

ARTICLE INFO

Received 22 September 2025
Revised 22 October 2025
Accepted 23 October 2025
Published 30 December 2025

PARAMETRI DI MORFOLOGIA URBANA E DISTRETTI A ENERGIA POSITIVA

I Campus universitari motori delle transizioni urbane

URBAN MORPHOLOGY PARAMETERS AND POSITIVE ENERGY DISTRICTS

University Campuses as drivers of urban transitions

Michela Barosio, Martina Crapolicchio, Rossella Gugliotta,
Marco Trisciuglio

ABSTRACT

Com'è possibile attivare processi di co-creazione di strategie di transizione energetica utilizzando i Campus universitari come promotori dell'iniziativa? Per rispondere a questa domanda il contributo presenta i primi esiti del progetto EDUPED che si pone l'obiettivo di accelerare la transizione verso i Distretti a Energia Positiva applicando approcci tipo-morfologici alla rigenerazione urbana e assumendo i Campus universitari come motori, orchestratori e hub di conoscenza. Attraverso la definizione di parametri morfologici e linee guida, cinque Living Lab situati nei Paesi Bassi, in Spagna, in Austria, in Italia e in Romania integrano le dimensioni tecniche, socio-economiche e di governance. L'innovazione risiede nel ruolo centrale dei Campus universitari, capaci di agire come laboratori urbani e catalizzatori di pratiche sostenibili. I primi risultati riguardano la definizione dei parametri morfologici urbani, base per i piani di retrofit e di adattamento climatico nei distretti universitari.

How can co-creation processes be activated for energy transition strategies through university campuses as promoters of the initiative? To answer this question, the paper presents the first results of the EDUPED project, which aims to accelerate the transition towards Positive Energy Districts by applying typo-morphological approaches to urban regeneration and assuming university campuses as drivers, orchestrators, and knowledge hubs. Through the definition of morphological parameters and guidelines, five Living Labs located in the Netherlands, Spain, Austria, Italy, and Romania integrate technical, socio-economic, and governance dimensions. The innovation lies in the central role of university Campuses, which act as urban laboratories and catalysts of sustainable practices. The first results concern the definition of urban morphological parameters, which form the ground for retrofit and climate adaptation plans in university districts.

KEYWORDS

distretti a energia positiva, parametri morfologici, campus universitari, laboratori urbani, transizione urbana

positive energy districts, morphological parameters, university campuses, urban laboratories, urban transition

Michela Barosio, Architect and PhD in Architecture and Building Design, is an Associate Professor at the Department of Architecture and Design, Politecnico di Torino (Italy). She conducts research on urban morphology, computational design, and design education and pedagogy. E-mail: michela.barosio@polito.it

Martina Crapolicchio, Architect and PhD in Architecture, History, and Project, is a Postdoctoral Research Fellow at the Department of Architecture and Design, Politecnico di Torino (Italy). E-mail: martina.crapolicchio@polito.it

Rossella Gugliotta, PhD in Architecture, History, and Project, is a Postdoctoral Research Fellow at the Department of Architecture and Design, Politecnico di Torino (Italy). E-mail: rossella.gugliotta@polito.it

Marco Trisciuglio, Architect and PhD, is a Full Professor at the Department of Architecture and Design, Politecnico di Torino (Italy). His research explores the city as a collective construction of buildings, spaces, and symbols in the international context, drawing on the methods and tools of the Italian morphological tradition. E-mail: marco.trisciuglio@polito.it



Questo contributo presenta i risultati della prima fase del progetto di ricerca EDUPED (Educational campuses as the drivers for Positive Energy Districts), finanziato nell'ambito della terza Call (2023) del programma Driving Urban Transitions Partnership (DUT) co-finanziato dalla Commissione Europea nel quadro del programma Horizon Europe. Il progetto mira ad accelerare la transizione verso Distretti a Energia Positiva (PED), applicando sistematicamente i principi della morfologia urbana per la rigenerazione e la riqualificazione delle città. Nel dettaglio EDUPED si concentra sul ruolo delle Istituzioni universitarie con consistenti Patrimoni edilizi come possibili attori per le transizioni PED nelle città europee, sperimentando possibili strategie in cinque Living Labs collocati nei Paesi Bassi (The Hague University of Applied Sciences), in Spagna (Universitat Politècnica de Catalunya), in Austria (Technische Universität Graz), in Italia (Politecnico di Torino) e in Romania (Technical University of Cluj-Napoca), selezionati per l'elevato potenziale di integrazione con il contesto circostante e la diversità di sviluppo.

L'impatto del progetto, che adotta un approccio tipo-morfologico, è concepito come complementare, a quanto sta avvenendo nelle cinque città di riferimento in termini di riqualificazione di edifici pubblici, rigenerazione di sistemi energetici di distretto e rivitalizzazione delle strutture urbane storiche nell'ambito di iniziative locali e nazionali, con attenzione anche a missioni come '100 Climate-Neutral Cities'¹ e Renovation Wave (European Commission, 2020).

In questo contesto il progetto EDUPED, nel pieno rispetto del programma DUT nel quale si colloca, adotta un approccio orientato alla ricerca per ottenere nel lungo periodo risultati concreti e scalabili a livello comunitario, che comprendono soluzioni tecniche, quadri socio-economici, considerazioni di governance e regolamentari. Gli obiettivi riguardano la riduzione del consumo energetico tramite azioni di profondo retrofitting, la massimizzazione del potenziale locale di fonti rinnovabili e la flessibilità di utilizzo tramite reti intelligenti multi-commodity, nonché la mitigazione degli effetti dei cambiamenti climatici e l'aumento di richieste di raffrescamento / riscaldamento (Fig. 1).

Per garantire un impatto di portata elevata il progetto propone di coinvolgere tutti gli stakeholder mediante il confronto fra municipalità, cittadini e proprietari immobiliari, allo stato dell'arte attuale non sufficientemente considerati nei processi decisionali a scala di distretto. Il consorzio di ricerca di EDUPED è infatti composto da Università, imprese e ONG con competenze / interessi negli ambiti della morfologia urbana, dei sistemi energetici, della digitalizzazione e delle scienze sociali.

Avvalendosi di competenze diversificate il progetto intende contribuire all'obiettivo dell'Unione Europea di assumere, a livello globale, il ruolo di leader nella transizione verso i PED, lavorando sulle diverse sfide che conducono a questo obiettivo, ovvero ragionare sul tipo di distretto, sul clima, sulla collocazione topografica, sulle regolamentazioni e sui caratteri del contesto urbano (Hedman et alii, 2021).

Uno studio analitico, condotto su oltre 60 progetti PED in Europa da Zhang et alii (2021), rivela come la maggior parte dei progetti si concentri sui quartieri residenziali, sfruttando le superfici di copertura che sono a disposizione per i sistemi energetici, mentre i progetti focalizzati su edifici e distretti pubblici sono in ritardo. EDUPED propone l'uso dei principi di morfologia urbana come parte di un approccio

sistemico in grado di favorire un approccio multiscale. Il contributo che segue è pertanto strutturato come un report di ricerca sugli aspetti morfologici che fanno parte del più complesso progetto EDUPED e che allo stesso tempo ne governano l'indirizzo. L'impatto che il progetto EDUPED si propone di avere, delineato da subito in questa introduzione, è costruito innanzitutto su una rilettura critica della letteratura esistente sulla morfologia urbana e su una breve descrizione dei temi e delle linee di sviluppo che il progetto si è dato nel suo impianto. Ciò consente di descrivere il ruolo che la morfologia urbana può assumere nella concezione, nella progettazione, nella realizzazione e nell'esistenza stessa di Distretti a Energia Positiva: i parametri di morfologia urbana che il progetto di ricerca elabora e conduce finalmente a una sorta di tassonomia energetica sono il vero originale contributo di questo lavoro di ricerca.

L'impatto che la ricerca potrà avere, non solo sui cinque Campus universitari che ne costituiscono semplicemente i primi campi di sperimentazione (living labs), ma sullo spazio e sugli edifici delle città europee, in genere resta rilevante, così come rilevante è la capacità di ritrovare nei temi della forma urbana i criteri per una progettazione sostenibile, non solo dal punto di vista energetico, ma anche economico, con rinnovata attenzione al senso di comunità e a diversi e possibili assetti di governance.

Stato dell'arte | Se la forma urbana è generalmente compresa attraverso i suoi elementi di base (strade, lotti ed edifici), a seconda dell'obiettivo della ricerca, questi elementi possono essere definiti con livelli di specificità variabili (Kropf, 2017). Il processo di parametrizzazione della forma urbana permette ai ricercatori di tradurre questi elementi in indicatori misurabili che possono essere analizzati, confrontati e applicati a differenti scale urbane. Un copioso corpo di studi ha dimostrato il forte legame tra morfologia urbana e prestazioni energetiche (Ratti, Baker and Steemers, 2005), sottolineando l'importanza di identificare e quantificare parametri che descrivono la configurazione fisica dell'ambiente costruito.

Come osservano Fleischmann, Romice e Porta (2020), la ricerca sulla morfologia urbana soffre di incoerenze terminologiche poiché gli stessi concetti sono spesso descritti con termini diversi (metriche, indicatori, parametri o fattori) a seconda del contesto disciplinare. Questa mancanza di allineamento si estende alla granularità delle definizioni: per esempio, area di impronta, altezza dell'edificio e volume sono frequentemente trattati come misure di base in vari ambiti, ma il volume viene spesso calcolato semplicemente come prodotto dell'impronta per l'altezza, e quindi considerato come una misura derivata (Asadi, Arefi and Fathipoor, 2020). Un'ulteriore fonte di variabilità risiede nella scala di aggregazione: la maggior parte degli studi combina misure a livello edilizio in unità spaziali più ampie (lotti, zone o aree censuarie) che possono essere rappresentate tramite cluster morfologici o come confini amministrativi (Li, Song and Kaza, 2018).

Oltre alle sfide legate alla definizione di termini propri della morfologia urbana (verso la costruzione di un lessico condiviso) vi sono anche sfide legate alla possibilità di considerare in maniera olistica parametri differenti benché apparentabili. Un numero crescente di studi collega i parametri morfologici alle prestazioni energetiche a diverse scale (Ahmadian et alii, 2021; Bourdic, Salat and Nowacki, 2012; Rode et alii, 2014; Silva et alii, 2018): a scala edilizia stu-

di empirici e parametrici hanno mostrato che l'aumento dell'area dell'involucro, della profondità di pianta (Steadman, Hamilton and Evans, 2014) e dell'altezza (Godoy-Shimizu et alii, 2018) tende a fare aumentare la domanda energetica; a scala di distretto o di canyon stradale, parametri come il rapporto altezza / larghezza e densità hanno dimostrato di influenzare la domanda di raffrescamento e di riscaldamento (Li, Song and Kaza, 2018; Fletcher et alii, 2018; Leng et alii, 2020); altri studi si concentrano sull'intorno immediato degli edifici, evidenziando come variazioni locali di forma influenzino i carichi energetici (Wong et alii, 2011).

