

Climate Shelters: una rete urbana per la resilienza climatica e i servizi di quartiere

Just Accepted: November 28, 2025 Published: July 29, 2026

RICERCA E
SPERIMENTAZIONE/
RESEARCH AND
EXPERIMENTATION

Giovanni Nocerino¹, <https://orcid.org/0000-0002-6778-6971>

Maria Teresa Girardi², <https://orcid.org/0009-0001-1448-6879>

Mattia Federico Leone², <https://orcid.org/0000-0003-2434-509X>

¹ Centro Interdipartimentale di Ricerca Laboratorio di urbanistica e pianificazione territoriale "Raffaele d'Ambrosio", Università degli studi di Napoli Federico II, Italia

² Dipartimento di Architettura, Università degli studi di Napoli Federico II, Italia

giovanni.nocerino@unina.it

mariateresa.girardi@unina.it

mattia.leone@unina.it

Abstract. Il lavoro propone una metodologia per l'individuazione e la progettazione di Climate Shelters: infrastrutture urbane permanenti capaci di mitigare gli effetti delle ondate di calore e di generare co-benefici sociali, energetici e ambientali. Il framework integra indicatori tecnici, ambientali e funzionali con strumenti GIS e *Algorithm Aided Design*, per trasformare spazi esistenti in nodi di resilienza e servizi di quartiere. L'applicazione al PAESC di Napoli dimostra come i rifugi climatici contribuiscano alla riduzione della povertà energetica e allo sviluppo di reti urbane inclusive. Il caso studio di Bagnoli evidenzia la capacità della metodologia di tradurre obiettivi strategici in soluzioni progettuali concrete, rafforzando il ruolo dello spazio pubblico nell'adattamento climatico.

Parole chiave: *Climate shelter*; Adattamento climatico; Resilienza urbana; Comfort termico; Spazio pubblico.

Introduzione

Il cambiamento climatico pone sfide sempre più complesse, con effetti evidenti sulle città e sugli ecosistemi urbani. L'intensificazione degli eventi meteorologici estremi compromette la vivibilità urbana e costituisce un serio rischio sanitario per anziani, bambini e persone con patologie croniche (IPCC, 2023; Amorim-Maia *et al.*, 2023). Le temperature elevate accrescono ricoveri e mortalità e, in combinazione con l'urbanizzazione e un uso insostenibile delle risorse, intensificano l'effetto isola di calore urbano (D'Ippoliti *et al.*, 2010; Vicedo-Cabrera *et al.*, 2021; IPCC, 2023).

Diventa quindi essenziale integrare strategie di mitigazione e adattamento nella pianificazione urbana. La combinazione di soluzioni tecnologiche, approcci *nature-based* e interventi so-

ciali è riconosciuta come leva fondamentale per trasformazioni sistemiche (Lin *et al.*, 2021), ma ad oggi solo un quarto delle città europee dispone di piani che affrontano congiuntamente questi aspetti (Grafakos *et al.*, 2020). In questo scenario, misure inizialmente concepite come risposte emergenziali stanno evolvendo in veri e propri dispositivi infrastrutturali. Fra queste, particolare rilevanza assumono i *Climate Shelters* (Lenzi *et al.*, 2025): spazi urbani, *indoor* o *outdoor*, progettati per offrire protezione durante eventi climatici estremi e, al tempo stesso, migliorare la qualità della vita quotidiana in città.

Oltre a rispondere all'emergenza climatica, un *Climate Shelter* costituisce un'opportunità per il ripensamento dell'uso dello spazio pubblico, trasformando le città in ambienti più sostenibili e inclusivi (Montero-Gutiérrez *et al.*, 2023). Se adeguatamente progettati, infatti, i rifugi climatici possono arricchire i quartieri con nuove attrezzature urbane, riqualificando lo spazio pubblico e generando benefici duraturi per la comunità. Configurandosi come "infrastrutture urbane di prossimità" li connette con altri strumenti di pianificazione e rigenerazione, rafforzandone il ruolo sistemico.

Alla luce di tali premesse, il contributo sviluppa un framework metodologico e progettuale capace di integrare indicatori tecnici (es. prestazioni energetiche degli edifici), criteri funzionali (accessibilità, distribuzione equa dei servizi), e dimensioni socio-spaziali, con l'obiettivo di individuare e trasformare spazi esistenti in *Climate Shelters*.

Climate Shelters: an urban network for climate resilience and neighbourhood services

Abstract. This paper proposes a methodology for identifying and designing Climate Shelters, precisely permanent urban infrastructures capable of mitigating heatwave effects and generating social, energy, and environmental co-benefits. The framework integrates technical, environmental, and functional indicators with GIS and *Algorithm Aided Design* tools in order to transform existing spaces into resilience and neighbourhood service nodes. The application of the methodology to Naples' SECAP demonstrates how climate shelters contribute to reducing energy poverty and developing inclusive urban networks. The Bagnoli case study highlights the methodology's capacity to translate strategic objectives into concrete design solutions, strengthening the role of public space in climate adaptation.

Keywords: Climate Shelter; Climate adaptation; Urban resilience; Thermal comfort; Public space.

Introduction

Climate change poses increasingly complex challenges with clear effects on cities and urban ecosystems. The intensification of extreme weather events impairs urban liveability, and poses a serious health risk to the elderly, children and people with chronic diseases (IPCC, 2023; Amorim-Maia *et al.*, 2023). High temperatures increase hospital admissions and mortality and, in combination with urbanisation and unsustainable use of resources, intensify the urban heat island effect (D'Ippoliti *et al.*, 2010; Vicedo-Cabrera *et al.*, 2021; IPCC, 2023). It is, therefore, essential to integrate mitigation and adaptation strategies into urban planning. The combination of technological solutions, nature-based approaches and social interventions is recognised as a key lever for systemic transformation (Lin *et al.*, 2021), but to

date only a quarter of European cities have plans that address these aspects jointly (Grafakos *et al.*, 2020). In this scenario, measures initially conceived as emergency responses are evolving into actual infrastructure devices. Among these, Climate Shelters (Lenzi *et al.*, 2025) are particularly important, namely indoor or outdoor urban spaces designed to offer protection during extreme weather events and, at the same time, to improve the quality of daily life in cities.

Beyond addressing climate emergencies, Climate Shelters open opportunities for rethinking the use of public space, transforming cities into safer, more sustainable, and more inclusive environments (Montero-Gutiérrez *et al.*, 2023).

