

## ARTICLE INFO

Received	10 March 2026
Revised	15 April 2026
Accepted	17 April 2026
Published	30 June 2026

## RIFUGI CLIMATICI COME INFRASTRUTTURE URBANE ADATTIVE

Una rete sistemica per ridurre le disuguaglianze

## CLIMATE SHELTERS AS ADAPTIVE URBAN INFRASTRUCTURES

A systemic network to reduce inequalities

Danila Longo, Rossella Roversi, Riccardo Mercuri, Beatrice Turillazzi

### ABSTRACT

Il cambiamento climatico sta intensificando le disuguaglianze nelle aree urbane, colpendo in modo più grave le popolazioni vulnerabili durante le ondate di caldo estremo. In tale contesto il presente articolo propone una reinterpretazione critica dei rifugi climatici come infrastrutture urbane permanenti di ridistribuzione esplicitamente collegate all'SDG 10 (Ridurre le disuguaglianze). Attraverso una revisione critica della letteratura svolta in maniera strutturata, un'analisi comparativa di casi studio internazionali pionieristici (Barcellona, Parigi, Bilbao) e la sperimentazione condotta a Bologna nell'ambito dei progetti PNRR Ecosister e TALEA, la ricerca dimostra come reti interconnesse di rifugi climatici, concepiti come dispositivi relazionali e sistemici che integrano soluzioni basate sulla natura, innovazione digitale e inclusione sociale possano contrastare le ingiustizie spaziali e climatiche, garantendo il diritto al comfort come diritto ambientale condiviso.

Climate change is intensifying inequalities in urban areas, affecting vulnerable populations more severely during extreme heatwaves. In this context, this article proposes a critical reinterpretation of climate shelters as permanent urban infrastructures of redistribution explicitly linked to SDG 10 (Reduce inequalities). Through a structured critical literature review, a comparative analysis of pioneering international case studies (Barcelona, Paris, Bilbao), and the experimentation conducted in Bologna within the PNRR Ecosister and TALEA projects, the research demonstrates how interconnected networks of climate shelters, conceived as relational and systemic devices integrating nature-based solutions, digital innovation, and social inclusion, can counter spatial and climate injustices, guaranteeing the right to comfort as a shared environmental right.

### KEYWORDS

rifugi climatici, giustizia climatica, infrastrutture verdi, vulnerabilità climatica urbana, equità spaziale

climate shelters, climate justice, green infrastructures, urban climate vulnerability, spatial equity

**Danila Longo**, Architect and PhD, is a Full Professor of Architectural Technology at the Department of Architecture of the University of Bologna (Italy) and UniBO Representative in the 'European Construction, built environment and energy efficient building Technology Platform' (ECTP). She works on energy efficiency, climate adaptation, and co-design for the green transition. E-mail: danila.longo@unibo.it

**Rossella Roversi**, Architect and PhD, is a Researcher at the Department of Architecture of the University of Bologna (Italy). She works on urban regeneration, climate-change adaptation strategies, energy transition, urban-scale digital twins, and enhancement of Cultural Heritage. E-mail: rossella.roversi@unibo.it

**Riccardo Mercuri**, PhD Candidate at the Department of Architecture of the University of Bologna (Italy), works on Transition Design with a planet-oriented approach in contexts of climate fragility. E-mail: riccardo.mercuri2@unibo.it

**Beatrice Turillazzi**, Architect and PhD, is Associate Professor of Architectural Technology at the Department of Architecture of the University of Bologna (Italy). She works on building design, accessibility, BIM, and the digitalisation of the built environment. E-mail: beatrice.turillazzi@unibo.it



Il cambiamento climatico aggrava le disuguaglianze nelle aree urbane esponendo in modo sproporzionato le popolazioni più vulnerabili a temperature estreme e a eventi meteorologici intensi (IPCC, 2023; Nazish, Abbas and Sattar, 2024). In contesti segnati da asimmetrie socioeconomiche e culturali, in cui le vulnerabilità si sovrappongono secondo logiche intersezionali, lo spazio pubblico può fungere da infrastruttura adattiva, capace di contrastare tali ingiustizie e di offrire risorse climatiche accessibili e non discriminatorie. Il diritto alla protezione climatica e al comfort termico si intreccia così con le questioni di giustizia spaziale (Mitchell, 2003) ed energetica, evidenziando come la distribuzione delle opportunità socioambientali sia fortemente influenzata dai modelli insediativi (Fiorini et alii, 2025). Tale dinamica è particolarmente acuta per le popolazioni anziane: la letteratura recente documenta come l'esposizione al caldo estremo si combini con la mobilità ridotta e l'isolamento sociale, rendendo questa fascia demografica la più esposta al rischio termico e la meno in grado di accedere autonomamente a spazi di protezione (Chaza Chimeno, Revellini and Cellucci, 2024). Il rifugio climatico accessibile risponde dunque a una fragilità situata e non generica, con una forte rilevanza per gli SDG 3 e 10.

In questo quadro il concetto di 'rifugio climatico' si è evoluto da spazio emergenziale a infrastruttura permanente di benessere urbano, capace di redistribuire benefici ambientali e ridurre forme di marginalizzazione climatica (Amorim-Maia et alii, 2023). Questa evoluzione si inserisce coerentemente nel dibattito sugli spazi intermedi come dispositivi climatici in grado di modulare dinamiche termiche e sociali nella città contemporanea (Tucci, Altamura and Pani, 2023). A tal proposito il presente contributo propone una ridefinizione del rifugio climatico attraverso una prospettiva sistemica e relazionale, interpretandolo come dispositivo di giustizia spaziale e strumento operativo per la riduzione delle disuguaglianze, in linea con l'SDG 10.

Alla luce di queste premesse il contributo ricostruisce criticamente l'evoluzione del rifugio climatico attraverso la letteratura e alcuni casi studio internazionali, definendo un quadro teorico coerente con le attuali sfide di giustizia climatica e spaziale. Tale quadro dialoga con le sperimentazioni condotte a Bologna nell'ambito del progetto PNRR Ecosister – Ecosistema Territoriale di Innovazione dell'Emilia-Romagna (ECS\_00000033) e del progetto europeo TALEA – Green Cells Leading the Green Transition (EUI02-064). Quest'ultimo ha tradotto il concetto di rifugio climatico in una serie di dispositivi operativi e scalabili, denominati Green Cells, microecosistemi urbani modulari che rappresentano una nuova forma di rifugio climatico, combinando Nature-based Solutions (NbS), innovazione sociale e tecnologica per produrre effetti diffusi di mitigazione termica e di rigenerazione urbana (Roversi and Longo, 2025).

Il contributo intende in tal modo evidenziare il potenziale del rifugio climatico come infrastruttura urbana redistributiva, capace di integrare NbS, innovazione sociale e strumenti digitali, offrendo spunti rilevanti per la comunità scientifica nell'ambito della transizione ecologica, della progettazione urbana e del dibattito sulla giustizia spaziale. In questa prospettiva il rifugio climatico non è solo un presidio funzionale di protezione termica, ma una componente di un'infrastruttura urbana più ampia,

adattiva e redistributiva, radicata nella trasformazione dello spazio pubblico come risposta progettuale alla crisi ecologica (Berretta, Desideri and Stalari, 2024).

Il contributo si articola in tre sezioni: la prima ricostruisce il quadro teorico dalla letteratura; la seconda presenta la valutazione comparativa di 50 casi studio internazionali; la terza illustra la sperimentazione bolognese. L'originalità del contributo risiede nel proporre il rifugio climatico come infrastruttura redistributiva permanente, superando la letteratura esistente che lo tratta prevalentemente come dispositivo emergenziale e nella sua trasposizione operativa attraverso il concetto di Green Cell. Questo approccio mira a offrire alla comunità scientifica un framework replicabile per integrare giustizia climatica e progettazione urbana.

**Metodologia** | La ricerca adotta un approccio integrato, articolato in tre fasi complementari coerenti con il framework metodologico del progetto TALEA che struttura l'innovazione urbana in tre dimensioni: fisica, sociale e digitale.

Fase 1 – Revisione critica della letteratura, svolta in modo strutturato, e quadro teorico. La prima fase consiste in una revisione della letteratura scientifica internazionale sul tema dei rifugi climatici, finalizzata a ricostruire l'evoluzione del concetto da spazio emergenziale a infrastruttura permanente di benessere urbano e a definire il quadro teorico che collega rifugio climatico, giustizia spaziale e riduzione delle disuguaglianze.

La revisione ha adottato un approccio critico e strutturato, finalizzato a garantire la trasparenza e la tracciabilità del processo di raccolta e selezione delle fonti. Sono stati consultati i database Scopus e Google Scholar, integrati con documenti istituzionali (OMS, IPCC, EEA) e con report tecnici pertinenti ai temi della giustizia climatica, del caldo estremo, delle NbS e dello spazio pubblico adattivo. L'arco temporale considerato è compreso tra il 2003 – anno dell'ondata di calore europea che rappresenta il punto di svolta nelle politiche di adattamento – e il 2025.

I criteri di inclusione hanno riguardato la pertinenza tematica rispetto alla giustizia climatica, alla vulnerabilità urbana, alle NbS e allo spazio pubblico adattivo, la disponibilità in lingua inglese e italiana, il riferimento a contesti urbani e la natura peer-reviewed dei contributi scientifici. Sono stati esclusi gli studi relativi a contesti rurali o incentrati su rischi climatici diversi dal caldo estremo. La selezione finale è avvenuta attraverso una lettura progressiva del titolo, dell'abstract e del testo completo, privilegiando i contributi con un forte ancoraggio empirico o teorico ai temi della ricerca.

L'approfondimento dei contenuti della revisione è stato ulteriormente articolato nel contesto del progetto Ecosister attraverso una lettura multilivello e integrata dello spazio urbano, applicata a specifiche zone della Città di Bologna, basata sull'analisi dell'evoluzione storica del paesaggio e delle sue variazioni microclimatiche. Tale approccio ha consentito di restituire maggiore profondità progettuale al concetto di rifugio climatico, rafforzandone il legame con i temi della giustizia spaziale e delle disuguaglianze. Sono stati privilegiati i documenti ufficiali di organismi internazionali, con particolare attenzione alla letteratura europea e mediterranea sulla giustizia climatica, sulle NbS, sulla 'violenza lenta' e sull'adattamento urbano.

Fase 2 – Analisi comparativa delle prestazioni dei casi studio. La seconda fase prevede un'analisi comparativa di casi studio internazionali selezionati attraverso una matrice di valutazione comparativa delle prestazioni strutturata, sviluppata nel progetto TALEA. La matrice valuta 50 progetti di rigenerazione urbana basati sulle NbS secondo i criteri di scala di intervento, tipo di Green Cell (nodale, lineare, diffusa), configurazione spaziale, NbS adottate, dimensione di innovazione fisica, sociale e digitale, barriere e fattori abilitanti, replicabilità e potenziale come rifugio climatico. Questa fase consente di identificare strategie ricorrenti e lezioni apprese trasferibili al contesto bolognese.

I casi studio sono stati selezionati in base a quattro criteri espliciti, definiti nel deliverable D5.1.1 del progetto TALEA. Il primo criterio è il riconoscimento come buona pratica internazionale: sono stati inclusi progetti premiati o citati nella letteratura scientifica per il loro contributo innovativo alla rigenerazione urbana basata sulle NbS, con particolare attenzione a quelli che integrano più tipologie di soluzioni per massimizzare i co-benefici ambientali e sociali e che dimostrano compatibilità con contesti sensibili (centri storici, aree consolidate). Il secondo criterio riguarda la copertura delle scale urbane del progetto TALEA: dalla scala dell'isolato e del quartiere (superblocks, interventi di blocco) fino alla scala urbana e metropolitana (reti verdi, piani di forestazione), includendo anche interventi puntuali di qualità sperimentale.

Il terzo criterio è la combinazione di più dimensioni di innovazione: non solo interventi fisici di elevata qualità, ma anche componenti sociali integrate (processi partecipativi, usi socialmente innovativi) e/o strumenti digitali (tecnologie smart per il monitoraggio e la gestione), poiché l'attivazione coordinata di più leve è condizione fondamentale per abilitare la transizione ecologica a scala urbana. Il quarto criterio è l'integrazione di più NbS complementari: sono stati privilegiati i progetti che combinano elementi diversi (alberi, elementi idrici, superfici permeabili, verde verticale) rispetto a quelli basati su un'unica soluzione. La selezione ha incluso progetti provenienti da contesti climatici eterogenei (Europa centrale, area mediterranea, America Latina) e da tessuti urbani differenziati (centri storici, periferie, aree di riuso), garantendo la rappresentatività geografica e morfologica necessaria a estrarre lezioni trasferibili al contesto bolognese.

Fase 3 – Sperimentazione a Bologna: indicatori e localizzazione strategica. La terza fase si concentra sulle sperimentazioni condotte a Bologna, dove la convergenza tra le ricerche confluite nel progetto TALEA, in particolare quella del partner di consorzio Fondazione Bruno Kessler<sup>1</sup> ha permesso di sviluppare mappature multilivello di vulnerabilità sociale e fragilità climatica basate su tre indicatori compositi: il General Fragility Index (GFI), che integra variabili demografiche, sociali ed economiche; il Climate Fragility Index (CFI), calcolato attraverso la regola 3-30-300<sup>2</sup> (Konijnendijk, 2023); e il Climate Shelter Index (CSI), che valuta la capacità delle aree verdi urbane di funzionare come rifugi climatici sulla base di caratteristiche biofisiche e di accessibilità sociale (Maccabiani et alii, 2025).

L'integrazione dei tre indicatori nel General and Climate Fragility Index (GCFI) consente di leggere simultaneamente vulnerabilità e capacità adattiva, orientando, in sinergia con le altre tecnologie TALEA, la localizzazione strategica delle Green Cells

## PHASE 1 RESULTS – CLIMATE REFUGE AS REDISTRIBUTIVE INFRASTRUCTURE

Structured critical review of the literature

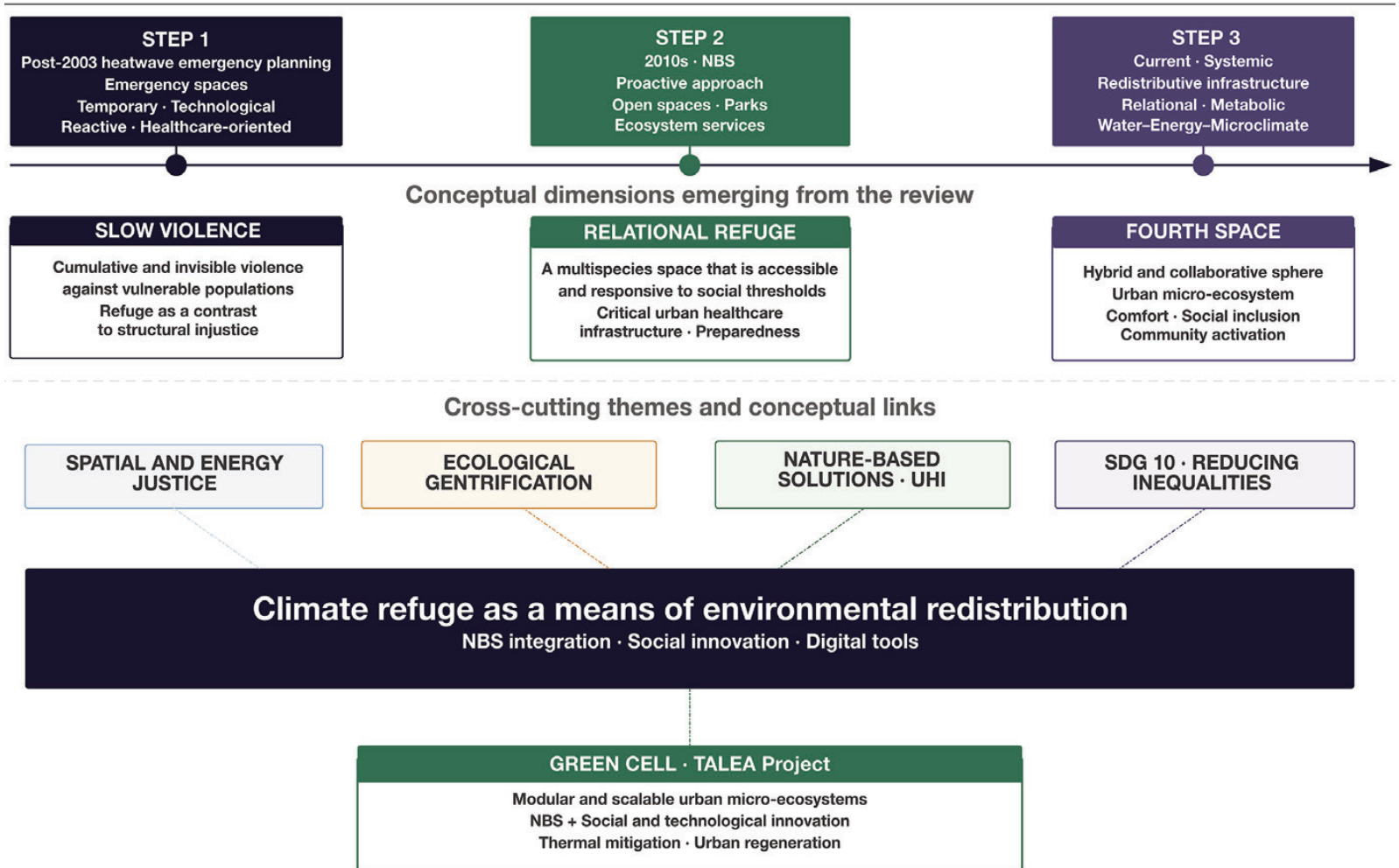


Fig. 1 | Summary diagram of the results of Phase 1 of the methodology (credit: the Authors, 2026).

come nuova forma di rifugio climatico. Tale integrazione si allinea alle interpretazioni più aggiornate delle infrastrutture verdi e blu come sistemi complessi di gestione integrata delle risorse naturali nei contesti urbani (Valente et alii, 2024).