Sebbene la relazione tra forma urbana e prestazioni energetiche degli edifici sia ampiamente riconosciuta, i meccanismi di influenza e la loro intensità relativa restano insufficientemente compresi, in particolare per quanto riguarda il raffrescamento degli spazi (Ko, 2013; Silva et alii, 2017). Tutto ciò è ovviamente dovuto alla natura multipla, multiscale e multidominio del problema: da un lato il comportamento termico degli edifici dipende da attributi legati alla forma, come la geometria, l'involucro e l'orientamento (Anderson, Wulfhorst and Lang, 2015), dall'altro il contesto urbano influenza le prestazioni in modo indiretto, modellando condizioni microclimatiche come l'ombreggiamento, la ventilazione e l'accumulo di calore. Purtroppo questi effetti indiretti sono spesso studiati in modo frammentario: la letteratura affronta solo un insieme limitato di variabili di forma e clima alla volta (Kolokotroni and Salvati, 2021).

I parametri di forma correlati all'energia riferiti all'unità edilizia sono quelli maggiormente riconosciuti nella letteratura più legata agli ambiti della progettazione e della pianificazione. L'efficacia di metriche specifiche dipende frequentemente dal contesto locale, dalla scala e dalla loro definizione o implementazione (Fleischmann, Feliciotti and Kerr, 2021; Zhang, Ghosh and Park, 2023). Poiché la ricerca energetica tradizionalmente si concentra sul singolo edificio, la prestazione energetica è solitamente indagata in relazione a caratteristiche geometriche dirette dell'involucro edilizio e dello spazio da esso racchiuso, a livello di volume e di pianta (Maullari, 2023).

Mentre la letteratura tradizionalmente si concentra sulla scala edilizia lavori recenti hanno iniziato a estendere le analisi morfologico-energetiche a sistemi urbani complessi, propri della scala dei Campus universitari che, in fondo, costituiscono microcittà poiché combinano un'elevata concentrazione di popolazione con funzioni collettive e infrastrutture che li rendono siti strategici per esplorare l'interazione tra forma urbana e prestazioni energetiche.

In questa prospettiva la morfologia del Campus può essere studiata come fattore di transizione urbana, offrendo un laboratorio controllato e allo stesso tempo realistico per testare strategie sostenibili. Alcuni studi (Salat, 2011; Razavivand Fard, Demir and Trisciuglio, 2019) hanno già evidenziato come il progetto dei Campus influenzi direttamente sia la domanda energetica sia le prestazioni ambientali urbane, rafforzando l'importanza di un approccio multiscale che consideri il continuum dagli involucri edilizi agli spazi aperti e ai sistemi infrastrutturali.

Considerando la grande dimensione e la diversità di funzioni il Campus universitario condivide molte caratteristiche proprie dello spazio urbano, inclusi spazi costruiti, spazi aperti, reti di circolazione e la loro configurazione e le relazioni tra questi componenti. Pertanto i principi progettuali applicati allo spazio urbano possono essere applicati anche al Cam-

pus e la sostenibilità e la vivibilità correlate alla forma urbana possono essere riferite alla forma del Campus. In questo contesto le Università, per missione educativa, grandezza e impatto sulla società, sono agenti chiave nel dirigere la società, formare il futuro e la transizione verso un ambiente vivibile e sostenibile. Esse sono infatti tra le principali organizzazioni nella società che comprendono infrastrutture, strutture, terreni, capitale umano ed economico e funzionano come grandi imprese urbane.

In tale ottica le iniziative di sostenibilità possono essere incorporate nelle loro agende di ricerca e formazione e dovrebbero manifestarsi nel loro impianto fisico: per fare ciò le Università devono adottare strategie che avvantaggino studenti, personale e anche una comunità più ampia. Oggi molte Università cercano di migliorare le loro strutture considerando concetti di sostenibilità e vivibilità per essere più connesse, coerenti, verdi e pedonali (Wheeler, 2004) nonché parte integrante del contesto urbano circostante (Razavivand Fard, Demir and Trisciuglio, 2019).

Il progetto EDUPED | Il progetto EDUPED va oltre lo stato dell'arte e introduce una strategia innovativa: attribuire alle Istituzioni di formazione accademica il ruolo di driver principali dei PED, come mai era sinora avvenuto in progetti simili (JPI Urban Europe, 2020). La metodologia individuata da EDUPED esplora in profondità la morfologia urbana ed energetica dei Campus universitari e valorizza l'im-

menso potenziale di questi luoghi per guidare la transizione PED anche con il coinvolgimento delle comunità locali attraverso l'estensione degli effetti ai quartieri circostanti e ad altri complessi di edifici pubblici. Questa strategia innovativa e anche transdisciplinare (Lang et alii, 2012) sfrutta la posizione unica delle Istituzioni preposte alla formazione per facilitare cambiamenti profondi nei sistemi urbani, promuovere pratiche sostenibili, favorire collaborazioni tra stakeholder e, coinvolgendo gli studenti, facilitare l'attitudine alla trasformazione delle future figure professionali.

Con riferimento ai Living Lab individuati da EDUPED (Campus universitari e distretti urbani circostanti) il progetto punta a dotarsi di: 1) Parametri di morfologia urbana per strategie di riqualificazione e rigenerazione nelle transizioni PED; 2) Processi di co-creazione con molteplici stakeholder sui Piani di accelerazione delle transizioni PED; 3) Piani di retrofit distrettuale per ridurre la domanda energetica per riscaldamento e raffrescamento nei PED; 4) Piani di adattamento climatico per aumentare la resilienza e la capacità degli edifici esistenti e delle infrastrutture urbane nei PED di fronte a temperature più elevate e ondate di calore più frequenti e severe; 5) Piani di rigenerazione distrettuale per sbloccare il pieno potenziale di reti energetiche flessibili e multi-commodity; 6) Espansione del corpus di conoscenze e competenze sui PED tramite apprendimento incrociato tra Living Lab e disseminazione delle buone pratiche, nonché sfruttamento e sca-

ling-up dei risultati di progetto. In questa sede si presenta il primo dei sei output qui descritti: l'insieme dei parametri di morfologia urbana utili per i piani di retrofit distrettuale e per i piani di adattamento climatico. Nella prima fase della ricerca ci si è infatti concentrati sulla definizione di un insieme di parametri morfologici urbani utili per la pianificazione e l'implementazione dei PED, enfatizzando soprattutto la relazione tra configurazione spaziale e prestazioni energetiche. Una volta assunto che la forma urbana influenza in maniera significativa la domanda energetica, il potenziale di produzione e la risposta climatica, la ricerca mira a stabilire un quadro morfologico applicabile ai diversi contesti europei.

Tale quadro si compone di elementi fisici chiave alla scala di distretto, che includono la forma e l'orientamento degli isolati, le caratteristiche dell'involucro edilizio, i rapporti di superficie, gli indici di copertura e il grado di mineralizzazione del suolo, compresa la presenza di acqua superficiale. Tutti questi sono parametri cardine per determinare l'accesso alla luce solare, la potenzialità di ventilazione, i pattern di ombreggiamento e le opportunità offerte da strategie energetiche passive e attive.

Il ruolo della morfologia urbana | La morfologia urbana è lo studio degli insediamenti umani, della loro forma, della loro struttura e dei processi di trasformazione, attraverso il tempo e attraverso le diverse scale. Come sostiene Kropf (2017) la morfologia urbana fornisce sia un linguaggio descrittivo sia un kit analitico per leggere l'ambiente costruito, mettendo in relazione edifici, lotti, strade e spazi aperti con le forze culturali, sociali ed economiche che li plasmano. La morfologia urbana considera la città come un oggetto fisico complesso, un artefatto culturale e un fenomeno quasi naturale; per questa ragione la morfologia urbana come disciplina consolidata propone metodi di studio adatti sia al confronto rigoroso tra luoghi e periodi diversi, sia allo studio di specificità locali e di realtà storiche (Oliveira, 2016; Whitehand, 2001).

Seguendo la sintesi interdisciplinare di Moudon (1997), la morfologia urbana contemporanea attinge a tre tradizioni convergenti: l'analisi della topografia di Conzen (1960) in Inghilterra, la tipologia procedurale di Muratori e Caniggia in Italia (Muratori, 1960; Caniggia and Maffei, 2017) e l'approccio tipo-morfologico della scuola francese (Panerai, Castex and Depaule, 1977).

Nonostante le molte differenze metodologiche queste scuole condividono tre presupposti fondamentali sulla forma urbana che ne definiscono la composizione (gli elementi fisici fondamentali sono edifici e spazi aperti, lotti e strade), il livello di risoluzione a cui deve essere esaminata (dall'edificio / lotto alla strada / blocco, alla città e alla regione) e le modalità di lettura (solo diacronicamente poiché i suoi elementi subiscono trasformazioni continue).

