George-Gabriel MARIN

VRbanism:
o nouă paradigmă în domeniul urbanismului bazată pe integrarea tehnologiilor avansate

Editura Universitară „Ion Mincu”
București, 2024

Volum publicat în cadrul proiectului:
„Dezvoltarea capacităţii instituționale a UAUIM pentru cercetare în arhitectură și urbanism prin crearea unei culturi a diseminării rezultatelor", Acronim CULTADISER

Proiect finanțat prin Consiliul Naţional pentru Finanţarea Învățământului Superior - FDI 2024 / Domeniul Strategic de Finanţare D6 – „Dezvoltarea capacităţii instituționale pentru cercetare în universităţi"

Descrierea CIP a Bibliotecii Naţionale a României
MARIN, GEORGE-GABRIEL
VRbanism : o nouă paradigmă în domeniul urbanismului bazată pe integrarea tehnologiilor avansate / George-Gabriel Marin. - Bucureşti : Editura Universitară "Ion Mincu", 2024

ISBN 978-606-638-371-4

71

Lucrarea de faţă reprezintă strict punctul de vedere al autorului. Responsabilitatea lucrării îi revine în întregime autorului, atât în ceea ce priveşte conţinutul, cât şi forma.

Toate drepturile rezervate. Nici o parte din această publicație nu poate fi reprodusă, stocată sau transmisă prin orice mijloace de natură electronică, mecanice, de copiere, înregistrare sau alte forme fără permisiunea scrisă a autoarei și a editurii.

© 2024 Editura Universitară „Ion Mincu”, Str. Academiei nr. 18-20, Sector 1, București, România, cod 010014, https://editura.uauim.ro/

CUPRINS

Cuvânt înainte **7**
Prefață **8**
LISTA ABREVIERILOR **10**

I. INTRODUCERE **11**
I.1. Contextul cercetării **11**
I.2. Motivația cercetării și contribuțiile personale **16**
I.3. Scopul, obiectivele, ipoteza și întrebările de cercetare **17**
I.4. Compoziția lucrării **19**

II. METODOLOGIE **20**
II.1. Strategia cercetării: metode și instrumente utilizate **20**
II.2. Studii de caz **23**
II.3. Calitatea datelor ce fundamentează lucrarea **24**

III. FORMA URBANĂ ÎN MEDIUL FIZIC **25**
III.1. Despre forma urbană tradițională, evoluția în timp și principalele elemente definitorii **25**
III.2. Modelarea formei urbane tradiționale în secolul al XXI-lea **36**
III.3. Modalități de reprezentare a formei urbane tradiționale **43**

IV. FORMA URBANĂ ÎN MEDIUL DIGITAL **48**
IV.1. Rolul tehnologiei în proiectarea urbană **48**
IV.2. De la oraș inteligent (*smart city*) la formă urbană inteligentă **51**
IV.3. Modelarea formei urbane inteligente prin metoda *FBC* **56**
IV.4. Modalități de reprezentare a formei urbane inteligente **61**

V. FORMA URBANĂ ÎN MEDIUL VIRTUAL **74**
V.1. Emergența realității virtuale – de la VR la XR **74**
V.2. Modelarea formei urbane în mediul virtual **86**
V.3. Reprezentări ale formei urbane virtuale **95**
V.4. Impactul tehnologiei VR asupra proiectării urbane **103**
V.5. Conceptualizarea formei urbane virtuale **108**

VI. MATERIALIZAREA FORMEI URBANE VIRTUALE: DIGITAL TWIN 114
VI.1. Definiția și principiile *Digital Twin* **114**
VI.2. Modul de funcționare a tehnologiei *Digital Twin* **121**
VI.3. Beneficii ale utilizării *Digital Twin* în urbanism **128**
VI.4. Limitări ale digitalizării formei urbane **134**

VII. PARADIGMA VRbanism: proiectarea urbană în VR 139
VII.1. Paradigma VRbanism: definiție și relevanță **139**
VII.2. Legitățile paradigmei VRbanism **146**
VII.3. Premise privind aplicabilitatea VRbanism în contextul proiectării urbane din România **153**
VII.4. Potențial și limitări ale implementării VRbanism în România **160**
VII.5. Recomandări pentru implementarea paradigmei VRbanism în România **164**

VIII. CONCLUZII 172
VIII.1. Concluzii sintetice **172**
VIII.2. Contribuțiile autorului **177**
VIII.3. Analiza reflexivă și limitările studiului **180**
VIII.4. Perspective de continuare a cercetării **184**

BIBLIOGRAFIE 187

REZUMAT 208
SUMMARY 209

”Imaginația este mai importantă decât cunoașterea,
deoarece cunoașterea este limitată,
în timp ce imaginația cuprinde întreaga lume,
stimulând progresul, dând naștere evoluției.”

Albert Einstein

Cuvânt înainte

Cartea intitulată „VRbanism: o nouă paradigmă în domeniul urbanismului bazată pe integrarea tehnologiilor avansate” explorează modul în care tehnologiile emergente pot revoluționa domeniul urbanismului, oferind soluții inovatoare pentru provocările urbane contemporane.

În era digitală, orașele se află la un punct de cotitură, unde integrarea tehnologiilor avansate devine nu doar o opțiune, ci o necesitate pentru a răspunde provocărilor actuale. Cartea explorează această intersecție crucială, oferind o viziune nouă asupra modului în care realitatea virtuală și alte tehnologii emergente pot transforma fundamental practicile de proiectare și planificarea urbană.

În paginile acestei lucrări, veți descoperi cum VRbanism-ul nu se limitează la simpla aplicare a noilor tehnologii, ci propune o schimbare de paradigmă, redefinind modelele și procesele tradiționale de gândire în urbanism. Prin utilizarea realității virtuale, orașele pot fi concepute cu o mai mare precizie, adaptabilitate și sustenabilitate. Aceste tehnologii permit simularea și testarea soluțiilor urbane într-un mediu virtual înainte de implementarea lor în lumea reală, reducând riscurile și optimizând resursele.

Lucrarea de față își propune să inspire și să provoace gândirea urbaniștilor, arhitecților și factorilor de decizie, oferindu-le un ghid teoretic și practic pentru integrarea tehnologiilor avansate în procesele de dezvoltare urbană. Prin exemple concrete și studii de caz, cartea demonstrează beneficiile și potențialul uriaș al VRbanism-ului în crearea unor orașe mai inteligente, reziliente și orientate spre viitor.

În final, doresc să îmi exprim respectuoasa mulțumire față de îndrumătorul meu de doctorat, prof. dr. arh. habil. urb. Tiberiu Constantin FLORESCU. Aportul său a fost esențial în realizarea acestei lucrări, oferindu-mi îndrumare, suport și încredere pe parcursul întregului proces. De asemenea, colectivul de îndrumare mi-a oferit în mod constant sugestii, marcând un progres în parcursul cercetării.

Sper ca această lucrare să inspire și să contribuie la dezvoltarea unor orașe mai inteligente și mai durabile. Integrarea tehnologiilor avansate în urbanism reprezintă o direcție esențială pentru viitor, iar această carte oferă o viziune detaliată și argumentată despre cum poate fi realizat acest lucru.

Dr.urb. George-Gabriel Marin

Prefață

Ca multe alte domenii de activitate, în secolul XXI urbanismul este puternic influențat de evoluția rapidă a informației și a digitalizării, în contextul în care astăzi orașele se confruntă cu numeroase provocări de natură economică și socială ce le determină evoluția. Dezvoltarea urbană este constant orientată către eficiență și sustenabilitate, dar și spre nevoia de control care să asigure o cât mai mare reziliență.

Dinamica proceselor complexe ce au loc la nivelul orașelor contemporane, schimbările climatice, problemele legate de gestiunea eficientă a mobilității urbane în raport cu mediul și organizarea sistemelor de activități precum și calitatea elementelor de cadru urban corelate cu elementele complexe de viață urbană, manifestate atât în cadrul fizic cât și în cel digital, au dus la apariția unor noi nevoi. Acestea sunt legate pe de o parte de necesara adaptare permanentă a cadrului de viață, datorată mediului socio-economic aflat într-o continuă schimbare, de nevoia de continuitate, predictibilitate și suport de decizie, la care se adaugă nevoia de abordare a problemelor de dezvoltare urbană în variante și de scenarii optime în raport cu exigențele actuale și viitoare. Nu în ultimul rând, gestiunea eficientă a dinamicii urbane presupune un control cât mai precis al calității vieții și al aspectelor esențiale legate de cadrul social, economic și de mediu, centrată așadar pe conceptul de sustenabilitate.

Așa cum se arată în volumul de față, toate acestea necesită o schimbare de paradigmă, a cărei noutate se bazează pe concepte și abordări moderne legate de modul în care specialiștii în urbanism înțeleg și descriu orașul : o formă urbană complexă. Aceasta se manifestă sub două aspecte : atât în planul real al existenței fizice, cât și în cel virtual. Lucrarea de față relevă importanța și impactul tehnologiilor avansate, în special tehnologia realității virtuale (VR) asupra procesului actual de proiectare urbană din secolul al XXI-lea. Cartea se concentrează pe identificarea potențialului și aplicabilității acestor tehnologii în dezvoltarea urbană durabilă și în proiectarea urbană inteligentă, cu accent asupra aplicabilității acestor inovații în contextul specific al României. Practic, se oferă o perspectivă nouă și o înțelegere aprofundată asupra modului în care tehnologiile digitale și noua paradigmă de înțelegere a formei urbane pot fi folosite.

Începând cu rolul pe care mediile digitale îl joacă în urbanismul actual la nivel global, prin intermediul unor studii de caz, cititorului i se relevă modul în care realitatea virtuală și realitatea fizică se manifestă în activitatea de proiectare urbană. În paginile cărții este definită noua paradigmă, numită VRbanism, cât și legitățile legate de aceasta, în contextul definirii noii forme urbane virtuale

(FUV). Est prezentat și un set de recomandări pentru integrarea treptată a acestor noi elemente de cunoaștere în domeniul urbanismului din România, ca instrument util studenților și specialiștilor din domeniu. Asistăm așadar la un demers teoretic coerent, ce ne conduce către o nouă înțelegere, descriere și modelare a formei urbane, prin intermediul utilizării tehnologiilor avansate. Sunt analizate și definite limitele actuale privind implementarea acestor tehnologii din punct de vedere operațional, fiind subliniate însă avantajele pe care utilizarea acestor tehnologii le poate aduce în activitățile de planificare și proiectare urbană, reliefându-se participarea civică în procesul decizional și incluziunea socială ca efect al feed-back-ului în timp real asupra propunerilor si proiectelor de dezvoltare urbană. Este de subliniat faptul că utilizarea tehnologiilor DT (Digital Twin – Geamăn digital) și XR (Extended Reality – Realitate extinsă) poate îmbunătăți comunicarea și colaborarea între diferiți actori urbani, inclusiv autorități locale, profesioniști în domeniul urbanismului, arhitecți, dezvoltatori și cetățeni, ducând la o mai bună înțelegere a nevoilor și așteptărilor diferitelor grupuri țintă. Devine posibilă așadar dezvoltarea unor proiecte mai bine adaptate realității locale și nevoilor comunității, este transparentizată activitatea de proiectare și procesul de decizie și se asigură un impact pozitiv imediat asupra calității vieții.

În același timp, din demonstrația făcută în paginile cărții reiese faptul că tehnologiile DT și XT permit simularea și analiza eficientă a impactului potențial al diferitelor decizii privind organizarea și dezvoltarea teritoriului orașelor asupra comunităților, mediului și economiei, facilitând astfel luarea deciziilor bazate pe date reale de o mare acuratețe ce conduc la reducerea costurilor și a timpului necesar pentru implementare. Se limitează astfel impactul imediat (și ireversibil) al erorilor de decizie, fiind demonstrată importanța testării unor scenarii într-un mediu controlat, fără să fie afectate în realitate diferite alte elemente ale formei urbane, atunci când sunt necesare operațiuni urbanistice.

Cartea de față, rezultat al unui doctorat pe care am avut plăcerea dar și onoarea de a-l îndruma are însă și meritul de a se constitui într-o utilă referință bibliografică pentru studenții urbaniști sau pentru cei interesați de domeniu. Ea contribuie la dezvoltarea cunoașterii pentru generațiile de profesioniști care astăzi trebuie să fie mai bine pregătiți și mai adaptați la provocările actuale și viitoare ale dezvoltării orașelor și așezărilor umane, consolidând astfel drumul pe care Facultatea de Urbanism din București l-a deschis acum mai bine de douăzeci și șapte de ani în acest domeniu.

Prof.dr.arh. Tiberiu Florescu
Președinte al Registrului Urbaniștilor din România
Decan al Facultății de Urbanism (2011-2016)

LISTA ABREVIERILOR

AR	Realitate Augmentată (*Augmented Reality*)
AI	Inteligență artificială (*Artificial intelligence*)
BD	Date extinse/ volum mare de date (*Big Data*)
BIM	Modelare informatică a clădirilor (*Building information modelling*)
CAD	Proiectare asistată de calculator (*Computer-aided design*)
MR	Realitate mixtă (*Mixed Reality*)
VR	Realitate virtuală (*Virtual Reality*)
XR	*Extended Reality* (Realitate extinsă)
FBC	Codificarea bazată pe formă (*Form-based code*)
FU	Formă urbană
FUI	Formă urbană inteligentă
FUA	Formă urbană augmentată
FUV	Formă urbană virtuală
GIS	Sistem de informații geografice (*Geographic Information System*)
DT	Geamăn digital (*Digital twin*)
TIC	Tehnologia informației și comunicațiilor
SC	Oraș inteligent (*Smart City*)
IoT	Rețea de colectare a datelor interconectată de obiecte fizice (*Internet of Things*)
UI	Interfața utilizatorului (*User interface*)
TUI	Interfața tangibilă cu utilizatorul (*Tangible User Interface*)
SDG	Obiective pentru dezvoltare durabilă (*Sustainable Development Goals*)
ONU	Organizația Națiunilor Unite
UN-HABITAT	Programul Națiunilor Unite pentru așezările umane (*The United Nations Human Settlements Programme*)

I. INTRODUCERE

Primul capitol introduce subiectul analizat, respectiv intersecția dintre domeniul urbanismului și cel al tehnologiei, subliniind importanța acestei relații în contextul urbanizării și digitalizării accelerate. Motivația cercetării pornește de la necesitatea stringentă a integrării soluțiilor tehnologice în practicile de planificare și proiectare urbană pentru a răspunde provocărilor contemporane. De asemenea, în primul capitol sunt prezentate scopul lucrării, respectiv investigarea impactului mediului digital asupra formei urbane și a procesului de modelare urbană, întrebările de cercetare, precum și compoziția lucrării.