If properly designed, climate shelters can enrich neighbourhoods with new urban facilities, redeveloping public

Il lavoro si colloca nel quadro delle politiche delineate dal Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima (PAESC) del Comune di Napoli, il cui è obiettivo l'integrazione dei principi di resilienza climatica all'interno del contesto urbano. Lo sviluppo metodologico è stato inoltre supportato dal progetto europeo HORIZON EU: KNOWING (2022–2026, <https://knowing-climate.eu>), che contribuisce alla definizione di strumenti innovativi per la governance climatica locale. Il PAESC mira a integrare sviluppo resiliente e adattamento al cambiamento climatico, riducendo emissioni di CO₂, favorendo l'adattamento agli eventi estremi e migliorando la qualità della vita. Al fine di perseguire quest'obiettivo il PAESC definisce cinque assi strategici – comunità energetiche e riqualificazione diffusa, infrastrutture verdi e blu, rifugi climatici, mobilità sostenibile, comunicazione – configurando un approccio multiscale alla transizione ecologica. In questo quadro, i *Climate Shelters* sono riconosciuti come infrastrutture ad alta efficacia, capaci di rafforzare la gestione delle ondate di calore e di potenziare i servizi di quartiere. La metodologia proposta, adottata come strumento operativo del PAESC, consente di individuare una rete potenziale di Rifugi Climatici e di valutarne il contributo alla resilienza urbana non solo dal punto di vista termico, ma anche rispetto all'equità, all'accesso ai servizi e alla redistribuzione delle opportunità urbane. Questa visione sistemica permette di inserirli in un quadro più ampio di rigenerazione urbana, evidenziando il loro potenziale trasformativo oltre l'ambito emergenziale.

Evoluzione del concetto di *Climate Shelter*: dai rifugi emergenziali alle reti urbane

Il concetto di *Climate Shelter* è relativamente recente: i primi sviluppi significativi risalgono a metà degli anni 2010 negli Stati Uniti. In quel periodo, città come Seattle e New York iniziarono a riconvertire strutture esistenti, come supermercati e centri commerciali, in rifugi temporanei per proteggere la popolazione dalle temperature estreme durante le ondate di calore, strutturando una prima mappatura dei *cooling centers* (Seattle Office of the Mayor, 2016; New York City Office of Emergency Management, 2018). Tali luoghi, già accessibili e frequentati da un ampio numero di persone, rappresentavano infatti un'opportunità per creare rifugi immediati senza la necessità di nuove infrastrutture. Nel contesto europeo il modello si è ulteriormente strutturato, estendendo il concetto di rifugio climatico anche agli spazi aperti. A Parigi, ad esempio, il progetto "Cours Oasis" del 2018 ha dato vita a un sistema di *Climate Shelters* trasformando i cortili scolastici diffusi sul territorio urbano in isole fresche e accessibili alla comunità durante l'orario extrascolastico, con il duplice obiettivo di ridurre l'effetto isola di calore e generare spazi per l'inclusione sociale (Ville de Paris, 2018). A Barcellona si registra un'ulteriore evoluzione con la nascita di una rete più complessa a scala metropolitana (Fig. 1). Una varietà di spazi pubblici, tra cui musei, biblioteche, parchi e centri culturali, viene riconvertita in rifugi climatici per garantire un'adeguata distribuzione e accessibilità su tutto il territorio urbano (Ajuntament de Barcelona, 2021; Amorim-Maia *et al.*, 2023). La rete catalana si fonda su indicatori tecnici e funzionali che ne garantiscono l'efficacia



e una distribuzione equa, valutando fattori come la capacità di raffrescamento naturale, la presenza di verde e ombra, e criteri sociodemografici. Questo approccio supera la logica emergenziale per costruire una rete stabile di protezione e inclusione: i rifugi diventano così strumenti di riqualificazione urbana e adattamento climatico di lungo periodo (Amorim-Maia *et al.*, 2023). L'evoluzione dei *Climate Shelters* in Europa dimostra come la loro trasformazione da spazi emergenziali a infrastrutture urbane permanenti sia capace di generare in maniera efficace co-benefici sociali, economici e ambientali, integrandosi con strumenti di pianificazione e rigenerazione urbana. La loro integrazione con altri strumenti di pianificazione – dalla rigenerazione degli spazi pubblici ai piani per la mobilità, fino alle strategie per la giustizia climatica – consente di riconoscerli come parti attive di una rete infrastrutturale urbana capace di generare impatti multi-scalari positivi.

Il caso di Barcellona costituisce un esempio emblematico di come una rete adeguatamente progettata possa ridurre vulnerabilità multiple e rafforzare la giustizia climatica (Amorim-Maia *et al.*, 2024). La crescita della rete – da 200 a quasi 400 rifugi tra 2022 e 2025 – introduce il principio di densificazione progressiva basato su esigenze emergenti e vulnerabilità territoriali, evidenziando la necessità di un'evoluzione strategica del concetto. Sul fronte tipologico si osserva una diversificazione degli interventi: dagli spazi indoor climatizzati e accessibili, alle soluzioni outdoor con raffrescamento passivo/ibrido (ad esempio fermate del trasporto pubblico con moduli radianti) che ampliano il ventaglio di opzioni adattive (Montero-Gutiérrez *et al.*, 2023). Nel complesso, la traiettoria che va dalle misure emergenziali ai sistemi infrastrutturali stabili mostra come i

Climate Shelters possano funzionare sia come risposta a eventi estremi sia come dispositivo di rigenerazione urbana orientato a comfort microclimatico, accessibilità ed equità (Plazas *et al.*, 2023).

Questa evoluzione concettuale costituisce la base dell'approccio qui proposto, che interpreta i *Climate Shelters* come una rete infrastrutturale di prossimità, capace di integrare dimensioni ambientali, sociali ed economiche, connettendosi coerentemente con processi più ampi di pianificazione urbana e rigenerazione.

Approccio integrato per la selezione e la progettazione dei rifugi climatici

Il metodo sviluppato per la progettazione e l'implementazione dei *Climate Shelters* si fonda sull'integrazione di analisi territoriali, criteri tecnici e valutazioni funzionali, con l'obiettivo di trasformare spazi urbani esistenti in infrastrutture resilienti capaci di rispondere agli impatti delle ondate di calore e, al contempo, di migliorare la qualità urbana. La metodologia si articola in due fasi principali, sviluppate a partire da esperienze consolidate in ambito internazionale (Barcellona, Parigi, Seattle) e adattate al contesto locale attraverso strumenti GIS e *Algorithm Aided Design (AAD)*. La prima fase ha lo scopo di individuare le aree urbane più idonee alla realizzazione di un *Climate Shelter* e consiste in un'analisi territoriale supportata da un sistema di indicatori. Questi comprendono criteri sociodemografici (densità abitativa e presenza di gruppi vulnerabili) e parametri ambientali (ombreggiamento, copertura vegetale, accessibilità pedonale e disponibilità di servizi pubblici).

space and generating lasting benefits for the community. By acting as “local urban infrastructure”, they connect with other planning and regeneration tools, strengthening their systemic role.

In light of these premises, this paper develops a methodological and design framework capable of integrating technical indicators (e.g., energy performance of buildings), functional criteria (accessibility, equitable distribution of services), and socio-spatial dimensions, with the aim of identifying and transforming existing spaces into *Climate Shelters*.

This study is framed within the strategies outlined by the Sustainable Energy and Climate Action Plan (SECAP) of the Municipality of Naples, which aims to integrate climate resilience principles into the urban context. The methodological development pre-

sented here has also been supported by the European project HORIZON EU: KNOWING (2022–2026, <https://knowing-climate.eu>), which contributes to defining innovative tools for local climate governance.