L'unità di base dell'analisi morfologica è quindi tanto spaziale quanto temporale: la cellula (lotto, edificio e spazio aperto) si aggrega in tessuti e distretti, la cui evoluzione riflette cicli di appropriazione, regolamentazione e uso. Brenda Scheer (2016) chiarisce come la morfologia generi conoscenza attraverso la raccolta sistematica di dati formali (mappe, confini di lotti e strade, attributi misurati degli edifici), il riconoscimento di pattern nel tempo e nello spazio, le teorie del cambiamento autonomo (persistenza, vincoli, cicli dei lotti, processi tipologici) e il collegamento alle condizioni non formali (dettate da eco-

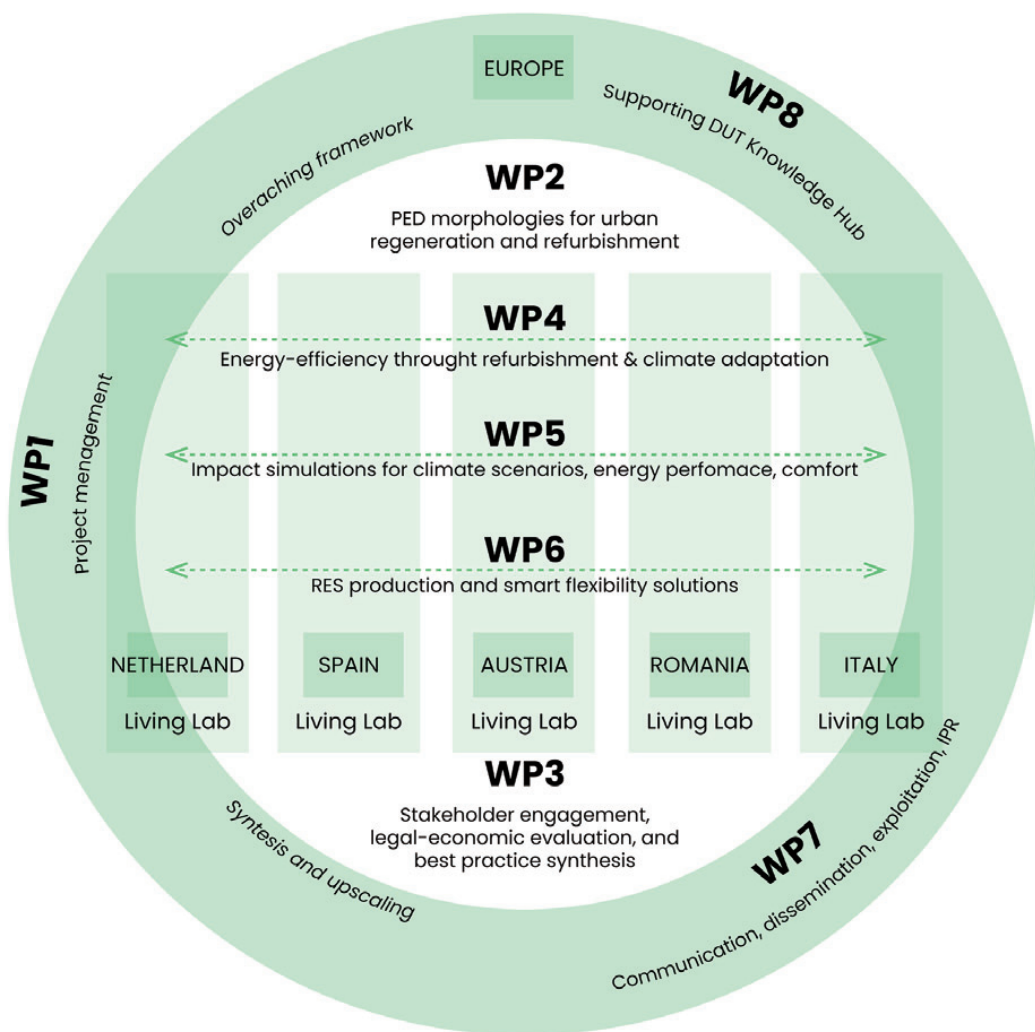


Fig. 1 | Diagram of the structure of the EDUPED project (credit: EDUPED Consortium, 2023; adapted by R. Gugliotta, 2025).

nomia, politica, cultura). Cruciale nella morfologia urbana è la distinzione tra dati (forma oggettiva e mappabile) e analisi (pattern astratti) che finisce con il proporre una triade primaria composta da forma costruita, matrice dei confini (lotti, percorsi / diritti di passaggio) e suolo, utile a mantenere le osservazioni comparabili tra contesti diversi: questa triade previene la confusione tra tipo ed esemplare individuale.

Il tipo è una classe astratta ricavata da molti edifici simili e il processo tipologico descrive come i tipi si diffondono, si adattano e si trasformano nel tempo (Caniggia and Maffei, 2017; Whitehand et alii, 2014): in una reciprocità tra edificio e lotto i tipi originari generano strutture di lotto che poi vincolano l'evoluzione dei tipi successivi (Scheer, 2010). Molti casi studio, prevalenti in letteratura, sono chiamati a consolidare questi principi: la trama a griglia dell'Example di Barcellona (Fig. 2) è un tessuto riproducibile che combina perimetri di isolato, angoli arrotondati e uso misto; i boulevards haussmanniani di Parigi (Fig. 3) ristrutturano lotti e blocchi su scala metropolitana; i tessuti arcati di Bologna (Fig. 4) codificano una grammatica durevole di edificio lotto; in alcune morfologie vernacolari riproposte in ambito urbano – ad esempio le Machiya di Kyoto (Fig. 5) o le case a schiera britanniche (Fig. 6) – al pari di profondi lotti e facciate strette determinano il contributo della luce naturale e la ventilazione, influenzando sull'uso sociale dello spazio (Marshall, 2004; Carmona, 2021).

Per la pianificazione e il progetto contemporanei la morfologia offre ben più della descrizione dell'esistente: innanzitutto fornisce quadri sulle prestazioni, sull'uso energetico, sul microclima, sul movimento e sul valore del suolo, anche in relazione alla compatibilità delle forme con gli scopi e le condizioni posti da una prefigurazione progettuale (Salat, 2011; Berghauer Pont and Haupt, 2021). La configurazione strada / isolato influenza anche i flussi pedonali (Hillier and Hanson, 1984), la profondità del blocco e la geometria dei cosiddetti canyon urbani influenza l'accesso solare e la temperatura percepita (Ratti and Richens, 1999; Oke, 1988; Stewart and Oke, 2012), mentre la densità e la forma costruita co-determinano energia e emissioni dei trasporti (Nam et alii, 2012; Rode et alii, 2014).

Indicatori morfologici (quali ad esempio FSI, GSI e densità di rete) collegano la texture urbana a effetti di energia e di comfort (Morganti et alii, 2017; Salvati, Coch Roura and Cecere, 2017). Recenti progressi, indotti da tecnologie avanzate nel campo del trattamento dei dati e della mappatura, rafforzano queste potenzialità: GIS basati sulla gestione delle particelle fondiari, modelli 3D della città, gemelli digitali e registri edilizi supportano oggi dataset multiscalarari che collegano forma fisica a prestazioni socio-ambientali, estendendo l'analisi anche dai nuclei storici ai tessuti metropolitani e perurbani (Batty, 2013); e ancora, analisi di reti digitali rivelano pattern di centralità nei sistemi stradali (Porta, Crucitti and Latora, 2006), mentre tecniche di statistica morfologica accoppiano modelli solari, eolici e termici, per valutare potenzialità passive e strategie di retrofit.

Nel complesso questa ampia letteratura dimostra come la morfologia urbana fornisca oggi l'impalcatura concettuale e operativa per una pianificazione basata su evidenze, conservazione, codifica del progetto e master-planning, sfruttando serie di dati per guidare interventi futuri che allineino la forma urbana con l'energia e l'adattamento climatico, quindi con il perseguimento di obiettivi sociali.

Nel costruire relazioni tra morfologia urbana e prestazioni energetiche la chiarificazione terminologica è un passaggio metodologico fondamentale perché garantisce che i parametri morfologici siano compresi in modo coerente tra i diversi ambiti disciplinari, che gli indicatori orientati alle prestazioni possano essere comparati in modo affidabile e che l'integrazione della morfologia nelle strategie PED rimanga trasparente e comunicabile.

In questo senso è innanzitutto importante definire i concetti di misure (unità elementari per quantificare attributi fisici dell'ambiente costruito come impronta, altezza e volume), di parametri (fattori numerici o misurabili che descrivono caratteristiche dimensionali, strutturali e prestazionali della forma urbana), di indicatori (metriche aggregate che sintetizzano parametri in strumenti di confronto) e indici (valori numerici specifici che raffinano l'analisi basata su indicatori, spesso utilizzati per misure di forma).

I parametri di morfologia urbana | Nell'ambito del progetto EDUPED la morfologia urbana è adottata non solo come disciplina descrittiva, ma anche come quadro metodologico capace di colmare il divario tra teoria e pratica nella trasformazione urbana orientata all'energia. La morfologia consente al progetto di identificare, strutturare e rendere operativi i parametri che collegano direttamente la forma spaziale della città con la domanda energetica, con la produzione rinnovabile e con la flessibilità del sistema; attraverso la raccolta e la sistematizzazione dei

dati dai cinque Living Lab il progetto sviluppa un set coerente e replicabile di indicatori morfologici.

Questi indicatori restituiscono sia potenzialità di adattamento passivo, come esposizione solare, ventilazione naturale, isolamento termico o strategie di ombreggiamento, sia interventi attivi, incluse integrazioni di infrastrutture rinnovabili, teleriscaldamento / teleraffrescamento o smart grids. In questo modo la morfologia urbana fornisce la base per un quadro in cui efficienza energetica, qualità spaziale e resilienza climatica convergono in strategie di rigenerazione sostenibile.

La morfologia urbana diventa base metodologica per una parametrizzazione dei PED strutturata su tre dimensioni chiave (Fig. 7). La prima dimensione organizza l'analisi su più scale spaziali, dall'edificio e dal lotto all'isolato o al tessuto urbano fino al quartiere, riconoscendo come le dinamiche energetiche emergano dall'interazione tra forme urbane (edifici e spazi). La seconda dimensione traduce elementi astratti in misure operative: involucri edilizi e altezze, rapporti di copertura, profondità di blocco, canyon urbani o sistemi di spazi aperti diventano parametri quantificabili e perciò comparabili tra contesti. Infine la terza lavora sulla variabile tempo nelle strategie di trasformazione, riconoscendo che la forma urbana non è mai statica, ma soggetta a fasi, cicli di riqualificazione, conservazione del Patrimonio e ritmi d'uso, tutti eventi che determinano la fattibilità e la resilienza delle transizioni PED. Questo quadro consente la determinazione di parametri basati



Fig. 2 | Bird's-eye view of Barcelona, Spain (credit: Rockwell Branding Agency).

sulla morfologia che lavorino simultaneamente su prestazioni passive (come l'accesso solare, la penetrazione della luce diurna, la ventilazione naturale e la mitigazione del calore urbano) e l'integrazione di sistemi attivi (come la raccolta di energia rinnovabile, la connettività smart grid e la flessibilità della domanda).

Una vasta letteratura ha dimostrato il legame tra morfologia urbana e prestazioni energetiche, tuttavia permangono incertezze sui meccanismi e sulle interazioni multiscala che ne determinano gli effetti.