I.1. Contextul cercetării

Lumea contemporană se caracterizează printr-un fenomen accentuat de urbanizare și o tendință tot mai pronunțată de digitalizare. În prezent, majoritatea populației globului locuiește în orașe și are acces la internet, existând aproape la fel de multe telefoane mobile câți oameni sunt pe planetă. Posesia de telefoane mobile creează pentru fiecare individ două realități constante și simultane – realitatea fizică și realitatea virtuală (Seltz, 2010). Se estimează că populația urbană va crește până la 75% în anul 2050, iar numărul telefoanelor mobile inteligente va atinge 68% (UN, 2019). Înțelegerea și aplicarea acestor megatendințe oferă o oportunitate extraordinară pentru domeniul urbanismului.

Tehnologia informației reprezintă unul dintre principalii factori care determină competitivitatea urbană și este esențială pentru orașele care aspiră la poziții de top în ierarhia urbană (Mureșanu, 2010). În secolul XXI, urbanismul a fost profund influențat de avansul tehnologic și digital. Orașele se confruntă cu provocări complexe și interconectate, cum ar fi creșterea demografică, schimbările climatice și problemele legate de mobilitate (Laurian, 1965). Aceste provocări necesită soluții inovative și durabile, iar tranziția de la orașul real la orașul virtual oferă o oportunitate semnificativă pentru a aborda aceste probleme în perspectiva dezvoltării durabile (Sârbu, 2008; Kim și alții, 2021).

Conform literaturii de specialitate, convergența dintre tehnologie și oraș este cunoscută sub denumirea de „oraș inteligent” (Geertman și alții, 2015; Yigitcanlar și alții, 2018). Tehnologii avansate, cum ar fi realitatea virtuală, sunt utilizate tot mai des în proiectarea urbană. În secolul XXI, tehnologii

emergente precum sistemele de informații geografice (GIS), Big Data (BD) și Internetul Lucrurilor (IoT) sunt folosite pentru a optimiza gestionarea resurselor și pentru a dezvolta soluții inovatoare pentru provocările orașelor contemporane (Greenfield, 2006). Utilizarea acestor tehnologii permite dezvoltarea unor sisteme de planificare și proiectare urbană bazate pe colectarea și analiza unor volume mari de date (Pettit și alții, 2017).

Prin crearea de modele virtuale ale orașelor și simularea diverselor scenarii de dezvoltare urbană, tehnologiile avansate pot anticipa impactul acestor dezvoltări asupra mediului și locuitorilor. Astfel, urbaniștii pot evalua și ajusta planurile înainte de implementarea lor, reducând costurile și riscurile asociate proiectelor de dezvoltare urbană. În trecut, orașele erau planificate într-un mod compact, cu densitate mare și mixitate de funcțiuni (*cf*. Figura 1), pentru eficiența utilizării terenului și resurselor (Benevolo, 2003).

Principalul obiectiv era de a crea un oraș care să fie ușor de apărat, astfel încât majoritatea orașelor medievale erau construite în jurul unui castel sau a unei fortificații. Mai târziu, Sitte a criticat abordarea rigidă și uniformă a proiectării orașelor, care erau, în general, construite pe baza unui plan geometric și regulat, cu străzi drepte și clădiri identice și a propus o abordare mai organică și mai flexibilă a proiectării orașelor, care permitea dezvoltarea unor orașe mai plăcute, mai eficiente și mai adecvate pentru nevoile și cerințele locuitorilor (Sitte, 1992).

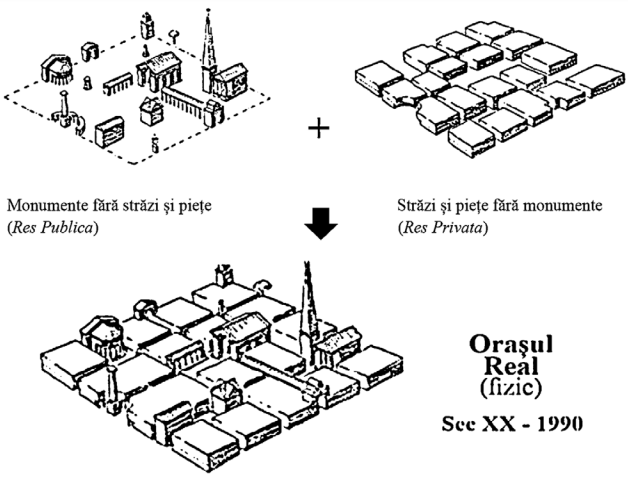


Figura 1. Orașul real imaginat de Léon Krier
(Sursa: prelucrare după Krier, 2009)

Pe măsură ce populația a crescut, orașele s-au extins într-un mod necontrolat (Hall și Pfeiffer, 2000), intensificând problemele legate de congestia traficului, poluarea și costurilor pentru infrastructură și servicii publice, etc. (UN, 2019). Aceste preocupări sunt abordate în majoritatea cercetărilor recente, evidențiind importanța integrării tehnologiilor în procesele de adaptare a orașelor la noile condiții ale erai digitale (Sassen, 2015). Astfel, urbanismul contemporan se ocupă de proiectarea și planificarea orașelor, cu scopul de a crea medii urbane sustenabile și adaptate nevoilor în continuă schimbare generate de tranziția digitală. Tendințele noilor tehnologii reconfigurează structura urbană tradițională și influențează identitatea urbană, care trebuie să își păstreze legătura cu istoria și valorile locurilor pentru a se adapta la schimbările societății în era informației (Enache, 2010).

Principala preocupare a cărții este dualitatea formei urbane, care se manifestă în două medii distincte: mediul fizic/real și mediul digital/virtual. Mediul fizic include elemente tangibile precum spațiile publice, clădirile și infrastructura urbană, influențate de factori precum geografia, topografia, istoria, cultura și economia locală. Reglementările urbanistice și politicile de dezvoltare urbană joacă un rol crucial în gestionarea și evoluția acestor elemente. Pe de altă parte, mediul digital influențează forma urbană prin tehnologiile avansate utilizate pentru modelarea și simularea proiectării și dezvoltării urbane. Instrumentele digitale permit colectarea și analizarea datelor în timp real, facilitând optimizarea gestionării resurselor urbane și îmbunătățirea calității vieții.

Diferențele fundamentale între cele două medii constau în modul de percepție și interacțiune, dimensiunea temporală și existența materială. În mediul fizic, percepția este directă și limitată de simțuri și contextul fizic, în timp ce în mediul digital, percepția este intermediată tehnologic, oferind perspective multiple și posibilități extinse de explorare. Integrarea acestor medii în urbanism permite o înțelegere mai profundă și mai precisă a formei urbane. Această dualitate evidențiază importanța complementarității mediilor fizic și digital în crearea unor orașe reziliente în era informațională.

Astfel, orașul real sau fizic reprezintă mediul construit în care trăim, lucrăm și ne desfășurăm activitățile zilnice. Acesta este compus din clădiri, străzi, parcuri, piețe, mijloace de transport și alte elemente fizice care contribuie la caracterul și identitatea sa. Principala preocupare a urbaniștilor din secolele trecute a vizat modelarea acestor spații, cu scopul de a le face mai funcționale, accesibile și plăcute pentru locuitori. În timp ce dezvoltarea orașelor tradiționale s-a bazat exclusiv pe proiectarea fizică a spațiilor, o nouă dimensiune a început să ia naștere: orașul virtual sau digital. În acest sens, orașul virtual sau digital se referă la spațiile create prin intermediul

tehnologiei digitale, cum ar fi realitatea virtuală, simularea 3D sau platformele online, înainte ca acestea să fie construite în lumea reală.

Realitatea virtuală este nucleul principal al acestei cercetări, fiind o tehnologie promițătoare pentru furnizarea de date în timp real la scara micro (de tip cartier) sau chiar macro (localitate, metropolă, etc.). De asemenea, realitatea extinsă (XR) poate integra mai eficient nevoile și dorințele reale ale oamenilor în procesul de proiectare urbană. Aceste instrumente, caracterizate printr-un grad ridicat de precizie, urmăresc să creeze un mediu dinamic, oferind posibilitatea testării virtuale și controlul potențialelor vulnerabilități ale orașului (*cf.* Figura 2).

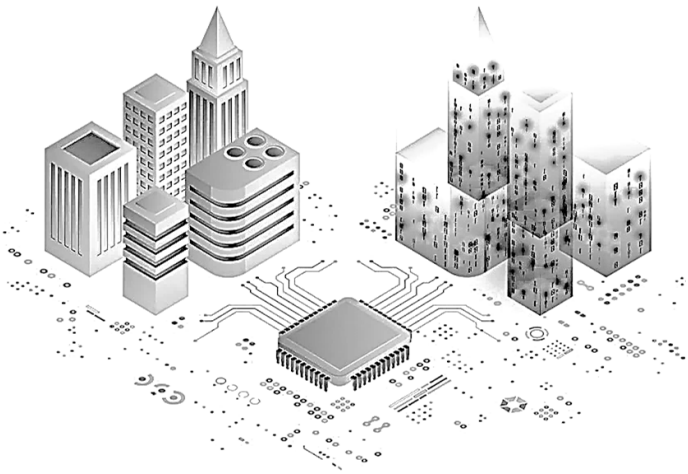


Figura 2. Dualitatea oraș fizic/ real și oraș digital/ virtual
(prelucrare după ADT-Microsoft 2023)

Relația dintre mediul real și cel digital este marcată de diferențe semnificative, esențiale în domeniul urbanismului. În mediul real, percepția elementelor urbane se face direct prin simțuri, adesea limitată de obstrucții fizice, în timp ce în mediul digital, interacțiunea se desfășoară prin intermediul ecranelor, permițând o vizualizare mai clară și din unghiuri variate, cum ar fi perspectivele de tip „vedere de pasăre" (*bird's-eye view*) sau imagini la 360 de grade. De asemenea, dimensiunea temporală diferă considerabil; în mediul fizic, observarea este restricționată de factorii umani, în timp ce mediul digital permite vizualizarea unui loc în diferite momente, inclusiv în condiții variate. Distincția între locurile fizice, caracterizate prin

existența materială, și cele virtuale, care sunt reprezentări sau creații exclusive ale mediului digital, subliniază cum virtualul poate influența dezvoltarea urbană și politicile aferente. Tehnologia estompează astfel granițele dintre cele două medii, demonstrând că mediul digital aduce avantaje considerabile în urbanism, cum ar fi o percepție extinsă a formei urbane, depășind limitările fizice. Astfel mediile reale și digitale se completează reciproc, oferind o înțelegere mai profundă a formelor urbane și facilitând simularea diverselor scenarii de dezvoltare urbană.

În contextul actual, tranziția de la orașul real la cel virtual reprezintă o oportunitate semnificativă de a face față provocărilor urbane actuale. În plus, utilizarea instrumentelor digitale în domeniul urbanismului poate oferi soluții inovatoare și sustenabile pentru problemele cu care se confruntă orașele secolului al XXI-lea, contribuind la crearea de medii urbane durabile și mai atractive pentru locuitori (Kim și alții, 2021).

Cu alte cuvinte, utilizarea tehnologiilor avansate permite o suprapunere între realitatea fizică și cea virtuală și creează un mediu intuitiv atât pentru urbaniști și arhitecți, cât și pentru rezidenți și alți actori urbani, care pot imagina și experimenta scenarii de dezvoltare înainte ca acestea să devină realitate. Astfel, tehnologia ne permite astăzi să anticipăm impactul unui scenariu înainte ca acesta să devină realitate și, astfel, ne poate ajuta în luarea unor decizii mai informate în ceea ce privește viitorul urban.

Acest lucru este susținut și în cadrul Noii Agende Urbane, care orientează orașele către adoptarea unei „abordări smart-city", care să profite de oportunitățile generate de digitalizare. De exemplu, astfel de oportunități se referă la adoptarea unor instrumente de guvernanță digitală (e-guvernare)[1] centrate pe cetățeni, utilizarea platformelor digitale și a instrumentelor pentru îmbunătățirea proiectării urbane.

În România, această direcție de cercetare are câțiva precursori în cadrul Școlii Doctorale de Urbanism (UAUIM), precum conf. dr. arh. Florin Mureșanu, conf. dr. arh. Cristina Enache și mai recent dr. Hossein Kamalpoorsheikhdad. Aceștia au investigat teme relevante pentru tematica proiectării urbane, abordând subiecte precum „Orașul în era informațională" (Mureșanu, 2010), „Peisajul Urban în Contextul Tehnologiei

[1] „Guvernanța digitală sau E-guvernarea este definită ca o modalitate prin care guvernele pot utiliza cele mai inovatoare tehnologii ale informației și comunicațiilor, în special aplicațiile de internet bazate pe web, pentru a oferi cetățenilor și întreprinderilor un acces mai convenabil la informațiile și serviciile guvernamentale, pentru a îmbunătăți calitatea serviciilor și pentru a oferi mai multe oportunități de participare la procesele democratice" (Fang, 2002).

Informaționale" (Enache, 2010) sau chiar „Revitalizarea Pieței Urbane prin Intermediul Tehnologiei" (Kamalpoorsheikhdad, 2020).

De asemenea, trebuie amintiți și pionierii cercetărilor asupra formei urbane, respectiv prof. dr. arh. Alexandru Sandu și prof. dr. arh. Tiberiu Florescu, care au pus bazele acestui domeniu în România și au contribuit semnificativ la dezvoltarea înțelegerii formei urbane în era contemporană.

Contextul acestei cercetări marchează intersecția dintre urbanism și tehnologie, evidențiind transformările profunde pe care digitalizarea le aduce în modul în care planificăm și proiectăm orașele. Această dualitate a formei urbane, reprezentată prin mediile fizice și virtuale, oferă o oportunitate unică de a explora inovațiile ce pot fi aduse practicilor de planificare și proiectare urbană în era digitală. Tehnologiile avansate permit o înțelegere mai complexă a mediului urban, facilitând simularea scenariilor de dezvoltare și anticiparea impactului acestora.

Această discuție privind proiectarea urbană se concentrează pe aspectele contextuale ale modelării formei urbane, axându-se pe instrumentele și metodele utilizate cu precădere în era digitală. Nu sunt abordate în detaliu aspectele fundamentale ale urbanismului tradițional, accentul fiind pus pe tehnologiile emergente care influențează procesul de proiectare urbană.

I.2. Motivația cercetării și contribuțiile personale

Această cercetare este impulsionată de dorința de a explora și valorifica potențialul tehnologic în urbanism, în contextul unei ere digitale în continuă expansiune. Pe măsură ce tehnologiile digitale devin tot mai integrate în viața noastră de zi cu zi, este inevitabil ca și practica urbanistică să se transforme. Realitatea virtuală, realitatea augmentată și alte instrumente digitale precum *Digital Twin* au deschis noi orizonturi în gestionarea și planificarea orașelor. Curiozitatea și entuziasmul meu pentru aceste inovații m-au determinat să explorez cum pot fi folosite aceste instrumente pentru a face orașele mai inteligente și mai sustenabile.