One of the SECAP's core objectives is to integrate principles of climate-resilient development into the urban context, ensuring that every transformation of both infrastructures and the built environment contributes to CO₂ emission reduction, adaptation to extreme events, and the improvement of living conditions. To achieve this, the SECAP defines five strategic elements – energy communities and widespread retrofitting, green and blue infrastructures, climate shelters, sustainable mobility, and communication – thus shaping a multi-scalar approach to ecological transition. Within this framework, *Climate Shelters* are

recognised as highly effective infrastructures, capable of both reinforcing heatwave management and enhancing neighbourhood services.

The proposed methodology, adopted as an operational tool of the PAESC, allows to identify a potential network of *Climate Shelters* and the assessment of their contribution to urban resilience, not only from a climate perspective, but also in terms of equity, access to services, and the redistribution of urban opportunities. This systemic vision allows them to be included in a broader framework of urban regeneration, highlighting their transformative potential beyond the emergency context.

The evolution of climate shelters: from emergency to urban networks

The concept of *Climate Shelter* is relatively recent. Its first significant

developments date back to the mid-2010s in the United States, when cities such as Seattle and New York began converting existing facilities, including supermarkets and shopping malls, into temporary shelters to protect the population during heatwaves. This early mapping of *cooling centres* was an immediate and pragmatic response, which made use of already accessible and frequented spaces to provide refuge without the need for new infrastructure (Seattle Office of the Mayor, 2016; New York City Office of Emergency Management, 2018).

In Europe, the model was further consolidated, expanding the notion of *Climate Shelters* to include outdoor spaces. Paris, for instance, launched the *Cours Oasis* programme in 2018, transforming schoolyards distributed across the urban fabric into cool, accessible spaces available to communi-

Tab. 01 | Indicatori utilizzati per l'individuazione dei potenziali spazi indoor e outdoor da attrezzare come rifugi climatici. Fonte: elaborazione degli autori
Indicators used to identify potential indoor and outdoor spaces suitable for Climate Shelters. Source: created by the authors

Tab. 01 |

Category	Indicator	Variable	Typology	Unit of measurement	Reference value
Hazard	Heat wave	TMRT	Quantitative	°C	26°C
Exposure and Vulnerability	Population distribution	Statistics on demographic groups	Quantitative	inh/mq	0,02-0,05 inh/mq
	Energy resources	Energy Consumption	Quantitative	kWh/mq	30-70 kWh/mq
		Energy Poverty	Quantitative	%	>10%
Availability of suitable spaces	Accessibility	Presence of a cycle/pedestrian network	Qualitative	Yes/No	Yes
		Percentage of inaccessible areas	Quantitative	%	<10%
		Free access	Qualitative	Yes/No	Yes
		Walking distance	Quantitative	m	500-1000 m
	Building typology	Percentage of abandoned buildings	Quantitative	%	5-10%
	Land Cover	Ratio between permeable and impermeable areas	Quantitative	%	25%
	Urban facilities and services	Percentage of public facilities in the area	Quantitative	%	<10%
	Ecosystem Services	Percentage of ecosystem services of the area	Quantitative	%	<15%
	Areas subject to plan regulations	Presence of ongoing projects in the metropolitan area	Qualitative	Yes/No	Yes
	Shortage	Ratio between Facilities and Services and Walking Distance	Quantitative	%	<60-70%

Gli indicatori sono organizzati secondo un sistema di variabili, raggruppate a loro volta in tre categorie fondamentali (Tab. 1):

- Pericolosità: zone maggiormente esposte all’effetto “isola di calore” urbana;
- Esposizione e Vulnerabilità: presenza di gruppi vulnerabili e condizioni socioeconomiche critiche;
- Disponibilità di spazi idonei: aree all’aperto o al chiuso potenzialmente trasformabili in rifugi climatici sulla base delle condizioni attuali, dell’accessibilità e dell’adattabilità a strategie di raffrescamento.

L’applicazione di criteri di selezione specifici ha il duplice obiettivo di individuare i luoghi più adatti a diventare *Climate Shelters* e garantire una distribuzione capillare di questi ultimi. A questo proposito, uno dei criteri fondamentali considerati, mutuato dal modello di Barcellona, è la distanza pedonale massima di dieci minuti tra un rifugio e l’altro, allo scopo di assicurare una equa distribuzione e garantire l’accessibilità a tutta la

popolazione, comprese le persone con mobilità ridotta o risorse limitate.

A seguito dell’individuazione delle aree urbane, nella seconda fase della metodologia vengono definite le specifiche prestazionali e progettuali dei siti individuati. A tal fine è stato sviluppato un insieme di elementi progettuali chiave, definiti “invarianti progettuali”, elaborati a partire da un’analisi di diversi aspetti prestazionali quali: condizioni di comfort indoor e outdoor, prestazioni energetiche, accessibilità, dotazione di servizi e flessibilità d’uso del luogo individuato.

Le invarianti includono sia soluzioni tecnologiche come sistemi di ventilazione e materiali con elevate prestazioni termiche, sia aspetti spaziali e funzionali che incidono sulla flessibilità d’uso (Fig. 2). Ogni invariante si compone di una serie di elementi tecnici suddivisi in base alla tipologia dello spazio da progettare (indoor o outdoor). Per quanto riguarda gli ambienti interni, l’attenzione si focalizza principalmente sull’ef-

ties outside school hours. These interventions pursued the dual objective of mitigating the urban heat island effect, while generating inclusive social spaces (Ville de Paris, 2018). Barcelona presents a further evolution by introducing a complex, metropolitan-scale network (Fig. 1). A wide variety of public spaces, including museums, libraries, parks, and cultural centres were converted into Climate Shelters to ensure adequate distribution and accessibility across the entire city (Ajuntament de Barcelona, 2021; Amorim-Maia *et al.*, 2023). The network is supported by a structured system of technical and functional indicators, designed to ensure both effectiveness and equity. These indicators consider factors such as natural cooling capacity, presence of vegetation and shade, passive cooling technologies, and socio-demographic

criteria such as population density and vulnerability. This approach moves beyond an emergency rationale, establishing a stable urban infrastructure of protection and inclusion. Climate Shelters are thus conceived not only as responses to extreme events, but as instruments of urban regeneration and climate adaptation over the long term (Amorim-Maia *et al.*, 2023). The evolution of Climate Shelters in Europe demonstrates how their transformation from emergency spaces to permanent urban infrastructure can effectively generate social, economic and environmental co-benefits, integrating with urban planning and regeneration tools. Their integration with other planning tools – from the regeneration of public spaces to mobility plans and climate justice strategies – allows them to be recognised as active parts of an urban infrastructure

network capable of generating positive multi-scale impacts. The case of Barcelona is an emblematic example of how a properly designed network can reduce multiple vulnerabilities and strengthen climate justice (Amorim-Maia *et al.*, 2024). The growth of the network – from 200 to almost 400 shelters between 2022 and 2025 – introduces the principle of progressive densification based on emerging needs and territorial vulnerabilities, highlighting the need for a strategic evolution of the concept. In terms of typology, there is a diversification of interventions, spanning air-conditioned and accessible indoor spaces, as well as outdoor solutions with passive/hybrid cooling (e.g., public transport stops with radiant modules) that expand the range of adaptive options (Montero-Gutiérrez *et al.*, 2023). Overall, the trajectory

from emergency measures to stable infrastructure systems shows how Climate Shelters can function both as a response to extreme events, and as a device for urban regeneration focused on microclimatic comfort, accessibility and equity (Plazas *et al.*, 2023). This conceptual evolution provides the basis for the approach presented in this paper, which considers Climate Shelters a local infrastructure network capable of integrating environmental, social, and economic dimensions, connecting coherently with broader urban planning and regeneration processes.

