.

Synnefa, A., Santamouris, M., & Livada, I., A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment, *Solar Energy*, Vol. 80(8), pp. 968–981, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2005.08.005>.

Taha, H., Konopacki, S., & Gaberseck, S., Impacts of Large-Scale Surface Modifications on Meteorological Conditions and Energy Use: A 10-Region Modeling Study, *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 62 (3-4), pp. 175–185, 1999. <https://doi.org/10.1007/s007040050082>.

Taha, H., Modeling the impacts of large-scale albedo changes on ozone air quality in the South Coast Air Basin, *Atmospheric Environment*, Vol. 31 (11), pp. 1667–1676, 1997. [https://doi.org/10.1016/s1352-2310\(96\)00336-6](https://doi.org/10.1016/s1352-2310(96)00336-6).

Taleghani, M., 2018. Outdoor thermal comfort by different heatmitigation strategiesa review. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 81, 2011–2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.010>.

Tan, J., Zheng, Y., Tang, X., Guo, C., Li, L., Song, G., Zhen, X., Yuan, D., Kalkstein, A. J., Li, F., & Chen, H., The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai, *International Journal of Biometeorology*, Vol. 54(1), pp. 75–84, 2009. <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0256-x>.

Theodore, & Koulouri, k, Trees as infrastructure in the new Glasgow plan. *DomusAir*, 2022.<https://www.domusweb.it/en/speciali/domus-air/2022/treesareinfrastructure.html>. Visualizzato il 3 luglio 2023.

U.S. Environmental Protection Agency, Estimating the environmental effects of green roofs: A case study in Kansas City, Missouri, EPA, 2018. [www.epa.gov/heat-islands/using-green-roofs-reduce-heat-islands](http://www.epa.gov/heat-islands/using-green-roofs-reduce-heat-islands).

United Nations. (n.d.), *The Global Goals*, 2015. <https://www.globalgoals.org/> . Visualizzato il 15 marzo 2023.

Walsh, N. P., *The Facts about Architecture and Climate Change*, ArchDaily, 2020. <https://www.archdaily.com/931240/the-facts-about-architecture-and-climate-change>. Visualizzato il 3 luglio 2023.

Wishart, M., Wong, T., Furmage, B., Liao, X., Pannell, D., & Wang, J., Valuing the benefits of nature-based solutions, World Bank, 2021. <https://doi.org/10.1596/35710>.

Wong NH, Tan PY, Chen Y., Study of thermal performance of extensive rooftop greenery systems in the tropical climates, *Building and Environment*, Elsevier, Vol. 42, pp. 25-54, 2007.

Wong, L. P., Alias, H., Aghamohammadi, N., Aghazadeh, S., & Nik Sulaiman, N. M. Urban heat island experience, control measures and Health Impact: A survey among working community in the city of Kuala Lumpur, *Sustainable Cities and Society*, Vol. 35, pp. 660–668, 2017. Urban heat island experience, control measures and health impact: A survey among working community in the city of Kuala Lumpur - ScienceDirect.

World Bank, The World Bank Annual Report 2010: Year in Review, Open Knowledge World Bank, 2010. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/5906>.

Wong Nyuk Hien & Jusuf Steve Kardinal. Urban Heat Island and Mitigation Strategies at City and Building Level Author(s): Nyuk Hien Wong and Steve Kardinal JusufPp: 3-32 (30). 10.2174/9781608054718113010004

Yang, X., Zhao, L., Bruse, M., & Meng, Q., 2013. Evaluation of a microclimate model for predicting the thermal behavior of different ground surfaces, *Building and Environment*, Vol. 60, pp. 93–104, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.11.008>.

Yang, J., Wang, Z.H., Kaloush, K.E., Dylla, H., 2016. Effect of pavement thermal properties on mitigating urban heat islands: a multi-scale modeling case study in Phoenix. *Build. Environ.* 108, 110–121. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.08.021>.