Pe parcursul acestei cercetări, am explorat paradigma VRbansim, care își propune să redefinească modul în care abordăm urbanismul în era digitală. Această paradigmă introduce o nouă manieră de a concepe, modela și planifica orașele, folosind tehnologiile avansate pentru a crea soluții mai eficiente. Sunt convins de faptul că, în următorii ani, tehnologia va transforma radical modul în care planificăm, proiectăm și gestionăm mediul urban, iar urbaniștii vor trebui să se adapteze rapid acestor schimbări și să fie pregătiți să folosească noi instrumente și abordări pentru explorarea formei urbane și a orașelor viitorului.

Din perspectivă profesională, cercetarea în domeniul utilizării tehnologiei în urbanism constituie o ocazie foarte bună de a mă familiariza cu inovațiile în acest domeniu. Într-o lume din ce în ce mai digitalizată, experiența în utilizarea acestor tehnologii este extrem de valoroasă în industria urbanismului și arhitecturii. Astfel, prin intermediul acestei lucrări, îmi doresc să contribui la evoluția practicii de urbanism prin identificarea celor mai bune metode de utilizare a instrumentelor digitale în planificarea și proiectarea urbană. De asemenea, ținând cont de faptul că Universitatea de Arhitectură și Urbanism "Ion Mincu" a înființat în 2021 Atelierul Experimental „Mac Popescu" axat pe *Hi-Tech*, consider că această cercetare poate servi drept o bază esențială pentru aprofundarea subiectului în cadrul universității, dar și pentru a împărtăși cunoștințele la nivel didactic.

În final, îmi doresc ca această carte să contribuie la promovarea ideii de tranziție către o proiectarea urbană inteligentă prin integrarea tehnologiilor avansate, și de ce nu, prin adoptarea și operaționalizarea paradigmei VRbanism în România.

I.3. Scopul, obiectivele, ipoteza și întrebările de cercetare

Scopul cercetării este de a investiga și analiza impactul tehnologiilor avansate, în special tehnologia realității virtuale (VR) asupra proceselor de proiectare urbană din secolul al XXI-lea. Lucrarea se concentrează pe identificarea potențialului și aplicabilității acestor tehnologii în procesul de dezvoltare urbană, cu un accent asupra aplicabilității acestor inovații în contextul specific al României.

Practic, lucrarea oferă o perspectivă nouă și o înțelegere aprofundată asupra modului în care tehnologiile digitale și noile forme urbane pot fi folosite pentru a îmbunătăți procesele de proiectare urbană.

În acest sens, lucrarea urmărește trei obiective principale:

(a) înțelegerea rolului pe care mediul digital îl joacă în domeniul urbanismului, în secolul al XXI-lea și identificarea posibilităților de gestionare a proceselor spațiale care de desfășoară într-un oraș, generate de evoluția tehnologiei.

(b) investigarea modului în care realitatea virtuală și realitatea fizică se manifestă în activitățile de proiectare urbană în vederea demonstrării beneficiilor utilizării tehnologiilor avansate și a instrumentelor digitale prin intermediul unor exemple concrete.

(c) definirea paradigmei VRbanism și a legităților sale în contextul formei urbane virtuale (FUV) și propunerea unui set de recomandări

de integrare treptată a acestei paradigme în proiectarea urbană din România.

Lucrarea de cercetare pornește de la ipoteza principală conform căreia utilizarea tehnologiilor avansate (precum realitate virtuală) și a instrumentelor digitale (ex. DT – *Digital Twin*) aduce o plus-valoare în activitatea de urbanism, în sensul îmbunătățirii proceselor de luare a deciziilor, pe baza unor date, informații și scenarii cât mai precise.

Concret, cele patru ipoteze ce stau la baza cercetării sunt:

Ipoteza 1: În secolul al XXI-lea, vizualizarea formei urbane este intermediată de tehnologie, care joacă un rol semnificativ în procesul de proiectare urbană, facilitând o înțelegere mai profundă și realistă a proiectelor de dezvoltare urbană.

Ipoteza 2: Forma urbană virtuală (FUV) reprezintă o formă avansată a orașului inteligent și este folosită pentru înțelegerea și anticiparea transformărilor și a impactului deciziilor asupra mediului urban real, facilitând dezvoltarea unor orașe flexibile și adaptate nevoilor și cerințelor societății contemporane.

Ipoteza 3: Tranziția de la forma urbană tradițională către forma urbană virtuală este susținută de progresul tehnologic și pune bazale unei noi paradigme în urbanism – VRbanism sau proiectarea urbană inteligentă prin integrarea tehnologiilor avansate.

Ipoteza 4: Conceptul de *Digital Twin* (gemeni digitali ai orașelor) reprezintă un instrument util și eficient pentru gestionarea, modelarea și interacțiunea cu forma urbană în contextul proiectării urbane, facilitând o dezvoltare urbană sustenabilă în era digitală.

Pentru îndeplinirea obiectivelor de cercetare și verificare ipotezelor, lucrarea de cercetare operează cu trei întrebări de cercetare, dintre care una principală și două întrebări secundare.

Întrebarea centrală a cercetării este:

(1) Cum influențează tehnologiile avansate precum realitatea virtuală (VR) și realitatea extinsă (XR) procesele de proiectare urbană în secolul al XXI-lea?

Întrebările secundare de cercetare sunt:

(2) Poate contribui mai eficient forma urbană virtuală (FUV) la anticiparea transformărilor și la evaluarea impactului deciziilor asupra mediului urban real?

(3) Care sunt componentele și legitățile paradigmei VRbanism și cum pot fi integrate în proiectarea urbană inteligentă? Este posibilă implementarea FUV și VRbanism în contextul urbanismului din România?

I.4. Compoziția lucrării

Lucrarea de cercetare este structurată în opt capitole, fiecare abordând aspecte specifice legate de ipostazele formei urbane și influența tehnologiilor avansate asupra procesului de proiectare urbană.

Capitolul introductiv oferă o introducere în tema cercetării, discutând relația dintre orașul real/ fizic și orașul virtual/ digital în contextul urbanismului contemporan. Sunt prezentate succint aspecte referitoare la actualitatea temei de cercetare, obiectivele și întrebările de cercetare, precum și compoziția succintă a lucrării.

Al doilea capitol clarifică metodologia folosită, explicând strategia de cercetare și metodele alese pentru a susține argumentele lucrării. Acest capitol asigură un cadru metodologic riguros, legând obiectivele de cercetare de metodele utilizate și rezultatele scontate.

Capitolul al treilea examinează manifestările formei urbane în mediul fizic, ilustrând caracteristicile și evoluția acesteia. Totodată, este analizat modul în care forma urbană tradițională a fost modelată și reinterpretată în secolul al XXI-lea, în contextul provocărilor actuale.

În capitolul al patrulea, se explorează conceptul de formă urbană în era digitală, ilustrând modalități, tehnici și aplicații pentru vizualizarea și modelarea acesteia, reflectând progresele tehnologice recente.

Capitolul al cincilea se concentrează pe integrarea tehnologiilor avansate în proiectarea urbană, analizând rolul realității virtuale și realității extinse ca instrumente pentru adaptarea urbanismului la noile provocări cu care se confruntă orașele în era digitală.

Capitolul al șaselea discută conceptul de Digital Twin ca o materializare a formei urbane virtuale, prezentând exemple de implementare și discutând avantajele și limitările acestei tehnologii.

Capitolul al șaptelea introduce paradigma VRbanism, explicând cum realitatea virtuală poate transforma proiectarea urbană, și analizează aplicabilitatea acestei paradigme în România, oferind recomandări pentru implementarea sa.

Capitolul final prezintă concluziile lucrării, validând ipotezele de cercetare și indicând direcții pentru studii viitoare, subliniind atât contribuțiile originale, cât și limitările studiului.

II. METODOLOGIE

Capitolul al doilea prezintă strategia utilizată în cadrul lucrării de cercetare pentru a investiga impactul tehnologiilor avansate, în special tehnologia realității virtuale asupra proceselor de proiectare urbană în secolul al XXI-lea. Metodologia include cercetare teoretică și analiza studiilor de caz pentru înțelegerea instrumentelor de tip Digital Twin. Lucrarea asigură un cadru riguros și bine fundamentat pentru abordarea tematicii propuse și oferă o perspectivă clară asupra modului în care cercetarea a fost desfășurată și argumentele au fost susținute pe parcursul cercetării.

II.1. Strategia cercetării: metode și instrumente utilizate

Strategia de cercetare adoptată în această lucrare se concentrează pe investigarea și analizarea ipostazelor formei urbane și a influenței tehnologiilor avansate asupra procesului de proiectare urbană. Scopul principal al cercetării este de a examina modul în care tehnologiile emergente, cum ar fi realitatea virtuală (VR) și Digital Twin (DT) transformă planificarea și proiectarea urbană, cu un accent special pe aplicabilitatea acestora în contextul urbanismului românesc. Astfel, această cercetare oferă o perspectivă nouă și o înțelegere profundă a modului în care tehnologiile digitale și noile forme urbane (respectiv formele urbane virtuale) pot fi utilizate pentru a îmbunătăți procesele de proiectare urbană.

Pentru a atinge acest scop, strategia de cercetare urmărește trei etape-cheie, care coincid cu anumite capitole ale lucrării, fiecare contribuind la înțelegerea subiectului și demonstrarea ipotezelor de cercetare. În esență, lucrarea este structurată în trei părți, după cum urmează:

- Prima parte se concentrează pe explorarea manifestărilor formei urbane în mediul fizic, analizând caracteristicile și evoluția sa în contextul urbanismului contemporan (*cf*. Capitolul III). Această secțiune stabilește baza teoretică necesară pentru înțelegerea modului în care forma urbană tradițională a fost modelată și reinterpretată în secolul al XXI-lea, în fața provocărilor actuale. Metoda de cercetare utilizată se bazează pe o analiză bibliografică extinsă, incluzând cărți, articole științifice și studii relevante din literatura internațională.
- A doua parte a lucrării explorează integrarea tehnologiilor avansate în proiectarea urbană, cu accent pe vizualizarea și modelarea formei urbane în mediul digital și virtual (*cf*. Capitolul IV - V). Această

secțiune investighează tranziția de la conceptele tradiționale la noile modalități de modelare urbană, generate de progresele tehnologice recente. Cercetarea se bazează pe o analiză documentară riguroasă, utilizând resurse bibliografice de specialitate pentru a fundamenta teoretic aceste tehnologii și impactul lor asupra urbanismului. În această etapă, lucrarea acoperă fundamentare teoretică a noii forme urbane – forma urbană virtuală și a materializării conceptului de Digital Twin (DT) sau geamănul digital al orașului (*cf*. Capitolul VI-VII).

- A treia parte introduce și fundamentează paradigma VRbanism, discutând potențialul realității virtuale de a transforma proiectarea urbană și aplicabilitatea acestui concept în România (*cf*. Capitolul VIII). Această secțiune include o sinteză a cercetării teoretice și aplicate, precum și studii de caz internaționale care demonstrează beneficiile utilizării VR în planificarea urbană. Metodologia implică, de asemenea, analiza critică a exemplelor practice pentru a oferi recomandări concrete privind implementarea acestei paradigme în contextul românesc.

Strategia de cercetare urmărește atingerea obiectivelor lucrării printr-o metodologie riguroasă, care implică colectarea și analiza sistematică a datelor, evaluarea critică a rezultatelor și formularea unor recomandări bazate pe dovezi pentru aplicarea tehnologiilor avansate în dezvoltarea urbană inteligentă. Această abordare metodologică oferă contribuții semnificative la înțelegerea modului în care Digital Twin și VRbanism pot fi utilizate în tandem pentru a îmbunătăți procesul de proiectare urbană în era digitală. Astfel, lucrarea nu doar că validează ipotezele de cercetare, ci deschide și noi direcții de studiu în domeniul urbanismului digital. Această abordare metodologică facilitează colectarea și analiza datelor într-o manieră sistematică și riguroasă, evaluarea critică a rezultatelor și elaborarea unor recomandări bazate pe dovezi pentru cercetările și practicile viitoare în domeniul urbanismului digital sau virtual (*cf*. Figura 3).

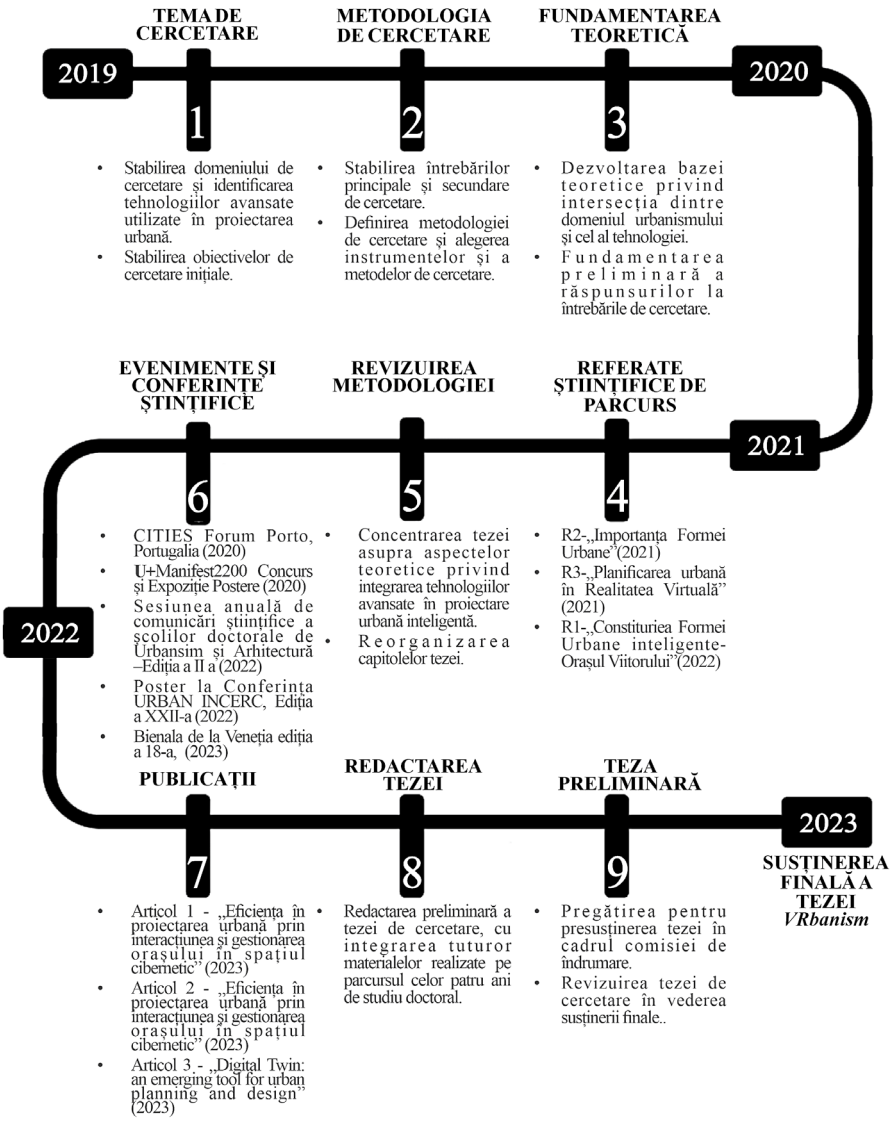


Figura 3. Înlănțuirea cronologică a etapelor aferente strategiei de cercetare (sursa: autorul)

II.2. Studii de caz

Studiile de caz incluse în această lucrare se concentrează exclusiv pe implementarea tehnologiei *Digital Twin* în proiectarea urbană, având ca scop explorarea aplicabilității și beneficiilor acestei tehnologii.