Per sistematizzare la letteratura e garantire comparabilità i parametri morfologici sono raggruppati in cinque categorie (Fig. 8), coerenti con revisioni precedenti e adattate al caso dei Campus universitari: a) Boundary parameters (definizione delle unità spaziali, dall'involucro edilizio agli spazi aperti e ai perimetri del Campus); b) Use-related parameters (distribuzione funzionale, mix funzionale e intensità di

occupazione); c) Urban-scale parameters (densità, connettività, rapporti canyon / strada e configurazione spaziale); d) Building parameters (indicatori geometrici e dimensionali dell'edificio quali altezza, impronta, volume, profondità di pianta e rapporti superficie / volume); e) System parameters (aspetti infrastrutturali e ambientali, inclusi dispositivi di ombreggiamento, strategie di ventilazione e sistemi energetici).

La classificazione mette in evidenza come l'analisi morfologica colleghi forma urbana e studi energetici, in particolare quando i Campus fungono da siti sperimentali per la transizione urbana sostenibile; in questo modo la forma urbana assume il ruolo non solo di mero contenitore di processi energetici, ma anche di motore della stessa transizione energetica.

La prospettiva morfologica amplia la portata dei PED oltre le valutazioni di carattere meramente tec-

nico perché fornisce strumenti per la governance, la cultura e la creatività condivisa, rendendo le logiche spaziali leggibili a un ampio spettro di stakeholders. Pertanto la morfologia aiuta a negoziare i compromessi tra obiettivi energetici e altre priorità urbane, come il ridisegno degli spazi, la conservazione del Patrimonio, l'inclusione sociale, i bisogni abitativi o la qualità del paesaggio: fornisce nei fatti evidenze utili a supportare più ampie riqualificazioni contestuali, guidando interventi in sintonia con l'identità locale e la storia, allo stesso tempo badando agli obiettivi europei di decarbonizzazione.

Nell'allineare forma urbana, energia, adattamento climatico e obiettivi sociali, la morfologia urbana può permettere ai PED di emergere come modelli replicabili di rigenerazione sostenibile, offrendo soluzioni locali e conoscenze trasferibili per una più ampia transizione urbana.

Riflessioni conclusive su criticità, limiti e potenziali prospettive di sviluppo della relazione tra sistemi energetici sostenibili e forma urbana |

L'energia riveste un ruolo cruciale nello sviluppo economico e sociale globale, rappresentando al contempo uno strumento fondamentale nella lotta ai cambiamenti climatici: la città da un lato funge da motore di questo sviluppo, dall'altro si configura come principale responsabile delle criticità ambientali connesse alla crisi climatica.

L'Obiettivo di Sviluppo Sostenibile (SDG) 7 mira a garantire entro il 2030 l'accesso universale a sistemi energetici economici, affidabili, sostenibili e innovativi; in particolare si pone l'obiettivo di aumentare significativamente la quota di energie rinnovabili e di raddoppiare il tasso di miglioramento dell'efficienza energetica a livello globale. Come contributo agli SDG delle Nazioni Unite l'SDG 7 (Energia accessibile e pulita) si integra strettamente con l'11 (Città e comunità sostenibili), il 13 (Azione per il clima), il 4 (Istruzione di qualità) e il 17 (Partnership per gli obiettivi).

In che modo la progettazione urbana e architettonica può contribuire al conseguimento di tali obiettivi? Già ampiamente documentati a livello internazionale contributi teorici e pratici in ambito architet-



Fig. 3 | Aerial view of Place de l'Étoile, Paris, France (credit: M. Nilov).

Fig. 4 | The porticoes of Bologna, Italy (credit: Hub JACQU).

Next page

Fig. 5 | Machiya houses in Kyoto, Japan (credit: E. Bronzini).

tonico e urbano affrontano questo tema: alcuni studi propongono linee guida progettuali derivanti da esperienze di rigenerazione urbana integrate con i principi di sostenibilità e qualità degli spazi pubblici (Lanini et alii, 2025); altri sviluppano metodi sistemici, utili anche alla definizione di soluzioni tecnologiche e di Piani di azione per i centri urbani (Ferrante, Romagnoli and Villani, 2023).

Altri ancora hanno studiato living labs europei che sperimentano mercati energetici di prossimità, co-design e partecipazione cittadina attiva (Crippa et alii, 2024); infine si sono indagate specifiche metriche, ad esempio per le isole di calore urbane, per riconnettere le performance microclimatiche con gli aspetti morfologici dell'urbanistica (Magliocco and Oneto, 2023), tuttavia tali esperienze non trovano oggi ancora sintesi in un quadro teorico unificato e stabile.

Si avverte invece con maggiore urgenza, a livello comunitario, la necessità di definire parametri condivisi di morfologia urbana per strategie di riqualificazione e rigenerazione in ottica di transizioni energetiche positive. Tali strategie includono Piani di co-creazione con stakeholder urbani, Piani di riqualificazione a livello di quartiere o distretto per ridurre domanda energetica sia per riscaldamento che per raffreddamento, nonché interventi di adattamento climatico finalizzati ad aumentare la resilienza di edifici e infrastrutture di fronte a temperature elevate e a ondate di calore più frequenti e intense; in questo contesto si prevedono anche Piani di rigenerazione distrettuale per attivare le reti energetiche flessibili e multi-commodity, sbloccando il pieno potenziale di questi sistemi.

In tale scenario il progetto EDUPED si inserisce come espressione di una ricerca transnazionale,

volta a contribuire sia alla risoluzione delle principali sfide legate alle transizioni urbane verso un modello economico più sostenibile, sia al funzionamento efficace dei Distretti Energetici Positivi, così come definiti nel quadro delle azioni del Piano SET² dell'UE (Azione 3.2), di JPI Urban Europe (2020) e del programma EERA Joint Programme on Smart Cities³ del 2018.

Il ruolo attivo di stakeholder pubblici, imprese e ONG è determinante per la corretta realizzazione e validazione degli impatti del progetto, tuttavia l'analisi tipo-morfologica urbana attraverso la mappatura e la lettura morfologica dei PED riveste un'importanza strategica per riconoscere e valorizzare il contributo della forma urbana al raggiungimento dell'SDG 7.

Il progetto EDUPED si propone di sviluppare nuove conoscenze attraverso studi morfologici in-



novativi, basati su metodi di alta qualità e strumenti avanzati, per favorire le transizioni energetiche nei contesti urbani esistenti. L'analisi degli impatti a lungo termine consentirà di individuare strategie di co-creazione integrate nei Piani di transizione e nelle operazioni di rigenerazione urbana, con soluzioni di riqualificazione energetica dei PED, validate su diverse tipologie di distretto. Tali soluzioni progettuali si ispirano alle caratteristiche specifiche fisiche e formali di ogni contesto, mirano a essere tecnicamente solide ed economicamente sostenibili e sono orientate all'adattamento climatico a lungo termine, con l'obiettivo di ridurre drasticamente la domanda energetica per riscaldamento e raffreddamento.

I parametri morfologici urbani, come illustrato nel precedente paragrafo, rappresentano oggi l'avanguardia nelle analisi di questo tipo e costituiscono anche una prospettiva di sviluppo operativo. EDUPED si propone di utilizzare tali parametri per elaborare soluzioni pratiche e integrate, rispondendo alle criticità della rigenerazione e riqualificazione urbana nei PED. A tal fine il progetto intende sviluppare, ottimizzare e verificare in cinque casi di studio in diversi Stati membri dell'UE Piani di transizione PED che affrontino contemporaneamente la rigenerazione urbana, l'efficienza energetica (bilanciando le

esigenze tra diversi settori), la produzione di energia locale e la gestione della flessibilità della domanda e dell'offerta energetica, attraverso tecnologie e strategie di stoccaggio, integrazione di fonti rinnovabili e sistemi elettronici di potenza.

In conclusione attraverso l'applicazione di un approccio multidisciplinare e basato sulla ricerca scientifica, EDUPED mira a definire metodi innovativi e strumenti pratici applicabili per l'implementazione di PED efficienti, resilienti e sostenibili. La definizione e l'applicazione di parametri morfologici e metriche specifiche si configurano come strumenti fondamentali per portare avanti questa sfida, posizionando la forma urbana come elemento chiave nel processo di transizione energetica (SDG 7) e nel raggiungimento degli SDG correlati.

This paper presents the results of the first phase of the research project EDUPED (Educational Campuses as the Drivers for Positive Energy Districts), funded under the third Call (2023) of the Driving Urban Transitions Partnership (DUT) programme, co-financed by the European Commission within the framework of the Horizon Europe programme. The

project aims to accelerate the transition towards Positive Energy Districts (PEDs) by systematically applying the principles of urban morphology to the regeneration and redevelopment of cities. Specifically, EDUPED focuses on the role of university institutions with substantial building assets as potential actors in the PED transitions of European cities, experimenting with possible strategies within five Living Labs located in: the Netherlands (The Hague University of Applied Sciences), Spain (Universitat Politècnica de Catalunya), Austria (Technische Universität Graz), Italy (Politecnico di Torino) and Romania (Technical University of Cluj-Napoca). These sites were selected for their high potential for integration with the surrounding context and for the diversity of their development conditions.

The impact of the project, which adopts a typomorphological approach, is conceived as complementary to the ongoing processes in the five reference cities in terms of renovation of public buildings, regeneration of district energy systems, and revitalisation of historic urban structures, all within the scope of local and national initiatives, with attention also to EU missions such as '100 Climate-Neutral Cities'¹ and the Renovation Wave (European Commission, 2020).



Within this framework, the EDUPED project, fully aligned with the DUT programme in which it is embedded, adopts a research-oriented approach to achieve, in the long term, concrete and scalable results at the community level. These include technical solutions, socio-economic frameworks, and governance and regulatory considerations. The objectives concern reducing energy consumption through deep retrofitting actions, maximising local renewable energy potential and flexibility of use through multi-commodity smart grids, and mitigating the effects of climate change, particularly the increasing demand for cooling and heating (Fig. 1).

To ensure a wide-reaching impact, the project proposes to involve all stakeholders, fostering dialogue among municipalities, citizens, and property owners who are currently underrepresented in district-scale decision-making processes. The EDUPED research consortium comprises universities, enterprises, and NGOs with expertise and interests in urban morphology, energy systems, digitalisation, and the social sciences.

By leveraging these diversified competencies, the project aims to contribute to the European Union's goal of assuming a global leadership role in the transition towards PEDs, addressing the various

challenges that lead to this objective, namely, district typology, climate, topographical location, regulations, and the characteristics of the urban context (Hedman et alii, 2021).