Il GFI e il GCFI operano nell'unità territoriale delle aree statistiche del Comune di Bologna. Per ciascuna area e per ciascuna delle tre componenti tematiche (demografica, sociale ed economica) la distribuzione dei valori sull'intero territorio è suddivisa in quintili, che corrispondono a cinque classi categoriche (fragilità bassa, medio-bassa, media, medio-alta, alta) codificate numericamente da 1 a 5. Questa quintilizzazione costituisce la fase di normalizzazione che rende le tre componenti comparabili su una scala comune indipendentemente dalla natura e dall'unità di misura delle variabili originali.

Le tre componenti vengono poi aggregate con pesi diversi: il peso maggiore attribuito alla componente sociale riflette una scelta metodologica esplicita, coerente con la letteratura sulla fragilità urbana e con l'orientamento dell'SDG 10. Il CFI è calcolato per la stessa unità territoriale (aree statistiche) secondo la regola 3-30-300, utilizzando dati Sentinel-2 (Google Earth Engine), DBSN e OpenStreetMap. Il CSI opera su una diversa unità territoriale: le singole aree verdi pubbliche accessibili, con superficie superiore a 0,5 ha e NDVI > 0,4. Nella Tabella 1 sono sintetizzati, per ciascun indi-

catore, l'unità territoriale di calcolo, le componenti / variabili incluse, la procedura di normalizzazione, le ponderazioni adottate e la formula di aggregazione, rendendo la metodologia pienamente replicabile in altri contesti urbani. Per una trattazione più approfondita sulla metodologia si rimanda al testo di Maccabiani et alii (2025). L'approccio metodologico adottato risulta coerente con gli sviluppi più recenti degli strumenti di modellazione e simulazione a supporto delle decisioni nel campo della mitigazione climatica (Zarcone, Nava and Tucci, 2024).

**Risultati e discussione della Fase 1 – Il rifugio climatico come infrastruttura redistributiva: evidenze dalla letteratura** | La revisione critica è stata sviluppata a partire dai principali filoni della letteratura internazionale sui rifugi climatici, sulla giustizia climatica e sugli spazi pubblici adattivi; il progetto Ecosister ha successivamente consentito di approfondire e contestualizzare tali evidenze attraverso applicazioni empiriche a scala urbana.

La revisione critica della letteratura svolta in maniera strutturata ha consentito di ricostruire una traiettoria evolutiva articolata del concetto di rifugio climatico, identificando tre distinti stadi (Fig. 1). Nel primo, corrispondente ai primi programmi europei di gestione delle ondate di calore successivi alla crisi del 2003, il rifugio era concepito come spazio

interiorizzato, controllato e temporaneo, basato su soluzioni tecnologiche ad alto consumo energetico e inserito in una prospettiva eminentemente reattiva e sanitaria. Il Piano Canicule francese (Ministère de la Santé et de la protection sociale et alii, 2004) rappresenta il modello paradigmatico: edifici pubblici climatizzati, attivati secondo protocolli di emergenza e destinati ad accogliere le popolazioni vulnerabili durante i picchi termici. La stessa logica è stata adottata da numerose città europee, con reti di centri di raffrescamento integrate nei Heat-Health Action Plans (World Health Organization Regional Office for Europe, 2008).

Il secondo stadio (anni 2010) segna il passaggio da una logica emergenziale a un approccio proattivo fondato sulle NbS: le città estendono il concetto oltre gli spazi interni, includendo parchi, cortili di scuole, piazze alberate, portici e aree ombreggiate. La letteratura più recente documenta come il rifugio climatico stia evolvendo da luogo di protezione a infrastruttura di benessere urbano, capace di generare valore ambientale e sociale (Amorim-Maia et alii, 2023; Pede, 2024), configurandosi come nodo di una rete di servizi ecosistemici che contribuisce alla mitigazione del calore, all'equità nell'accesso al comfort termico e alla qualità dell'esperienza urbana (Bulkeley et alii, 2013). L'effetto dell'isola di calore e la sua relazione con le configurazioni morfologiche urbane sono ampiamente do-

cumentati sia in letteratura che nelle sperimentazioni sul campo (Magliocco and Oneto, 2023), così come l'efficacia di microinterventi NbS in contesti scolastici e comunitari nel migliorare il comfort termico locale (Baró et alii, 2022; Tzortzi, Lux and Pardo Delgado, 2024; Sanz-Mas et alii, 2025).

Il terzo stadio identificato nella revisione corrisponde alla ridefinizione del rifugio come infrastruttura relazionale e redistributiva, in cui approcci sistemici basati sull'integrazione acqua / energia / microclima ne rafforzano l'interpretazione come infrastruttura metabolica di cura urbana (Sposito and Mittersteiner, 2025).

Dalla revisione della letteratura emergono tre dimensioni concettuali chiave. La prima è la 'violenza lenta' (Nixon, 2011), cumulativa e spesso invisibile, che il cambiamento climatico esercita in modo sproporzionato sulle popolazioni più vulnerabili, rispetto alle quali i rifugi climatici si configurano come strumenti di contrasto a questa forma di ingiustizia strutturale. La seconda è il rifugio relazionale, uno spazio multispecie, accessibile e sensibile alle soglie climatiche e sociali, che opera come infrastruttura critica di cura urbana (Armondi et alii, 2022), sostenendo la vita quotidiana e incorporando logiche di anticipazione e preparazione (Haraway, 2016). La terza è il Quarto Spazio proposto da Carta (2025), una sfera urbana emergente, ibrida e collaborativa, in cui il rifugio climatico diventa un microecosistema urbano in cui si intrecciano il comfort climatico, l'inclusione sociale e l'attivazione comunitaria.

Un risultato centrale della revisione della letteratura è il rapporto tra rifugio climatico e gentrificazione ecologica. Come evidenziato da Beretta

e Cucca (2019) e da una vasta letteratura internazionale sulla gentrificazione ecologica (Bressane, Cunha Pinto and de Castro Medeiros, 2024) le infrastrutture verdi possono produrre esclusioni se non accompagnate da politiche redistributive. La distribuzione delle risorse ambientali costituisce sempre una forma di potere (Anguelovski, 2014; Secchi, 2013; Soja, 2010) e l'evoluzione del rifugio da infrastruttura di emergenza a infrastruttura di benessere implica l'espansione del diritto al comfort come parte integrante del diritto alla città (Harvey, 2008).

Le letterature sulla giustizia spaziale e sulla giustizia energetica (Anguelovski, 2014; Soja, 2010) forniscono il quadro interpretativo all'interno del quale leggere il rifugio climatico come dispositivo redistributivo; le analisi sviluppate nel progetto Ecosister (D4.2.3 – Accessibility as a pre-requisite for inclusive design that aims at spatial justice, energy justice and citizen engagement; analysis of relevant case studies on sustainable and social innovation practice in urban and cultural spaces – Definition of a methodology for an interactive catalogue to activate a generative process) convergono nel definire il rifugio climatico come dispositivo di redistribuzione ambientale e leva per garantire condizioni di vivibilità di base nei quartieri più esposti, riducendo le disuguaglianze in linea con il principio dell'SDG 10. Tali dinamiche confermano l'urgenza di interpretare la giustizia climatica come componente della più ampia giustizia spaziale, in linea con le evidenze recenti sul rapporto tra modelli urbani e accesso equo alle risorse ambientali (Fiorini et alii, 2025). Le sperimentazioni didattiche confermano quanto discusso nella letteratura internazionale sul

ruolo dell'apprendimento situato e della ricerca-progetto come strumenti di anticipazione progettuale (Armondi et alii, 2022). In questo quadro le attività sviluppate nell'ambito di Ecosister (D4.2.9 – Climate Shelters and Resilient Public Spaces – Toward an Integrated Network of Adaptation in Consolidated Urban Districts. Spatial Devices for Ecological Transition and Urban Well-Being) offrono un'ulteriore evidenza applicativa.

Il Laboratorio di Advanced Design presso l'Università di Bologna ha sviluppato scenari progettuali per Bologna attraverso una lettura multilivello del territorio, che ha preso le mosse dall'analisi dell'evoluzione storica del paesaggio urbano e delle sue variazioni microclimatiche applicate a zone critiche della città. Questo approccio ha contribuito a consolidare il quadro teorico, da un lato verificando empiricamente il ruolo strategico dei rifugi climatici, rafforzandone la valenza progettuale e il legame con i temi della giustizia spaziale e delle disuguaglianze, dall'altro prefigurando la rete di microecosistemi, poi sistematizzata nel concetto di Green Cell. Il rifugio assume infine una valenza ecologica come nodo della rete ecologica urbana, contribuendo alla continuità vegetale, alla ventilazione naturale, alla mitigazione dell'isola di calore e alla promozione della biodiversità.

**Risultati e discussione della Fase 2 – Valutazione prestazionale comparativa: strategie, modelli e lezioni apprese** | L'analisi comparativa condotta nel progetto TALEA ha valutato 50 casi studio internazionali di rigenerazione urbana basata sulle NbS (Tab. 2) selezionati per rilevanza, scalabilità e integrazione delle tre dimensioni di innovazione (fi-

Index	Territorial unit	Components / variables	Normalisation	Formula / weighting	Output scale
GFI	Statistical areas (census sections, Bologna Metropolitan Fragility Framework)	Demographic: share of residents aged 80+, population change rate, natural balance Social: single-person households with residents aged 65+, minors in single-parent families, young foreigners, turnover among foreign residents, graduates aged 25-49 Economic: mean taxable income, taxpayers < €10,000, rental housing	Quintilisation per dimension across all statistical areas → 5 categorical classes (1 = low ... 5 = high fragility)	$GFI = (3 \cdot F_{econ} + 4 \cdot F_{soc} + 3 \cdot F_{demo}) / 10$ floor() to nearest integer (weight 4 to social dimension reflects SDG 10 focus)	1 - 5
CFI	Statistical areas (census sections)	3-30-300 rule (Konijnendijk, 2023): 1. ≥ 3 trees visible from each residence 2. ≥ 30% tree-canopy cover in the neighbourhood 3. access to public green space within 300 m Data sources: Sentinel-2 / Google Earth Engine (canopy), DBSN (green areas), OSM (building footprints)	Linear inverse recoding of the number of criteria met: 3 criteria met → 0 (low fragility) 0 criteria met → 4 (high fragility) $F_{clim} \in \{0, 1, 2, 3, 4\}$	No differential weighting between criteria (each criterion treated as equally diagnostic of climate fragility)	0 - 4
GCFI	Statistical areas (vector spatial join GFI layer + CFI layer)	GFI (already normalised, scale 1-5) + CFI (already normalised, scale 0-4) combined at the statistical-area polygon level	Both components already normalised; floor() applied to the weighted sum	$GCFI = (1 - \lambda) \cdot GFI + \lambda \cdot CFI$ $\lambda = 0.2$ (reference configuration for Bologna) $\lambda$ is adjustable to calibrate the climate weight to local context	1 - 5
CSI	Individual public green areas (eligibility: SA > 0.5 ha; NDVI > 0.4; free public access) Linked to GCFI via spatial join	SA = surface area (ha) NDVI = Normalised Difference Vegetation Index (Sentinel-2) A = accessibility index (pedestrian / cycling paths, bus stop within a 5-minute walk, parking for users with reduced mobility) DF = drinking-fountain density B = bench density PT = picnic-table density	Variables normalised and weighted by Principal Component Analysis (PCA) – weights reflect each variable's relative contribution to perceived climatic comfort	$CSI = SA \times 0.12 + NDVI \times 0.04 + A \times 0.09 + DF \times 0.27 + B \times 0.27 + PT \times 0.21$ Spatial join with the GCFI layer assigns each green area the fragility value of the statistical area in which it is located	0 - 1 (continuous)

**Tab. 1** | Construction of the GFI, CFI, GCFI and CSI indices: territorial unit, components / variables, normalisation, weighting, formula and layer overlay (source: Maccabiani et alii, 2025 and TALEA D5.2.1; adapted by the Authors, 2026).

sica, tecnologica e sociale). I 50 casi studio sono stati schedati (Fig. 2) e inseriti in un abaco strutturato in 4 blocchi informativi: A (anagrafica e inquadramento), B (vincoli e opportunità), C (processo di progetto, stakeholder, servizi integrati e risultati), D (Nature-based Solutions applicate).

La matrice di valutazione prestazionale comparativa ha consentito di classificare i progetti in base alla tipologia di Green Cell (nodale, lineare, diffusa), alle NbS adottate, alla dimensione prevalente dell'innovazione e al loro potenziale come rifugi climatici. I risultati evidenziano una correlazione significativa tra tipologia di intervento, contesto urbano e potenziale redistributivo, confermando che le soluzioni più efficaci per ridurre le disuguaglianze climatiche sono quelle che integrano la trasformazione fisica, l'attivazione sociale e il supporto digitale in un quadro sistemico.

La Tabella 3 presenta una selezione dei casi studio più rilevanti per il tema dei rifugi climatici, mettendo in evidenza le dimensioni di innovazione e la configurazione spaziale. Sono stati raccolti i casi con maggiore potenziale come rifugio climatico

tra i 50 analizzati, selezionati applicando un secondo livello di filtro alla matrice prestazionale: sono stati inclusi i progetti che combinano un punteggio elevato sull'asse del rifugio climatico (presenza di aree ombreggiate, vegetazione, accessibilità e fruizione pubblica libera) con l'attivazione di almeno due delle tre dimensioni di innovazione (fisica, sociale, digitale). Questo criterio discriminante consente di distinguere gli interventi di semplice qualità ambientale da quelli che esprimono un potenziale redistributivo sistemico, evitando che la selezione risulti arbitraria o puramente illustrativa.

L'analisi critica trasversale rivela una tensione strutturale comune a tutte le tipologie: il trade-off tra impatto localizzato e impatto distributivo. Gli interventi nodali, come la rigenerazione di Plaça Sant Antoni a Barcellona (Figg. 3, 4), completata nel 2019 con depavimentazione, alberature mature e sedute ombrate, generano oasi microclimatiche puntuali di alta qualità, con riduzione documentata dell'effetto isola di calore in un raggio di circa 100 metri, nonché processi di coprogettazione attiva e di monitoraggio post-opera. Il loro limite strutturale risie-

de nell'insufficienza scalare: senza una rete equivalente di nodi, il beneficio rimane circoscritto e rischia di tradursi in 'premium amenity' per il quartiere immediatamente circostante, alimentando i meccanismi di rivalutazione immobiliare documentati in contesti analoghi (Bressane, Cunha Pinto and de Castro Medeiros, 2024).

Il caso di Corte Don Bosco a Bari (2025) offre invece un modello opposto: la scala di quartiere e la modularità dell'intervento (materiali leggeri, reversibili e a basso costo) massimizzano la trasferibilità in contesti a risorse limitate, riducendo le barriere economiche e normative. La limitazione è la minore capacità di mitigazione termica rispetto a interventi con maggiore massa vegetale e permanenza.

Gli interventi lineari mostrano un potenziale redistributivo superiore grazie alla continuità ecologica, ma presentano criticità rilevanti in termini di manutenzione e di governance. Il Corredor Verde Passeig de Sant Joan a Barcellona (2016) rappresenta un caso significativo: combinazione di alberature mature, sedute ombreggiate, riduzione delle corsie carrabili e continuità ecologica con altri no-

Country	City	Title	Year
Albania	Tirana	Skanderbeg Square	2010
Austria	Vienna	Grätzloasen – Neighbourhood Oases	2015
		Re-Sourcing Commons	2021
Belgium	Brussels	Greening of Flagey & Sainte-Croix Squares	2022
	Ghent	Kettingplein	2017
		Green Elderly Care, nature & well-being	2024
China	Guangzhou	Liuyun Xiaoqu District Project	2017
Colombia	Bogotá	Parque Bicentenario	2016
	Medellín	Corredores Verdes (Green Corridors)	2016
Costa Rica	Curridabat	Ciudad Dulce	2015
Denmark	Copenhagen	Sankt Kjelds Plads & Bryggervangen	2019
	Skovlunde	Ballerup Boulevard	2018
France	Bordeaux	Rue-jardin Kléber	2011
	Lyon	Les Berges du Rhône	2008
		Girondins Development Area (ZAC des Girondins)	2011
	Nice	Promenade du Paillon	2013
	Passage 56 (Le 56 / Eco-interstice)	2005	
	Paris	Patrick Blanc's Green Wall – Musée du Quai Branly	2005
		Jardin des Joyeux	2016
Îlots de fraîcheur (Isles of Coolness)	2018		
Reims	Les Promenades	2019	
Germany	Berlin	Tempelhofer Feld (Tempelhof Park)	2010
	Freiburg	Freiburg Bächle	Not applicable
		Freiburger Bächle	Non applicabile
	Munich	Brantstraße – Animal-Aided Design	2015

Tab. 2a | Table of case studies of NbS-based urban regeneration (credit: the Authors, 2026).

di della rete verde cittadina (Fig. 5). La scalabilità lineare, cioè la stessa formula replicabile su qualsiasi asse stradale alberabile, è il punto di forza principale; la debolezza è il lungo tempo di maturazione biologica e gli alti costi di manutenzione, che lo rendono accessibile principalmente ad Amministrazioni con bilanci municipali robusti.