Etapa 1: Identificarea și selectarea orașelor

Au fost selectate zece orașe care au adoptat cu succes tehnologia Digital Twin: Singapore, Helsinki, Barcelona, Chattanooga, Herrenberg, Amsterdam, Boston, Londra, Atena, Pilsen și Zurich. Aceste orașe au fost alese pe baza unei analize a literaturii de specialitate și a surselor web, care documentează utilizarea platformelor *Digital Twin*.

Etapa 2: Stabilirea criteriilor analitice, precum:

- Scopul utilizării: Examinarea modului în care *Digital Twin* este folosit în deciziile de planificare urbană.
- Precizia simulărilor: Evaluarea capacității modelului digital de a simula și prezice comportamentul formei urbane.
- Eficiența în luarea deciziilor: Analizarea impactului *Digital Twin* asupra procesului decizional, comparativ cu metodele tradiționale.
- Rezultatele proiectelor: Investigarea impactului concret al proiectelor urbane dezvoltate cu ajutorul *Digital Twin*.
- Sustenabilitatea și scalabilitatea: Evaluarea durabilității și posibilităților de extindere a utilizării *Digital Twin*.
- Provocări și obstacole: Identificarea dificultăților întâmpinate și a soluțiilor posibile.

Etapa 3: Colectarea și analiza datelor

În această fază, au fost adunate informații detaliate despre implementarea *Digital Twin* în fiecare oraș studiat. Datele au inclus detalii tehnice, beneficiile obținute și tehnologiile utilizate.

Etapa 4: Compararea și sinteza rezultatelor

Rezultatele obținute din fiecare studiu de caz au fost comparate pentru a identifica tendințele comune, precum și diferențele specifice fiecărui context urban. Această analiză comparativă oferă o viziune clară asupra aplicabilității *Digital Twin* în diverse scenarii urbane.

Aceste studii de caz unic, concentrate pe *Digital Twin*, oferă o înțelegere detaliată a modului în care tehnologia poate îmbunătăți planificarea și gestionarea urbană. Pe baza concluziilor extrase, s-au elaborat recomandări pentru utilizarea *Digital Twin* în urbanism, cu aplicații potențiale și în România.

II.3. Calitatea datelor ce fundamentează lucrarea

Lucrarea se fundamentează pe o analiză amplă și detaliată a literaturii de specialitate, vizând integrarea tehnologiilor avansate în domeniul urbanismului. Datorită volumului impresionant de informații științifice disponibile, sintetizarea acestor date s-a dovedit a fi o provocare. În mod evident, relevanța și validitatea rezultatelor obținute depind în mare măsură de calitatea și exactitatea informațiilor folosite. Prin urmare, principalele surse de date ce stau la baza lucrării de cercetare includ:

- Literatura de specialitate. Am consultat o varietate de cărți, reviste științifice, studii și articole din domeniile urbanismului și tehnologiei. Aceste surse au fost selectate pe baza criteriilor de calitate și relevanță, asigurând informații de încredere și o perspectivă comprehensivă asupra subiectului.
- Conferințe și evenimente de specialitate. Publicațiile și materialele prezentate la conferințe internaționale au oferit informații de ultimă oră despre integrarea tehnologiei în urbanism, fiind o sursă valoroasă de inovație și bune practici.
- Site-uri oficiale ale instituțiilor și organizațiilor relevante. Am consultat site-urile oficiale ale unor instituții și organizații specializate în urbanism și tehnologie, care oferă date și rapoarte relevante și actualizate.
- Studii de caz privind tehnologia *Digital Twin*. Am analizat multiple exemple de orașe ce au integrat tehnologii moderne în proiectarea urbană, pentru a înțelege atât beneficiile, cât și provocările întâmpinate.

Această bază de date variată și bine selectată a permis o abordare riguroasă și informată a tematicii studiate, chiar dacă cercetarea se află într-o fază exploratorie preponderent conceptuală, fără a implica un studiu de caz aprofundat.

III. FORMA URBANĂ ÎN MEDIUL FIZIC

Capitolul al treilea explorează conceptul de formă urbană tradițională, evidențiind evoluția acesteia de-a lungul timpului și principalele sale caracteristici definitorii. Este analizat modul în care forma urbană tradițională a fost modelată și reinterpretată în secolul al XXI-lea, în contextul provocărilor și nevoilor contemporane. De asemenea, sunt prezentate diferitele modalități de reprezentare a formei urbane tradiționale (hărți, planuri, perspective tridimensionale și machete), subliniind importanța acestora în înțelegerea și modelarea formei urbane.

III.1. Despre forma urbană tradițională, evoluția în timp și principalele elemente definitorii

Forma urbană tradițională se referă la manifestarea fizică a orașului, fără influența tehnologiilor moderne care pot augmenta percepția mediului real. Aceasta cuprinde elementele tangibile și vizibile ale unui oraș, precum clădirile, străzile, parcurile și alte spații publice, fără intervenția aplicațiilor digitale sau a altor instrumente.

Încă din cele mai vechi timpuri, forma urbană a evoluat considerabil, reflectând schimbările sociale, economice și culturale ale societății. În antichitate, orașele erau adesea construite sub forma unor mari imperii, concentrându-se în jurul centrelor administrative și religioase. În Evul Mediu, orașele se dezvoltau frecvent în jurul fortificațiilor, oferind protecție împotriva invaziilor. Renașterea a adus o atenție deosebită aspectului estetic și armoniei urbane, evidențiindu-se printr-o planificare mai riguroasă și o preocupare pentru frumusețea vizuală a orașelor. Această perioadă a pus bazele unei înțelegeri mai profunde a relației dintre spațiul construit și cel natural. În secolul al XIX-lea și începutul secolului al XX-lea, Revoluția Industrială a provocat o urbanizare rapidă, adesea haotică, caracterizată prin condiții de trai precare și o densitate urbană ridicată. În această perioadă, urbanismul a început să fie abordat dintr-o perspectivă mai științifică, cu scopul de a înțelege și de a gestiona impactul urbanizării asupra societății (Taylor, 1998). În esență, forma urbană este o entitate evolutivă, într-o permanentă transformare, ca urmare a schimbărilor sociale și culturale ale societății, fiind determinată de suportul spațial și de înțelegerea ei ca sistem socio-spațial specific urban (Florescu, 2009).

În ultimele decenii, evoluția tehnologică și apariția tehnologiilor avansate au adus schimbări semnificative în proiectarea urbană. Totuși, forma urbană tradițională continuă să fie influențată în mod esențial de factori contextuali, cum ar fi mediul fizic, mediul social, economic, politic și informațional. Acești factori determină în mare măsură caracteristicile și dezvoltarea orașelor, influențând modul în care oamenii trăiesc, se deplasează și interacționează în spațiul urban. În era informațională, urbanismul este puternic influențat de evoluția tehnologică, care a dat naștere unui set de instrumente digitale utilizate în domeniul urbanismului (Mureșanu, 2010). Se poate observa, în ultima decadă, o tendință de accelerare în ceea ce privește utilizarea tehnologiei digitale în domeniul urbanismului, influențând modul în care urbanismului și proiectarea orașelor sunt practicate. Această evoluție a creat o complementaritate între mediul real, tangibil și cel digital, intangibil. Astfel, în timp ce planificarea tradițională se concentrează pe structura și funcționalitatea spațiilor fizice, tehnologiile digitale permit extinderea acestor analize, completând percepția asupra orașului.

Așadar, pentru a înțelege cu adevărat forma urbană tradițională, este necesar să se examineze elementele sale constitutive: spațiul public, clădirile și infrastructura urbană, toate acestea manifestându-se în mediul fizic, real. Aceste componente nu doar că structurează mediul urban, dar reflectă și valorile, nevoile și aspirațiile unei societăți. Ele influențează profund modul în care oamenii se mișcă, interacționează și trăiesc în mediul urban fizic, concret.

Studierea formei urbane tradiționale presupune nu doar o analiză a aspectelor vizuale ale spațiului real, ci și o înțelegere profundă a contextului istoric și cultural în care aceasta s-a dezvoltat. Este crucial să se recunoască faptul că forma urbană, în manifestarea sa fizică, este o entitate dinamică, supusă unei transformări continue în răspuns la evoluțiile societății umane. Aceasta se manifestă ca un sistem socio-spațial complex, influențat de diverse forțe interne și externe, în cadrul unui mediu tangibil.

Pentru o explorare detaliată a formei urbane tradiționale și a caracteristicilor sale definitorii, lucrarea de față se bazează pe o revizuire a literaturii de specialitate din ultimele decenii, reflectând lucrările relevante care oferă o înțelegere clară și completă pentru această terminologie (*cf*. Tabel 1).

Tabel 1. Sinteza definițiilor din lucrările de specialitate referitoare la forma urbană (în ordine cronologică)

Definiții și caracteristici ale formei urbane	**Sursa**
Forma urbană este continuu predispusă modificărilor, fiind în permanență influențată de factori contextuali.	Talen, 1958
Forma urbană este definită ca organizarea fizică a orașului, inclusiv aspectul, structura și organizarea diferitelor sale elemente, cum ar fi clădirile, străzile și spațiile publice.	Lynch și Rodwin, 1958b
Apare noțiunea de forma orașului (*city form*), cu referire la modelul spațial al obiectelor fizice mari, inerte, permanente dintr-un oraș (clădiri, străzi, utilități, dealuri, râuri).	Lynch, 1981
Forma urbană este definită ca manifestarea fizică a unui oraș, inclusiv aspectul, structurile și spațiile acestuia.	Kostof, 1991
Forma urbană este definită prin caracteristicile fizice și organizarea spațială a mediului construit, inclusiv clădiri, infrastructură de transport, spații publice și caracteristici naturale.	Banister și alții, 1997
Forma urbană este definită ca structura fizică și organizarea spațială a unui oraș sau a unei zone urbane, inclusiv mediul său construit, spațiile deschise și sistemele de transport.	Frey, 1999
Forma urbană este un produs atât al factorilor fizici, cât și al celor sociali și este definită de modul în care oamenii interacționează cu mediul construit.	Habraken, 2000
Forma urbană reprezintă forma fizică și aspectul orașelor, inclusiv aranjarea clădirilor, străzilor, spațiilor publice, sistemelor de transport și alte elemente urbane.	Newton, 2000
Forma urbană" este definită ca aspectul fizic și structura zonelor urbane, inclusiv forma, dimensiunea, densitatea și modul de organizare a clădirilor, străzilor, spațiilor publice și a altor elemente construite.	Dempsey și alții, 2010
Forma urbană este o entitate evolutivă, într-o permanentă transformare, ca urmare a schimbărilor sociale și culturale din cadrul societății umane, fiind determinată de suportul spațial și de înțelegerea ei ca sistem socio-spațial specific urban.	Florescu, 2009
Forma urbană este caracterizată prin diferite elemente precum conectivitatea, densitatea, diversitatea, centralitatea și spațiul public și modul în care aceste aspecte interacționează pentru a modela experiența urbană.	Kropf, 2009

Forma urbană este o construcție multidimensională care include caracteristicile fizice, spațiale și sociale ale mediului construit. Forma urbană are caracteristici precum materiale de construcție, fațade și ferestre, la o scară mai mare, caracteristici precum fond construit, tip de stradă, spațiu public/ spațiu verde.	Kropf, 2014
Forma urbană este definită ca organizarea fizică și spațială a elementelor urbane, inclusiv clădiri, străzi, spații deschise și infrastructură. Forma urbană este asociată elementelor fizice care compun orașul.	Scheer, 2016; 2018
Forma urbană este definită ca aspectul fizic, organizarea și designul unui oraș, inclusiv clădirile, străzile, spațiile deschise și infrastructura acestuia. Elementele fizice ale formei urbane sunt corelate cu elemente privind diversitatea socio-economică și sustenabilitatea mediului.	Oliveira, 2021
Forma urbană este considerată o manifestare fizică a mediului construit care modelează viața urbană prin organizarea sa spațială, caracteristicile morfologice și interacțiunile sociale. Ei susțin că forma urbană nu ar trebui considerată doar ca un aspect tehnic sau estetic al designului urban, ci și ca un produs social și cultural care afectează viața oamenilor.	Çalişkan și Şevik, 2022

Sursa: autorul

Cu toate că definițiile referitoare la forma urbană (*cf*. Tabel 1) indică o predispoziție pentru elementele fizice caracteristice formei urbane (Lynch și Rodwin, 1958b; Kostof, 1991; Banister și alții, 1997; Frey, 1999; Dempsey și alții, 2010; Kropf, 2009; Scheer, 2016), există totuși numeroase trimiteri către factorii sociali, culturali, economici și politici care influențează evoluția formei urbane (Talen, 1958; Kostof, 1991; Habraken, 2000; Florescu, 2009; Oliveira, 2021; Çalişkan și Şevik, 2022). De exemplu, Lynch și Rodwin (1958b) subliniază importanța înțelegerii relațiilor dintre elementele orașului și modul în care acestea contribuie la caracterul general al mediului urban. În aceeași notă, Habraken (2000) consideră forma urbană drept un produs atât al factorilor fizici, cât și sociali, iar evoluția sa reprezintă răspunsul la condițiile sociale și economice în continuă schimbare. În general, majoritatea autorilor subliniază importanța conștientizării multiplelor dimensiuni ale formei urbane și a influențelor care modelează țesutul fizic și social al orașelor.

Potrivit literaturii de specialitate, există două abordări principale privind definirea formei urbane. Prima abordare se concentrează pe calitățile microscopice ale orașului, cum ar fi tipul, cantitatea, densitatea, granularitatea și organizarea elementelor spațiale (Lynch și Rodwin, 1958a;

Kostof, 1991; Habraken, 2000), în timp ce a doua abordare ia în considerare structura generală a orașului, inclusiv legăturile și nodurile de transport, respectiv forma și structura orașului (Lynch, 1981; Frey, 1999; Newton, 2000). Ambele abordări sunt importante pentru a înțelege forma fizică a orașului, atât în detalii microscopice, cât și la nivel macroscopic. În plus, forma urbană nu se referă exclusiv la caracteristicile fizice ale orașului, ci include și aspectele non-fizice, respectiv caracteristicile socio-economice, precum și evenimentele istorice asociate unui loc, utilizarea terenului, confortul spațiului, etc (Dempsey și alții, 2010; Scheer, 2018; Çalişkan și Şevik, 2022). Din perspectivă socio-morfologică, forma urbană este văzută ca un proces dinamic care implică interacțiunea dintre factorii fizici și sociali, inclusiv caracteristici referitoare la utilizarea terenurilor, transportul, spațiul public, diversitatea socială și implicarea comunității în viața orașului (Çalişkan și Şevik, 2022). Cu toate acestea, forma urbană este, în general, asociată atributelor morfologice ale unei zone urbane, în sensul elementelor fizice care compun forma urbană (Williams și alții, 2000; Scheer, 2018).