An analytical study conducted on over 60 PED projects in Europe by Zhang et alii (2021) reveals that most of these projects focus on residential neighbourhoods and exploit available roof surfaces for energy systems. In contrast, there is a lack projects centred on public buildings and districts. EDUPED proposes the use of urban morphology principles as part of a systemic approach that promotes multi-scalar reasoning.

Accordingly, the following paper is structured as a research report on the morphological aspects that form part of the broader EDUPED project and simultaneously guide its direction. The impact that EDUPED aims to generate, outlined from the outset in this introduction, is grounded first and foremost on a critical rereading of existing literature on urban morphology and a concise description of the themes and development lines guiding the project's structure. This makes it possible to describe the role that urban morphology can assume in the conception, design, implementation, and very existence of Positive Energy Districts. Within this framework, the so-called

urban morphology parameters, which the research project develops and leads toward a form of energy taxonomy, represent the truly original contribution of this research work.

The research's potential impact is significant, not only on the five university campuses, which merely constitute the first experimental fields (Living Labs), but also on the spaces and buildings of European cities in general. Equally significant is its capacity to rediscover, within the themes of urban form, the criteria for sustainable design, not only from an energy standpoint, but also from an economic one, paying renewed attention to the sense of community and to the various possible governance arrangements.

State of the art | If urban form is generally understood through its basic elements – streets, plots, and buildings – these elements can be defined with varying levels of specificity depending on the research objective (Kropf, 2017). The process of parameterising urban form enables researchers to translate these elements into measurable indicators that can be analysed, compared, and applied across different urban scales. A substantial body of studies has demonstrated a strong link between urban morphology and energy performance (Ratti, Baker and Stee-

Previous page

Fig. 6 | Terraced houses in Fortuneswell, England (credit: U. Jain).

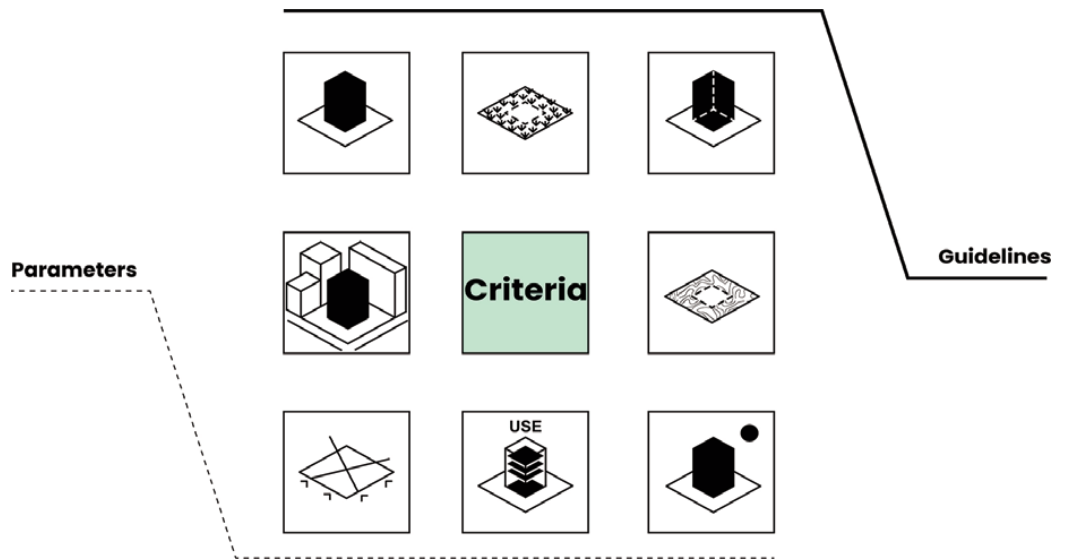


Fig. 7 | Diagram of the methodology illustrating the transition from morphological parameters, through defined criteria, to guidelines for Positive Energy District transitions (credit: the Authors, 2025).

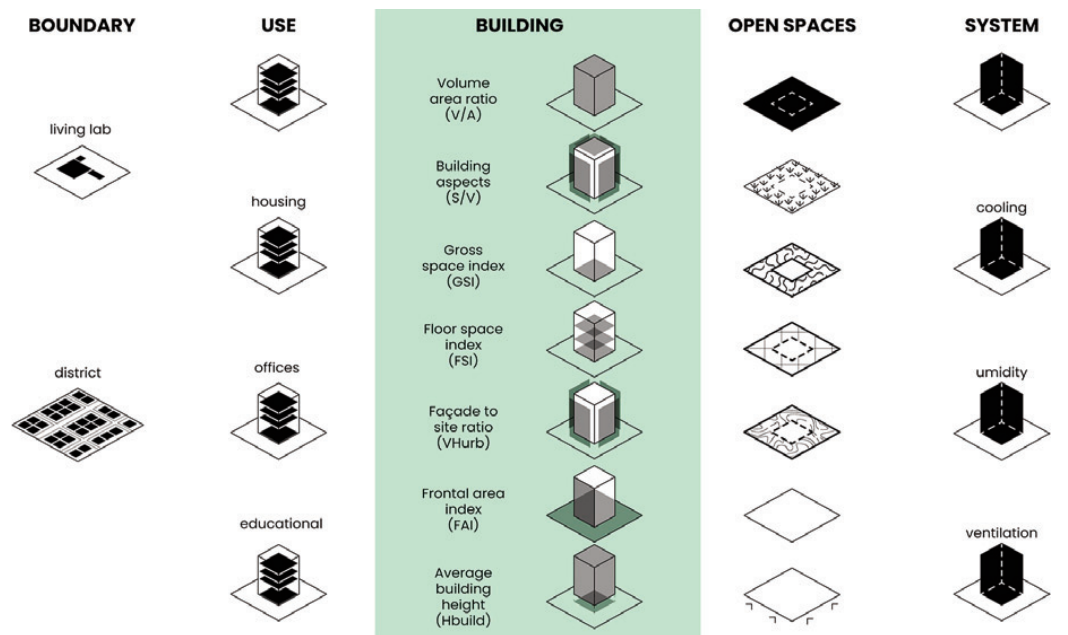


Fig. 8 | Graphic scheme of morphological parameters divided by category, with emphasis on parameters related to the building scale (credit: the Authors, 2025).

mers, 2005), highlighting the importance of identifying and quantifying parameters that describe the built environment's physical configuration.

As observed by Fleischmann, Romice and Porta (2020), research on urban morphology suffers from terminological inconsistencies, as the same concepts are often described using different terms, metrics, indicators, parameters, or factors across disciplinary contexts. This lack of alignment also extends to the granularity of definitions: for example, footprint area, building height, and volume are frequently treated as basic measures in various fields, while volume is often calculated simply as the product of footprint and height, and therefore considered a derived measure (Asadi, Arefi and Fathipour, 2020). Another source of variability lies in the aggregation scale: most studies combine building-level measures into broader spatial units (plots, zones, or census areas), which can be represented through morphological clusters or administrative boundaries (Li, Song and Kaza, 2018).

In addition to challenges in defining the terminology of urban morphology (toward building a shared lexicon), there are also difficulties in considering different yet comparable parameters holistically. A growing number of studies link morphological parameters to energy performance across various scales (Ahmadian et alii, 2021; Bourdic, Salat and Nowacki, 2012; Rode et alii, 2014; Silva et alii, 2018). At the building scale, empirical and parametric studies have shown that increases in envelope surface area, plan depth (Steadman, Hamilton and Evans, 2014) and height (Godoy-Shimizu et alii, 2018) tend to raise energy demand. At the district or street-canyon scale, parameters such as height-to-width ratio and density have been shown to influence heating and cooling demand (Li, Song and Kaza, 2018; Fletcher et alii, 2018; Leng et alii, 2020). Other studies focus on the immediate surroundings of buildings, showing how local shape variations affect energy loads (Wong et alii, 2011).

Although the relationship between urban form and building energy performance is widely recognised, the mechanisms of influence and their relative intensity remain insufficiently understood, particularly regarding space cooling (Ko, 2013; Silva et alii, 2017). This is evidently due to the multiple, multiscale, and multidomain nature of the issue: on the one hand, the thermal behavior of buildings depends on form-related attributes such as geometry, envelope, and orientation (Anderson, Wulfhorst and Lang, 2015); on the other, the urban context indirectly influences performance by shaping microclimatic conditions such as shading, ventilation, and heat accumulation. Unfortunately, these indirect effects are often studied in a fragmented way, with the literature addressing only a limited set of form and climate variables at a time (Kolokotroni and Salvati, 2021).

The energy-related form parameters for the building unit are among the most widely recognised in the literature, particularly in the fields of design and planning. The effectiveness of specific metrics often depends on local context, scale, and definition or implementation (Fleischmann, Feliciotti and Kerr, 2021; Zhang, Ghosh and Park, 2023). Since energy research traditionally focuses on the individual building, energy performance is usually investigated in relation to the building envelope's direct geometric features and the enclosed space, at the levels of volume and plan (Maiullari, 2023). While the literature has traditionally focused on the building scale, recent

work has begun to extend morphological-energy analyses to complex urban systems, specifically university campuses, which are essentially micro-cities combining high population density with collective functions and infrastructure. These features make them strategic sites for exploring the interaction between urban form and energy performance.

From this perspective, the campus morphology can be studied as a factor of urban transition, offering a controlled yet realistic laboratory for testing sustainable strategies. Some studies (Salat, 2011; Razavivand Fard, Demir and Trisciuglio, 2019) have already shown how campus design directly influences both energy demand and urban environmental performance, reinforcing the importance of a multi-scalar approach that considers the continuum from building envelopes to open spaces and infrastructural systems.

Given their large scale and functional diversity, university campuses share many features of urban space, including built areas, open spaces, circulation networks, and the relationships among these components. Therefore, the design principles used in urban spaces can also be applied to campuses, and the concepts of sustainability and livability linked to urban form can similarly be extended to campus design.

In this context, universities, due to their educational mission, size, and social impact, are key agents in guiding society, shaping the future, and driving the transition toward a livable and sustainable environment. They are among the leading organisations in society, encompassing infrastructure, facilities, land, human and economic capital, and operating as large urban enterprises. From this standpoint, sustainability initiatives can be embedded in their research and educational agendas and should be reflected in their physical layout. To do so, universities must adopt strategies that benefit students, staff, and the wider community. Today, many universities seek to improve their facilities by incorporating sustainability and livability concepts, becoming more connected, coherent, green, and pedestrian-friendly (Wheeler, 2004), as well as more integrated into the surrounding urban context (Razavivand Fard, Demir and Trisciuglio, 2019).