Les Berges du Rhône a Lione (2008), pur essendo un caso di grande impatto sulla qualità dello spazio pubblico fluviale, presenta una dipendenza specifica dalla morfologia idrogeologica, ovvero dalla presenza di un grande fiume, che ne limita drasticamente la trasferibilità ai contesti urbani privi di corsi d'acqua significativi.

Il modello diffuso è il più coerente con una logica redistributiva, ma anche il più complesso da governare. Il programma Climate Shelters Schools di Barcellona (López Plazas et alii, 2023; Sanz-Mas et alii, 2025; Baró et alii, 2022) è il caso più documentato e replicabile: interventi standardizzati in 21 cortili scolastici con protocollo di apertura pubblica durante le ondate di calore, monitoraggio delle temperature e impatto misurabile sulla salute comuni-

taria. I punti di forza sono la replicabilità del protocollo su edifici diversi, l'integrazione con il sistema educativo e l'accessibilità universale. Le limitazioni riguardano la dipendenza dal calendario scolastico (chiusura estiva degli edifici) e la necessità di accordi istituzionali stabili tra il Comune e gli Istituti.

I Corredores Verdes di Medellín (2016) rappresentano il caso più avanzato di rete diffusa a scala metropolitana: 36 km di assi verdi, riduzione documentata dell'isola di calore fino a 3 °C e governance multilivello. Tuttavia la trasferibilità al contesto europeo è parziale: il modello si è sviluppato in una condizione di profonda ingiustizia spaziale e ha richiesto investimenti pubblici straordinari difficilmente replicabili senza forte volontà politica e risorse dedicate.

L'importanza dei cortili delle scuole come micro-rifugi climatici è confermata anche dagli sviluppi recenti che evidenziano il ruolo delle NbS nel miglioramento del comfort termoisometrico locale (Tzortzi, Lux and Pardo Delgado, 2024). Il confronto trasversale consente anche di formulare alcune lezioni critiche per il framework bolognese. La qua-

lità ecologica non garantisce l'equità redistributiva: è necessario un indirizzo esplicito verso i quartieri più fragili, come reso operativo dal GCFI. Inoltre la governance è il fattore abilitante più critico e meno replicabile: i casi di maggiore successo presentano strutture di gestione partecipativa stabili e preesistenti, condizione che il modello TALEA incorpora nella dimensione sociale dell'innovazione. Infine la reversibilità e la modularità degli interventi aumentano la trasferibilità, ma riducono la prestazione microclimatica; ne consegue che il compromesso deve essere calibrato esplicitamente in funzione del contesto, della densità urbana e dell'entità della fragilità climatica.

Dall'analisi sintetizzata nella Tabella 4 emergono quattro strategie ricorrenti con implicazioni dirette per la concezione del rifugio climatico come infrastruttura di equità. La prima è la depavimentazione e rinaturazione dei suoli, adottata in progetti come il Corredor Verde (2016) a Barcellona (Fig. 6), Skanderbeg Square (2010) a Tirana e Corte Don Bosco (2025) a Bari, dove la rimozione delle superfici impermeabili costituisce il primo passo per

Country	City	Title	Year
Hungary	Budapest	CoolCo's – Cooling Corners & Corridors	2023
Italy	Bari	Corte Don Bosco	2025
	Bologna	Temporary Setup Piazza Rossini	2020
	Milan	Bosco Verticale (Vertical Forest)	2014
	Turin	Orto WOW	2019
	Mexico	Mexico City	Linear Park Ferrocarril de Cuernavaca
Netherlands	Amsterdam	SET Community Gardens	2014
	Rotterdam	Watersquare Benthemplein	2013
		Little C	2018
	Utrecht	Catharijnesingel Canal Re-opening	2000
		Rijnvliet Edible Neighbourhood (REN)	2022
Peru	Lima	Invasión Verde (Green Invasion)	2010
Poland	Kraków	Anti-smog Educational Garden	2017
Spain	Barcelona	Corredor Verde Passeig de Sant Joan	2016
		Plaça Sant Antoni (Superilla Sant Antoni)	2019
	Bilbao	Calle María Díaz de Haro – Climate-Adapted Green Corridor	2023
	Madrid	Proyecto MICOS	2016
	Seville	Gardens in the Air (Jardines en el Aire)	2021
	Valladolid	Green Noise Barrier – Urban GreenUP	2018
Sweden	Stockholm	Hammarby Sjöstad eco-urban neighbourhood	2018
Switzerland	Basel	Winkelriedplatz	2018
Turkey	Eskişehir	Hamamyolu Urban Deck	2018
United Kingdom	London	Bankside Urban Forest	2007
		Trees for Trees platform	2021

Tab. 2b | Table of case studies of NbS-based urban regeneration (credit: the Authors, 2026).

la creazione di rifugi climatici naturali. La seconda è l'impiego di arredi verdi modulari e strutture mobili, come nel progetto CoolCo's (2023) a Budapest, che offre soluzioni plug-and-play ad alta flessibilità e immediatamente replicabili per creare aree temporanee di raffrescamento durante le ondate di calore.

La terza è l'integrazione di infrastrutture verdi blu multifunzionali, esemplificata dal Watersquare Benthemplein (2013) a Rotterdam, dove la piazza assolve contemporaneamente funzioni ricreative, di ritenzione idrica e di comfort termico; l'approccio verde-blu risulta coerente con le letture più recenti che interpretano il raffrescamento urbano come un processo metabolico integrato basato sulle relazioni tra acqua, energia e microclima (Sposito

and Mittersteiner, 2025). La quarta è il modello di rete diffusa di microinterventi, che rappresenta l'approccio più coerente con la visione del rifugio come infrastruttura redistributiva: i Corredores Verdes (2016) di Medellín, il programma Climate Shelters Schools (2018-2030) di Barcellona e i SET Community Gardens (2014) di Amsterdam dimostrano come le reti capillari possano estendere i benefici climatici anche alle comunità più marginali.

Un risultato trasversale di particolare rilevanza per l'SDG 10 è il rischio di gentrificazione ecologica. L'analisi conferma che gli interventi di elevata qualità localizzati in aree centrali e a finanziamento privato, come il Bosco Verticale (2014) di Milano, tendono a beneficiare popolazioni a reddito elevato, mentre i progetti più efficaci nel ridurre le disu-

guaglianze sono quelli che operano a scala diffusa nei contesti periferici e vulnerabili, come i Corredores Verdes (2016) di Medellín. Questa evidenza rafforza la tesi centrale del contributo: il rifugio climatico deve essere concepito come rete capillare e accessibile, non come intervento puntuale di eccellenza.

L'analisi comparativa evidenzia inoltre che circa la metà dei progetti analizzati integra forme di innovazione digitale (piattaforme GIS, sensori ambientali, scienza partecipata), ma nessuno di essi implementa ancora un gemello digitale completo. Questo dato conferma la posizione del progetto TALEA come avanguardia nell'integrazione delle tre dimensioni di innovazione: nessun caso analizzato combina simultaneamente NbS, co-design comunitario e monitoraggio digitale in tempo reale all'interno di un'unità modulare replicabile.

Tra i fattori chiave abilitanti emergono la collaborazione tra Università e Amministrazioni locali, l'approccio pilota incrementale con interventi reversibili, la governance intersettoriale e l'integrazione delle NbS in strategie urbane di lungo periodo. I principali ostacoli riguardano la disponibilità limitata di spazio fisico nei centri storici, la manutenzione a lungo termine delle NbS, le tensioni tra sperimentazione e rigidità dei quadri istituzionali e il rischio di perdita del coinvolgimento della comunità nel medio e nel lungo periodo. Queste criticità confermano quanto osservato anche nella letteratura sui processi di coprogettazione di spazi pubblici e di welfare, per cui si evidenzia la necessità di strutturare governance stabili per garantire continuità e manutenzione nel tempo (Campagnaro et alii, 2025).

**Risultati e discussione della Fase 3 – La sperimentazione di Bologna: dalla diagnosi alla localizzazione strategica** | Bologna costituisce il campo di verifica del framework sviluppato nelle prime due fasi. Situata in una fascia climatica caratterizzata da estati calde e umide, la città registra un significativo aumento delle ondate di calore: rispetto al periodo 1961-1990, la temperatura media annua è prevista in aumento da 13,9 a 15,6°C nella finestra 2020-2050, con ondate di calore di 6 giorni consecutivi e 42 notti tropicali estive (dati dell'Osservatorio Clima Regione Emilia-Romagna<sup>3</sup>). Più del 50% del territorio comunale presenta una risposta idrologica scarsa e le ondate di caldo sono amplificate dall'effetto isola di calore, con impatti rilevanti soprattutto nei quartieri con maggiore densità abitativa.

L'applicazione del framework GCFI al territorio bolognese ha prodotto risultati significativi sulla distribuzione spaziale delle vulnerabilità. Il General Fragility Index (GFI), elaborato a partire dal framework di fragilità metropolitana del Comune di Bologna<sup>4</sup>, integra tre dimensioni: demografica (percentuale di residenti over 80, tasso di variazione della popolazione e bilancio naturale), sociale (famiglie unipersonali over 65, minori in famiglie monogenitoriali, giovani stranieri, turnover straniero e laureati 25-49 anni) ed economica (reddito medio imponibile, contribuenti con reddito sotto i 10.000 euro e alloggi in affitto).

**33 Temporary Installation in Piazza Rossini**
1|5

Year **2020**

Promoter




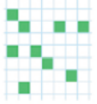


Image Credits: Fondazione Innovazione Urbana website

A temporary installation converted part of a former car park area in Piazza Rossini into a raised meadow of over 300m<sup>2</sup>, complemented by wooden planters with native shrubs and grasses, and two flower-shaped lighting installations, aiming to test new uses of this university-zone public space and prepare for its full pedestrianisation.

**Talea Green Cells application**

<p>Nodal</p> 	<p>Linear</p> 	<p>Diffuse</p> 	
Size	Small	Climate zone	Temperate

**Physical Innovation**


The intervention introduced a raised green carpet (15 cm above ground) of more than 300 m<sup>2</sup>, with integrated irrigation and native plants, converting a vehicular surface into a permeable vegetated ground plane. It also incorporated large "Maxxi Poppy" flower-shaped lighting elements to enhance aesthetics and night-time use.

**Social Innovation**

The project emerged from a co-design workshop with students and local stakeholders (via "U-Lab"), fostering participation and reclaiming the square for the community and students rather than cars. It reframed the square into a meeting, leisure and event space in the university zone, enhancing social life and inclusiveness.

**Digital Innovation**

Sensor-based monitoring of pedestrian flows and dwell times was used to assess the impact of the transformation on space usage and length of stay, supporting data-driven decisions for the permanent redesign.



33

**Fig. 2** | First framing page of the record sheet of a case study of NbS-based urban regeneration analysed in the TALEA project (credit: TALEA project; adapted by the Authors, 2025).

Le tre dimensioni sono aggregate e ponderate in un indicatore sintetico che classifica le aree statistiche in cinque livelli di fragilità. La componente demografica del GFI, in particolare la quota di residenti ultraottantenni e la prevalenza di famiglie unipersonali anziane, esprime la fragilità documentata dalla letteratura recente sul nesso tra invecchiamento della popolazione, stress termico e benessere negli spazi urbani (Chaza Chimeno, Revellini and Cellucci, 2024): le sezioni censuarie con GFI elevato coincidono con le aree di maggiore esposizione al rischio da calore e di minore autonomia di accesso ai rifugi climatici.

Il Climate Fragility Index (CFI), calcolato secondo la regola 3-30-300, misura la qualità delle infrastrutture verdi locali in base a tre criteri complementari: visibilità di almeno 3 alberi da ogni residenza, copertura arborea minima del 30% nel quartiere, accesso a un'area verde pubblica entro 300 metri (Fig. 7). L'implementazione ha utilizzato immagini Sentinel-2 elaborate in Google Earth Engine per derivare la densità di copertura arborea, in combinazione con le geometrie delle aree verdi pubbliche (DBSN) e le impronte degli edifici residenziali (OpenStreetMap). Le aree che soddisfano meno criteri risultano più fragili climaticamente.

L'integrazione nel GCFI ha rivelato come l'inclusione del fattore climatico modifichi in modo significativo i pattern di vulnerabilità, soprattutto nei quartieri densi con copertura arborea limitata e bassa conformità alla regola 3-30-300. Le criticità climatiche non sono distribuite in modo uniforme, ma si concentrano in aree consolidate della città dove vulnerabilità ambientali e sociali si sovrappongono, generando situazioni di ingiustizia climatica.

Il Climate Shelter Index (CSI), sviluppato secondo la metodologia di Maccabiani et alii (2025), ha valutato la capacità delle aree verdi pubbliche di funzionare come rifugi climatici. L'indice assegna a ciascuna area un valore tra 0 e 1, calcolato come combinazione ponderata di: superficie (aree > 0,5 ha), indice di vegetazione NDVI (> 0,4), accessibilità (percorsi pedonali / ciclabili, fermata autobus entro 5 minuti e parcheggi per disabili), densità di fontanelle, panchine e aree di sosta (Fig. 8). La procedura completa di costruzione del CSI (formula, ponderazioni, criteri di eleggibilità e modalità di connessioni spaziali con il layer GCFI) è illustrata nella Tabella 1 della sezione Metodologia.

Utilizzati congiuntamente, GCFI e CSI formano un framework analitico a due scale: il GCFI identifica dove si concentra la fragilità urbana e il CSI individua quali spazi specifici all'interno delle zone fragili possiedono il potenziale per diventare rifugi climatici e come interventi mirati possano potenziarne la funzione di resilienza.

Le aree pilota del progetto TALEA, dove verranno realizzate le Green Cell, sono state selezionate sovrapponendo i livelli di fragilità climatica, di vulnerabilità sociodemografica e di reti ecologiche urbane, nonché le proposte dei cittadini, raccolte attraverso il Bilancio Partecipativo di Bologna<sup>5</sup>: esse sono state localizzate nel settore nord del centro storico (zona Marconi) e nel quartiere Fossolo

(Figg. 9, 10). L'implementazione delle Green Cells in questi contesti, concepite come una nuova forma di rifugio climatico modulare e replicabile, mira a creare una connessione spaziale ed ecologica tra le aree pilota e il progetto municipale Impronta Verde<sup>6</sup>, dimostrando come gli interventi localizzati possano generare impatti sistemici sulla qualità microclimatica e sulla giustizia spaziale. La logica incrementale, ispirata alla propagazione vegetale della talea, consente a ogni intervento di attecchire, crescere e moltiplicarsi, dando origine a una rete di rifugi climatici in continua espansione.

Sul piano funzionale e spaziale le Green Cells sono declinabili in tre configurazioni tipologiche: nodale (un intervento puntuale concentrato in piazze, corti o slarghi), lineare (lungo assi stradali, percorsi

pedonali o bordi ciclabili) e diffusa (come rete capillare di microinterventi coordinati a scala di quartiere). La selezione delle NbS, in particolare delle specie arboree e arbustive, segue criteri di resilienza climatica e di compatibilità con il contesto storico-paesaggistico bolognese (particolarmente dedicato in centro storico), ed è guidata dalle simulazioni microclimatiche che consentono di analizzare le condizioni di comfort attuali e prefigurare le migliori strategie di miglioramento (Fig. 11).

L'innovazione digitale, in particolare il Systemic Urban Observation Atlas<sup>7</sup>, trasforma la mappatura da strumento interpretativo a processo trasformativo, consentendo di valutare in tempo reale gli effetti distributivi degli interventi e di orientare azioni correttive per garantire che i benefici delle Green



Figg. 3, 4 | Superilla Peatonal Sant Antoni and Plaça Sant Antoni in Barcelona (credits: R. Roversi, 2026).



**Fig. 5** | Corredor Verde Passeig de Sant Joan in Barcelona (credit: R. Roversi, 2026).

Next page

**Fig. 6** | Superilla Plaza-Jardín Rocafort (credit: R. Roversi, 2026).

Cells raggiungano effettivamente le comunità più vulnerabili.