Cele mai frecvent utilizate elemente pentru descrierea formei urbane tradiționale includ clădirile, parcelele și străzile, fiind clasificate în funcție de forma construită, limitele arterelor de circulație și ale parcelelor și terenul (Kropf, 2014; Scheer, 2016). Elementele fizice ale formei urbane variază de la o scară la alta, respectiv de la nivel micro – caracteristici precum materiale de construcție, fațade și ferestre, la o scară mai mare, caracteristici precum fond construit, tip de stradă, spațiu public/ spațiu verde (Kropf, 2014). Aspectele non-fizice ale formei urbane includ dimensiunea, forma, geometria, scara, densitatea, cantitatea de spațiu deschis, gradul de compactitate, accesul la diferite servicii și utilizarea terenului (Banister și alții, 1997; Frey, 1999; Dempsey și alții, 2010; Çalişkan și Şevik, 2022).

Prin urmare, înțelegerea formei urbane presupune analiza modului în care diferite elemente sunt organizate într-un oraș sau cartier, precum și gradul de accesibilitate al unui loc în raport cu diverse dotări și servicii (Dempsey și alții, 2010). În plus, elementele fizice ale formei urbane (*cf*. Figura 4) sunt corelate cu elemente privind diversitatea socio-economică și sustenabilitatea mediului, caracterizate prin indicatori privind educația, locuirea, activitățile economice și infrastructura verde și albastră (Oliveira, 2021). De asemenea, caracterizarea formei urbane este dependentă de capacitatea de a măsura modele de dezvoltare spațială, respectiv de procesul de colectare și analiză a bazelor de date spațiale (Clifton și alții, 2008).

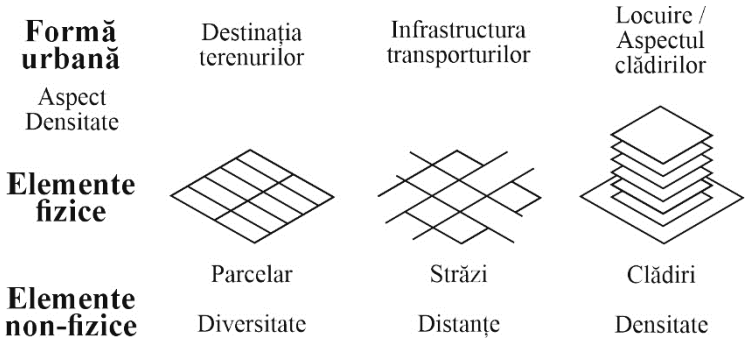


Figura 4. Elemente ale formei urbane
(Sursa: prelucrare după Dempsey și alții, 2010)

Într-o notă convergentă, Lynch (1960) identifică cinci elemente principale utilizate, în mod obișnuit, ca instrument de analiză a zonelor urbane, contribuind la formarea imaginii mentale a unui oraș, și anume: traseul (*path*), nodul (*node*), reperul (*landmark*), limita (*edge*) și cartierul (*district*) (*cf*. Figura 5). În percepția sa, traseul se referă la străzi și căi de acces care permit oamenilor să se deplaseze prin oraș; nodul se referă la zonele de intersecție ale străzilor sau ale transportului public, în timp ce reperul se identifică cu obiectivele distinctive ale orașului, cum ar fi turnurile sau parcurile. În același timp, limitele sau marginile se referă la limitele vizibile ale orașului, cum ar fi râurile sau dealurile care îl înconjoară, iar cartierul vizează zonele urbane cu caracteristici distincte, cum ar fi ansamblurile de locuințe colective sau clădirile de birouri (*ibid*). În teoria sa, Lynch sugerează faptul că oamenii își formează imagini mentale ale orașelor prin combinarea și organizarea acestor cinci elemente principale.



Figura 5. Cele cinci elemente principale ale orașului/ formei urbane
(Sursa: Lynch, 1960)

Perspectiva lui Lynch asupra formei urbane este, deci, susținută de o abordare orientată pe elementele fizice ale orașului. Cu toate acestea, prin intermediul unei lucrări ulterioare *A Theory of Good City Form*, autorul subliniază faptul că forma urbană nu poate fi explicată eficient decât prin suprapunerea multiplelor perspective istorice și teoretice, care asigură tranziția de la scopul uman către elementele fizice ale orașului (Lynch, 1981).

Forma urbană tradițională, așa cum este ea înțeleasă fără intervenția tehnologiilor digitale, se bazează exclusiv pe percepția directă și nemijlocită a mediului fizic. Această înțelegere pură a formei urbane permite o apreciere clară a interacțiunilor dintre oameni și mediul lor construit, evidențiind dinamica socială și funcțională a orașului în starea sa fizică, naturală.

Așa cum putem observa, există numeroase încercări în literatura de specialitate pentru definirea formei urbane și a caracteristicilor sale fizice (morfologice) și non-fizice (socio-economice). În acest context, trebuie amintită și contribuția lui Scheer (2016) la înțelegerea formei urbane, aceasta reușind să sintetizeze trei principii pe care se bazează analiza morfologică urbană, care constituie și direcțiile prin care este definită forma urbană în mediul fizic/ real, în cadrul prezentei lucrări de cercetare:

1. Forma urbană este definită de trei elemente fizice fundamentale: clădiri și spații deschise aferente acestora, parcele/ loturi și străzi.
2. Forma urbană poate fi înțeleasă la diferite niveluri de rezoluție, cele mai frecvent întâlnite fiind clădirea/ lotul, strada/ blocul, orașul și regiunea.
3. Forma urbană nu poate fi înțeleasă decât din punct de vedere istoric, întrucât elementele din care este alcătuită suferă o continuă transformare și înlocuire.

În acest sens, cele trei principii pot fi operaționalizate și detaliate printr-o serie de elemente specifice formei urbane ce aparțin mediului fizic/ real (*cf.* Figura 6), considerate a fi descriptori, care pot fi digitalizați pentru analize mai complexe, după cum urmează:

- Obiecte (pavaj, vegetație, signalistică, fântâni, spații deschise și verzi – de ex. parcurile, grădinile publice, arborii de-a lungul străzilor, etc);
- Clădiri (clasificate după anumite criterii și anexe ale clădirilor);
- Infrastructură (străzi, poduri, stadion, ziduri, monumente, etc);
- Loturi/ parcele;

- Trasee (continue ale străzilor, căilor ferate, infrastructurilor edilitare, etc);
- Terenul și elementele de configurare a terenului (de ex. elevația, topografia).

Fiecare dintre aceste elemente are o manifestare fizică dată în funcție de contextul în care se află. În ciuda diferențelor contextuale ce pot influența forma urbană, toate aceste elemente pot fi identificate și analizate în orice context, oferind o bază unitară pentru studiul formei urbane tradiționale la multiple scări spațiale și în diferite ipostaze.

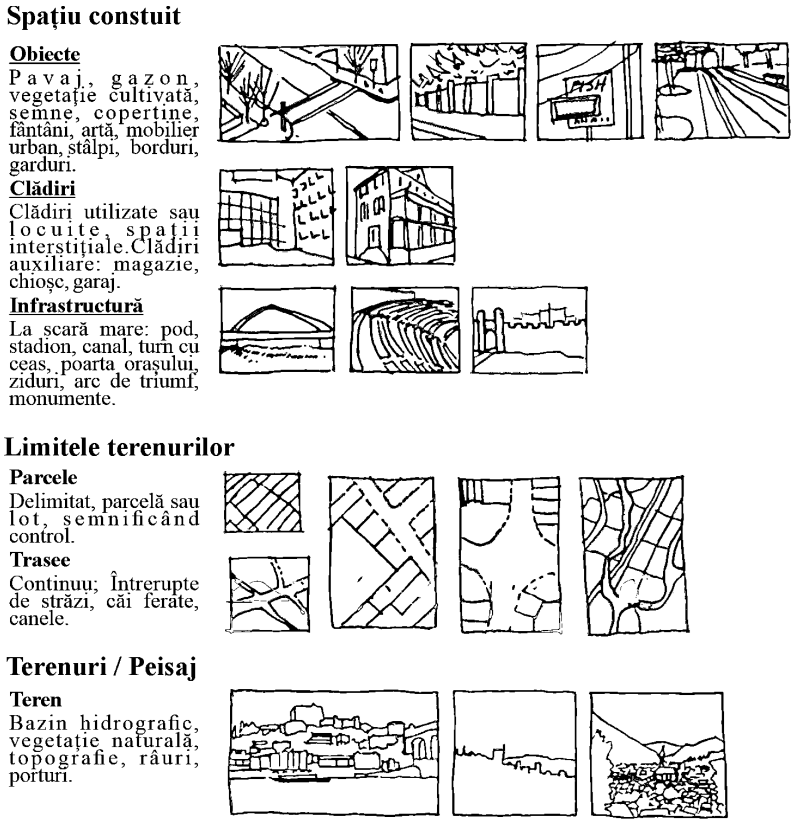


Figura 6. Categorii de elemente fizice specifice formei urbane
(prelucrare după Scheer, 2018)

Forma urbană tradițională a evoluat de-a lungul timpului, conducând la ceea ce numim astăzi forma urbană contemporană, care, deși se manifestă exclusiv în mediul fizic, include aspecte mult mai complexe ce țin de interacțiunea diverselor elemente ale sistemelor urbane.

Această formă urbană contemporană pornește de la aceleași elemente de bază ca și forma urbană tradițională, dar integrează o gamă mai largă de factori și variabile, precum relieful, densitatea, modul de organizare a spațiului, utilizarea terenului, sistemul de transport public, gradul de dependență față de autovehiculul personal și altele (Milder, 2011).

Prin urmare, diferite modalități de combinare a acestor caracteristici principale ale formei urbane dau naștere unor noi tipologii de forme urbane mult mai complexe (*cf*. Figura 7).

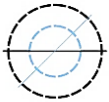
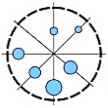
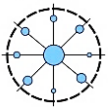
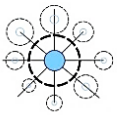
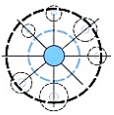
Forma urbană	Caracteristici fizice	Caracteristici non-fizice
Orașul compact 	Densitate ridicată, spațiu închis Utilizare mixtă Fără dependență de automobil personal Bună deservire cu transport public urban	Independență economică
Orașul dispersat 	Densitate scăzută, spațiu deschis Utilizare monofuncțională Dependență mare de automobil personal Slabă deservire cu transport public urban	Independență economică
Orașul liniar 	Densitate medie, spațiu închis Utilizare monofuncțională Dependență medie de automobil personal Bună deservire cu transport public urban	Dependență economică totală față de orașul central
Orașul policentric 	Densitate ridicată, spațiu închis parțial Utilizare mixtă Dependență medie de automobil personal Bună deservire cu transport public urban	Independență economică
Oras satelit 	Densitate ridicată și scăzută, spațiu deschis Utilizare mixtă Dependență medie de automobil personal Bună deservire cu transport public urban	Independență economică parțială
Marginea centrului orașului 	Densitate scăzută, spațiu deschis Utilizare monofuncțională Dependență mare de automobil personal Slabă deservire cu transport public urban	Dependență economică totală față de orașul central
Periferiile orașului 	Densitate ridicată și scăzută Spațiu închis parțial, utilizare mixtă Dependență medie de automobil personal Bună deservire cu transport public urban	Dependență economică totală față de orașul central

Figura 7. Tipologii de forme urbane și principalele caracteristici (prelucrare după Milder, 2011)

În contextul evoluției de la forma urbană tradițională la cea contemporană, conceptul de creștere inteligentă a devenit un reper central în planificarea urbană modernă, influențând semnificativ modul în care orașele se dezvoltă și se extind. Această abordare promovează o dezvoltare urbană bazată pe densitatea ridicată a populației și pe utilizarea eficientă a resurselor, ca răspuns la provocările generate de expansiunea urbană necontrolată și consumul excesiv de terenuri (Behan și alții, 2008). Deși nu există o definiție unanim acceptată pentru creșterea inteligentă, principalele caracteristici asociate acestui concept includ o formă urbană compactă, orientată către reutilizarea terenurilor deja urbanizate și protejarea spațiilor verzi extravilane (Downs, 2005; Ye și alții, 2005).

Această nouă viziune asupra formei urbane reprezintă o reevaluare a principiilor tradiționale, care favorizau locuințele individuale și dependența de autoturisme. Creșterea inteligentă propune, în schimb, conservarea habitatelor naturale, utilizarea eficientă a resurselor, promovarea transportului durabil și regenerarea urbană. Această abordare implică, de asemenea, conservarea spațiilor verzi, a habitatelor naturale, utilizarea eficientă a resurselor, promovarea transportului durabil, precum și reutilizarea terenurilor. În plus, extinderea în jurul zonelor deja existente permite ca serviciile publice să fie furnizate într-un mod eficient, cât mai aproape de zonele de locuințe și consum (Ye și alții, 2005).

Un alt aspect esențial al creșterii inteligente este legat de mobilitatea urbană. În contextul formelor urbane contemporane, principiile acestei abordări se manifestă prin promovarea pietonalizării spațiilor, crearea de infrastructuri pentru transport activ, precum piste de biciclete, și susținerea rețelelor de transport public (*ibid*.). Integrarea acestor principii contribuie la transformarea orașelor contemporane, orientându-le către un model de dezvoltare urbană sustenabilă, mai eficient și mai prietenos cu mediul.

Conceptul de creștere inteligentă își găsește corespondențe și în Europa, unde idei similare au fost promovate sub forma conceptului de „oraș compact" sau „intensificare urbană". Acest concept a fost dezvoltat ca răspuns la problemele generate de expansiunea necontrolată a orașelor, cum ar fi poluarea, schimbările climatice și pierderea biodiversității (Bruegmann, 2006; EEA, 2006). În esență, orașul compact promovează o dezvoltare urbană densă, mixtă și orientată spre transportul public și pietonal, reducând astfel dependența de autovehicule și impactul negativ al creșterii și dezvoltării urbane asupra mediului (Jenks și alții, 1996; Borsdorf, 2011).

În diverse țări europene, conceptul de oraș compact a fost implementat prin politici și reglementări care au favorizat reabilitarea și regenerarea zonelor urbane existente. De exemplu, Regatul Unit a promovat reutilizarea

terenurilor industriale dezafectate și dezvoltarea locuințelor cu densitate mare, în timp ce alte orașe, precum Amsterdam, Rotterdam și Utrecht, au investit în infrastructura de transport public și în facilitățile pentru transport activ (Burton, 2002; Nabielek, 2012). Aceste măsuri au contribuit la reducerea expansiunii urbane necontrolate și la îmbunătățirea mobilității urbane, demonstrând avantajele unui model de dezvoltare compactă.