Integrated approach for the selection and design of climate shelters

The formulated approach for the design and implementation of Climate Shelters is based on the integration of territorial analysis, technical criteria, and functional assessments, with the

ficienza dell’involucro edilizio, sulle prestazioni dei sistemi di climatizzazione e sui requisiti di accessibilità. Nel caso degli spazi esterni, invece, la valutazione considera prioritariamente la presenza e qualità della copertura vegetale, le proprietà termo-ottiche delle pavimentazioni, la disponibilità di punti d’acqua e la dotazione di elementi per l’ombreggiamento. Parallelamente, entrambe le tipologie spaziali vengono analizzate attraverso una serie di indicatori trasversali che valutano la flessibilità d’uso e l’adeguatezza delle dotazioni funzionali presenti. Questo approccio multidimensionale assicura che ogni *Climate Shelter* risponda agli standard prestazionali necessari per garantire condizioni di comfort termico ottimali, piena accessibilità per tutte le categorie di utenti e capacità di adattamento alle diverse esigenze d’uso che possono emergere nel tempo.

Il metodo così strutturato consente di tradurre linee guida generali in specifiche tecniche misurabili e concrete, fornendo uno strumento operativo per la progettazione e la valutazione dell’efficacia dei *Climate Shelters* in diversi contesti urbani.

La Tabella 2 riporta una sintesi delle caratteristiche tecniche individuate e organizzate per categoria, sintetizzando i parametri chiave per ambienti interni ed esterni (Tab. 2). Vengono individuati tre macro-ambiti prestazionali. Il primo riguarda l’efficienza tecnologico-ambientale, includendo aspetti passivi (verde, superfici riflettenti, ombreggiamento, permeabilità) e attivi (isolamento termico, climatizzazione, fonti rinnovabili). Il secondo concerne le caratteristiche funzionali, ovvero dotazioni essenziali come ad esempio la presenza di kit di primo soccorso. Il terzo riguarda le caratteristiche spaziali, che garantiscono accessibilità fisica e flessibilità d’uso. Questa struttura-

goal of transforming existing urban spaces into resilient infrastructures capable of addressing the impacts of heatwaves, while simultaneously enhancing urban quality.

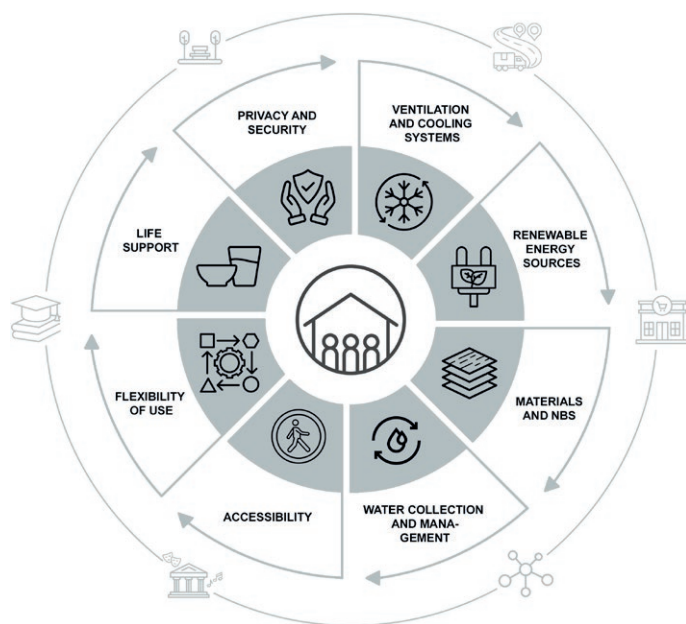
The methodology is structured into two main phases, developed from consolidated international experiences (Barcelona, Paris, Seattle) and adapted to the local context through GIS tools and Algorithm Aided Design (AAD) approaches.

The first phase aims to identify the urban areas most suitable for the establishment of a Climate Shelter, and consists of territorial analysis supported by a system of indicators. These include sociodemographic criteria (such as population density and the presence of vulnerable groups), and environmental parameters (such as shading, vegetation cover, pedestrian accessibility, and the availability of public services).

The indicators are organised into a system of variables, grouped into three fundamental categories (Tab. 1):

- Hazard: zones most exposed to the urban heat island effect;
- Exposure and Vulnerability: presence of vulnerable groups and critical socioeconomic conditions;
- Availability of suitable spaces: indoor or outdoor areas potentially transformable into Climate Shelters, based on their current conditions, accessibility, and adaptability to cooling strategies.

The application of these selection criteria has the dual objective of identifying the most suitable locations for Climate Shelters, and of ensuring their widespread distribution. A key criterion adopted from the Barcelona model is the maximum walking distance of ten minutes between shelters in order to guarantee equitable distribution



zione rende operativa la valutazione dei rifugi esistenti e orienta gli interventi di adeguamento necessari per includerli nella rete.

Caso applicativo: il PAESC di Napoli e la sperimentazione a Bagnoli

che include i *Climate Shelters* tra gli assi strategici per il raggiungimento di specifici obiettivi in termini di mitigazione, adattamento e contrasto alla povertà energetica. In particolare, il PAESC prevede una riduzione del 18,23% dell’indice di povertà energetica entro il 2030 (Comune di Napoli, 2024), da conseguire attraverso azioni mirate e misure indirette, tra cui la realizzazione di rifugi climatici indoor e outdoor che, infatti, mitigando l’impatto delle ondate di calore, limitano i costi energetici connessi alla climatizzazione domestica supportan-

La metodologia descritta ha trovato applicazione diretta nel contesto della redazione del PAESC del comune di Napoli,

and accessibility for the entire population, including those with reduced mobility or limited resources.

Following the identification of urban areas, the second phase of the methodology focuses on defining the performance and design specifications of the selected sites. To this end, a set of key design elements, referred to as “design invariants”, has been developed. These were processed by analysing performance aspects, such as indoor and outdoor comfort conditions, energy efficiency, accessibility, service provision, and spatial flexibility.

The invariants include technological solutions such as ventilation systems and high thermal performance materials, as well as spatial and functional aspects influencing flexibility of use (Fig. 2). Each invariant is composed of specific technical elements categorised according to whether the targeted space

is indoor or outdoor. For indoor environments, the focus is primarily on the efficiency of the building envelope, the performance of climate-control systems, and accessibility requirements. For outdoor environments, the evaluation emphasises vegetation cover, the thermo-optical properties of pavements, the presence of water features, and shading devices.

In both cases, the spaces are assessed through a set of transversal indicators addressing flexibility of use and adequacy of functional provisions. This multidimensional approach ensures that each Climate Shelter meets the necessary performance standards for optimal thermal comfort, full accessibility, and adaptability to diverse uses over time.