La progettazione delle Green Cells integra criteri di Design for All verificabili: accessibilità fisica conforme alla norma EN 17210:2021<sup>8</sup>, sistemi di orientamento inclusivo, prossimità a fermate del trasporto pubblico locale (entro 5 minuti a piedi), parcheggi per utenze a mobilità ridotta, sedute ergonomiche e fontanelle. La governance prevede orari di apertura estesi durante le ondate di calore, manutenzione ordinaria programmata e gestione partecipativa con le comunità residenti, secondo un modello coerente con le esperienze di presidio e assistenza di prossimità (Pollo, Biolchini and Scognamiglio, 2023; Setola and Borgianni, 2025).

La sostenibilità a lungo termine delle Green Cells richiede modelli di governance ibridi che combinino il sostegno istituzionale pubblico e la partecipazione comunitaria strutturata. Il campione dei 23 casi studio europei, riferimento individuato nel deliverable TALEA 'D5.3.1 – Integrative Governance and Financial Guide for the Sustainability of Green Transition' (R2M Solution, 2025), dimostra che le configurazioni ibride, che integrano coordinamento municipale, co-gestione multiattore e strumenti digitali di monitoraggio, risultano le più efficaci per garantire durabilità e scalabilità delle infrastrutture verdi modulari.

Per il contesto bolognese, ciò si traduce nella formalizzazione di accordi di 'stewardship' e 'RACI matrix' (Responsible / Accountable / Consulted / Informed) per la distribuzione delle responsabilità di manutenzione tra Comune, partner di progetto e comunità residenti, nell'attivazione del TALEA Future Lab come hub permanente di governance partecipata e formazione civica e nell'integrazione con il Bologna Digital Twin per il monitoraggio adattivo degli impatti redistributivi degli interventi, in linea con il Climate City Contract e il programma Impronta Verde (Fig. 12).

**Sinergie e compromessi con gli SDG** | Il contributo si iscrive principalmente nell'SDG 10 (Ridurre le disuguaglianze), interpretando il rifugio climatico come dispositivo di redistribuzione ambientale capace di contrastare le asimmetrie nell'esposizione al rischio termico e nell'accesso al comfort urbano. Le sinergie più forti si attivano con l'SDG 3 (Salute e benessere), poiché la mitigazione dello stress termico incide sulla mortalità delle popolazioni vulnerabili, con l'SDG 11 (Città sostenibili), configurando la rete di rifugi come infrastruttura permanente integrata nella pianificazione e con l'SDG 13 (Lotta al cambiamento climatico), rafforzando la capacità adattiva locale attraverso le NbS. Si individuano sinergie rilevanti con l'SDG 9 (Innovazione

e infrastrutture), per il carattere innovativo del framework GCFI-CSE e dell'integrazione digitale, con l'SDG 15 (Vita sulla terra), per il contributo alla biodiversità e continuità ecologica, con l'SDG 4 (Istruzione), per il ruolo dei cortili scolastici come rifugi climatici e spazi di educazione ambientale (Barcelona, Parigi) e con l'SDG 6 (Acqua), attraverso le infrastrutture verdi-blu.

Sinergie indirette si riscontrano con gli SDG 1, 5, 4, 6, 7 e 17. La riduzione dei costi sanitari legati allo stress termico alleggerisce il peso della povertà sulle famiglie più vulnerabili (SDG 1). Il caldo estremo colpisce in modo differenziato le donne e spazi pubblici termicamente confortevoli e sicuri contribuiscono a ridurre questa asimmetria di genere (SDG 5). Il ruolo dei cortili scolastici come rifugi climatici e spazi di educazione ambientale contribuisce all'alfabetizzazione ambientale (SDG 4); la riduzione del fabbisogno di raffrescamento meccanico riduce i consumi energetici (SDG 7); la governance multilivello tra Università, Amministrazioni pubbliche e comunità costituisce il presupposto istituzionale del modello (SDG 17).

I compromessi riguardano l'SDG 8, per le tensioni tra la valorizzazione degli spazi e la gentrificazione ecologica, e l'SDG 12, per le risorse necessarie alla manutenzione delle NbS. Relazioni deboli o non pertinenti si riscontrano con gli SDG 2, 14 e 16. La relazione con SDG 2 è marginale: le Green Cells possono includere orti comunitari, ma la produzione alimentare non è un obiettivo centrale del framework e il contributo alla sicurezza alimentare è trascurabile alla scala di intervento considerata. La relazione con l'SDG 14 (Vita sott'acqua) è anch'essa molto debole: le infrastrutture verdi-blu riducono l'apporto di inquinanti nei corsi d'acqua superficiali, ma gli ecosistemi marini e costieri non sono toccati in modo significativo. La relazione con l'SDG 16 (Pace, giustizia e istituzioni) è presente come sfondo istituzionale (i processi partecipativi e la governance multilivello sono componenti esplicite del modello), ma non costituisce asse di innovazione primario del contributo (Tab. 5).

**Conclusioni, limiti e trasferibilità** | Il percorso di ricerca ha messo in luce come il rifugio climatico possa rappresentare un dispositivo urbano complesso, capace di integrare dimensioni ecologiche, sociali e spaziali nella riduzione delle disuguaglianze. La sua evoluzione concettuale, da spazio chiuso e refrigerato a infrastruttura diffusa di benessere microclimatico, riflette una trasformazione nel modo in cui le città possono rispondere agli impatti del cambiamento climatico, promuovendo forme di vita urbana più eque e resilienti. Le sperimentazioni di Bologna, condotte attraverso la convergenza tra i progetti Ecosister e TALEA, contribuiscono a dimostrare come l'integrazione di indicatori quantitativi e qualitativi, strumenti digitali avanzati e metodologie di co-design possa orientare la localizzazione strategica di rifugi climatici, anche in contesti delicati e vincolati come il centro storico.



Il modello delle Green Cells offre una soluzione operativa scalabile e replicabile, volta a ricucire le discontinuità delle infrastrutture verdi e a generare effetti diffusi di mitigazione e rigenerazione. Come argomentato da Macaluso e Palma (2025) in riferimento alle infrastrutture vegetali come dispositivi progettuali per la salute e l'uguaglianza, il comfort termico e l'accesso ai benefici ecosistemici sono questioni di redistribuzione prima ancora che di mitigazione ambientale: il rifugio climatico accessibile è pertanto un presupposto del diritto alla salute e alla vivibilità urbana, non un servizio aggiuntivo per chi già ne ha la possibilità.

La ricerca, che il progetto TALEA permette di tradurre a livello operativo, suggerisce che l'approccio sistemico a rete, integrando le dimensioni fisiche, digitali e sociali, consente di contrastare i fenomeni di gentrificazione ecologica e di garantire che i benefici della transizione verde non si traducano in nuove forme di esclusione, in coerenza con il principio di 'non lasciare indietro nessuno' promosso dall'Agenda 2030 (UN, 2015). In questa prospettiva una sinergia particolarmente significativa si delinea con il progetto Linee d'Ombra – Itinerari Climatici sotto i Portici<sup>9</sup>, approvato dalla Giunta comunale di Bologna nel febbraio 2026 e cofinanziato dal Ministero della Cultura. Il progetto interpreta i 62 chilometri di portici bolognesi, Patrimonio Mon-

diale UNESCO, come una rete ombreggiata di collegamento tra i rifugi climatici urbani, aggiornando, in chiave di adattamento climatico, il concetto storicamente associato a tali infrastrutture. La complementarità tra le Green Cells di TALEA, che operano sui nodi della rete climatica, e Linee d'Ombra, che interviene sulle connessioni lineari attraverso i portici, prefigura un modello integrato in cui rifugi puntuali e corridoi climatici si radicano nel Patrimonio storico della città.

Tra i limiti della ricerca si segnalano il carattere ancora iniziale delle sperimentazioni di TALEA, avviate a dicembre 2024, che non consente di disporre di dati post-implementazione sugli effetti di mitigazione termica, la dipendenza degli indicatori dalla risoluzione e dalla disponibilità dei dati geospaziali e l'assenza di una validazione esterna in contesti diversi da Bologna. Le principali barriere alla diffusione dell'approccio includono invece la resistenza culturale al cambiamento delle pratiche urbanistiche consolidate, la rigidità dei quadri normativi nei confronti delle sperimentazioni nello spazio pubblico, in particolare nei centri storici vincolati, e il rischio di perdita del coinvolgimento della comunità locale nel medio e nel lungo periodo, che richiede strutture di governance partecipativa stabili.

Sul piano della trasferibilità il framework di TALEA e il modello delle Green Cells sono concepiti

per essere adattati a contesti diversi, a condizione che siano disponibili dati geospaziali e sociodemografici comparabili. La natura stessa delle European Urban Initiatives, di cui TALEA fa parte in qualità di progetto vincitore del bando Greening Cities, prevede che la metodologia e le soluzioni sperimentate abbiano un elevato grado di trasferibilità. Per questo motivo gli sviluppi futuri prevedono la loro applicazione alle città transfer (Marsiglia, Riga, Cluj-Napoca), con il necessario adattamento al diverso contesto climatico, istituzionale e socioculturale.

Resta aperta la questione cruciale della sostenibilità del modello a rete nel lungo periodo: il 'diritto al comfort' come diritto urbano richiede impegni strutturali di manutenzione e di governance che trascendono il ciclo di vita dei singoli progetti di ricerca, evidenziando la necessità di un radicamento istituzionale delle pratiche sperimentate.

---

Climate change is aggravating inequalities in urban areas, disproportionately exposing the most vulnerable populations to extreme temperatures and intense weather events (IPCC, 2023; Nazish, Abbas and Sattar, 2024). In contexts marked by socioeconomic and cultural asymmetries, where vulnerabilities overlap according to intersectional log-

ics, public space can serve as adaptive infrastructure capable of counteracting such injustices, offering accessible and non-discriminatory climatic resources. The right to climate protection and thermal comfort thus intertwines with issues of spatial (Mitchell, 2003) and energy justice, highlighting how the distribution of socio-environmental opportunities is strongly influenced by settlement models (Fiorini et alii, 2025). This dynamic is particularly acute for elderly populations: recent literature documents how exposure to extreme heat combines with reduced mobility and social isolation, making this demographic group the most exposed to thermal risk and the least able to access spaces of protection autonomously (Chaza Chimeno, Revellini and Cellucci, 2024). The accessible climate shelter therefore responds to a situated and not generic fragility, with strong relevance for SDG 3 and SDG 10.

Within this framework, the concept of the ‘climate shelter’ has evolved from an emergency space to a permanent infrastructure of urban well-being, capable of redistributing environmental benefits and reducing forms of climate marginalisation (Amorim-Maia et alii, 2023). This evolution fits coherently within the debate on in-between spaces as climatic devices able to modulate thermal and social dynamics in the contemporary city (Tucci, Altamura and Pani, 2023). In this regard, this article proposes a redefinition of the climate shelter through a systemic and relational perspective, interpreting it as a device of spatial justice and an operational instrument for the reduction of inequalities,

in line with SDG 10. In light of these premises, the contribution critically reconstructs the evolution of the climate shelter through the literature and selected international case studies, defining a theoretical framework consistent with current challenges of climate and spatial justice. This framework engages with the experimental activities conducted in Bologna within the PNRR Ecosister – Territorial Innovation Ecosystem of Emilia-Romagna (ECS\_00000033) project and the European TALEA – Green Cells Leading the Green Transition (EUI02-064) project. The latter has translated the concept of the climate shelter into a series of operational and scalable devices, called Green Cells, modular urban micro-ecosystems that represent a new form of climate shelter, combining Nature-based Solutions (NbS), social innovation, and technological innovation to produce widespread effects of thermal mitigation and urban regeneration (Roversi and Longo, 2025).

The article therefore aims to highlight the potential of the climate shelter as a redistributive urban infrastructure, capable of integrating NbS, social innovation, and digital tools, offering relevant insights for the scientific community in the fields of ecological transition, urban design and the debate on spatial justice. In this perspective, the climate shelter is not only a functional outpost of thermal protection, but a component of a broader, adaptive, and redistributive urban infrastructure, rooted in the transformation of public space as a design response to the ecological crisis (Berretta, Desideri

and Staltari, 2024). The article is structured into three sections: the first reconstructs the theoretical framework from the literature; the second presents the comparative evaluation of 50 international case studies; the third illustrates the Bologna experimentation. The originality of the article lies in proposing the climate shelter as a permanent redistributive infrastructure, overcoming the existing literature that treats it predominantly as an emergency device, and in its operational transposition through the concept of the Green Cell. This approach aims to offer the scientific community a replicable framework for integrating climate justice and urban design.

**Methodology** | The research adopts an integrated approach, structured into three complementary phases, consistent with the methodological framework of the TALEA project, which structures urban innovation in the three physical, social, and digital dimensions.

Phase 1 – Structured critical literature review and theoretical framework. The first phase consists of a review of the international scientific literature on the topic of climate shelters, aimed at reconstructing the evolution of the concept, from emergency space to permanent infrastructure of urban well-being, and at defining the theoretical framework linking climate shelter, spatial justice and the reduction of inequalities.

The review adopted a critical and structured approach, aimed at ensuring transparency and tra-

Case study	City	TGC type	Physical innovation	Social innovation	Digital innovation	Climate shelter
Climate Shelters in Schools programme (2019-22)	Barcelona	Widespread	Green-blue-grey NbS in 11 school courtyards: depaving, trees, pergolas, and water features	Co-design with school communities; opening schoolyards to the neighbourhood; environmental education	Pre- / post-intervention microclimate monitoring; open-data platform	Formalised network
Corredor Verde Passeig de Sant Joan (2016)	Barcelona	Linear	Depaving, tree-lined corridor, filter planting beds, and permeable paving	Pedestrianisation; soft mobility; play areas and rest areas	N/A	Continuous climate corridor
Oasis project (2020-22)	Paris	Widespread	Transformation of school playgrounds with green-blue-grey NbS and green roofs	Co-design with pupils and families; opening of the oasis to the neighbourhood	Microclimate sensors; participatory platform	Neighbourhood cooling oasis
Heating & Cooling 2050 Plan	Bilbao	Widespread / Linear	Green corridors, expansion of shaded areas, water systems, and green streets	Integration into strategic urban planning	Thermal hotspot mapping; multi-level GIS	Widespread climate quality in public space
CoolCo's Cooling Corners (2023)	Budapest	Nodal	Mobile modular structures; vegetated panels; misting systems; textile shading	Living lab; co-design with citizens; New European Bauhaus	Thermal-imaging cameras; pre- / post-intervention climate sensors	Temporary cooling corners
Corredores Verdes (2016-20)	Medellín	Linear	30 green corridors; urban forestry; reduction in surface temperature by up to 3 °C	Inclusion of vulnerable groups; training for young people at risk	N/A	Metropolitan-scale climate corridors
Corte Don Bosco (2025)	Bari	Nodal	127 trees, permeable soil, continuous green canopy, and garden-square	G124 Renzo Piano; co-design with Universities and residents	N/A	Local climate shelter prototype
Watersquare Bentheplein (2013)	Rotterdam	Nodal	Multifunctional square: recreational area and rainwater-retention basin	Community space; cultural events; sports	Water level sensors; automated management	Integrated water-based thermal-comfort shelter
SET Community Gardens (2014)	Amsterdam	Widespread	Urban gardens, mobile containers, greening of courtyards, and lightweight structures	Inclusion of migrants; co-management; intercultural cohesion	N/A	Community micro-shelters

Tab. 3 | Table selecting case studies from the TALEA benchmarking: dimensions of innovation and potential as a climate shelter (credit: the Authors, 2026).

ceability in the process of collecting and selecting sources. The Scopus and Google Scholar databases were consulted, supplemented by institutional documents (WHO, IPCC, EEA) and technical reports relevant to the themes of climate justice, extreme heat, Nature-based Solutions, and adaptive public space. The time span considered extends from 2003 – the year of the European heatwave that represents the turning point in adaptation policies – to 2025.

The inclusion criteria concerned thematic relevance to climate justice, urban vulnerability, NbS, and adaptive public space, availability in English and Italian, reference to urban contexts, and the peer-reviewed nature of scientific contributions. Studies relating to rural contexts or focused on climate risks other than extreme heat were excluded. Final selection took place through progressive reading by title, abstract, and full text, privileging contributions with a strong empirical or theoretical anchorage to the research themes.

The review content was further deepened within the Ecosister project through a multi-level and integrated reading of urban space, applied to specific areas of the City of Bologna, based on the analysis of the historical evolution of the urban landscape and its microclimatic variations. This approach made it possible to restore greater design depth to the concept of the climate shelter, strengthening its link with the themes of spatial justice and inequality. Official documents of international bodies and peer-reviewed sources were privileged, with

particular attention to the European and Mediterranean literature on climate justice, NbS, ‘slow violence’ and urban adaptation.

Phase 2 – Comparative analysis of case study performance. The second phase involves a comparative analysis of international case studies selected through a structured comparative performance evaluation matrix developed within the TALEA project. The matrix evaluates 50 NbS-based urban regeneration projects according to the criteria of scale of intervention, type of Green Cell (nodal, linear, or diffused), spatial configuration, adopted NbS, dimensions of physical, social, and digital innovation, barriers and enabling factors, replicability, and potential as a climate shelter. This phase makes it possible to identify recurring strategies and lessons learned transferable to the Bologna context.