Conceptul de oraș compact și principiile creșterii inteligente au fost adoptate cu succes în multe state europene, precum Austria, Danemarca, Germania, Franța și Suedia, evidențiind beneficiile dezvoltării urbane concentrate, atât în ceea ce privește accesul la servicii publice, cât și în ceea ce privește sustenabilitatea și calitatea vieții urbane (OECD, 2012; Hamiduddin, 2017; Bibri și alții, 2020). Astfel, evoluția formei urbane contemporane reflectă o schimbare profundă în modul în care orașele sunt gândite și dezvoltate, cu accent pe sustenabilitate, eficiență și îmbunătățirea calității vieții locuitorilor.

Prin urmare tranziția de la forma urbană tradițională la cea contemporană reflectă adaptarea continuă la nevoile moderne și provocările societății. În timp ce formele tradiționale erau modelate de factori specifici epocii, cele contemporane integrează complexități mai mari, abordând aspecte precum globalizarea, urbanizarea rapidă și principiile sustenabilității. Această tranziție subliniază importanța adoptării unei abordări capabile să armonizeze moștenirea urbană cu inovațiile necesare pentru a asigura adaptabilitate și adecvare pentru generațiile actuale și viitoare.

III.2. Modelarea formei urbane tradiționale în secolul al XXI-lea

Modelarea formei urbane tradiționale implică o înțelegere profundă a modului în care orașele s-au dezvoltat de-a lungul timpului sub influența diverselor factori culturali, sociali, economici și politici. În anii '50 și '60, proiectarea urbană a fost marcată de o atenție sporită atât pentru estetică, cât și pentru funcționalitatea mediului construit, reflectând astfel evoluția constantă a formelor urbane sub presiunea schimbărilor sociale și culturale (Taylor, 1998).

Forma urbană tradițională a fost modelată de factori multipli și a evoluat constant, adoptând atât forme organice, cât și planificate. De-a lungul secolelor, diverse elemente precum tradițiile locale, topografia, clima și condițiile socio-economice au contribuit la modelarea specifică a fiecărui oraș. De exemplu, la sfârșitul secolului al XIX-lea, forma urbană era influențată în mare măsură de geometrie și estetică. În secolul al XX-lea, însă, conceptul de formă urbană modernă a evoluat, iar designul urban a

devenit o disciplină distinctă, integrând atât aspectele estetice, cât și funcționale, adaptându-se constant la nevoile și schimbările societale (Talen, 1958).

Înțelegerea formei urbane tradiționale necesită utilizarea unor reprezentări abstracte și obiective în vederea analizării relațiilor spațiale dintre elementele fizice, interacțiunile dintre oameni și mediul construit, fluxurile naturale și umane și schimbările constante ale peisajului urban (Lynch și Rodwin, 1958a; Kropf, 2009). Astfel, forma urbană tradițională trebuie înțeleasă drept un amestec complex de elemente statice și dinamice, reflectând o interacțiune continuă între mediul fizic și contextul socio-economic. De asemenea, Scheer (2010) argumentează că înțelegerea și modelarea formei urbane depășește simpla analiză a tipurilor de clădiri și a peisajelor stradale, subliniind că specialiștii trebuie să perceapă designul urban nu doar ca pe o colecție de structuri și spații deschise, ci mai degrabă ca un cadru dinamic susceptibil transformării continue.

În acest context, modelarea formei urbane tradiționale poate întâmpina numeroase provocări, date fiind complexitatea și diversitatea fiecărei zone urbane, generată de factori specifici locului (Frey, 1999). Totodată, reglementările și politicile locale joacă un rol semnificativ în modelarea formelor urbane tradiționale. De exemplu, zonarea și alte reglementări urbane pot influența densitățile construite, înălțimile clădirilor și amenajarea spațiilor publice, având un impact direct asupra mediului urban (Talen, 1958). Din acest considerent, studiul și modelarea formelor urbane necesită, de asemenea, o abordare interdisciplinară, integrând perspective din urbanism, arhitectură, geografie, istorie, sociologie și alte domenii. Această observație este susținută de numeroși autori preocupați de studiul și modelarea formei urbane (Kostof, 1991; Lynch și Rodwin, 1958a; 1958b; Habraken, 2000; Oliveira, 2021; Çalişkan și Şevik, 2022).

Există numeroase lucrări pe tema modelării formei urbane, însă teoria lui Lynch (1981) continuă să fie de actualitate și în secolul al XXI-lea. Autorul subliniază importanța valorilor (înțelese ca puntea dintre scopul uman și forma orașului) în modelarea formei fizice a orașelor. Lynch susține că proiectarea orașelor ar trebui să fie informată de o înțelegere profundă a valorilor care sunt importante pentru oamenii care trăiesc în ele, iar aceste valori se referă la: estetică, funcționalitate, interacțiune socială, expresie culturală și sustenabilitatea mediului, printre altele. Teoria sa subliniază, de asemenea, rolul percepției umane și al cunoașterii în modelarea formei urbane. Acesta sugerează că lizibilitatea orașului - capacitatea sa de a fi ușor de înțeles și de navigat de către locuitorii săi - este un aspect cheie al formei urbane „bune" (*good city form*). Conform autorului, lizibilitate este

determinată de organizarea și aranjarea elementelor urbane (străzile, clădirile și spațiile publice), care ar trebui proiectate într-un mod care să faciliteze navigarea ușoară și un sentiment de coerență (Lynch, 1981). În general, teoria lui Lynch evidențiază rolul designului fizic în modelarea interacțiunii sociale și a experienței umane și pledează pentru o abordare a designului urban care să fie informată de perspective și valori multiple. În plus, proiectarea urbană și modelarea formei urbane trebuie să ia în considerare dimensiunea temporală și să recunoască efectele timpului asupra locurilor (*ibid*.). Astfel, este esențială înțelegerea modului în care locurile evoluează în timp, având în vedere potențialul de schimbare și factorii care determină transformarea lor.

Modelarea formei urbane tradiționale este un proces complex care implică explorarea și integrarea diverselor aspecte sociale, economice, culturale și ecologice. Aceasta presupune o abordare holistică, care consideră orașul nu doar ca un ansamblu de clădiri și infrastructuri, ci ca un organism viu, în continuă schimbare și adaptare.

Forma urbană tradițională a evoluat treptat către ceea ce numim astăzi forma urbană contemporană, marcând o tranziție semnificativă în modul în care orașele sunt concepute și gestionate. Forma urbană contemporană nu doar că păstrează unele dintre principiile tradiționale, cum ar fi utilizarea mixtă a terenurilor și accesibilitatea pietonală, dar integrează și noi elemente precum sistemele de transport public, gestionarea eficientă a resurselor, planificarea participativă. Această evoluție reflectă o adaptare la cerințele moderne și la obiectivele de sustenabilitate, în timp ce încearcă să abordeze problemele generate de expansiunea urbană și schimbările globale.

Studiile de specialitate susțin ideea conform căreia forma urbană tradițională reprezintă un factor critic în modelarea orașelor durabile, deoarece influențează modelele de transport și mobilitatea, modul de utilizare a terenurilor, consumul de resurse și energie, precum și interacțiunea socială (Banister și alții, 1997; Frey, 1999; Newton, 2000). În contextul paradigmei dezvoltării durabile, există o relație strânsă între forma urbană și sustenabilitatea unui oraș, în sensul că modelarea formei urbane are un impact semnificativ asupra mai multor aspecte din cadrul orașului (Popa, 2007; Carmona, 2010).

(1) **Mobilitatea urbană**: Forma urbană are un impact asupra mobilității, mai ales în ceea ce privește inter-relația dintre utilizarea terenului și tiparele de călătorie (Gilbert și Dajani, 1974; Miller și Ibrahim, 1998; Camagni și alții, 2002). Alte relații semnificative au fost identificate între modalitățile de transport și caracteristicile fizice ale orașului, cum ar fi densitatea, dimensiunea, cantitatea de spațiu deschis, configurarea

străzilor și utilizarea terenurilor (Banister și alții, 1997; Leck, 2005). De exemplu, forma urbană poate încuraja sau descuraja utilizarea anumitor modalități de transport. Prin configurarea infrastructurii de transport, crearea de piste de biciclete și trotuare accesibile, precum și prin integrarea stațiilor de transport în comun în apropierea zonelor rezidențiale și comerciale, forma urbană poate contribui la reducerea traficului auto și utilizarea modalităților de transport sustenabil. De asemenea, o formă urbană compactă și densă poate reduce distanțele de călătorie și necesitatea utilizării autovehiculelor personale, contribuind astfel la reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră asociate transportului auto (Hillman, 1996; Frey, 1999).

(2) **Utilizarea eficientă a terenurilor**: Forma urbană influențează considerabil modul de utilizare a terenurilor. O formă urbană bine planificată poate utiliza terenurile în mod eficient, evitând extinderea urbană necontrolată și presiunea asupra zonelor naturale și agricole. Studiile indică patru criterii esențiale pentru optimizarea utilizării terenului în vederea obținerii unei forme urbane durabile, și anume: compactitate, compatibilitate, dependență și adecvare (Handayanto și alții, 2017). În plus, prin implementarea unor strategii de dezvoltare urbană compactă și mixtă, se poate reduce consumul de teren, contribuind la protejarea mediului natural (Clifton și alții, 2008; Milder, 2011).

(3) **Gestionarea resurselor**: Forma urbană produce un impact semnificativ asupra mediului natural înconjurător prin dispunerea, forma și structura unui oraș (Milder, 2011). De exemplu, caracteristici ale formei urbane precum dimensiune și compactitatea au înregistrat o corelare pozitivă cu eficiența utilizării resurselor (Liu și alții, 2012a). Un alt exemplu concret constă în efectul formei urbane – măsurat atât prin tipul, cât și prin structura utilizării terenului – asupra gestionării resurselor de apă, indicând o nevoie stringentă de coordonare a managementului resurselor de apă cu planificarea și proiectarea formei urbane (Shandas și Parandvash, 2010). Așadar, studiile susțin faptul că dezvoltarea urbană durabilă necesită integrarea managementului resurselor naturale în planificarea și proiectarea urbană, inclusiv diversificarea resurselor neregenerabile prin utilizarea surselor regenerabile de energie, gestionarea deșeurilor reciclarea și economia circulară (Agudelo-Vera și alții, 2011).

(4) **Eficiența energetică**: Forma urbană poate influența consumul de energie al orașului, microclimatul urban, precum și performanța energetică a clădirilor (Ratti și alții, 2005; Ko, 2013; Li și alții, 2018; Mangan și alții,

2020). De exemplu, anumite caracteristici ale formei urbane (tipul locuinței, densitatea, orientarea străzii, configurația clădirii și plantarea) afectează utilizarea energiei în zonele rezidențiale, în special energia pentru încălzirea și răcirea spațiului (Ko, 2013). De asemenea, compactitatea moderată are un impact pozitiv substanțial atât asupra potențialului solar al clădirilor, cât și al cererii de energie pentru răcirea clădirilor (Salvati și alții, 2017; Loeffler și alții, 2021).

Așa cum am văzut, forma urbană este o componentă esențială a dezvoltării urbane și poate fi comparată cu structura unui organism urban. Manifestarea existențială a orașului ca organism urban este subliniată de existența unor fenomene de auto-organizare și autoreglare în interiorul formei urbane și în cadrul fenomenului urban (Florescu, 2009).

În esență, fenomenele de auto-organizare și autoreglare în interiorul formei urbane sunt procese prin care organismul urban își ajustează și își reglează propriile caracteristici și funcționări într-un mod autonom, fără a fi necesară o intervenție externă. În cazul formei urbane, fenomenul de auto-organizare se poate manifesta atât prin procese de dezvoltare și adaptare la noi cerințele și provocări ale mediului urban, cât și prin evoluția naturală a formei și structurii urbane.

Autoreglarea, pe de altă parte, se referă la capacitatea sistemului urban de a se regla și de a-și ajusta comportamentul și funcționarea în raport cu schimbările dinamice din mediul urban. Această capacitate este necesară pentru a menține echilibrul în cadrul sistemului urban și pentru a preveni apariția problemelor și disfuncționalităților. De exemplu, probleme precum gestionarea traficului, așezarea optimă a clădirilor, dotărilor și a infrastructurilor publice sau optimizarea utilizării resurselor naturale pot fi mai bine rezolvate, contribuind la crearea unor orașe sustenabile.

În ansamblu, aceste fenomene sunt o dovadă a complexității și dinamismului formei urbane și trebuie atent studiate din mai multe motive. Primul se referă la dobândirea unei perspective asupra modului în care orașul funcționează ca un sistem complex și dinamic. Al doilea motiv vizează fundamentarea unor instrumente eficiente pentru gestionarea dezvoltării orașelor.

Astfel, asigurarea unei forme urbane coerente, care poate fi adaptată și dezvoltată în timp, este vitală pentru a promova sustenabilitatea mediului urban. Prin înțelegerea modului în care mediile urbane evoluează și se transformă, modelarea formei urbane poate gestiona schimbările într-un mod eficient pentru a menține continuitatea vizuală și fizică a locurilor în timp.

Prin urmare, modelarea formei urbane este un proces dinamic, care necesită adaptare continuă atât la factori fizici și contextuali, cât și la paradigme,

teorii, practici și instrumente moderne. Această adaptare se extinde dincolo de aspectele tradiționale ale planificării și proiectării urbane și integrează noile tehnologii și abordări contemporane, reflectând schimbările rapide ale societății.

În acest context, dezvoltarea durabilă poate influența semnificativ evoluția formei urbane prin implementarea unor principii de planificarea și proiectare urbană care țin cont de nevoia de a proteja mediul și de a îmbunătăți calitatea vieții locuitorilor. În cazul formei urbane tradiționale, aceste principii se manifestă prin adaptarea unor structuri și practici existente pentru a crea spații urbane care respectă criteriile sustenabilității. Pe de altă parte, forma urbană contemporană se dezvoltă având sustenabilitatea ca nucleu al planificării, ceea ce influențează organizarea spațiului, modul de utilizare a terenului și infrastructura orașului.

Printre modurile în care dezvoltarea durabilă a modelat și continuă să modeleze forma urbană se numără stabilirea unor zone verzi și spații deschise, atât în interiorul orașelor, cât și la periferie (ex. centurile verzi), care au rolul de a îmbunătăți calitatea aerului, de a oferi locuitorilor spații pentru recreere și de a contribui la protejarea biodiversității. De asemenea, organizarea eficientă a sistemului de transport urban, incluzând rețele de drumuri, căi ferate, transport public și alternative, precum pistele de biciclete, influențează direct accesibilitatea și mobilitatea în cadrul orașului, reducând dependența de autoturisme și promovând moduri de transport mai ecologice.