The EDUPED Project | The EDUPED project goes beyond the state of the art. It introduces an innovative strategy: assigning the role of main drivers of Positive Energy Districts (PEDs) to academic institutions. This role has never been attributed to them in similar projects (JPI Urban Europe, 2020). The methodology developed by EDUPED deeply explores the urban and energy morphology of university campuses. It enhances the immense potential of these sites to lead the PED transition, while involving local communities by extending their effects to surrounding neighbourhoods and other public building complexes. This innovative and transdisciplinary strategy (Lang et alii, 2012) leverages the unique position of educational institutions to facilitate profound transformations in urban systems, promote sustainable practices, foster collaboration among stakeholders, and, by engaging students, encourage a transformative mindset among future professionals.

With reference to the Living Labs identified by EDUPED (university campuses and their surrounding urban districts), the project aims to develop: 1) Urban morphology parameters for redevelopment and regeneration strategies in the PED transitions;

2) Co-creation processes with multiple stakeholders for PED Transition Acceleration Plans; 3) District retrofit plans to reduce energy demand for heating and cooling in PEDs; 4) Climate adaptation plans to enhance the resilience and capacity of existing buildings and urban infrastructures in PEDs against higher temperatures and more frequent and severe heat waves; 5) District regeneration plans to unlock the full potential of flexible and multi-commodity energy networks; 6) Expansion of knowledge and competencies on PEDs through cross-learning among Living Labs, dissemination of best practices, and the exploitation and scaling-up of project results.

This paper presents the first of the six outputs described above: the set of urban morphological parameters applicable for district retrofit plans and climate adaptation plans.

In the first phase of the research, attention was focused on defining a set of urban morphological parameters helpful in planning and implementing PEDs, with particular emphasis on the relationship between spatial configuration and energy performance. Once it is established that urban form significantly influences energy demand, production potential, and climate response, the research seeks to develop a morphological framework applicable to different European contexts.

This framework is composed of key physical elements at the district scale, consisting of the shape and orientation of blocks, characteristics of building envelopes, surface ratios, coverage indexes, and the degree of soil mineralisation, including the presence of surface water. All these are fundamental parameters in determining solar access, ventilation potential, shading patterns, and the opportunities offered by passive and active energy strategies.

The role of urban morphology | Urban morphology is the study of human settlements, namely of their form, structure, and transformative processes, examined over time and across different scales. As Kropf (2017) argues, urban morphology provides both a descriptive language and an analytical toolkit for interpreting the built environment, relating buildings, plots, streets, and open spaces to the cultural, social, and economic forces that shape them. Urban morphology looks at the city as a complex physical object, a cultural artefact, and an almost natural phenomenon. For this reason, as a well-established discipline, it proposes methods of study suitable both for rigorous comparisons across places and periods and for the examination of local specificities and historical realities (Oliveira, 2016; Whitehand, 2001).

Following Moudon's interdisciplinary synthesis (Moudon 1997), contemporary urban morphology draws on three converging traditions: Conzen's analysis of topography in England (Conzen, 1960), the procedural typology of Muratori and Caniggia in Italy (Muratori, 1960; Caniggia and Maffei, 2017) and the typo-morphological approach of the French school (Panerai, Castex and Depaule, 1977). Despite methodological differences, these schools share three fundamental assumptions about urban form: its composition (the basic physical elements being buildings, open spaces, plots, and streets); its scale of resolution, which must range from building/plot to street/block, city, and region; and its mode of analysis, which must be diachronic, since the city's elements are continuously transformed.

The basic unit of morphological analysis is therefore both spatial and temporal: the cell (plot, build-

ing, and open space) aggregates into tissues and districts, whose evolution reflects cycles of appropriation, regulation, and use. Brenda Scheer (2016) explains that morphology produces knowledge through the systematic collection of formal data (maps, plot and street boundaries, measurable attributes of buildings), the recognition of spatial and temporal patterns, the theories of autonomous change (persistence, constraints, plot cycles, typological processes), and the connection with non-formal conditions (economic, political, and cultural factors).

Crucial to urban morphology is the distinction between data (objective, mappable form) and analysis (abstract patterns), which yields a primary triad: built form, boundary matrix (plots, paths/rights-of-way), and ground. This triad ensures that observations remain comparable across different contexts and prevents confusion between type and individual specimen.

A type is an abstract class derived from many similar buildings, and the typological process describes how types spread, adapt, and transform over time (Caniggia and Maffei, 2017; Whitehand et alii, 2014). In the reciprocal relationship between building and plot, original types generate plot structures that, in turn, constrain the evolution of subsequent types (Scheer, 2010). Numerous case studies in literature consolidate these principles: the grid fabric of Barcelona's Eixample (Fig. 2) is a reproducible tissue combining block perimeters, chamfered corners, and mixed uses; the Haussmannian boulevards of Paris (Fig. 3) restructure plots and blocks at a metropolitan scale; the arcaded fabrics of Bologna (Fig. 4) encode a lasting grammar of building-plot relationships; and specific vernacular morphologies reinterpreted in urban contexts, such as the Machiya houses of Kyoto (Fig. 5) or British terraced houses (Fig. 6), reveal how deep plots and narrow facades influence natural light, ventilation, and the social use of space (Marshall, 2004; Carmona, 2021). For contemporary planning and design, morphology offers far more than a description of what exists: it provides frameworks for understanding performance, energy use, microclimate, mobility, and land value, and for assessing the compatibility of forms with design intentions and contextual conditions (Salat, 2011; Berghauer Pont and Haupt, 2021). The street-block configuration influences pedestrian flows (Hillier and Hanson, 1984); the depth of blocks and the geometry of urban canyons affect solar access and perceived temperature (Ratti and Richens, 1999; Oke, 1988; Stewart and Oke, 2012); while density and built form co-determine transport energy use and emissions (Nam et alii, 2012; Rode et alii, 2014).

Morphological indicators (e.g., FSI – Floor Space Index, GSI – Ground Space Index, and network density) link urban texture to energy and comfort effects (Morganti et alii, 2017; Salvati, Coch Roura and Cere, 2017). Recent advances in data processing and mapping technologies reinforce these possibilities: GIS systems based on land parcel management, 3D city models, digital twins, and building registries now support multiscale datasets that connect physical form with socio-environmental performance, extending analysis from historic cores to metropolitan and peri-urban fabrics (Batty, 2013). Furthermore, digital network analyses reveal centrality patterns in street systems (Porta, Crucitti and Latora, 2006), while morphological statistics integrate solar, wind, and thermal models to assess passive potentials and retrofit strategies.

Overall, this vast body of literature demonstrates that urban morphology now provides both the conceptual and operational framework for evidence-based planning, heritage conservation, design codification, and master planning, using data series to guide future interventions that align urban form with energy efficiency and climate adaptation, and therefore with social objectives.

In building relationships between urban morphology and energy performance, terminological clarification is a crucial methodological step. It ensures that morphological parameters are consistently understood across disciplines, that performance-oriented indicators can be reliably compared, and that the integration of morphology into PED strategies remains transparent and communicable.

In this sense, it is essential to define the concepts of: Measures (elementary units used to quantify physical attributes of the built environment, such as footprint, height, and volume); Parameters (numerical or measurable factors describing dimensional, structural, and performance characteristics of urban form); Indicators (aggregated metrics that synthesise parameters into comparative tools); and Indexes (specific numerical values that refine indicator-based analysis, often used for shape measurements).

Urban morphology parameters | Within the EDU-PED project, urban morphology is adopted not only as a descriptive discipline, but also as a methodological framework capable of bridging the gap between theory and practice in energy-oriented urban transformation. Morphology enables the project to identify, structure, and operationalise parameters that directly link the city's spatial form to energy demand, renewable production, and system flexibility. By collecting and systematising data from the five Living Labs, the project develops a coherent, replicable set of morphological indicators.

These indicators reflect both passive adaptation potentials, such as solar exposure, natural ventilation, thermal insulation, and shading strategies, and active interventions, including the integration of renewable infrastructures, district heating/cooling, and smart grids. In this way, urban morphology provides a framework in which energy efficiency, spatial quality, and climate resilience converge within sustainable regeneration strategies.

Urban morphology thus becomes the methodological basis for a parameterisation of PEDs structured around three key dimensions (Fig. 7). The first dimension organises analysis across multiple spatial scales, from the building and plot to the block or urban fabric and finally to the district, recognising that energy dynamics emerge from the interaction between urban forms (buildings and spaces). The second dimension translates abstract elements into operational measures: building envelopes and heights, coverage ratios, block depths, urban canyons, and open-space systems become quantifiable and therefore comparable parameters across different contexts. Finally, the third dimension addresses the temporal variable in transformation strategies, acknowledging that urban form is never static, but subject to phases, cycles of redevelopment, heritage conservation, and rhythms of use, all of which determine the feasibility and resilience of PED transitions.

This framework enables the identification of morphology-based parameters that simultaneously affect passive performance – such as solar access, daylight penetration, natural ventilation, and urban

heat mitigation – and the integration of active systems, including renewable energy collection, smart grid connectivity, and demand flexibility.

A vast body of literature has demonstrated the link between urban morphology and energy performance; however, uncertainties remain regarding the mechanisms and multiscale interactions that determine these effects.

To systematise the literature and ensure comparability, the morphological parameters are grouped into five categories (Fig. 8), consistent with previous reviews but adapted to the specific case of university campuses: a) Boundary parameters – definition of spatial units, from the building envelope to open spaces and campus perimeters; b) Use-related parameters – functional distribution, functional mix, and occupancy intensity; c) Urban-scale parameters – density, connectivity, street / canyon ratios, and spatial configuration; d) Building parameters – geometric and dimensional indicators of buildings such as height, footprint, volume, plan depth, and surface-to-volume ratios; e) System parameters – infrastructural and environmental aspects, including shading devices, ventilation strategies, and energy systems.

This classification highlights how morphological analysis bridges urban form and energy studies, particularly when university campuses serve as experimental sites for sustainable urban transitions. In this way, urban form assumes the role not merely of a container of energy processes, but of an actual driver of the energy transition itself.

The morphological perspective broadens the scope of PEDs beyond purely technical assessments by providing tools for governance, culture, and shared creativity, making spatial logics intelligible to a wide range of stakeholders. Thus, morphology helps negotiate trade-offs between energy objectives and other urban priorities, such as spatial redesign, heritage conservation, social inclusion, housing needs, and landscape quality. In practice, it offers evidence-based insights that support broader contextual regenerations, guiding interventions that are in harmony with local identity and history, while simultaneously addressing European decarbonisation goals.