The case studies were selected on the basis of four explicit criteria, defined in deliverable D5.1.1 of the TALEA project. The first criterion is recognition as an international best practice: projects awarded or cited in the scientific literature for their innovative contribution to NbS-based urban regeneration were included, with particular attention to those integrating multiple types of solutions in order to maximise environmental and social co-benefits and demonstrating compatibility with sensitive contexts (historic centres, consolidated areas). The second criterion is coverage of the urban scales of the TALEA project: from the scale of the block and neighbourhood (superblocks, block interventions)

to the urban and metropolitan scale (green networks, afforestation plans), also including punctual interventions of experimental quality.

The third criterion is the combination of multiple dimensions of innovation: not only high-quality physical interventions, but also integrated social components (participatory processes, socially innovative uses) and/or digital tools (smart technologies for monitoring and management), since the coordinated activation of multiple levers is a fundamental condition for enabling ecological transition at urban scale. The fourth criterion is the integration of multiple complementary NbS: projects combining different elements (trees, water elements, permeable surfaces, vertical greenery) were privileged over those based on a single solution. The selection includes projects from heterogeneous climatic contexts (Central Europe, Mediterranean area, Latin America) and from differentiated urban fabrics (historic centres, suburbs, reuse areas), guaranteeing the geographic and morphological representativeness necessary to extract lessons transferable to the Bologna context.

Phase 3 – Experimentation in Bologna: indicators and strategic localisation. The third phase focuses on the experimental activities conducted in Bologna, where the convergence among the studies brought together within the TALEA project, in particular that of consortium partner Fondazione Bruno Kessler<sup>1</sup>, made it possible to develop multi-level mappings of social vulnerability and climate fragility based on three composite indicators: the

Theme / strategy	Description	Evidence from the sample (n=50)
General structural framework	Climate shelters mainly focus on open spaces and integrated infrastructure rather than isolated buildings. The most common combination is open space + infrastructure.	Open space: 44/50; Infrastructure: 37/50; Building: 12/50; Open space + Infr.: 27/50
1. Depaving and soil renaturalisation	Removal of impermeable surfaces as a first step towards creating natural climate shelters. Examples: Corredor Verde (Barcelona), Skanderbeg Square (Tirana), Corte Don Bosco (Bari).	Constraints relating to impermeable surfaces: 40/50 (80%); Underground utilities: 20/50 (40%); Constrained spaces: 19/50 (38%); NbS – depaving: 24/50 (48%); Permeable paving: 27/50 (54%)
2. Modular green furnishings and mobile structures	Highly flexible plug-and-play solutions for temporary cooling corners during heatwaves. Example: CoolCo's (Budapest).	Seating and rest areas: 32/50 (64%); Shaded areas/cool spots: 26/50 (52%); Integrated green furnishings: 17/50 (34%)
3. Multifunctional green-blue infrastructure	Integration of recreational functions, water retention, and thermal comfort in a single space. Example: Watersquare Benthemplein (Rotterdam).	Bioretention areas: 12/50 (24%); filter trenches: 9/50 (18%); Rain gardens: 8/50 (16%); Technical standards/norms: 31/50 (62%); Public-land regulations: 31/50 (62%)
4. Widespread network of micro-interventions	Redistributive capillary networks that extend climate benefits to marginalised communities. Examples: Corredores Verdes (Medellin), Climate Shelters in Schools (Barcelona), SET Community Gardens (Amsterdam).	Urban regeneration: 42/50 (84%); Sense of community: 39/50 (78%); Well-being: 44/50 (88%); Social cohesion: 43/50 (86%); Civic participation: 33/50 (66%)
Risk of ecological gentrification	Structural tension between punctual interventions of excellence and widespread infrastructure geared towards accessibility. The redistributive orientation depends on public network policies.	Public funding: 44/50 (88%); Synergy with municipal plans: 45/50 (90%)
Digital innovation	Digital technology is a selective enabling layer, not a generalised constitutive component. Digital services and monitoring show low frequencies.	Digital innovation: 16/50 (32%); Online maps: 8/50 (16%); Monitoring systems: 5/50 (10%); Wi-Fi: 5/50 (10%)
Enabling factors	Effectiveness depends on a combination of consensus-building processes, stakeholder arrangements and integrated services that make the space usable.	Co-design: 28/50 (56%); Community engagement: 26/50 (52%); workshops: 21/50 (42%); Designers involved: 35/50 (70%)
Main obstacles	Physical, regulatory and management constraints require compatibility of use, perceived safety, and routine maintenance.	Accessibility: 20/50 (40%); Safety / surveillance: 12/50 (24%); historical and archaeological protection: 9/50 (18%); Conflicts of use: 12/50 (24%); Vulnerable users: 15/50 (30%)

Tab. 4 | Summary table of the main findings from the benchmarking of 50 case studies (credit: the Authors, 2026).

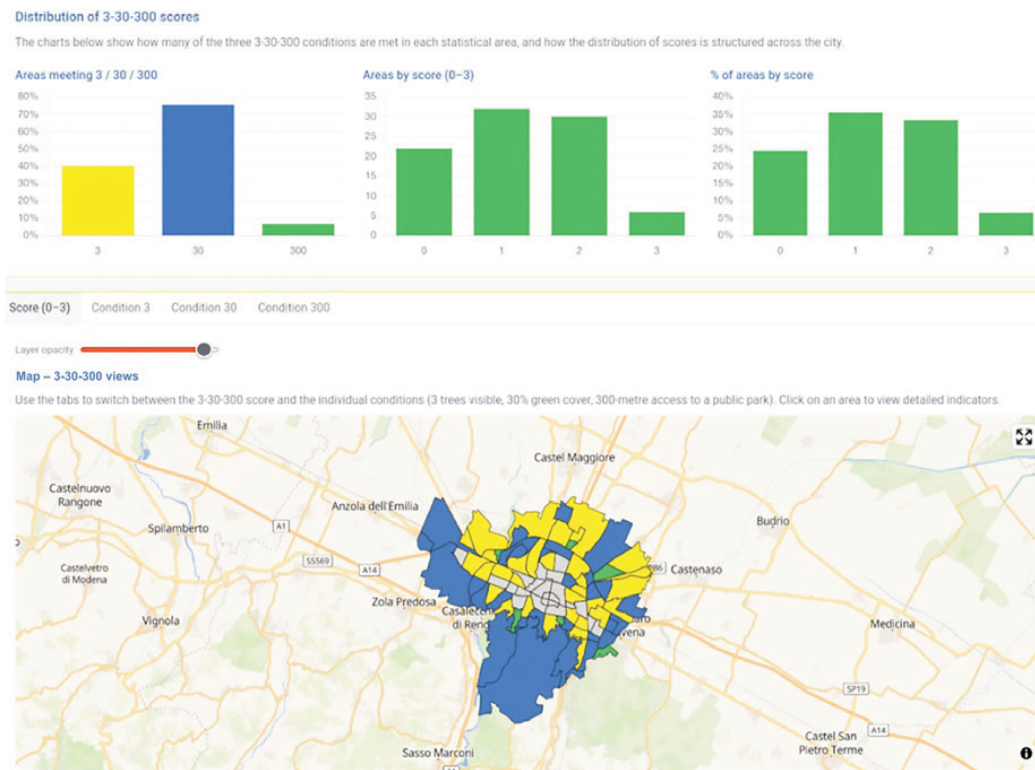
General Fragility Index (GFI), which integrates demographic, social, and economic variables; the Climate Fragility Index (CFI), calculated through the 3-30-300<sup>2</sup> rule (Konijnendijk, 2023); and the Climate Shelter Index (CSI), which evaluates the capacity of urban green areas to function as climate shelters on the basis of biophysical characteristics and social accessibility (Maccabiani et alii, 2025).

The integration of the three indicators into the General and Climate Fragility Index (GCFI) makes it possible to read vulnerability and adaptive capacity simultaneously, guiding, in synergy with the other TALEA technologies, the strategic localisation of Green Cells as a new form of climate shelter. This

integration aligns with the most up-to-date interpretations of green and blue infrastructures as complex systems of integrated management of natural resources in urban contexts (Valente et alii, 2024). The GFI and the GCFI operate at the territorial unit of the statistical areas of the Municipality of Bologna. For each area and for each of the three thematic components (demographic, social, and economic), the distribution of values across the whole territory is divided into quintiles, producing five categorical classes (low, medium-low, medium, medium-high, high fragility) numerically coded from 1 to 5. This quintilisation constitutes the normalisation phase, which makes the three components com-

parable on a common scale independently of the nature and unit of measurement of the original variables. The three components are then aggregated with differentiated weights. The greater weight assigned to the social component reflects an explicit methodological choice, consistent with the literature on urban fragility and with the orientation of SDG 10. The CFI is calculated at the same territorial unit (statistical areas) through the 3-30-300 rule using Sentinel-2 data (Google Earth Engine), DB-SN, and OpenStreetMap. The CSI operates at a different territorial unit: individual accessible public green areas with a surface area greater than 0.5 ha and NDVI > 0.4.

Table 1 summarises, for each indicator, the territorial unit of calculation, the included components/variables, the normalisation procedure, the adopted weightings, and the aggregation formula, thus making the methodology fully replicable in other urban contexts. For a more in-depth discussion, reference is made to the text by Maccabiani et alii (2025), which explains the methodology in detail. The adopted methodological approach is consistent with the most recent developments in modelling and simulation tools supporting decision-making in the field of climate mitigation (Zarcone, Nava and Tucci, 2024).



**Results and discussion of Phase 1 – The climate shelter as redistributive infrastructure: evidence from the literature** | The critical review was developed starting from the main strands of the international literature on climate shelters, climate justice, and adaptive public spaces; the Ecosister project subsequently made it possible to deepen and contextualise this evidence through empirical applications at urban scale.

The structured critical literature review made it possible to reconstruct an articulated evolutionary trajectory of the concept of the climate shelter, identifying three distinct stages (Fig. 1). In the first, corresponding to the first European heatwave management programmes following the 2003 crisis, the shelter was conceived as an internalised, controlled and temporary space, based on high-energy-consumption technological solutions and placed within an eminently reactive and health-oriented perspective. The French Plan Canicule (Ministère de la Santé, 2004) represents its paradigmatic model: air-conditioned public buildings activated according to emergency protocols, intended to accommodate vulnerable populations during thermal peaks. The same logic has been adopted by numerous European cities, with networks of cooling centres included in Heat-Health Action Plans (World Health Organization Regional Office for Europe, 2008).

The second stage (the 2010s) marks the transition from an emergency logic to a proactive ap-

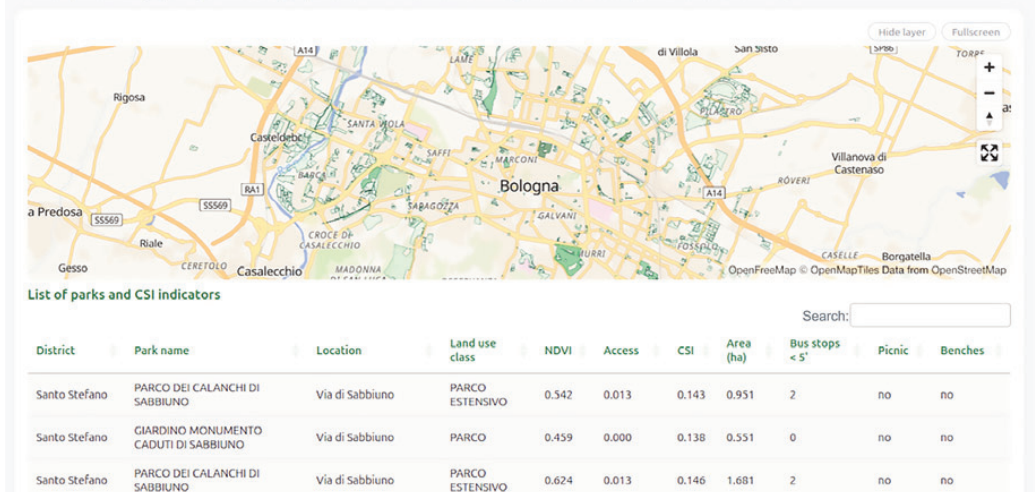
### Climate shelters & urban fragility

Bologna as a living lab to understand what makes a climate shelter effective, how it intersects with urban fragility, and how TALEA can support planning decisions.  
From generic green to climate shelters.



### Parks and Climate Shelter Index (CSI)

Individual parks in Bologna, with green intensity proportional to their CSI. The table lets you filter and select a park to locate it on the map.



**Fig. 7** | 3-30-300 index dashboard of the TALEA Platform (credit: TALEA project; platform development by project partner Fondazione Bruno Kessler, ref. M. Napolitano).

**Fig. 8** | Bologna urban parks and related Climate Shelter Index (CSI): TALEA Platform (credit: TALEA project; platform development by project partner Fondazione Bruno Kessler, ref. M. Napolitano).

proach based on NbS: cities extend the concept beyond indoor spaces, including parks, school courtyards, tree-lined squares, porticoes and shaded areas. The most recent literature documents how the climate shelter is evolving from a place of protection into an infrastructure of urban well-being, capable of generating environmental and social value (Amorim-Maia et alii, 2023; Pede, 2024), configuring itself as a node in a network of ecosystem services that contributes to heat mitigation, equity in access to thermal comfort, and the quality of the urban experience (Bulkeley et alii, 2013). The heat-island effect and its relationship with urban morphological configurations are widely documented both in the literature and in field experiments (Magliocco and Oneto, 2023), as is the effectiveness of NbS micro-interventions in school and community contexts in improving local thermal comfort (Baró et alii, 2022; Tzortzi, Lux and Pardo Delgado, 2024; Sanz-Mas et alii, 2025).

The third stage identified in the review corresponds to the redefinition of the shelter as relational and redistributive infrastructure, in which systemic approaches based on water / energy / microclimate integration reinforce its interpretation as a metabolic infrastructure of urban care (Sposito and Mittersteiner, 2025).

Three key conceptual dimensions emerge from the literature review. The first is 'slow violence' (Nixon, 2011), cumulative and often invisible, which climate change exerts disproportionately on the most vulnerable populations, in relation to which climate shelters are configured as instruments for countering this form of structural injustice. The second is the relational shelter, a multispecies, accessible space that is sensitive to climatic and social thresholds, which operates as a critical infrastructure of urban care (Armondi et alii, 2022), supporting everyday life and incorporating logics of anticipation and preparedness (Haraway, 2016). The third is the Fourth Space proposed by Carta (2025), an emerging, hybrid and collaborative urban sphere in which the climate shelter becomes an urban micro-ecosystem where climatic comfort, social inclusion, and community activation intertwine.

A central result of the literature review concerns the link between the climate shelter and ecological gentrification. As highlighted by Beretta and Cucca (2019) and by a vast international literature on green gentrification (Bressane, Cunha Pinto and de Castro Medeiros, 2024), green infrastructures can produce exclusions if not accompanied by redistributive policies. The distribution of environmental resources always constitutes a form of power (Anguelovski, 2014; Secchi, 2013; Soja, 2010), and the evolution of the shelter from emergency infrastructure to well-being infrastructure implies the expansion of the right to comfort as an integral part of the right to the city (Harvey, 2008).

The body of literature on spatial justice and energy justice (Anguelovski, 2014; Soja, 2010) provide the interpretative framework within which to read the climate shelter as a redistributive device; the analyses developed within the Ecosister project (D4.2.3 – Accessibility as a prerequisite for inclusive design that aims at spatial justice, energy justice and citizen engagement; analysis of relevant case studies on sustainable and social innovation practice in urban and cultural spaces – Definition of a methodology for an interactive catalogue to activate a generative process) converge in defining the climate shelter as a device of environmental redistribution and a lever for guaranteeing basic conditions of liveability in the most exposed neighbourhoods, reducing inequalities in line with the principle of SDG 10. These dynamics confirm the urgency of interpreting climate justice as a component of broader spatial justice, in line with recent evidence on the relationship between urban models and equitable access to environmental resources (Fiorini et alii, 2025).

The teaching experiments confirm what has been discussed in the international literature on the role of situated learning and research-through-design as instruments of design anticipation (Armondi et alii, 2022). Within this framework, the activities developed in the context of Ecosister (D4.2.9 – Climate Shelters and Resilient Public Spaces: toward an Integrated Network of Adaptation in Consolidated Urban Districts. Spatial Devices for Ecological Transition and Urban Well-Being) provide further applied evidence.

The Advanced Design Laboratory at the University of Bologna developed design scenarios for Bologna through a multi-level reading of the territory, starting from the analysis of the historical evolution of the urban landscape and of its microclimatic variations applied to critical areas of the city. This approach helped to consolidate the theoretical framework, on the one hand by empirically verifying the strategic role of climate shelters, strength-

ening their design value and their link with the themes of spatial justice and inequality, and on the other by prefiguring the network of micro-ecosystems later systematised in the concept of the Green Cell. The shelter ultimately assumes an ecological value as a node of the urban ecological network, contributing to vegetative continuity, natural ventilation, heat-island mitigation, and the promotion of biodiversity.