Dezvoltarea zonelor mixte care includ o diversitate de activități, precum cele rezidențiale, comerciale, industriale sau de agrement, asigură o utilizare echilibrată și funcțională a spațiului urban, în timp ce promovarea energiilor regenerabile și construirea de clădiri ecologice și inteligente susțin reducerea impactului asupra mediului.

Paradigma sustenabilității nu doar că redefinește forma urbană, dar și impune un standard în proiectarea urbană modernă, care nu mai poate ignora necesitatea de a răspunde provocărilor globale, precum încălzirea globală și urbanizarea rapidă.

Paralel cu dezvoltarea principiilor sustenabilității, mișcarea Noului Urbanism (*The New Urbanism*) a adus, la rândul său, o schimbare semnificativă în modul de proiectare și organizare a spațiului urban. Apărută în anii '80 ca reacție la dezvoltarea suburbană necontrolată și la separarea strictă a funcțiunilor urbane caracteristice anilor '50 și '60, această mișcare a readus în discuție necesitatea unor comunități mai compacte, care să încurajeze mixitatea funcțională și socială, accesibilitatea prin intermediul transportului public și crearea unor spații publice vibrante (Ellis, 2002).

În anii '90, ideile Noului Urbanism au fost adoptate pe scară largă în Statele Unite, multe orașe utilizând aceste principii pentru a proiecta noi cartiere sau pentru a reamenaja zonele urbane existente (CNU, 2000). Această abordare promovează dezvoltarea unor comunități integrate, în care locuințele, locurile de muncă, comerțul și serviciile sunt conectate între ele printr-o rețea densă de străzi, accesibile pietonilor și bicicliștilor (*cf*. Figura 8).

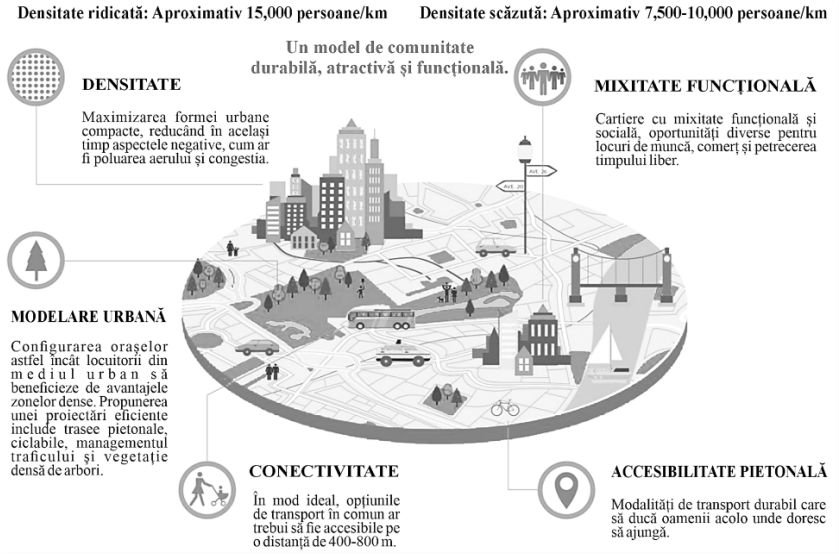


Figura 8. Ilustrarea principiilor Noului Urbanism (prelucrare după sursa web[2])

Astfel prin favorizarea densității, accesibilității pietonale și a conectivității, Noul Urbanism își propune să creeze comunități care nu sunt doar durabile din punct de vedere ecologic, ci și atractive și funcționale pentru locuitori (*ibid*.). Prin promovarea densității, a accesibilității pietonale, a conectivității străzilor și a mixității de utilizări și categorii sociale, mișcarea Noul Urbanism conduce la o abordare umană, care pune accent pe nevoile locuitorilor.

[2] *https://blogs.worldbank.org/sustainablecities/livability-start-neighborhood-singapore-urban-practice-part-1*, accesată în 15-03-2023.

III.3. Modalități de reprezentare a formei urbane tradiționale

Reprezentarea formei urbane tradiționale este esențială pentru înțelegerea și aprecierea evoluției și caracteristicilor orașelor. Acest subcapitol explorează modalitățile prin care forma urbană tradițională a fost vizualizată și documentată de-a lungul timpului, punând accent pe tehnicile tradiționale de reprezentare. În esență, forma urbană tradițională poate fi vizualizată, analizată și modelată prin diverse metode, precum: (a) reprezentări bidimensionale, hărți sau planuri urbane (b) reprezentări tridimensionale tradiționale și (c) machete.

Cea mai rudimentară formă de reprezentare spațială bidimensională a formei urbane este harta, utilizată în diferite contexte și scopuri. Încă din antichitate, hărți erau folosite în principal pentru navigație și explorare, precum și pentru a planifica rutele și a identifica locațiile cheie în cadrul teritoriului (*cf*. Figura 9). De-a lungul timpului, hărțile și planurile de oraș au fost utilizate pe scară largă pentru a documenta și a analiza structura urbană. În prezent, harta, ca formă de reprezentare bidimensională, este un exemplu de reprezentare eficientă, întrucât ilustrează elemente și relații spațiale ușor de citit, asigurând comunicarea informațiilor geografice esențiale.

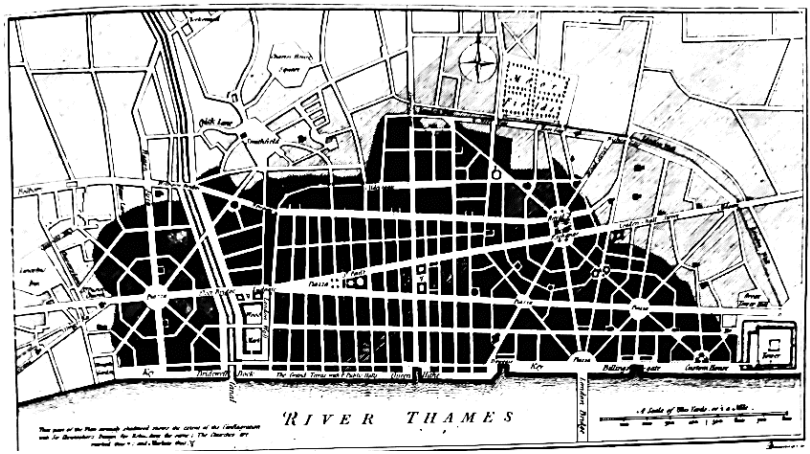


Figura 9. Harta orașului Londra, 1666 (Black, 2015)

(a) Cel mai cunoscut exemplu de reprezentare tip vedere în plan este Harta Nolli a Romei din 1748 (La „Pianta Grande di Roma”), desenată de arhitectul italian Giovanni Battista Nolli (*cf*. Figura 10) și considerată drept unul dintre cele mai importante documente istorice ale orașului. Harta Nolli este un plan

bidimensional extrem de detaliat al Romei și a fost creată pentru a documenta și a înțelege accesibilitatea și fluxul spațiului public în oraș. Ea prezintă nu doar clădirile și străzile, ci și parcurile, piețele, bisericile și alte elemente ale formei urbane. Un aspect distinctiv al hărții Nolli este reprezentarea spațiului public, inclusiv curțile interioare și parcurile, ca parte integrantă a orașului. Planurile urbane pot include diverse niveluri de detaliere, de la planuri generale care arată structura principală a orașului, la planuri detaliate care se concentrează pe aspecte specifice ale unui cartier sau ale unui proiect de construcție. Reprezentările bidimensionale de tip plan sau hartă au fost și rămân instrumente fundamentale pentru documentarea, analiza și planificarea formelor urbane. Aceste reprezentări oferă o viziune clară și organizată a structurilor și relațiilor spațiale din oraș, facilitând înțelegerea modului în care diferitele elemente urbane se interconectează și funcționează împreună.



Figura 10. Harta Romei, desenată de Giambattista Nolli în 1748[3]

(b) Reprezentări tridimensionale clasice, realizate de mână, au jucat un rol esențial în documentarea și vizualizarea formei urbane tradiționale. Aceste reprezentări, care includ desenele perspective și axonometria oferă o înțelegere profundă a relațiilor spațiale și a configurației fizice a orașelor. Deși mai elaborate și mai dificil de realizat decât hărțile bidimensionale, ele aduc o valoare adăugată în analizarea formei urbane. Reprezentările tip perspectivă realizate manual oferă o imagine tridimensională detaliată a peisajului urban, permițând vizualizarea clădirilor și a străzilor dintr-o perspectivă realistă. Un exemplu remarcabil al reprezentărilor tridimensionale este vederea aeriană asupra formei urbane, care permite observarea relațiilor dintre străzi, piețe și clădiri dintr-un unghi înalt (*cf*. Figura 11). Totodată, acest tip de reprezentare este adesea folosit pentru a

[3] *https://bldgblog.com/2005/08/interactive-nolli-map/*, accesată în 13.01.2023.

ilustra vederi panoramice ale orașelor, evidențiind atât structurile importante, cât și relațiile vizuale dintre diferitele elemente arhitecturale (*cf*. Figura 12). Perspectivele captează nu doar aspectul fizic al orașului, ci și atmosfera și dinamica vieții urbane, oferind o imagine relativ completă a mediului construit.

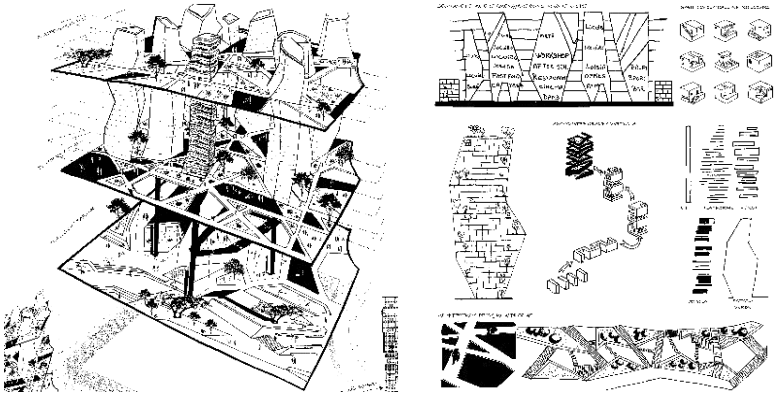


Figura 11. Reprezentări 3D ale unui concept de ansamblu urban mixt
în vederea creșterii densității urbane (sursa: autorul)

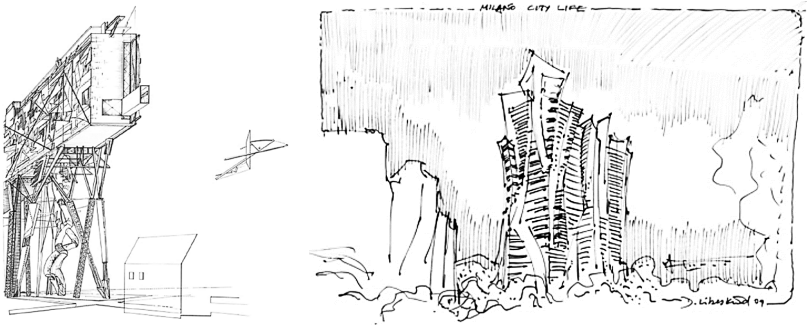


Figura 12. Concepte arhitecturale 3D
(sursa: Expoziție desene Daniel Libeskind[4])

[4] *https://www.dezeen.com/2013/02/28/architectural-drawings-by-daniel-libeskind-at-ermanno-tedeschi-gallery/*, accesată în 25.07.2024.

(c) Machete clasice, tradiționale, reprezintă o formă deosebit de valoroasă de vizualizare și înțelegere a formei urbane. Aceste modele fizice tridimensionale sunt realizate manual și oferă o reprezentare tangibilă a structurii și organizării spațiale a orașelor. Machetele oferă o perspectivă detaliată și cuprinzătoare asupra configurației urbane.

Machetele tradiționale sunt construite din diverse materiale, cum ar fi lemnul, cartonul, plasticul sau alte materiale modelabile. Acestea sunt create la scară, reprezentând cu fidelitate clădirile, străzile, spațiile publice și alte elemente ale peisajului urban. Procesul de realizare a machetelor necesită abilități deosebite de modelare și o atenție meticuloasă la detalii, pentru a reda cât mai precis realitatea urbană.

În planificarea și proiectarea urbană, machetele sunt folosite pentru a vizualiza propunerile de dezvoltare și pentru a evalua impactul acestora asupra mediului construit. Ele permit o înțelegere clară a proporțiilor și relațiilor spațiale dintre diferitele elemente ale orașului, facilitând discuțiile între arhitecți, planificatori și decidenți. Machetele oferă o reprezentare tridimensională realistă, care poate fi examinată din multiple unghiuri. De exemplu, macheta ilustrată permite inserția de noi elemente în cadrul unui țesut urban existent, ajutând la vizualizarea și evaluarea armoniei și coerenței între noile construcții și contextul urban preexistent (*cf*. Figura 13). Prin capacitatea lor de a reda fidel realitatea urbană, machetele contribuie la o mai bună înțelegere a relațiilor spațiale și a impactului dezvoltării urbane, reprezentând o metodă încă actuală pentru modelarea urbană.

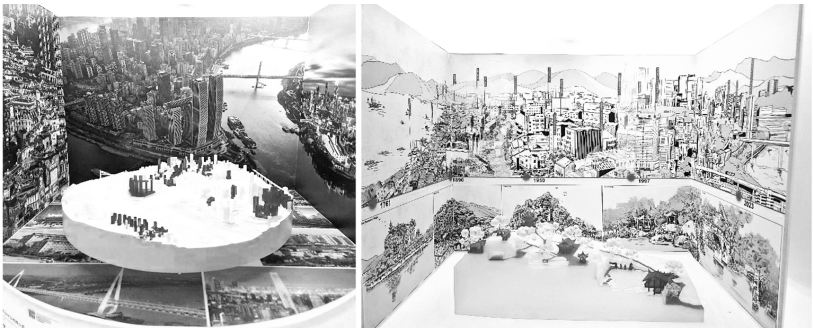


Figura 13. Machetă inserție elemente noi într-un țesut urban existent
(Sursa: autorul[5])

[5] Fotografii personale, realizate în cadrul Bienalei de Arhitectură de la Veneția, 2023, Pavilionul Arsenale, Expoziția Republicii Populare Chineze.

O altă metodă actuală de utilizare a machetei este legată de planificarea participativă, care include consultarea publicului înainte de luarea deciziilor privind viitorul formei urbane. Astfel, machetele devin instrumente esențiale pentru a facilita înțelegerea proiectelor de dezvoltare urbană de către comunitate (*cf*. Figura 14). Atunci când un nou cartier este planificat sau o zonă urbană existentă urmează să fie reamenajată, machetele oferă o reprezentare 3D tangibilă, care permite locuitorilor să vizualizeze cum va arăta viitorul mediu urban.