This methodological structure allows general guidelines to be translated into measurable and concrete technical

Tab. 02 | Caratteristiche principali degli spazi indoor e outdoor attrezzati come rifugi climatici incluse nelle schede. Fonte: elaborazione degli autori
Characteristics of indoor and outdoor spaces equipped as Climate Shelters included in the assessment forms. Source: created by the authors

Tab. 02 |

Category	Indicator	Variable	Typology	Unit of measurement	Reference value
Technological, environmental and spatial efficiency	Technological-environmental features	Presence of green surfaces	Quantitative	%	<20%
		Presence of vegetation	Qualitative	Yes/No	Yes
		Presence of water retention and channeling systems	Qualitative	Yes/No	Yes
		Presence of permeable pavements	Quantitative	%	<5%
		Presence of reflective surfaces	Quantitative	%	>10%
		Presence of shading systems	Qualitative	Yes/No	Yes
		Thermal insulation of the envelope	Quantitative	W/mqK	<0,2 W/mqK
	Functional features	Modular and adaptable design	Qualitative	Yes/No	Yes
		Presence of basic necessities and first aid supplies	Qualitative	Yes/No	Yes
	Spatial features	Presence of adequate ramps and passages	Qualitative	Yes/No	Yes

do le famiglie e gli individui che non riescono a permettersi un adeguato livello di servizi energetici. Per quanto riguarda l’adattamento, il PAESC adotta alcuni indicatori chiave come l’Universal Thermal Climate Index (UTCI) e la Temperatura Media Radiante (TMRT) per monitorare la riduzione dei livelli di stress termico percepito negli spazi urbani. I rifugi climatici concorrono direttamente al miglioramento di tali indicatori, contribuendo così a rafforzare la resilienza urbana. Nel contesto del PAESC, un caso studio significativo è rappresentato dal quartiere di Bagnoli, dove la metodologia proposta è stata sperimentata per tradurre le linee teoriche in soluzioni operative. L’analisi iniziale ha indagato in maniera integrata rischi climatici e vulnerabilità sociale, evidenziando la coincidenza tra aree più esposte al calore, alta densità abitativa e presenza di popolazioni fragili. Il patrimonio edilizio abbandonato è stato valutato per riconversione in Climate Shelters, migliorando accesso ai servizi e riattivando aree sottoutilizzate. L’analisi ha preso in considerazione anche le risorse ambientali del luogo,

come le colline boscate e la fascia costiera. Queste, pur avendo un ruolo cruciale nella regolazione microclimatica, risultano oggi scarsamente accessibili, accentuando la disconnessione tra popolazione e risorse naturali e disparità nell’accesso ai servizi ecosistemici. Infine, sono state analizzate le iniziative urbanistiche in corso. Trovandosi ancora oggi ad uno stadio preliminare, queste risultano scarsamente efficaci ai bisogni della popolazione. Da ciò deriva una criticità strutturale: l’isolamento di Bagnoli dal resto della città, dovuto a spazi abbandonati e a una rete infrastrutturale frammentata, che ostacola l’accesso a opportunità e riduce l’efficacia inclusiva delle strategie di adattamento climatico. La fase successiva si è concentrata sull’individuazione dei potenziali *Climate Shelters* ed è stata supportata dall’implementazione di modelli di simulazione sviluppati tramite strumenti GIS e (AAD). Questi hanno consentito una lettura incrociata e un’analisi multiscalarare di dati spaziali, ambientali e sociali provenienti da diversi database geospaziali (es. *Copernicus*, *European Environment Agency* per i dati meteorologici e ambientali e Istat per quelli relativi a esposizione e vulnerabilità).

specifications, thus providing an operational tool for both the design and the evaluation of Climate Shelters in different urban contexts. Table 2 summarises the technical characteristics identified and organised into categories, outlining the key parameters for indoor and outdoor environments (Tab. 2). Three performance macro-ambits are identified. The first concerns technological and environmental efficiency, including passive aspects (greenery, reflective surfaces, shading, permeability), and active aspects (thermal insulation, air conditioning, renewable sources). The second concerns functional characteristics, i.e., essential equipment such as first aid kits. The third concerns spatial characteristics, which guarantee physical accessibility and flexible use. This structure makes it possible to evaluate existing shelters, and guides the neces-

sary adaptation measures to include them in the network. **Application case: the SECAP of Naples and the Bagnoli experiment** The methodology described above found direct application in the drafting of the Sustainable Energy and Climate Action Plan (SECAP) of the Municipality of Naples, which identifies Climate Shelters as one of the strategic pillars to achieve specific objectives in terms of mitigation, adaptation, and energy poverty reduction. In particular, the SECAP sets the goal of reducing the energy poverty index by 18.23% by 2030 (Municipality of Naples, 2024), through both direct measures and indirect actions such as the creation of indoor and outdoor Climate Shelters. By mitigating the impact of heatwaves, these shelters reduce reliance on domestic cooling, thereby

lowering energy costs and supporting households and individuals who cannot afford adequate energy services. Regarding adaptation, the SECAP employs key indicators such as the Universal Thermal Climate Index (UTCI) and the Mean Radiant Temperature (MRT) to monitor the reduction of perceived thermal stress in urban spaces. Climate Shelters contribute directly to the improvement of these indicators, thus strengthening urban resilience. A significant case study within the SECAP framework is the Bagnoli district, where the proposed methodology was tested to translate strategic guidelines into operational solutions. The initial analysis investigated climate risks and social vulnerability in an integrated perspective, highlighting the coincidence between areas most exposed to heat, high population