### Results and discussion of Phase 2 – Comparative performance evaluation: strategies, models and lessons learned

The comparative analysis conducted within the TALEA project evaluated 50 international case studies of NbS-based urban regeneration (Tab. 2), selected for relevance, scalability, and integration of the three dimensions of innovation (physical, technological, and social). The 50 case studies were catalogued (Fig. 2) and entered into a structured inventory in four information blocks: A (general information and framing); B (constraints and opportunities); C (design process, stakeholders, integrated services and results); D (applied Nature-based Solutions).

The comparative performance evaluation matrix made it possible to classify the projects according to the type of Green Cell (nodal, linear, diffused), the adopted NbS, the prevailing dimension of innovation and the potential as a climate shelter. The results highlight a significant correlation between type of intervention, urban context and redistributive potential, confirming that the most effective solutions for reducing climate inequalities are those that integrate physical transformation, social activation, and digital support within a systemic framework. Table 3 presents a selection of the case studies most relevant to the theme of climate shelters, highlighting the dimensions of innovation and the spatial configuration. The cases with the greatest potential as climate shelters among the 50 analysed were collected, selected by applying a second level of filtering to the performance matrix: pro-

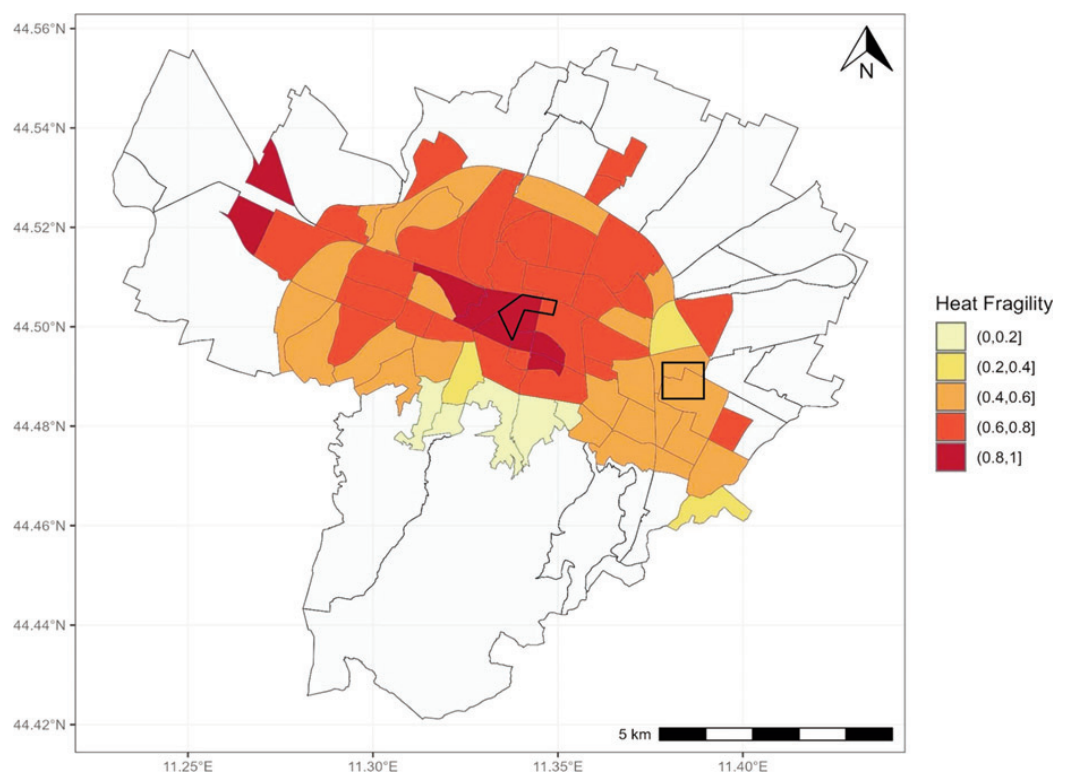
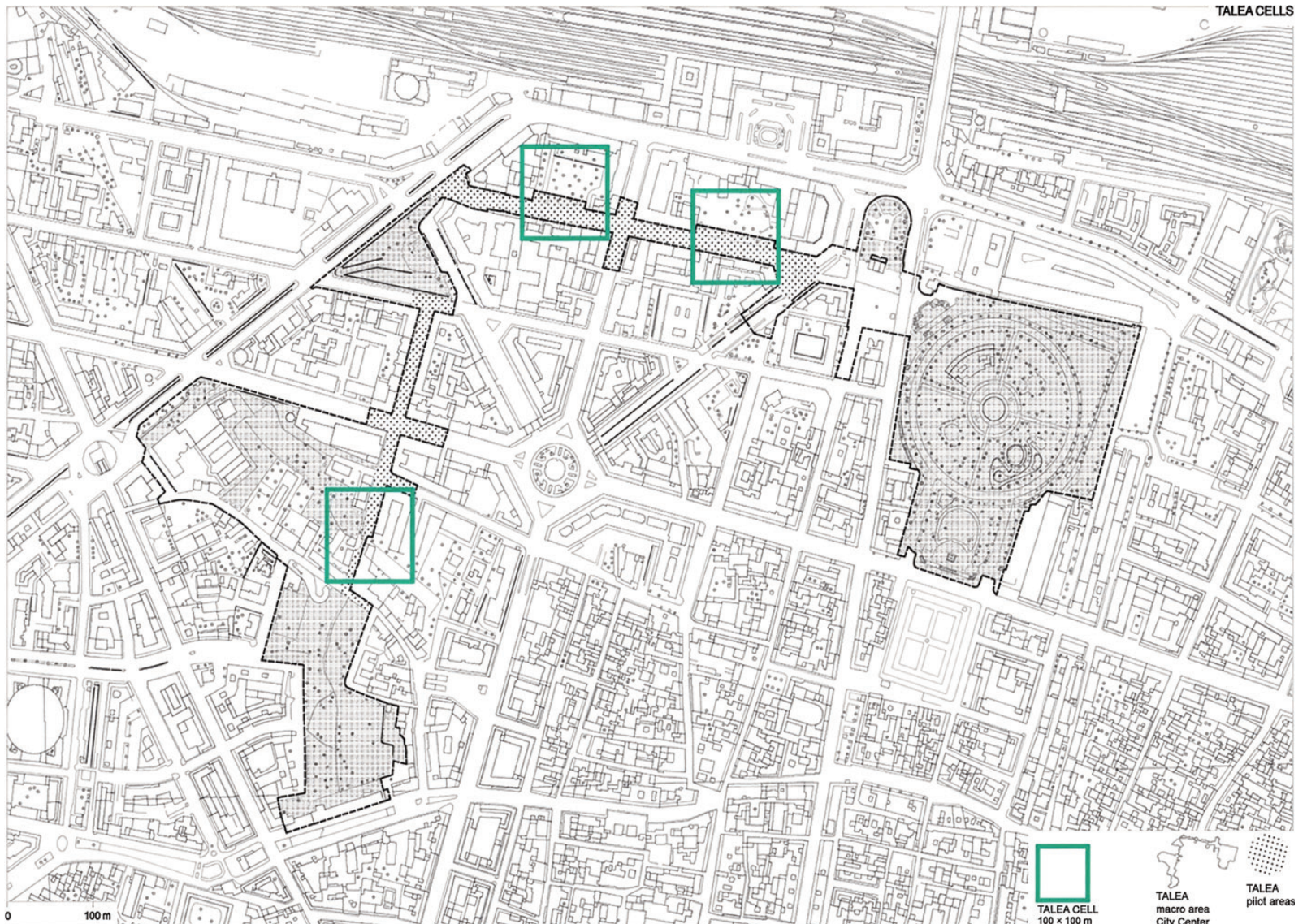


Fig. 9 | Map of Bologna showing the indicator of social vulnerability to extreme heat and identifying the pilot areas of the TALEA project in the historic centre (Marconi area) and in the Fossolo area (credit: Maccabiani et alii, 2025; adapted by the Authors, 2026).



jects combining a high score on the climate-shelter axis (presence of shaded areas, vegetation, accessibility, and free public use) with the activation of at least two of the three dimensions of innovation (physical, social, digital) were included. This discriminating criterion makes it possible to distinguish interventions of simple environmental quality from those expressing a systemic redistributive potential, preventing the selection from being arbitrary or purely illustrative.

The cross-cutting critical analysis reveals a structural tension common to all the typologies: the trade-off between localised impact and distributive impact. Nodal interventions, such as the regeneration of Plaça Sant Antoni in Barcelona (Figg. 3, 4), completed in 2019 with depaving, mature tree planting and shaded seating, generate punctual high-quality microclimatic oases, with documented reduction of the heat-island effect within a radius of about 100 m, active co-design processes and post-occupancy monitoring. Their structural limitation lies in scale insufficiency: without an equivalent network of nodes, the benefit remains circumscribed and risks translating into a 'premium amenity' for the immediately surrounding neighbourhood, fuelling the mechanisms of property revaluation documented in analogous contexts (Bressane, Cunha Pinto and de Castro Medeiros, 2024).

The case of Corte Don Bosco in Bari (2025) in-

stead offers an opposite model: the neighbourhood scale and the modularity of the intervention (light, reversible and low-cost materials) maximise transferability in resource-limited contexts, reducing economic and regulatory barriers. The limitation is the lower thermal mitigation capacity compared with interventions with greater vegetative mass and permanence.

Linear interventions show greater redistributive potential thanks to ecological continuity, but present significant maintenance and governance criticalities. The Corredor Verde Passeig de Sant Joan in Barcelona (2016) represents a significant case: a combination of mature trees, shaded seating, reduction of vehicular lanes and ecological continuity with other nodes of the urban green network (Fig. 5). Linear scalability, that is, the same formula replicable on any street axis suitable for tree planting, is its main strength; the weakness is the long period of biological maturation and the high maintenance costs, which make it accessible mainly to Administrations with robust municipal budgets.

Les Berges du Rhône in Lyon (2008), although a case of major impact on the quality of riverside public space, presents a specific dependence on hydrogeological morphology, namely the presence of a large river, which drastically limits its transferability to urban contexts lacking significant watercourses. The diffused model is the most coherent

with a redistributive logic, but also the most complex to govern. Barcelona's Climate Shelters Schools programme (López Plazas et alii, 2023; Sanz-Mas et alii, 2025; Baró et alii, 2022) is the most documented and replicable case: standardised interventions in 21 school courtyards with a protocol for public opening during heatwaves, temperature monitoring and measurable impact on community health. The strengths are the replicability of the protocol across different buildings, integration with the education system and universal accessibility. The limitations concern dependence on the school calendar (summer closure of buildings) and the need for stable institutional agreements between the Municipality and schools.

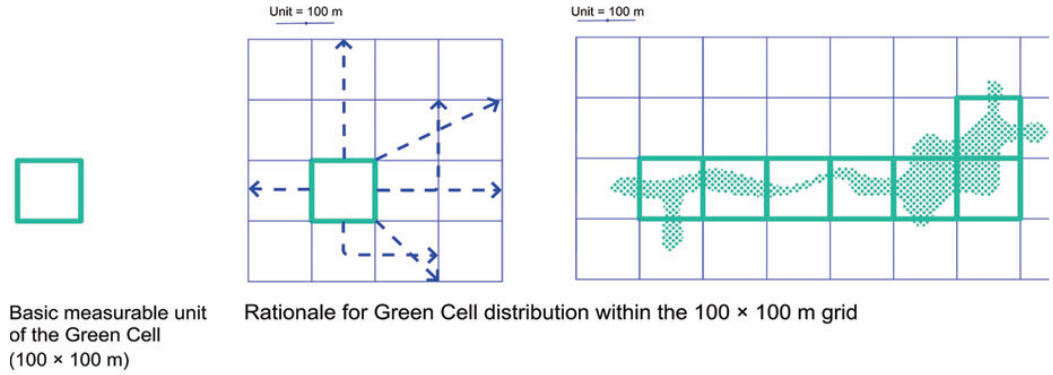
Medellín's Corredores Verdes (2016) represents the most advanced case of a diffused network at metropolitan scale: 36 km of green axes, documented reduction of the heat-island effect by up to 3 °C, multi-level governance. However, transferability to the European context is partial: the model was developed under a condition of profound spatial injustice and required extraordinary public investment that is difficult to replicate without strong political will and dedicated resources.

The importance of school courtyards as microclimate shelters is also confirmed by recent developments highlighting the role of NbS in improving local thermo-hygrometric comfort (Tzortzi, Lux and

Previous page

**Fig. 10** | Location of the three Green Cells in the historic centre of Bologna: 1) and 2) Via Cesare Boldrini; 3) Via del Porto (credit: TALEA project, 2025; ref. S. Orlandi).

**Fig. 11** | Strategies for the application of TALEA Green Cells. The diagrams show the three typological configurations: linear on a mobility axis; nodal in a consolidated context; diffused in a mixed peripheral context (credit: TALEA project, 2023; ref. S. Orlandi).



Pardo Delgado, 2024). The cross-cutting comparison also makes it possible to formulate some critical lessons for the Bologna framework. Ecological quality does not guarantee redistributive equity: an explicit orientation towards the neighbourhoods with the greatest fragility is necessary, as operationalised through the GCFI. Furthermore, governance is the most critical and least replicable enabling factor: the most successful cases present stable and pre-existing participatory management structures, a condition that the TALEA model incorporates into the social dimension of innovation. Finally, reversibility and modularity of interventions increase transferability but reduce microclimatic performance. The compromise must be calibrated explicitly as a function of the context, urban density, and the extent of climate fragility.

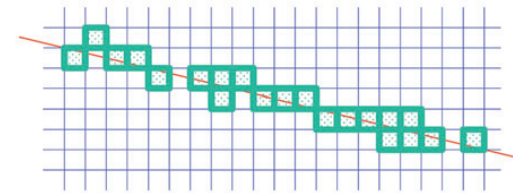
From the analysis summarised in Table 4, four recurring strategies emerge with direct implications for the conception of the climate shelter as infrastructure of equity. The first is soil depaving and re-naturalisation, adopted in projects such as the Corredor Verde (2016) in Barcelona (Fig. 6), Skanderbeg Square (2010) in Tirana, and Corte Don Bosco (2025) in Bari, where the removal of impermeable surfaces constitutes the first step for the creation of natural climate shelters. The second is the use of modular green furnishings and mobile structures, as in the CoolCo's project (2023) in Budapest, which offers highly flexible, immediately replicable plug-and-play solutions for creating temporary cooling areas during heatwaves.

The third is the integration of multifunctional green-blue infrastructures, exemplified by Watersquare Benthemplein (2013) in Rotterdam, where the square simultaneously performs recreational, water-retention, and thermal-comfort functions; the green-blue approach is consistent with the most recent readings that interpret urban cooling as an integrated metabolic process based on the relationships among water, energy and microclimate (Sposito and Mittersteiner, 2025). The fourth is the model of a diffused network of micro-interventions, which represents the approach most coherent with the vision of the shelter as redistributive infrastructure: Medellín's Corredores Verdes (2016), Barcelona's Climate Shelters Schools programme (2018-2030) and Amsterdam's SET Community Gardens (2014) demonstrate how capillary networks can extend climatic benefits also to the most marginal communities.

A cross-cutting result of particular relevance for SDG 10 concerns the risk of ecological gentry-

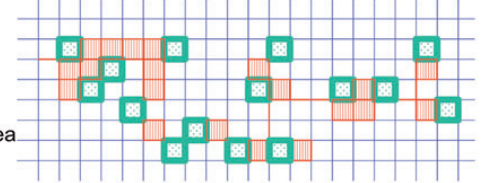
**Abstract application 1 of Green Cell distribution: linear urban mobility infrastructure**

> PILOT 1: Green Cells in the Via Cesare Boldrini area



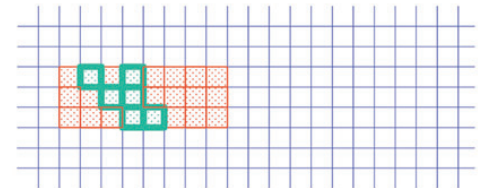
**Abstract application 2 of Green Cell distribution: consolidated urban context**

> PILOT 2: Green Cells in the Via Fratelli Rosselli / Via del Porto area



**Abstract application 3 of Green Cell distribution: self-establishing green spaces in a peripheral mixed-use context**

> PILOT 3: Green Cells in the Savena area



fication. The analysis confirms that high-quality interventions localised in central areas and financed privately, such as Bosco Verticale (2014) in Milan, tend to benefit high-income populations, whereas the projects most effective in reducing inequalities are those operating at diffused scale in peripheral and vulnerable contexts, such as Medellín's Corredores Verdes (2016). This evidence reinforces the central thesis of the contribution: the climate shelter must be conceived as a capillary and accessible network, not as a punctual intervention of excellence. The comparative analysis also highlights that about half of the projects analysed integrate forms of digital innovation (GIS platforms, environmental sensors, citizen science), but none yet implements a complete digital twin. This finding confirms the position of the TALEA project as a frontier in the integration of the three dimensions of innovation: no analysed case simultaneously combines NbS, community co-design, and real-time digital monitoring within a replicable modular unit.