By aligning urban form, energy, climate adaptation, and social objectives, urban morphology can enable PEDs to emerge as replicable models of sustainable regeneration, offering local solutions and transferable knowledge for a wider urban transition.

Concluding reflections on critical issues, limitations, and potential development perspectives in the relationship between sustainable energy systems and urban form

Energy plays a crucial role in global economic and social development and is a key instrument in the fight against climate change. The city, on the one hand, acts as a driving force of this development. However, it constitutes the primary source of the environmental challenges associated with the climate crisis.

The Sustainable Development Goal (SDG) 7 aims to ensure, by 2030, universal access to affordable, reliable, sustainable, and modern energy systems. Specifically, it seeks to significantly increase the share of renewable energy and double the global rate of improvement in energy efficiency. As a contribution to the United Nations Sustainable Development Goals, SDG 7 (Affordable and Clean Energy) is closely interconnected with SDG 11 (Sustainable Cities and Communities), SDG 13 (Climate Action), SDG 4 (Quality Education), and SDG 17 (Partnerships for

the Goals). However, in what ways can urban and architectural design contribute to achieving these objectives? At the international level, numerous theoretical and practical contributions in architecture and urbanism address this question. Some studies propose design guidelines derived from urban regeneration experiences integrated with principles of sustainability and public space quality (Lanini et alii, 2025); others develop systemic methods practical for the definition of technological solutions and action plans for urban centres (Ferrante, Romagnoli and Villani, 2023); still others have examined European living labs that experiment with local energy markets, co-design, and active citizen participation (Crippa et alii, 2024); finally, some have investigated specific metrics, for example, those concerning urban heat islands, to reconnect microclimatic performance with the morphological aspects of urban planning (Magliocco and Oneto, 2023). However, these experiences have not yet converged into a unified and stable theoretical framework.

At the European level, there is an increasingly urgent need to define shared parameters for urban morphology to support rehabilitation and regeneration strategies aimed at positive energy transitions. Such strategies include: Co-creation plans with urban stakeholders; Neighbourhood or district-scale retrofit plans to reduce energy demand for heating and cooling; Climate adaptation interventions designed to increase the resilience of buildings and infrastructures against rising temperatures and more frequent and intense heat waves; and district regeneration plans to activate flexible and multi-commod-

ity energy networks, unlocking their full potential. Within this scenario, the EDUPED project positions itself as an expression of transnational research, aimed at contributing both to the resolution of significant challenges associated with urban transitions toward a more sustainable economic model, and to the effective functioning of Positive Energy Districts (PEDs), as defined within the framework of the EU SET Plan² (Action 3.2), JPI Urban Europe (2020), and the EERA Joint Programme on Smart Cities³ (2018).

The active involvement of public stakeholders, enterprises, and NGOs is crucial to the successful implementation and validation of the project's impacts. Nevertheless, the typo-morphological analysis of urban space, through mapping and morphological reading of PEDs, assumes strategic importance in recognising and enhancing the contribution of urban form to achieving SDG 7.

The EDUPED project aims to develop new knowledge through innovative morphological studies, based on high-quality methods and advanced tools, to foster energy transitions within existing urban contexts. The long-term impact analysis will enable the identification of co-creation strategies integrated into transition plans and urban regeneration operations, providing energy retrofit solutions for Positive Energy Districts (PEDs) validated across different district typologies. These design solutions, inspired by the specific physical and formal characteristics of each context, are intended to be technically sound, economically sustainable, and oriented toward long-term climate adaptation, aiming to drastically reduce energy demand for heating and cooling.

As illustrated in the previous section, urban morphological parameters currently represent the state of the art in this type of analysis and also offer a promising operational development perspective. EDUPED intends to use these parameters to develop practical, integrated solutions that address the challenges of urban regeneration and redevelopment within PEDs. To this end, the project aims to develop, optimise, and validate, through five case studies in different EU Member States, a set of PED Transition Plans that simultaneously address: Urban regeneration, Energy efficiency (balancing needs across various sectors), Local energy production, and Management of demand and supply flexibility through storage technologies, integration of renewable sources, and electronic power systems.

In conclusion, through a multidisciplinary, research-based approach, EDUPED seeks to develop innovative methods and practical tools for implementing efficient, resilient, and sustainable PEDs. The definition and application of morphological parameters and specific metrics emerge as fundamental tools for advancing this challenge, positioning urban form as a key element in the energy transition (SDG 7) and in achieving the related Sustainable Development Goals.

Acknowledgements

The EDUPED research project (EDUCational Campuses as the Drivers for Positive Energy Districts), F-DUT-2023-0023, is led by The Hague University of Applied Sciences (Principal Investigator Prof. R. Sebastian, WP1 and WP8 Leader) and involves the participation of: the Universitat Politècnica de Catalunya (Prof. N. Garrido Soriano, WP6 Leader), the Technische Universität Graz (Prof. A. Schreuer, WP3 Leader), the Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca (Prof. T. Rus, WP7 Leader), and the Politecnico di Torino, Department of Architecture and Design (Prof. M. Trisciuglio, WP2 Leader) and Department of Energy (Prof. C. Becchio, WP4 Leader). The project was funded under the 'DUT 2023 / PED Transition Pathway' call. The present paper addresses the themes developed by the Research Unit of the Politecnico di Torino, engaged in urban morphology studies.

This contribution is the outcome of a shared reflection among the Authors. Nevertheless, the introductory paragraph and 'The EDUPED Project' are to be attributed to M. Barosio; 'Concluding reflections on critical issues, limitations, and potential development perspectives in the relationship between sustainable energy systems and urban form' to M. Trisciuglio; the 'State of the Art' to R. Gugliotta; 'Urban morphology parameters' to M. Crapolicchio; and 'The role of urban morphology' to R. Gugliotta for the first seven paragraphs and to M. Crapolicchio for the following eight paragraphs.

Notes

1) For further information, see: research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe/eu-missions-horizon-europe/climate-neutral-and-smart-cities_en [Accessed 4 October 2025].

2) For further information, see: energy.ec.europa.eu/topics/research-and-technology/strategic-energy-technology-plan_en [Accessed 4 October 2025].

3) For further information, see: eera-sc.eu/ [Accessed 4 October 2025].

References

- Ahmadian, E., Sodagar, B., Bingham, C., Elnokaly, A. and Mills, G. (2021), "Effect of urban built form and density on building energy performance in temperate climates", in *Energy and Buildings*, vol. 236, article 110762, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110762 [Accessed 4 October 2025].
- Anderson, J. E., Wulforst, G. and Lang, W. (2015), "Energy analysis of the built environment – A review and outlook", in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 44, pp. 149-158. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.rser.2014.12.027 [Accessed 4 October 2025].
- Asadi, A., Arefi, M. and Fathipoor, A. (2020), "Simulation of green roofs and their potential mitigating effects on the urban heat island using an artificial neural network – A case study in Austin, Texas", in *Advances in Space Research*, vol. 66, issue 8, pp. 1846-1862. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.asr.2020.06.039 [Accessed 4 October 2025].
- Batty, M. (2013), *The New Science of Cities*, MIT Press, Cambridge (MA). [Online] Available at: doi.org/10.7551/mitpress/9399.001.0001 [Accessed 4 October 2025].
- Berghauer Pont, M. and Haupt, P. (2021), *Spacematrix – Space, Density and Urban Form*, TU Delft OPEN Books, Delft. [Online] Available at: doi.org/10.59490/mg.38 [Accessed 4 October 2025].
- Bourdic, L., Salat, S. and Nowacki, C. (2012), "Assessing cities – A new system of cross-scale spatial indicators", in *Building Research and Information*, vol. 40, issue 5, pp. 592-

605. [Online] Available at: doi.org/10.1080/09613218.2012.703488 [Accessed 4 October 2025].

Caniggia, G. and Maffei, G. L. (2017), *Interpreting basic building* [or. ed. *Composizione architettonica e tipologia edilizia*, 1979], Altralinea Edizioni, Firenze.

Carmona, M. (2021), *Public Places – Urban Spaces – The dimensions of urban design*, Routledge, London.

Conzen, M. R. G. (1960), *Alnwick, Northumberland – A study in town-plan analysis*, Wiley, London. [Online] Available at: [jstor.org/stable/225590](https://www.jstor.org/stable/225590) [Accessed 4 October 2025].

Crippa, D., Di Prete, B., Fagnoni, R. and Leonardi, C. (2024), "Distretti energetici collaborativi – Laboratori urbani per un'energia di prossimità | Collaborative energy districts – Urban workshops for proximity energy", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 296-305. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15242024 [Accessed 4 October 2025].

European Commission (2020), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – A Renovation Wave for Europe – Greening our buildings, creating jobs, improving lives*, document 52020D C0662, 662 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1603122220757&uri=CELEX:52020DC0662 [Accessed 4 October 2025].

Ferrante, T., Romagnoli, F. and Villani, T. (2023), "Sviluppo urbano sostenibile – Organizzazione di contenuti informativi per la transizione verso i Distretti a Energia Positiva | Sustainable urban development – Organizing information content for the transition to Positive Energy Districts", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 191-204. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13162023 [Accessed 4 October 2025].

Fleischmann, M., Feliciotti, A. and Kerr, W. (2021), "Evolution of urban patterns – Urban Morphology as an Open Re-

producibile Data Science”, in *Geographical Analysis | An International Journal of Theoretical Geography*, vol. 54, issue 3, pp. 536-558. [Online] Available at: doi.org/10.1111/gean.12284 [Accessed 4 October 2025].

Fleischmann, M., Romice, O. and Porta, S. (2020), “Measuring urban form – Overcoming terminological inconsistencies for a quantitative and comprehensive morphologic analysis of cities”, in *Environment and Planning B | Urban Analytics and City Science*, vol. 48, issue 8, pp. 2133-2150. [Online] Available at: doi.org/10.1177/2399808320910444 [Accessed 4 October 2025].

Fletcher, J., Mills, G. and Emmanuel, R. (2018), “Interdependent energy relationships between buildings at the street scale”, in *Building Research and Information*, vol. 46, issue 8, pp. 829-844. [Online] Available at: doi.org/10.1080/09613218.2018.1499995 [Accessed 4 October 2025].

Godoy-Shimizu, D., Steadman, P., Hamilton, I., Donn, M., Evans, S., Moreno, G. and Shayesteh, H. (2018), “Energy use and height in office buildings”, in *Building Research and Information*, vol. 46, issue 8, pp. 845-863. [Online] Available at: doi.org/10.1080/09613218.2018.1479927 [Accessed 4 October 2025].