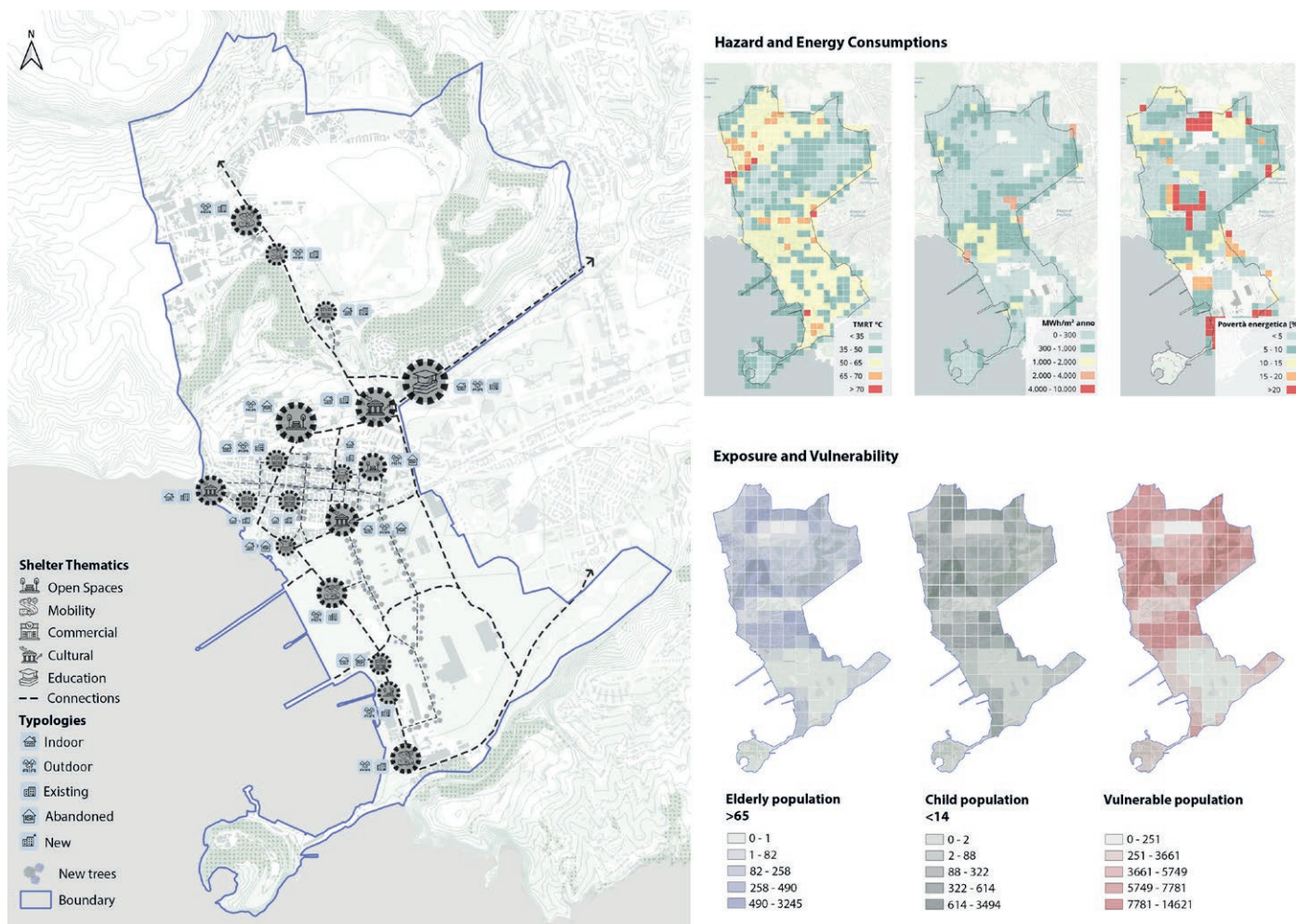
density, and the presence of vulnerable populations. Abandoned buildings were assessed for conversion into Climate Shelters, improving access to services and reactivating underutilised areas. The analysis also examined local environmental resources, such as wooded hills and the coastal strip. While these elements play a crucial role in regulating the urban microclimate, they are currently poorly accessible, exacerbating the disconnection between residents and natural assets. Added to this is an uneven distribution of urban services and limited usability of ecosystem services, reinforcing disparities between central and peripheral areas. Urban planning initiatives underway were also considered. At present, these remain in a preliminary stage and risk not fully addressing the needs of residents. This reflects a structural is-

I modelli di calcolo, sviluppati nell'ambito del progetto KNOWING, hanno permesso la valutazione di diversi aspetti chiave legati agli obiettivi del PAESC, come il fabbisogno energetico, i livelli di emissione di gas serra e i livelli di stress termico percepito valutati attraverso gli indicatori UTCI e TMRT. Sulla base dei risultati ottenuti è stata delineata una rete di spazi – esistenti e potenziali – caratterizzati da elevata accessibilità e particolare rilevanza per le fasce vulnerabili della popolazione (Fig. 3). In seguito, sono state valutate le caratteristiche progettuali e prestazionali dei potenziali *Climate Shelters* nei luoghi individuati. L'obiettivo di questa fase è stato quello di definire con maggiore dettaglio le condizioni di comfort *indoor/outdoor* e le eventuali dotazioni funzionali da implementare negli spazi candidati.

A tal fine sono state predisposte, per ogni potenziale *shelter*, specifiche schede di rilievo corredate da checklist. Le schede

sono state costruite adattando il quadro di indicatori illustrato in precedenza al contesto specifico del PAESC (Tabb. 3; 4), e hanno guidato la definizione di strategie mirate a migliorare sia le prestazioni ambientali, sia l'inclusività sociale, garantendo coerenza con gli obiettivi di resilienza urbana e adattamento climatico definiti nel piano.

Nel caso di Bagnoli, la sperimentazione ha riguardato la riconversione di un edificio abbandonato con area esterna, prevedendo soluzioni integrate indoor e outdoor. Per l'edificio sono stati ipotizzati interventi di retrofit energetico, facciate verdi, installazione di fotovoltaico e miglioramento dell'involucro termico; per lo spazio esterno sono state proposte coperture ombreggianti, vegetazione, specchi d'acqua e superfici permeabili per incrementare il comfort microclimatico. In quanto infrastrutture permanenti, i *Climate Shelters* sono stati pensati anche come luoghi multifunzionali, capaci di ospitare attività



Tab. 03 | Indicatori adottati nel PAESC per l'individuazione degli spazi idonei alla realizzazione di *climate shelter*. Fonte: Comune di Napoli, 2024
Framework of indicators for identifying suitable spaces for the implementation of Climate Shelters adopted in the SECAP. Source: Municipality of Naples, 2024

Tab. 03 |

Macro-categoria	Categoria	Indicatore
Pericolosità	Stress termico in condizioni di ondate di calore	Temperatura media radiante
Esposizione e vulnerabilità	Presenza di gruppi vulnerabili	Popolazione > 65 anni
		Popolazione < 14 anni
		Persone con mobilità ridotta
		Livello di povertà energetica
Presenza di spazi idonei per la realizzazione di rifugi climatici	Presenza di spazi outdoor potenzialmente idonei	Aree abbandonate/inutilizzate
		Aree interessate da progetti in corso
		Parchi pubblici
		Aree verdi attrezzate
		Aree accessibili lungo la linea di costa
		Aree attrezzate con fontane
		Piazze e slarghi ombreggiati
		Fermate trasporto pubblico
	Presenza di spazi indoor utilizzabili potenzialmente idonei	Edifici abbandonati/inutilizzati
		Edifici interessati da progetti in corso
		Scuole e università
		Biblioteche e centri culturali
		Centri sociali
		Mercati e spazi commerciali
		Fermate trasporto pubblico

culturali e comunitarie (auditorium, installazioni artistiche), rafforzando così la loro dimensione sociale. La fase finale ha previsto anche una verifica delle soluzioni progettuali, nella quale l'efficacia delle misure proposte è stata valutata attraverso nuove simulazioni dei valori di UTCI e TMRT, insieme a stime aggiornate dei consumi energetici degli edifici. Questo processo ciclico – analisi, progetto, verifica – ha evidenziato un miglioramento significativo sia del comfort percepito, sia della riduzione della domanda energetica (Fig. 4). I risultati hanno confermato l'applicabilità degli indicatori individuati e la capacità del me-

todo di tradurre obiettivi strategici in soluzioni concrete, con benefici integrati sul piano climatico, sociale ed energetico.