Among the key enabling factors are collaboration between Universities and local Administrations, the incremental pilot approach with reversible interventions, intersectoral governance, and the integration of NbS into long-term urban strategies. The main obstacles concern the limited availability of physical space in historic centres, the long-term maintenance of NbS, tensions between experi-

mentation and the rigidity of institutional frameworks, and the risk of loss of community engagement in the medium and long term. These criticalities confirm what has also been observed in the literature on the co-design processes of public and welfare spaces, which highlights the need to structure stable forms of governance in order to guarantee continuity and maintenance over time (Campanaro et alii, 2025).

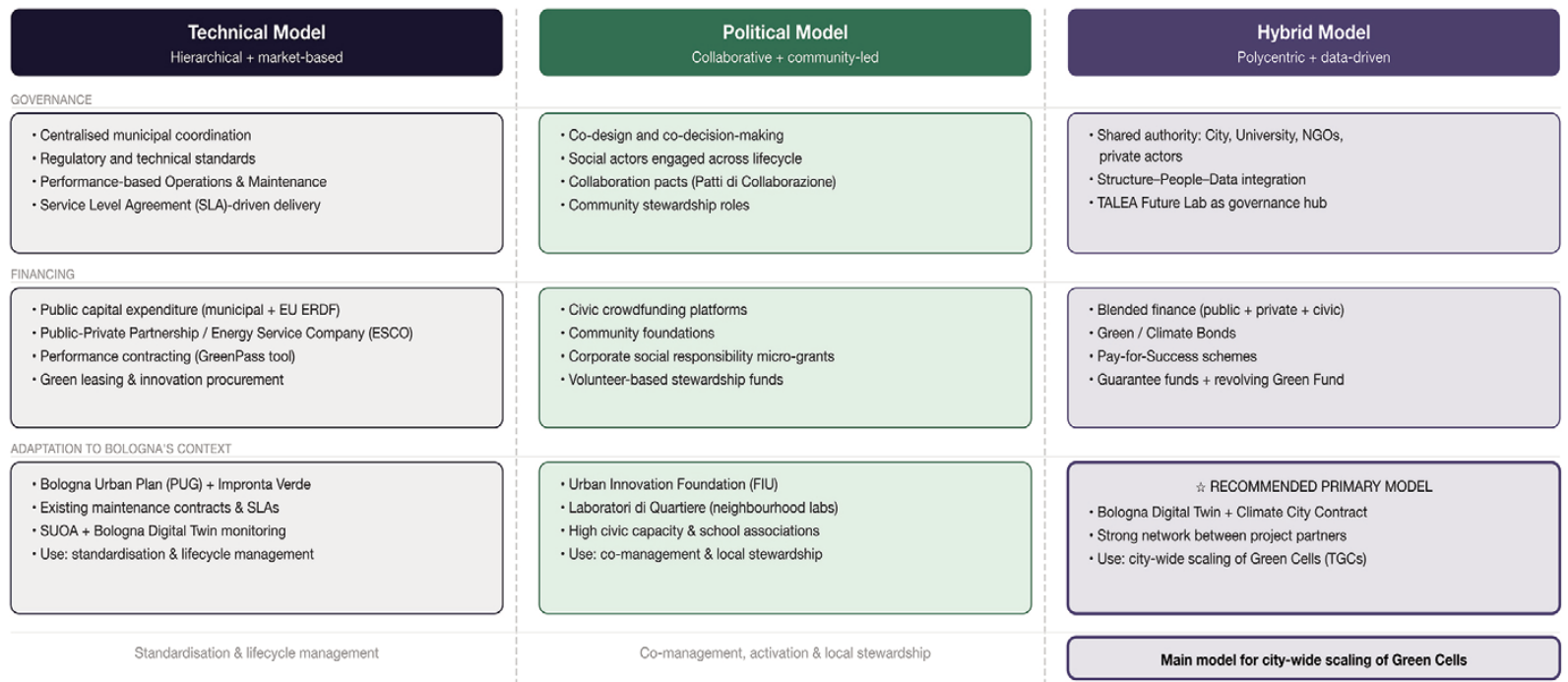
**Results and discussion of Phase 3 – The Bologna experimentation: from diagnosis to strategic localisation**

Bologna constitutes the testing ground of the framework developed in the first two phases. Located in a climatic zone characterised by hot and humid summers, the city records a significant increase in heatwaves: compared with the period 1961-1990, the mean annual temperature is expected to rise from 13.9 to 15.6 °C in the 2020-2050 window, with heatwaves of 6 consecutive days and 42 summer tropical nights (data from the Emilia-Romagna Region Climate Observatory<sup>3</sup>). More than 50% of the municipal territory presents a poor hydrological response, and heatwaves are amplified by the heat-island effect, with relevant impacts especially in the neighbourhoods with the highest housing density.

The application of the GCFI framework to the Bologna territory produced significant results on

### Governance and Financial Models for TALEA Green Cells – Bologna

Adapted from D5.3.1, Tab. 5.3 (R2M Solution – TALEA, 2025)



**Fig. 12 |** Governance and financial models for TALEA Green Cells in Bologna. Adapted by the authors from D5.3.1, Tab. 5.3 (R2M Solution – TALEA, 2025). Abbreviations: ERDF = European Regional Development Fund; FIU = Fondazione Innovazione Urbana (now Fondazione IU Rusconi Ghigi); PUG = Piano Urbanistico Generale (Bologna General Urban Plan); SLA = Service Level Agreement; SUOA = Systemic Urban Observation Atlas (TALEA digital monitoring platform); TGC = TALEA Green Cell (credit: the Authors, 2026).

the spatial distribution of vulnerabilities. The General Fragility Index (GFI), developed from the metropolitan fragility framework of the Municipality of Bologna<sup>4</sup>, integrates three dimensions: demographic (percentage of residents over 80, population change rate, and natural balance), social (single-person households over 65, minors in single-parent households, young foreigners, foreign turnover, and graduates aged 25-49) and economic (average taxable income, taxpayers below 10,000 euros, and rented dwellings).

The three dimensions are aggregated and weighted in a synthetic indicator classifying statistical areas into five levels of fragility. The demographic component of the GFI, in particular the share of residents over eighty and the prevalence of elderly single-person households, expresses the fragility documented by recent literature on the relationship between population ageing, thermal stress and well-being in urban spaces (Chaza Chimeno, Revellini and Cellucci, 2024): census sections with high GFI coincide with the areas of greater exposure to heat risk and of lower autonomy in access to climate shelters. The Climate Fragility Index (CFI), calculated through the 3-30-300 rule, measures the quality of local green infrastructures according to three complementary criteria: visibility of at least 3 trees from every residence, minimum tree cover of 30% in the neighbourhood, access to a public green area within 300 metres (Fig. 7). The implementation used Sentinel-2 images processed in Google Earth Engine to derive tree-cover density, in combination with the geometries of public green areas (DBSN), and residential building footprints (OpenStreetMap). Areas satisfying fewer criteria are climatically more fragile.

Integration into the GCFI revealed how the inclusion of the climatic factor significantly modifies vulnerability patterns, especially in dense neigh-

bourhoods with limited tree cover and low compliance with the 3-30-300 rule. Climatic criticalities are not distributed uniformly, but concentrate in consolidated areas of the city where environmental and social vulnerabilities overlap, generating situations of climate injustice.

The Climate Shelter Index (CSI), developed according to the methodology of Maccabiani et alii (2025), evaluated the capacity of public green areas to function as climate shelters. The index assigns each area a value between 0 and 1, calculated as a weighted combination of: surface area (areas > 0.5 ha), NDVI vegetation index (> 0.4), accessibility (pedestrian / cycling paths, bus stop within 5 minutes, and disabled parking), density of drinking fountains, benches, and rest areas (Fig. 8). The complete procedure for constructing the CSI (formula, weightings, eligibility criteria, and modality of spatial join with the GCFI layer) is illustrated in Table 1 of the Methodology section. Used jointly, GCFI and CSI form a two-scale analytical framework: the GCFI identifies where urban fragility is concentrated and the CSI identifies which specific spaces within fragile areas possess the potential to become climate shelters and how targeted interventions can strengthen their resilience function.

The pilot areas of the TALEA project, where Green Cells will be implemented, were selected by overlaying levels of climate fragility, sociodemographic vulnerability, urban ecological networks and citizens' proposals through the Bologna Participatory Budget<sup>5</sup>. They were located in the northern sector of the historic centre (Marconi area) and in the Fossolo neighbourhood (Fig. 9, 10). The implementation of Green Cells in these contexts, conceived as a new form of modular and replicable climate shelter, aims to create a spatial and ecological connection between the pilot areas and the municipal Impronta Verde<sup>6</sup> project, demonstrating how

localised interventions can generate systemic impacts on microclimatic quality and spatial justice. The incremental logic, inspired by vegetative propagation by cuttings, allows each intervention to take root, grow and multiply, giving rise to an ever-expanding network of climate shelters.

At the functional and spatial levels, Green Cells can be declined in three typological configurations: nodal (a punctual intervention concentrated in squares, courtyards or widened spaces), linear (along street axes, pedestrian routes or cycle-path edges) and diffused (as a capillary network of coordinated micro-interventions at neighbourhood scale). The selection of NbS, in particular tree and shrub species, follows criteria of climate resilience and compatibility with the Bologna historic landscape context (particularly delicate in the historic centre), and is guided by microclimatic simulations that make it possible to analyse current comfort conditions, and prefigure the best strategies for improvement (Fig. 11).

Digital innovation, in particular the Systemic Urban Observation Atlas<sup>7</sup>, transforms mapping from an interpretative tool into a transformative process, making it possible to assess in real time the distributive effects of interventions and to guide corrective actions in order to ensure that the benefits of Green Cells actually reach the most vulnerable communities. The design of Green Cells integrates verifiable Design for All criteria: physical accessibility compliant with EN 17210:2021<sup>8</sup>, inclusive orientation systems, proximity to local public transport stops (within a 5-minute walk), parking spaces for users with reduced mobility, ergonomic seating, and drinking fountains. Governance provides for extended opening hours during heatwaves, scheduled routine maintenance and participatory management with resident communities, according to a model consistent with experiences of

local outposts and proximity care (Pollo, Biolchini and Scognamiglio, 2023; Setola and Borgianni, 2025).

The long-term sustainability of Green Cells requires hybrid governance models combining public institutional anchoring and structured community participation. The benchmarking conducted in TALEA deliverable ‘D5.3.1 – Integrative Governance and Financial Guide for the Sustainability of Green Transition’ (R2M Solution, 2025) on 23 European case studies demonstrates that hybrid configurations, integrating municipal coordination, multi-actor co-management and digital monitoring tools, are more effective in guaranteeing the durability and scalability of modular green infrastructures.

For the Bologna context, this translates into the formalisation of stewardship agreements and a RACI matrix (Responsible / Accountable / Consulted / Informed) for the distribution of maintenance responsibilities among the Municipality, project partners and resident communities; into the activation of the TALEA Future Lab as a permanent hub of participatory governance and civic training; into integration with the Bologna Digital Twin for the adaptive monitoring of the redistributive impacts of interventions, in line with the Climate City Contract and the Impronta Verde programme (Fig. 12).

**Synergies and trade-offs with the SDGs** | The contribution is primarily inscribed within SDG 10

(Reduce inequalities), interpreting the climate shelter as a device of environmental redistribution capable of counteracting asymmetries in exposure to thermal risk and in access to urban comfort. The strongest synergies are activated with SDG 3 (Health and well-being), since the mitigation of thermal stress directly affects the mortality of vulnerable populations, with SDG 11 (Sustainable cities), by configuring the shelter network as permanent infrastructure integrated into planning, and with SDG 13 (Climate action), by strengthening local adaptive capacity through NbS.

Relevant synergies are identified with SDG 9 (Innovation and infrastructure), due to the innovative character of the GCFI-CSI framework and digital integration, with SDG 15 (Life on land), for the contribution to biodiversity and ecological continuity, with SDG 4 (Education), for the role of school courtyards as climate shelters and environmental education spaces (Barcelona, Paris), and with SDG 6 (Water), through green-blue infrastructures.

Indirect synergies can be traced in SDGs 1, 5, 4, 6, 7, and 17. The reduction of health costs associated with thermal stress lightens the burden of poverty on the most vulnerable families (SDG 1). Extreme heat affects women in differentiated ways, and thermally comfortable and safe public spaces contribute to reducing this gender asymmetry (SDG 5). The role of school courtyards as climate shelters and environmental education spa-

ces feed ecological literacy (SDG 4). The reduction of mechanical cooling demand lowers energy consumption (SDG 7). Multi-level governance among Universities, Administrations and communities constitutes the institutional prerequisite of the model (SDG 17).

The trade-offs concern SDG 8, due to tensions between the valorisation of spaces and ecological gentrification, and SDG 12, due to the resources necessary for the maintenance of NbS. Weak or non-pertinent relationships occur with SDGs 2, 14, and 16: the relationship with SDG 2 is marginal. Green Cells may include community gardens, but food production is not a central objective of the framework and the contribution to food security is negligible at the intervention scale considered. The relationship with SDG 14 (Life below water) is very weak: green-blue infrastructures reduce the input of pollutants into surface watercourses, but marine and coastal ecosystems are not significantly affected. The relationship with SDG 16 (Peace, justice and institutions) is present as an institutional background (participatory processes and multi-level governance are explicit components of the model) but does not constitute a primary axis of innovation of the contribution. See the summary table (Tab. 5).

**Conclusions, limits, and transferability** | The research pathway has highlighted how the climate

SDG no.	SDG name	Relationship	Notes
10	Reduced Inequalities	Direct synergy (primary)	Primary anchor of the contribution
3	Good Health and Well-being	Direct synergy	Reduces heat-related morbidity and mortality
11	Sustainable Cities and Communities	Direct synergy	Green Cells as permanent adaptive infrastructure
13	Climate Action	Direct synergy	NbS enhance local adaptive capacity
1	No Poverty	Indirect synergy	Reduces health costs for the most vulnerable
5	Gender Equality	Indirect synergy	Addresses asymmetric heat exposure for women
4	Quality Education	Indirect synergy	Schoolyard shelters foster ecological literacy
6	Clean Water and Sanitation	Indirect synergy	Green-blue NbS reduce runoff and improve water management
7	Affordable and Clean Energy	Indirect synergy	Natural cooling reduces mechanical air-conditioning demand
9	Industry, Innovation, and Infrastructure	Indirect synergy	GCFI-CSI framework as a replicable digital infrastructure
15	Life on Land	Indirect synergy	Contributes to urban biodiversity and ecological continuity
17	Partnerships for the Goals	Indirect synergy	Multi-level governance among Universities, municipalities, and communities
8	Decent Work and Economic Growth	Trade-off	Risk of ecological gentrification – mitigable via GCFI-guided siting
12	Responsible Consumption and Production	Trade-off	NbS maintenance requires resources – mitigable via community management
2	Zero Hunger	Weak / non-pertinent	Community gardens marginal to core objectives
14	Life Below Water	Weak / non-pertinent	Marine and coastal ecosystems are not significantly affected
16	Peace, Justice, and Strong Institutions	Weak / non-pertinent	Participatory governance is an enabling condition, but not a primary axis of innovation

**Tab. 5** | Table summarising the contribution of the research to the individual SDGs, highlighting direct synergies, indirect synergies, trade-offs, and weak or non-pertinent relationships (credit: the Authors, 2026).

shelter can represent a complex urban device, capable of integrating ecological, social, and spatial dimensions in the reduction of inequalities. Its conceptual evolution, from a closed and refrigerated space to a diffused infrastructure of microclimatic well-being, reflects a transformation in the way cities can respond to the impacts of climate change, promoting more equitable and resilient forms of urban life. The Bologna experimentations, conducted through the convergence of the Ecosister and TALEA projects, help to demonstrate how the integration of quantitative and qualitative indicators, advanced digital tools, and co-design methodologies can guide the strategic localisation of climate shelters, also in delicate and constrained contexts such as the historic centre.

The Green Cells model offers a scalable and replicable operational solution, aimed at repairing the discontinuities of green infrastructures and generating widespread effects of mitigation and regeneration. As argued by Macaluso and Palma (2025) with reference to vegetative infrastructures as design devices for health and equality, thermal comfort and access to ecosystem benefits are matters of redistribution before being matters of environmental mitigation: the accessible climate shelter is therefore a prerequisite of the right to health and urban liveability, not an additional service for those who already have the possibility to access it.

The research, which the TALEA project makes it possible to translate at the operational level, suggests that the systemic network approach, by integrating physical, digital, and social dimensions, makes it possible to counter phenomena of ecological gentrification and to ensure that the benefits of the green transition do not translate into new forms of exclusion, in coherence with the principle of 'leaving no one behind' promoted by the 2030

Agenda (UN, 2015). In this perspective, a particularly significant synergy emerges with the project Linee d'Ombra – Climatic Itineraries under the Porticoes<sup>9</sup>, approved by the Bologna City Council in February 2026 and co-financed by the Ministry of Culture.

The project interprets the 62 kilometres of Bologna porticoes, a UNESCO World Heritage Site, as a shaded network connecting urban climate shelters, updating, in terms of climate adaptation, the concept historically associated with such infrastructures. The complementarity between TALEA's Green Cells, which operate on the nodes of the climatic network, and Linee d'Ombra, which intervenes on linear connections through the porticoes, prefigures an integrated model in which punctual shelters and climatic corridors are rooted in the historic heritage of the city.