Hedman, Å., Rehman, H. U., Gabaldón, A., Bisello, A., Albert-Seifried, V., Zhang, X., Guarino, F., Grynning, S., Eicker, U., Neumann, H.-M., Tuominen, P. and Reda, F. (2021), “IEA EBC Annex 83 Positive Energy Districts”, in *Buildings*, vol. 11, issue 3, article 130, pp. 1-17. [Online] Available at: doi.org/10.3390/buildings11030130 [Accessed 4 October 2025].

Hillier, B. and Hanson, J. (1984), *The social logic of space*, Cambridge University Press, Cambridge. [Online] Available at: doi.org/10.1017/CBO9780511597237 [Accessed 4 October 2025].

JPI Urban Europe (2020), *Positive Energy Districts – Mission approach for sustainable urban transformation*. [Online] Available at: jpi-urbaneurope.eu/wp-content/uploads/2020/06/PED-Booklet-Update-Feb-2020_2.pdf [Accessed 4 October 2025].

Ko, Y. (2013), “Urban form and residential energy use – A review of design principles and research findings”, in *Journal of Planning Literature*, vol. 28, issue 4, pp. 327-351. [Online] Available at: doi.org/10.1177/0885412213491499 [Accessed 4 October 2025].

Kolokotroni, M. and Salvati, A. (2021), “Comfort and energy implications of urban microclimate in high latitudes”, in Palme, M. and Salvati, A. (eds), *Urban Microclimate Modelling for Comfort and Energy Studies*, Springer, Cham, pp. 79-104. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-030-65421-4_5 [Accessed 4 October 2025].

Kropf, K. (2017), *The handbook of urban morphology*, Wiley-Blackwell, Chichester.

Lang, D. J., Wiek, A., Bergmann, M., Stauffacher, M., Martens, P., Moll, P., Swilling, M. and Thomas, C. J. (2012), “Transdisciplinary research in sustainability science – Practice, principles and challenges”, in *Sustainability Science*, vol. 7, issue supp. 1, pp. 25-43. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s11625-011-0149-x [Accessed 4 October 2025].

Lanini, L., Sepe, M., Barsanti, E., Crudeli, A., and Marcheschi, C. (2025), “Abitare l’Università – Linee guida per nuovi poli e spazi pubblici per una vivibilità urbana sostenibile | Living the University – Guidelines for new campuses and public spaces for sustainable urban livability”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 17, pp. 208-225. [Online] Available at: doi.org/10.69143/2464-9309/17142025 [Accessed 4 October 2025].

Leng, H., Chen, X., Ma, Y., Wong, N. H. and Ming, T. (2020), “Urban morphology and building heating energy consumption – Evidence from Harbin, a severe cold region city”, in *Energy and Buildings*, vol. 224, article 110143, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110143 [Accessed 4 October 2025].

Li, C., Song, Y. and Kaza, N. (2018), “Urban form and household electricity consumption – A multilevel study”, in *Energy and Buildings*, vol. 158, pp. 181-193. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.007 [Accessed 4 October 2025].

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 4 October 2025].

Maiullari, D. (2023), *Urban form influence on microclimate and building cooling demand – An analytical framework and its application on the Rotterdam case*, Doctoral Thesis, Delft University of Technology, Germany. [Online] Available at: resolver.tudelft.nl/uuid:da2f850e-653a-4654-9e4a-4e3009b bc785 [Accessed 4 October 2025].

Marshall, S. (2004), *Streets and Patterns*, Routledge, London.

Morganti, M., Salvati, A., Coch, H. and Cecere, C. (2017), “Urban morphology indicators for solar energy analysis”, in *Energy Procedia*, vol. 134, pp. 807-814. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.533 [Accessed 4 October 2025].

Moudon, A. V. (1997), “Urban morphology as an emerging interdisciplinary field”, in *Urban Morphology | Journal of the International Seminar on Urban Form*, vol. 1, issue 1, pp. 3-10. [Online] Available at: doi.org/10.51347/jum.v1i1.4047 [Accessed 4 October 2025].

Muratori, S. (1960), *Studi per una operante storia urbana di Venezia*, Istituto Poligrafico dello Stato, Roma.

Nam, K., Lim, U. and Kim, B. H. S. (2012), “‘Compact’ or ‘Sprawl’ for sustainable urban form? – Measuring the effect on travel behavior in Korea”, in *The Annals of Regional Science*, vol. 49, issue 1, pp. 157-173. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s00168-011-0443-7 [Accessed 4 October 2025].

Oke, T. R. (1988), “Street design and urban canopy layer climate”, in *Energy and Buildings*, vol. 11, issue 1-3, pp. 103-113. [Online] Available at: doi.org/10.1016/0378-7788(88)90026-6 [Accessed 4 October 2025].

Oliveira, V. (2016), *Urban morphology – An introduction to the study of the physical form of cities*, Springer, Cham. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-319-32083-0 [Accessed 4 October 2025].

Panerai, P., Castex, J. and Depaule, J.-C. (1977), *Formes urbaines – De l’ilot à la barre*, Dunod, Paris.

Porta, S., Crucitti, P. and Latora, V. (2006), “The network analysis of urban streets – A primal approach”, in *Environment and Planning B | Planning and Design*, vol. 33, issue 5, pp. 705-725. [Online] Available at: doi.org/10.1068/b32045 [Accessed 4 October 2025].

Ratti, C., Baker, N. and Steemers, K. (2005), “Energy consumption and urban texture”, in *Energy and Buildings*, vol. 37, issue 7, pp. 762-776. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.10.010 [Accessed 4 October 2025].

Ratti, C. and Richens, P. (1999), “Urban texture analysis with image processing techniques”, in Augenbroe, G. and Eastman, C. (eds), *Computers in Building | Proceedings of the CA-ADfutures ’99 Conference – Proceedings of the Eighth International Conference on Computer Aided Architectural Design Futures held at Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia, June 7-8, 1999*, Springer, Boston (MA), pp. 49-64. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-1-4615-5047-1_4 [Accessed 4 October 2025].

Razavivand Fard, H., Demir, Y. and Trisciuglio, M. (2019), “The histology atlas of campus form – A framework to explore liveability and sustainability in university campuses”, in *A|Z | ITU Journal of the Faculty of Architecture*, vol. 16, issue 3, pp. 87-102. [Online] Available at: doi.org/10.5505/itujfa.2019.32650 [Accessed 4 October 2025].

Rode, P., Keim, C., Robazza, G., Viejo, P. and Schofield, J. (2014), “Cities and energy – Urban morphology and residential heat-energy demand”, in *Environment and Planning B | Planning and Design*, vol. 41, issue 1, pp. 138-162. [Online] Available at: doi.org/10.1068/b39065 [Accessed 4 October 2025].

Salat, S. (2011), *Cities and forms – On sustainable urbanism*, Editeurs des Sciences et des Arts Hermann, Paris.

Salvati, A., Coch Roura, H. and Cecere, C. (2017), “Assessing the urban heat island and its energy impact on residential buildings in Mediterranean climate – Barcelona case study”, in *Energy and Buildings*, vol. 146, pp. 38-54. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.025 [Accessed 4 October 2025].

Scheer, B. C. (2016), “The epistemology of urban morphology”, in *Urban Morphology | Journal of the International Seminar on Urban Form*, vol. 20, issue 1, pp. 5-17. [Online] Available at: doi.org/10.51347/jum.v20i1.4052 [Accessed 4 October 2025].

Scheer, B. C. (2010), *The evolution of urban form – Typology for planners and architects*, American Planning Association, Chicago.

Silva, M., Leal, V., Oliveira, V. and Horta, I. M. (2018), “A scenario-based approach for assessing the energy performance of urban development pathways”, in *Sustainable Cities and Society*, vol. 40, pp. 372-382. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.scs.2018.01.028 [Accessed 4 October 2025].

Silva, M. C., Horta, I. M., Leal, V. and Oliveira, V. (2017), “A spatially-explicit methodological framework based on neural networks to assess the effect of urban form on energy demand”, in *Applied Energy*, vol. 202, pp. 386-398. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.05.113 [Accessed 4 October 2025].

Steadman, P., Hamilton, I. and Evans, S. (2014), “Energy and urban built form – An empirical and statistical approach”, in *Building Research and Information*, vol. 42, issue 1, pp. 17-31. [Online] Available at: doi.org/10.1080/09613218.2013.808140 [Accessed 4 October 2025].

Stewart, I. D. and Oke, T. R. (2012), “Local climate zones for urban temperature studies”, in *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 93, issue 12, pp. 1879-1900. [Online] Available at: doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1 [Accessed 4 October 2025].

Wheeler, S. M. (2004), *Planning for sustainability – Creating livable, equitable and ecological communities*, Routledge, New York.

Whitehand, J. W. R. (2001), “British urban morphology – The Conzenian tradition”, in *Urban Morphology | Journal of the International Seminar on Urban Form*, vol. 5, issue 2, pp. 103-109. [Online] Available at: doi.org/10.51347/jum.v5i2.3896 [Accessed 4 October 2025].

Whitehand, J. W. R., Gu, K., Conzen, M. P. and Whitehand, S. M. (2014), “The typological process and the morphological period – A cross-cultural assessment”, in *Environment and Planning B | Planning and Design*, vol. 41, issue 3, pp. 512-533. [Online] Available at: doi.org/10.1068/b39097 [Accessed 4 October 2025].

Wong, N. H., Jusuf, S. K., Syafii, N. I., Chen, Y., Hajadi, N., Sathyanarayanan, H. and Manickavasagam, Y. V. (2011), “Evaluation of the impact of the surrounding urban morphology on building energy consumption”, in *Solar Energy*, vol. 85, issue 1, pp. 57-71. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.solener.2010.11.002 [Accessed 4 October 2025].

Zhang, P., Ghosh, D. and Park, S. (2023), “Spatial measures and methods in sustainable urban morphology – A systematic review”, in *Landscape and Urban Planning*, vol. 237, article 104776, pp. 1-19. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104776 [Accessed 4 October 2025].

Zhang, X., Penaka, S. R., Giriraj, S., Sánchez, M. N., Civiero, P. and Vandevyvere, H. (2021), “Characterizing Positive Energy District (PED) through a preliminary review of 60 existing projects in Europe”, in *Buildings*, vol. 11, issue 8, article 313, pp. 1-24. [Online] Available at: doi.org/10.3390/buildings11080318 [Accessed 4 October 2025].