Conclusioni

Il lavoro presentato propone un approccio integrato alla progettazione dei *Climate Shelters* come risposta strategica all'aumento delle ondate di calore urbane. L'originalità del lavoro risiede nella combinazione coordinata di indicatori climatici, sociali, energetici e funzionali, che consente di considerare i *Climate Shelters* non solo come dispositivi di

sue, namely the isolation of Bagnoli from the rest of the city, caused by abandoned spaces and a fragmented infrastructure network that hinders access to opportunities, and weakens the inclusiveness of climate adaptation strategies. Based on this multi-level analysis, the second phase focused on identifying potential Climate Shelters. This process was supported by simulation models developed through GIS and Algorithm Aided Design (AAD) tools, enabling a cross-scale analysis of spatial, environmental, and social data drawn from multiple geospatial databases (including Copernicus, the European Environment Agency, and the PLINIVS Research Centre for meteorological and environmental data, as well as Istat and dati.gov.it for exposure and vulnerability data).

The computational models developed within the KNOWING project allowed the evaluation of key aspects linked to SECAP objectives, such as energy demand, greenhouse gas emissions, and thermal stress levels measured in terms of UTCI and MRT. Based on these results, a network of spaces – existing and potential – was delineated, characterised by high accessibility and strategic relevance for vulnerable population groups (Fig. 3). Subsequently, the methodology's second phase concentrated on evaluating the design and performance characteristics of the identified Climate Shelter sites. The objective was to define in greater detail the indoor/outdoor comfort conditions and functional provisions of candidate spaces, thereby assessing their suitability and the interventions required to incorporate

them into the neighbourhood shelter network. For each case, specific survey sheets were prepared with checklists adapted to the SECAP indicator framework (Tabs. 3; 4). These supported the definition of targeted strategies to enhance both environmental performance and social inclusiveness, ensuring alignment with the resilience and adaptation goals set by the SECAP. In the case of Bagnoli, the experimentation focused on the reconversion of an abandoned building with an adjacent open area, proposing integrated indoor and outdoor solutions. For the building, potential interventions included energy retrofit measures, green façades, photovoltaic systems, and improvements to the thermal performance of the envelope. For the outdoor space, shading structures, vegetation, water features, and permeable surfaces

were proposed to enhance microclimatic comfort. Conceived as permanent infrastructures, Climate Shelters were also designed as multifunctional places capable of hosting cultural and community activities (auditoriums, artistic installations), thereby reinforcing their social dimension. Finally, the proposed design solutions were tested by recalculating performance indicators. The effectiveness of the measures was validated through new simulations of UTCI and MRT values, along with updated estimates of building energy demand. This iterative process – analysis, design, verification – highlighted significant improvements in both perceived comfort and energy consumption reduction (Fig. 4). The results confirmed the applicability of the proposed indicators, and the ability of the method to translate strategic objectives into concrete so-

protezione climatica, ma come nuove infrastrutture urbane in grado di generare co-benefici ambientali, sociali ed economici, ampliando servizi di prossimità e favorendo l’inclusione. L’integrazione della metodologia nel PAESC mostra inoltre il suo valore come strumento operativo a supporto della pianificazione urbana. La sperimentazione nel quartiere di Bagnoli evidenzia il potenziale del metodo nel rispondere a sfide complesse attraverso interventi localizzati ed *evidence based*. I risultati confermano l’adattabilità degli indicatori e delle invarianti progettuali proposte, mostrando come i rifugi climatici possono andare oltre la funzione di infrastrutture emergenziali, per configurarsi come dotazioni urbane permanenti capaci di rafforzare i servizi di quartiere, promuovere inclusione sociale e contribuire all’adattamento climatico di lungo periodo. L’impiego di strumenti di verifica delle prestazioni ambientali ed energetiche si è rivelato fondamentale per validare l’efficacia degli interventi proposti e orientare le future decisioni di pianificazione. Persistono tuttavia alcuni limiti: disponibilità e qualità dei dati, necessità di rafforzare i processi partecipativi e l’allineamento

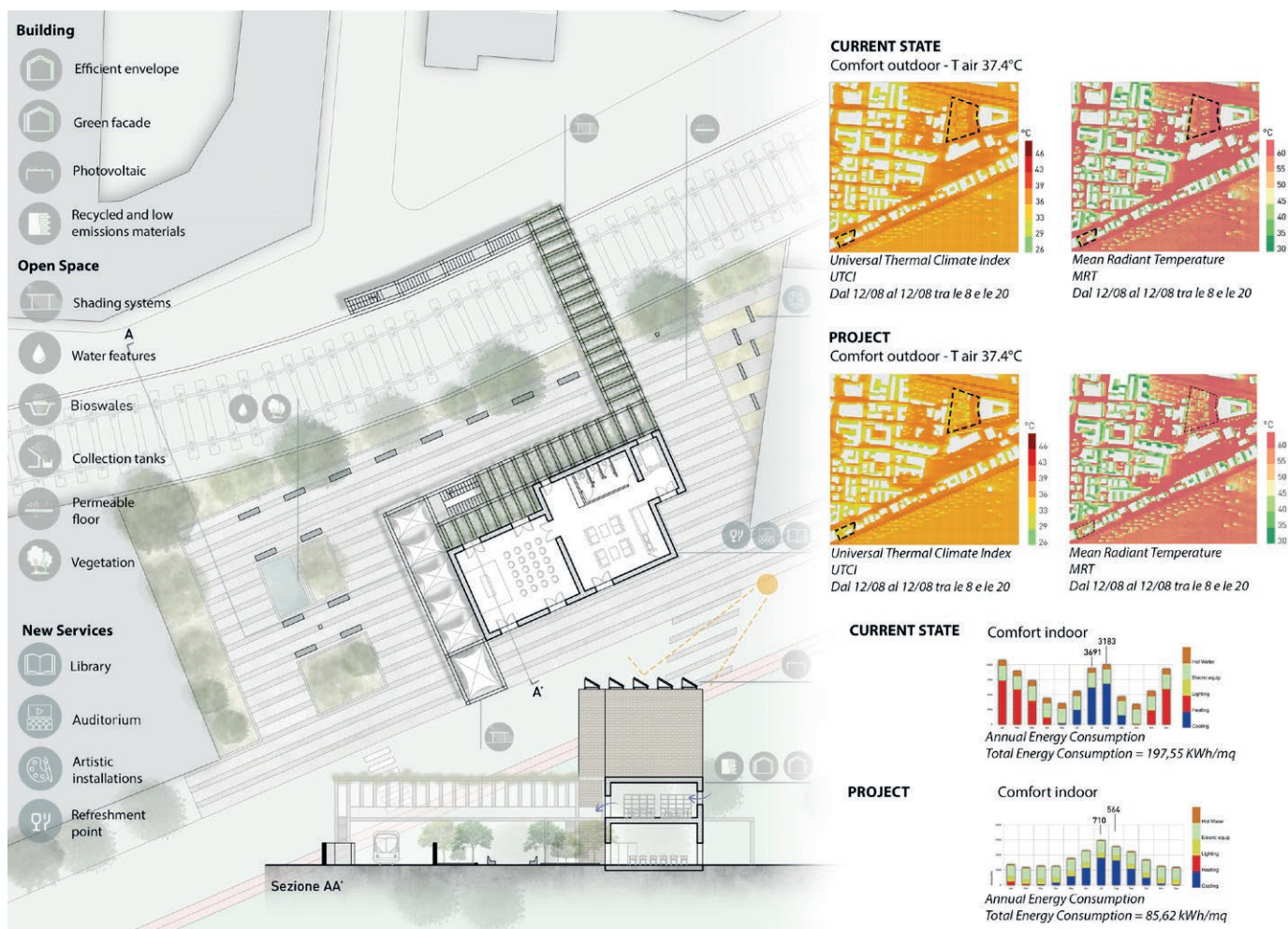
con strumenti urbanistici vigenti. Questi aspetti rappresentano ambiti prioritari di miglioramento. In definitiva, l’esperienza di Bagnoli offre un modello replicabile per integrare adattamento climatico e rigenerazione urbana, incoraggiando le città a ripensare il ruolo dello spazio pubblico in un contesto di cambiamento climatico. La metodologia proposta può costituire una base per futuri sviluppi di ricerca e di policy urbana, a supporto della creazione di reti diffuse, multifunzionali e socialmente eque di *Climate Shelters* in diversi contesti urbani.