Among the limits of the research are the still initial character of the TALEA experimentations, launched in December 2024, which does not yet provide post-implementation data on thermal mitigation effects, the dependence of the indicators on the resolution and availability of geospatial data, and the absence of external validation in contexts other than Bologna. The main barriers to the dissemination of the approach instead include cultural resistance to change in consolidated urban-planning practices, the rigidity of regulatory frameworks towards experimentation in public space, particularly in listed historic centres, and the risk of loss of involvement of the local community in the medium and long term, which requires stable participatory governance structures.

In terms of transferability, the TALEA framework and the Green Cells model are conceived to be adapted to different contexts, provided that comparable geospatial and socio-demo-

graphic data are available. The very nature of the European Urban Initiatives, of which TALEA forms part as a winning project of the Greening Cities call, provides that the methodology and the experimented solutions should have a high degree of transferability. For this reason, future developments envisage their application to the transfer cities (Marseille, Riga, Cluj-Napoca), with the necessary adaptation to the different climatic, institutional, and socio-cultural context.

The crucial question of the sustainability of the network model in the long term remains open: the 'right to comfort' as an urban right requires structural commitments of maintenance and governance that transcend the life cycle of individual research projects, raising the need for an institutional embeddedness of the experimented practices.

## Acknowledgements

The contribution is the result of a common reflection by the Authors. However, the introductory paragraph is attributable to R. Roversi and R. Mercuri; the 'Methodology' to R. Roversi and B. Turillazzi; the 'Results and discussion of Phase 1 – The climate shelter as redistributive infrastructure: evidence from the literature' to R. Mercuri and D. Longo; the 'Results and discussion of Phase 2 – Comparative performance evaluation: strategies, models and lessons learned' to B. Turillazzi, D. Longo and R. Roversi; the 'Results and discussion of Phase 3 – The Bologna experimentation: from diagnosis to strategic localisation' to R. Roversi and D. Longo; 'Synergies and trade-offs with the SDGs' to R. Mercuri and B. Turillazzi; and the 'Conclusions' to R. Roversi and D. Longo.

The research was developed within the framework of the PNRR project 'Ecosister – Territorial Innovation Ecosystem of Emilia-Romagna' (ECS\_00000033), funded by PNRR MUR M4C2-I1.5, running from October 2022 to February 2026, and of the European project 'TALEA – Green Cells Leading the Green Transition' (EUI02-064), funded by the European Urban Initiative, launched in December 2024, with a duration of 48 months and currently ongoing.

The Authors acknowledge the contribution of the TALEA consortium to the development of the project proposal and to the current first phase of implementation, in particular the work of FBK. In addition, the Authors thank

the members of the TRACE research team of the Department of Architecture of the University of Bologna, who are not among the authors of the paper but are involved in the TALEA<sup>10</sup> project, in particular A. Boeri, S. O. Murielle Boulanger, M. Massari, S. Orlandi, M. Recalcati, G. Rizoli, L. Brunello, and D. Sala.

## Notes

1) For further information, please consult the webpage: [fbk.eu/it/](http://fbk.eu/it/) [Accessed 28 March 2026].

2) The 3-30-300 rule (Konijnendijk, 2023) provides for the visibility of at least 3 trees from every residence, a minimum tree cover of 30% in the neighbourhood, and access to a public green area within 300 metres.

3) For further information, please consult the webpage: [arpa.e.it/temi-ambientali/clima/dati-e-indicatori](http://arpa.e.it/temi-ambientali/clima/dati-e-indicatori) [Accessed 28 March 2026].

4) The Fragility Map is a study conducted by the Municipality of Bologna to map conditions of fragility and marginalisation of various kinds within its administrative territory and to propose policies aimed at addressing them. For further information, please consult the webpage: [comune.bologna.it/pianoinnovazioneurbana/mappadella-fragilita/](http://comune.bologna.it/pianoinnovazioneurbana/mappadella-fragilita/) [Accessed 28 March 2026].

5) For further information, please consult the webpage: [partecipa.comune.bologna.it/partecipa/bilancio-partecipativo](http://partecipa.comune.bologna.it/partecipa/bilancio-partecipativo) [Accessed 28 March 2026].

6) The Municipality of Bologna's Impronta Verde project

provides for the strengthening of ecological corridors and green-blue connections at territorial scale. For further information, please consult the webpage: [crescebologna.it/progetti/impronta-verde-e-neutralita-climatica](http://crescebologna.it/progetti/impronta-verde-e-neutralita-climatica) [Accessed 28 March 2026].

7) For further information, see: [talea.comune.bologna.it/#gallery](http://talea.comune.bologna.it/#gallery) [Accessed 28 March 2026].

8) In Italy, the standard has been adopted as UNI CEI EN 17210:2021 – Accessibility and Usability of the Built Environment – Functional Requirements. The reference in the text to the European designation EN 17210 alone refers to the same standard in its original CEN formulation. For further information, please consult the webpage: [tore.uni.com/en/uni-en-17210-2021](http://tore.uni.com/en/uni-en-17210-2021) [Accessed 28 March 2026].

9) For further information on the Linee d'Ombra project, please consult the webpage: [comune.bologna.it/novita/comunicati-stampa/linee-dombra-itinerari-climatici-sotto-i-portici-approvato-giunta-il-progetto-che-guarda-ai-portici](http://comune.bologna.it/novita/comunicati-stampa/linee-dombra-itinerari-climatici-sotto-i-portici-approvato-giunta-il-progetto-che-guarda-ai-portici) [Accessed 28 March 2026].

10) For further information on the TALEA project, please consult the webpage: [da.unibo.it/ricerca/progetti-di-ricerca/progetti-in-ambito-internazionale/talea](http://da.unibo.it/ricerca/progetti-di-ricerca/progetti-in-ambito-internazionale/talea) [Accessed 28 March 2026].

## References

Amorim-Maia, A., Anguelovski, I., Connolly, J. and Chu, E. (2023), "Seeking refuge? – The potential of urban climate shelters to address intersecting vulnerabilities", in

- Landscape and Urban Planning*, vol. 238, article 104836, pp. 1-12. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104836 [Accessed 28 March 2026].
- Anguelovski, I. (2014), *Neighborhood as Refuge – Community Reconstruction, Place Remaking, and Environmental Justice in the City*, MIT Press, Cambridge. [Online] Available at: doi.org/10.7551/mitpress/9780262026925.001.0001 [Accessed 28 March 2026].
- Armondi, S., Balducci, A., Bovo, M. and Galimberti, B. (eds) (2022), *Cities learning from pandemic – Towards preparedness*, Routledge, London. [Online] Available at: doi.org/10.4324/9781003240983 [Accessed 28 March 2026].
- Baró, F., Camacho, D. A., Pérez del Pulgar, C., Ruiz-Mallén, I. and García-Serrano, P. (2022), “Nature-Based Climate Solutions in European Schools – A pioneering Co-designed Strategy Towards Urban Resilience”, in Ruiz-Mallén, I., March, H. and Satorras, M. (eds), *Urban Resilience to the Climate Emergency – Unravelling the transformative potential of institutional and grassroots initiatives*, Springer, Cham, pp. 125-146. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-031-07301-4\_6 [Accessed 28 March 2026].
- Beretta, I. and Cucca, R. (2019), “Ecological gentrification – A European perspective – Introduction”, in *Sociologia Urbana e Rurale*, vol. 119, pp. 7-10. [Online] Available at: doi.org/10.3280/SUR2019-119001 [Accessed 28 March 2026].
- Berretta, T., Desideri, F. and Staltari, M. (2024), “Il progetto dello spazio pubblico, tra complessità e crisi ecologica – Da sfida a opportunità per la rigenerazione urbana | Public space project, between complexity and ecological crisis – From challenge to opportunity for urban regeneration”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 74-87. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1662024 [Accessed 28 March 2026].
- Bressane, A., da Cunha Pinto, J. P. and de Castro Medeiros, L. C. (2024), “Countering the effects of urban green gentrification through nature-based solutions – A scoping review”, in *Nature-Based Solutions*, vol. 5, article 100131, pp. 1-7. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.nbsj.2024.100131 [Accessed 28 March 2026].
- Bulkeley, H., Carmin, J., Broto, V. C., Edwards, G. A. S. and Fuller, S. (2013), “Climate justice and global cities – Mapping the emerging discourses”, in *Global Environmental Change*, vol. 23, issue 5, pp. 914-925. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.05.010 [Accessed 28 March 2026].
- Campagnaro, C., Ronisvalle, D., Di Prima, N., Curtabbi, G. and Passaro, R. (2025), “Fare e rifare – Opportunità e limiti della co-progettazione per gli spazi pubblici e di welfare | Doing and redoing – Opportunities and limits of co-design for public and welfare spaces”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 17, pp. 310-323. [Online] Available at: doi.org/10.69143/2464-9309/17212025 [Accessed 28 March 2026].
- Carta, M. (2025), *Sette lezioni di rigenerazione urbana*, LetteraVentidue, Siracusa.
- Chaza Chimeno, M. R., Revellini, R. and Cellucci, C. (2024), “Invecchiamento della popolazione e spazi urbani – Nuove sfide digitali per il benessere degli anziani | Ageing population and urban spaces – New digital challenges for elderly well-being”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 98-107. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1682024 [Accessed 28 March 2026].
- Fiorini, L., Saganeiti, L., Perazzini, M., Bontempo, D., Bucci, M., Giancola, M. and Perilli, E. (2025), “L’impatto dei modelli urbani sul supporto sociale – Tra giustizia spaziale e sviluppo sostenibile | The impact of urban models on social support – Between spatial justice and sustainable development”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 17, pp. 196-207. [Online] Available at: doi.org/10.69143/2464-9309/17132025 [Accessed 28 March 2026].
- Haraway, D. J. (2016), *Staying with the trouble – Making kin in the Chthulucene*, Duke University Press, London. [Online] Available at: doi.org/10.1215/9780822373780 [Accessed 28 March 2026].
- Harvey, D. (2008), “The right to the city”, in *New Left Review*, vol. 53, pp. 23-40. [Online] Available at: doi.org/10.64590/fmh [Accessed 28 March 2026].
- IPCC (2023), *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability – Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge. [Online] Available at: doi.org/10.1017/9781009325844 [Accessed 28 March 2026].
- Konijnendijk, C. C. (2023), “Evidence-based guidelines for greener, healthier, more resilient neighbourhoods – Introducing the 3-30-300 rule”, in *Journal of Forestry Research*, vol. 34, issue 3, pp. 821-830. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s11676-022-01523-z [Accessed 28 March 2026].
- López Plazas, F., Crespo Sánchez, E., Llorca Pérez, R. and Santacana Albanilla, E. (2023), “Schools as climate shelters – Design, implementation and monitoring methodology based on the Barcelona experience”, in *Journal of Cleaner Production*, vol. 432, article 139588, pp. 1-20. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139588 [Accessed 28 March 2026].
- Macaluso, L. and Palma, A. (2025), “Foreste abitate – Architettura per la salute, il benessere e l’uguaglianza | Inhabited forests – Architecture for health, well-being, and equality”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 17, pp. 180-195. [Online] Available at: doi.org/10.69143/2464-9309/17122025 [Accessed 28 March 2026].
- Maccabiani, E., Usmani, M., Nanni, R. and Napolitano, M. (2025), “Investigating Social Vulnerability to Extreme Heat – Heat Islands and climate shelters – The Case of Bologna”, in *ISPRS | International Journal of Geo-Information*, vol. 14, issue 1, article 17, pp. 1-17. [Online] Available at: doi.org/10.3390/ijgi14010017 [Accessed 28 March 2026].
- Magliocco, A. and Oneto, G. (2023), “Configurazioni spaziali nell’analisi ambientale urbana – Il contributo dell’isola di calore | Spatial configurations in urban environmental analysis – The role of the heat island effect”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 216-223. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14182023 [Accessed 28 March 2026].
- Ministère de la Santé et de la protection sociale, Ministère délégué aux personnes âgées and Ministère de l’intérieur, de la sécurité intérieure et des libertés locales (2004), *Circulaire n° 2004-219 du 12 mai 2004 définissant les actions à mettre en oeuvre au niveau local pour détecter, prévenir et lutter contre les conséquences sanitaires d’une canicule*. [Online] Available at: sante.gouv.fr/fichiers/bo/2004/04-44/a0442935.htm [Accessed 28 March 2026].
- Mitchell, D. (2003), *The Right to the City – Social Justice and the Fight for Public Space*, Guilford Press, New York.
- Nazish, A., Abbas, K. and Sattar, E. (2024), “Health Impact of Urban Green Spaces – A Systematic Review of Heat-Related Morbidity and Mortality”, in *BMJ Open*, vol. 14, article e081632, pp. 1-8. [Online] Available at: doi.org/10.1136/bmjopen-2023-081632 [Accessed 28 March 2026].
- Nixon, R. (2011), *Slow Violence and the Environmentalism of the Poor*, Harvard University Press, Cambridge (MA). [Online] Available at: doi.org/10.2307/j.ctt2jbsgw [Accessed 28 March 2026].
- Pede, E. C. (2024), “Heat waves and urban vulnerability – Climate shelters, public services and innovative solutions – Lessons from Barcelona”, in *Urban Research & Practice*, vol. 17, issue 3, pp. 465-471. [Online] Available at: doi.org/10.1080/17535069.2024.2329058 [Accessed 28 March 2026].
- Pollo, R., Biolchini, E. and Scognamiglio, V. (2023), “Progettare le Case della Comunità – Applicazione dell’approccio modulare a un modello innovativo di presidio | Designing Community Houses – Application of the modular approach to an innovative model of facility”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 224-235. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14192023 [Accessed 28 March 2026].
- Roversi, R. and Longo, D. (2025), “Regenerative and connective green Cells to address fragmentation and climate change in cities – The TALEA project integrated solution”, in *Sustainability*, vol. 17, issue 7, article 3175, pp. 1-25. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su17073175 [Accessed 28 March 2026].
- Sanz-Mas, M., Contente, X., Mari-Dell’Olmo, M. and López, M. J. (2025), “Community Use and Perceptions of Climate Shelters in Schoolyards in Barcelona”, in *International Journal of Public Health*, vol. 70, article 1608083, pp. 1-10. [Online] Available at: doi.org/10.3389/ijph.2025.1608083 [Accessed 28 March 2026].
- Secchi, B. (2013), *La città dei ricchi e la città dei poveri*, Laterza, Milano.
- Setola, N. and Borgianni, S. (2025), “Promuovere salute e benessere – Strumenti per il progetto di Case della Comunità e quartieri sani | Promoting health and well-being – Tools for designing community health centres and healthy neighbourhoods”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 17, pp. 226-241. [Online] Available at: doi.org/10.69143/2464-9309/17152025 [Accessed 28 March 2026].
- Soja, E. W. (2010), *Seeking spatial justice*, University of Minnesota Press, Minneapolis. [Online] Available at: doi.org/10.5749/minnesota/9780816666676.001.0001 [Accessed 28 March 2026].
- Sposito, C. and Mittersteiner, G. (2025), “Riciclo idrico e raffrescamento urbano – Un nuovo paradigma metabolico Acqua / Energia / Cibo per le città temperate | Water recycling and urban cooling – A new Water / Energy / Food metabolic paradigm for temperate cities”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 18, pp. 22-71. [Online] Available at: doi.org/10.69143/2464-9309/1812025 [Accessed 28 March 2026].
- Tucci, F., Altamura, P. and Pani, M. M. (2023), “Modulare le dinamiche urbane in chiave climatica – Spazi intermedi e neutralità climatica | Modulating urban dynamics from a climate perspective – In-between spaces and climate neutrality”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 204-215. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14172023 [Accessed 28 March 2026].
- Tzortzi, J. N., Lux, M. S. and Pardo Delgado, N. (2024), “Infrastrutture verdi urbane in America Latina – Una strategia per i cortili di Bogotá | Urban Green Infrastructure in Latin America – A strategy for Bogota courtyards”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 216-227. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15172024 [Accessed 28 March 2026].
- UN – United Nations (2015), *Transforming Our World – The 2030 Agenda for Sustainable Development*. [Online] Available at: sdgs.un.org/2030agenda [Accessed 28 March 2026].
- Valente, R., Mazingo, L. A., Bosco, R. and Giacobbe, S. (2024), “Gestione integrata delle risorse naturali in contesti urbani sostenibili | Integrated natural resource management in sustainable urban context”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 180-189. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15142024 [Accessed 28 March 2026].
- World Health Organization Regional Office for Europe (2008), *Heat-Health Action Plans – Guidance*, World Health Organization Regional Office for Europe, Copenhagen. [Online] Available at: who.int/europe/publications/i/item/9789289071918 [Accessed 28 March 2026].
- Zarcone, R., Nava, F. and Tucci, F. (2024), “Mitigazione del clima e comfort umano – Uno strumento per la modellazione e simulazione di supporto alle decisioni | Climate mitigation and human comfort – A decision-support modeling and simulation tool”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 228-237. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15182024 [Accessed 28 March 2026].