Riconoscimenti Gli autori desiderano ringraziare il Comune di Napoli per il supporto nell’elaborazione del Piano d’Azione per l’Energia Sostenibile e il Clima (PAESC) e il progetto europeo HORIZON EU: KNOWING (2022–2026) per il contributo scientifico e metodologico. Un sentito ringraziamento va inoltre ai colleghi del Centro Studi PLINIVS e del Dipartimento di Architettura dell’Università di Napoli Federico II.

Tipologia di spazio	Categoria	Caratteristiche tecniche
Indoor	Efficienza dell’involucro edilizio	Sistemi di isolamento e inerzia termica dell’involucro
	Efficienza impiantistica	Sistemi di ombreggiamento
		Sistemi di climatizzazione e ventilazione
Outdoor	Accessibilità	Sistemi per la produzione di energia da fonti rinnovabili
		Accesso libero
	Vegetazione	Assenza di barriere architettoniche
		Alberi
		Vegetazione orizzontale
	Pavimentazioni	Arbusti
		Pavimentazione riflettente
	Acqua	Pavimentazione permeabile
		Fontane e lame d’acqua
		Accesso al mare
Indoor/outdoor	Ombreggiatura	Vaporizzatori
		Elementi di ombreggiatura
	Flessibilità d’uso	Zone ombreggiate nei periodi/orari più caldi
		Arredi modulari o adattabili
		Spazi modulari o adattabili
	Dotazioni funzionali	Spazi per la convivialità
		Spazi per il riposo
		Beni di primo soccorso
		Disponibilità di acqua potabile
		Sistemi di emergenza
		Dotazioni per attività bambini
		Dotazioni per attività anziani

Tab. 04

04 |



lutions, generating integrated climate, social, and energy benefits.

Conclusions

The work presented proposes an integrated approach to the design of Climate Shelters as a strategic response to the increase in urban heat waves. The originality of the work lies in the coordinated combination of climatic, social, energy and functional indicators. This allows Climate Shelters to be considered not only as climate protection devices, but also as new urban infrastructures capable of generating environmental, social and economic co-benefits, expanding local services and promoting inclusion. The integration of the methodology into the PAESC also demonstrates its value as an operational tool to support urban planning. The experiment in the Bagnoli neighbourhood highlights

the method's potential to respond to complex challenges through localised, evidence-based interventions. The results confirm the adaptability of the proposed indicators and design invariants, showing how climate shelters can go beyond their function as emergency infrastructure to become permanent urban facilities capable of strengthening neighbourhood services, promoting social inclusion, and contributing to long-term climate adaptation. The use of environmental and energy performance verification tools has proved essential for validating the effectiveness of the proposed interventions, and for guiding future planning decisions. Nevertheless, there are still some limitations to consider, such as data availability and quality, the necessity to strengthen participatory processes, and the alignment with existing urban planning tools. These aspects are

considered to be of paramount importance with regard to potential areas for improvement. Ultimately, the Bagnoli case study provides a replicable model for integrating climate adaptation and urban regeneration, encouraging cities to rethink the role of public space under climate change. The methodology can serve as a foundation for future research and urban policy, supporting the creation of widespread, multifunctional, and socially equitable networks of Climate Shelters in diverse urban contexts.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to thank the Municipality of Naples for supporting the development of the SECAP and the Horizon EU project KNOWING (2022–2026) for its scientific and methodological contribution. Special thanks go to colleagues at the PLINI-

VS Study Centre and the Department of Architecture, University of Naples Federico II.

REFERENCES

- Amorim-Maia, A. T., Anguelovski, I., Connolly, J., & Chu, E. (2023). "Seeking refuge? The potential of urban climate shelters to address intersecting vulnerabilities". *Landscape and Urban Planning*, 238, 104836. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104836>
- Amorim-Maia, A. T., Anguelovski, I., Chu, E., & Connolly, J. (2024). "Governing intersectional climate justice: Tactics and lessons from Barcelona". *Environmental Policy and Governance*, 34(3), 256–274. Available at: <https://doi.org/10.1002/eet.2075>
- Comune di Napoli. (2024). *Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima (PAESC)*. Napoli, Italia. Available at: <https://www.comune.napoli.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/35107> (Accessed on: 26/11/2025)
- D'Ippoliti, D., Michelozzi, P., Marino, C., de'Donato, F., Menne, B., Katsouyanni, K., ... & Perucci, C. A. (2010). "The impact of heat waves on mortality in 9 European cities: results from the EuroHEAT project", *Environmental Health*, 9(1), 37. Available at: <https://doi.org/10.1186/1476-069X-9-37>
- Grafakos, S., Viero, G., Reckien, D., Trigg, K., Viguie, V., Sudmant, A., ... & Dawson, R. (2020). "Integration of mitigation and adaptation in urban climate change action plans in Europe: A systematic assessment", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 121, 109623. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109623>
- Lenzi, S., Sádaba, J. & Retegi, A. (2025) "Climate adaptation in urban space: the need for a transdisciplinary approach", *Frontiers in Sustainable Cities*, 7. Available at: <https://doi.org/10.3389/frsc.2025.1562066>
- Lin, B. B., Ossola, A., Alberti, M., Andersson, E., Bai, X., Dobbs, C., ... & Tan, P. Y. (2021). "Integrating solutions to adapt cities for climate change", *The Lancet Planetary Health*, 5(7), e479-e486. Available at: [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00135-2](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00135-2)
- Montero-Gutiérrez, P., Ramos, J. S., Delgado, M. G., Cerezo-Narváez, A., Amores, T. P., & Dominguez, S. A. (2023). "Natural cooling solution for thermally conditioning bus stops as urban climate shelters in hot areas: Experimental proof of concept", *Energy Conversion and Management*, 296, 117627. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117627>
- Plazas, F. L., Sánchez, E. C., Pérez, R. L., & Albanilla, E. S. (2023). "Schools as climate shelters: Design, implementation and monitoring methodology based on the Barcelona experience", *Journal of Cleaner Production*, 432, 139588. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139588>
- Vicedo-Cabrera, A. M., Scovronick, N., Sera, F., Royé, D., Schneider, R., Tobias, A., ... & Gasparrini, A. (2021). "The burden of heat-related mortality attributable to recent human-induced climate change", *Nature climate change*, 11(6), 492-500. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01058-x>