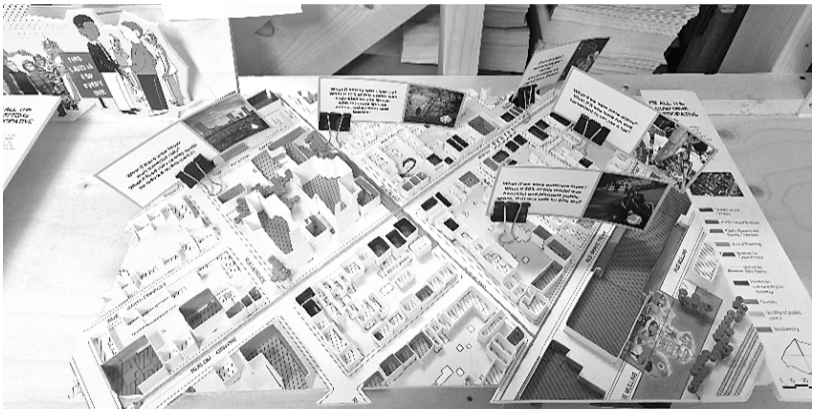


Figura 14. Machetă consultare publică privind dezvoltarea unui cartier
(Sursa: autorul[6])

Reprezentările bidimensionale, tridimensionale și machetele oferă o bază valoroasă pentru înțelegerea evoluției istorice a orașelor și pentru modelarea formei urbane în raport cu nevoile contemporane. Fie că este vorba de hărți și planuri care ilustrează relațiile spațiale și funcționale, desenele tip perspectivă care oferă o viziune realistă a peisajului urban sau machetele care permit o explorare tangibilă a structurilor urbane, fiecare tip de reprezentare contribuie semnificativ la crearea unei imagini detaliate a spațiului urban. Cu toate acestea, complexitatea formei urbane contemporane necesită o abordare integrată care să includă atât metodele tradiționale, cât și tehnologiile moderne. Integrarea datelor digitale și a instrumentelor de modelare computerizată poate amplifica înțelegerea și gestionarea spațiului urban.

[6] Fotografii personale, realizate în cadrul Bienalei de Arhitectură de la Veneția, 2023, Pavilionul Arsenale, Expoziția Canadei.

IV. FORMA URBANĂ ÎN MEDIUL DIGITAL

Capitolul al patrulea explorează tranziția de la forma urbană tradițională și contemporană la cea inteligentă, subliniind rolul esențial al tehnologiei în acest proces. Acest capitol discută modalități pentru modelarea formei urbane prin coduri bazate pe formă (FBC) și prezintă instrumente digitale precum CAD, BIM și GIS, care facilitează procesul de transformare urbană în mediul digital. Practic, capitolul IV demonstrează faptul că aceste tehnici și instrumente permit vizualizarea și analiza formei urbane într-un mod precis și eficient, facilitând procesul de proiectare urbană.

IV.1. Rolul tehnologiei în proiectarea urbană

Evoluția tehnologică are un impact semnificativ asupra dezvoltării formei urbane, prin introducerea de tehnologii noi și instrumente inteligente în orașe. În esență, tehnologiile digitale oferă soluții inovatoare pentru guvernarea și managementul urban (Jamei și alții, 2017; Virtudes și Sá, 2017; Da Cruz și alții, 2019). Implementarea tehnologiilor precum IoT, big data și GIS și a sistemelor de colectare și analiză a datelor, și mai recent a Inteligenței Artificiale, permite o dezvoltare urbană mai bine informată și adaptată erei digitale (Chatterjee și alții, 2022).

În primul rând, apariția Sistemelor de Informații Geografice (GIS) a reprezentat o revoluție în domeniul urbanismului, fiind una dintre primele tehnologii moderne care facilitează tranziția de la forma urbană tradițională la forma urbană inteligentă. GIS-ul integrează date geografice și informații spațiale, oferind o platformă interactivă pentru colectarea, stocarea, analiza și vizualizarea acestor date complexe. Aceasta permite nu doar examinarea detaliată a locației, utilizării terenurilor și infrastructurii, ci și proiectarea formei urbane tradiționale în mediul digital, deschizând astfel noi oportunități pentru modelarea și gestionarea orașelor inteligente (Batty și alții, 1998; Li și alții, 2020). Acest lucru permite cercetătorilor și analiștilor să examineze modele, tendințe și distribuția spațială a fenomenelor geografice (Unwin, 1996). Având în vedere progresul tehnologic și dezvoltarea senzorilor geospațiali și a tehnologiei de teledetecție, GIS-ul deschid noi oportunități pentru colectarea și utilizarea datelor geografice în timp real (Lü și alții, 2019).

În al doilea rând, apariția conceptului de Internet al Lucrurilor (*IoT*) a accelerat semnificativ tranziția de la forma urbană tradițională către forma

urbană inteligentă, prin conectarea obiectelor fizice într-un mediu digital interactiv. Prin echiparea obiectelor sau dispozitivelor (denumite „lucruri") cu senzori, software și conexiuni la internet, IoT permite colectarea și transmiterea automată a datelor în timp real, fără intervenția umană directă (Kim și alții, 2017; Shafiq și alții, 2022). Acestea devin parte integrantă a unei rețele inteligente ce controlează dispozitivele de la distanță, generând fluxuri de date în timp real care facilitează monitorizarea și optimizarea orașelor în aspecte precum traficul, securitatea și eficiența energetică (*ibid*.). Tehnologia *Big Data* (BD), combinată cu IoT, permite integrarea și analiza unei cantități mari și diverse de date, oferind perspective valoroase pentru îmbunătățirea procesului de proiectare urbană (Hashem și alții, 2016).

În al treilea rând, apariția Inteligenței Artificiale (AI) a deschis noi orizonturi, permițând utilizarea sa pentru analiza acestor date extinse în vederea furnizării automate a unor noi informații (Allam și Dhunny, 2019). Rolul Inteligenței Artificiale în domeniul urbanismului a câștigat importanță datorită capacității de procesare și a numărului de aplicații digitale dedicate modelării urbane (Yigitcanlar și alții, 2020; Sanchez și alții, 2022). Inteligența Artificială a permis dezvoltarea unor algoritmi noi pentru optimizarea calculată a tiparelor de utilizare a terenurilor și pentru evaluarea științifică a impactului schimbărilor în ceea ce privește utilizarea terenurilor atât la nivel urban, cât și regional (Cao și alții, 2020; Masoumi și van Genderen, 2022). De exemplu, tehnologia AI poate fi folosită pentru a modela și simula modul în care schimbările propuse prin intermediul unui proiect de dezvoltare urbană pot afecta fluxul de trafic, consumul de energie sau accesibilitatea serviciilor publice într-un oraș (Wu și Silva, 2010). De asemenea, trebuie precizat faptul că integrarea metodelor AI poate fi realizată în diverse faze ale procesului de planificare și proiectare urbană participativă, în cadrul unor etape cum ar fi analiza datelor, comunicare și automatizare, având potențialul de a îmbunătăți procesul decizional cu privire la viitorul orașelor (Du și alții, 2023).

În contextul formei urbane inteligente, Inteligența Artificială îndeplinește un rol tot mai autonom în gestionarea serviciilor urbane și a guvernării, operând fără intervenție umană. Astfel, tranziția de la automatizare la autonomie creează premisele prin care inteligența artificială urbană[7] transformă modul în care orașele sunt gestionate în secolul al XXI-lea (Cugurullo, 2020).

[7] Înțeleasă ca mașini autonome, roboți, precum și „creierul" urban al orașului (*city-brains*) (Cugurullo, 2020). *City Brain* sau „creierul" urban al orașului se referă la „o nouă infrastructură construită pe baza unui volum mare de date, care utilizează Inteligența Artificială pentru a rezolva probleme legate de guvernanța urbană, precum și alte probleme care nu pot fi rezolvate cu ajutorul creierului uman" (Zhang și alții, 2019).

Orașul autonom[8] funcționează cu intervenție umană minimă, bazându-se pe entități AI pentru a efectua sarcini precum modelarea scenariilor urbane care au fost, în mod tradițional, realizate de oameni (Zhang și alții, 2019; Cugurullo, 2020). Până în prezent, sistemele AI au fost folosite mai ales în cadrul studiile urbane pentru abordarea problemelor complexe și dinamice, însă nu s-au limitat doar la funcții analitice. Adoptarea sistemelor AI de către administrațiile locale devine tot mai obișnuită, având un impact semnificativ asupra serviciilor urbane din cadrul orașelor viitorului (Yigitcanlar și alții, 2021). În ciuda unor provocări precum confidențialitatea, responsabilitate și etica utilizării Inteligenței Artificiale, tehnicile AI oferă soluții alternative promițătoare pentru problemele de proiectare urbană și, odată cu avansarea tehnologiei, aceste instrumente pot deveni din ce în ce mai puternice (Wu și Silva, 2010). Cu alte cuvinte, această evoluție aduce atât oportunități, cât și provocări în ceea ce privește viitorul dezvoltării urbane.

Toate aceste tehnologii și soluții pot fi combinate și utilizate împreună pentru a crea soluții integrate de tehnologie aplicabile în domeniul urbanismului. Acestea pot fi utilizate în diverse scopuri, de la identificarea și analizarea datelor de trafic, până la monitorizarea calității aerului și a consumului de energie, în vederea dezvoltării de soluții mai eficiente și durabile pentru orașe.

Integrarea tehnologiei în sistemele de transport urban este esențială pentru îmbunătățirea mobilității, oferind posibilitatea monitorizării în timp real a traficului, optimizării fluxurilor de transport și ajustării rutelor în funcție de nevoile populației (Docherty și alții, 2018; Faria și alții, 2017; Ares și alții, 2017). Platformele digitale și tehnologiile mobile au impulsionat dezvoltarea serviciilor de *ride-sharing*, *car-sharing* și *bike-sharing*, contribuind astfel la reducerea numărului de vehicule pe drumuri, diminuarea poluării și descongestionarea traficului (Lenz și Heinrichs, 2017). În plus, sistemele de transport inteligente și aplicațiile de navigație optimizează gestionarea rutelor în mediile urbane dense, sporind eficiența și facilitând deplasările într-un mod mai rapid și convenabil.

Tehnologiile digitale au îmbunătățit participarea cetățenilor în planificarea și proiectarea urbană, deschizând noi perspective asupra guvernării digitale (e-guvernării). Platformele online și aplicațiile mobile permit cetățenilor să ofere feedback, să-și exprime opiniile și să participe la luarea deciziilor referitoare la dezvoltarea urbană (Wilson și alții, 2019). Aceasta conduce la

[8] Orașul autonom este un oraș în care mașinile autonome, roboții și „creierul" urban al orașului îndeplinesc sarcinile și rolurile pe care obișnuia să le îndeplinească omul în orașul tradițional (Cugurullo, 2020).

o abordare mai democratică și transparentă în procesul decizional, luând în considerare nevoile și dorințele comunităților locale (De Siqueira și alții, 2022). De asemenea, tehnologia sporește transparența în investițiile publice, permițând accesul mai ușor la informații despre proiectele urbane și planurile politice (Kahn și alții, 2018; Hersperger și alții, 2021).

Tehnologia joacă un rol esențial în optimizarea gestionării resurselor urbane, influențând direct domenii precum energia, apa și gestionarea deșeurilor. De exemplu, implementarea sistemelor inteligente de iluminat, care utilizează senzori și algoritmi pentru a ajusta nivelul de lumină în funcție de necesități, contribuie la eficiența energetică și reducerea emisiilor de carbon (Sikder și alții, 2018). Un alt exemplu constă în utilizarea tehnologiilor digitale pentru monitorizarea consumului de energie atât în cazul transporturilor, cât și al clădirilor (Gelenbe și Caseau, 2015). Așadar, integrarea tehnologiei în contextul urbanismului poate conduce către o gestionare mai atentă și eficientă a resurselor în mediul urban (Kramers și alții, 2014).

Prin urmare, utilizarea tehnologiilor în proiectarea urbană joacă un rol esențial și aduce multiple avantaje, permițând o mai mare precizie, eficiență și flexibilitate în procesul de luare a deciziilor. Aceste tehnologii reprezintă o direcție promițătoare pentru dezvoltarea formei urbane inteligente. Integrarea acestora în proiectarea urbană facilitează tranziția de la forma urbană tradițională la forma urbană inteligentă, folosind date în timp real pentru a înțelege și optimiza diferite aspecte ale formei urbane tradiționale.

IV.2. De la oraș inteligent (*smart city*) la formă urbană inteligentă

Evoluția tehnologică a permis dezvoltarea unui concept numit *smart city*, punând bazele unui curent din ce în ce mai practicat în procesele de planificare și proiectare urbană. Orașul inteligent este, de fapt, un oraș care utilizează tehnologiile informaționale și de comunicații pentru a îmbunătăți eficiența serviciilor urbane. În general, orașele inteligente integrează tehnologia în diverse domenii, precum gestionarea resurselor fizice, transportul și mobilitatea, siguranța publică, precum și gestionarea serviciilor publice.

Conform literaturii de specialitate, conceptul de *smart city* a primit diverse definiții în contextul planificării și proiectării formei urbane. În principal, acestea variază în funcție de cultura, nevoile sociale, politicile generale ale comunităților și infrastructurile disponibile (Attaran și alții, 2022). În accepțiunea generală, conceptul implică utilizarea senzorilor, rețelelor de comunicații și analiza datelor în timp real pentru a permite o gestionare eficientă a resurselor urbane.

Termenul de oraș inteligent a fost introdus în anul 1990, odată cu discutarea impactului tehnologiei informaționale și comunicațiilor asupra orașelor moderne (Yin și alții, 2015). Până în prezent, majoritatea lucrărilor de specialitate împărtășesc ideea conform căreia un oraș inteligent utilizează tehnologia și infrastructura digitală pentru a obține beneficii pentru comunitatea urbană. De exemplu, Picon (2015) definește orașul inteligent ca fiind un oraș care folosește tehnologii digitale și informaționale pentru a îmbunătăți performanța sa și pentru a oferi servicii mai bune cetățenilor.

Anthopoulos (2017) și Samih (2019) se concentrează asupra utilizării tehnologiilor informaționale și de comunicații pentru colectarea și utilizarea datelor în timp real, cu scopul de a îmbunătăți eficiența procesului de gestionare a orașului. Alți autori extind definiția prin sublinierea utilizării tehnologiilor digitale pentru a furniza servicii publice de calitate și a aborda provocările urbane legate de mobilitate, mediu, economie și calitatea vieții în cadrul orașelor moderne (Caragliu și alții, 2011; Samih, 2019). De asemenea, tehnologia poate fi utilizată în cadrul orașelor inteligente pentru a îmbunătăți eficiența serviciilor publice, cum ar fi iluminatul public (Bhagavan și alții, 2018), gestionarea optimă a deșeurilor (Idwan și alții, 2020), îmbunătățirea utilizării energiei (Akcin și alții, 2016) optimizarea inteligentă a sistemului de parcare (Ma și Xue, 2020), gestionarea turismului (Nitti și alții, 2017), precum și pentru a îmbunătăți serviciile de mobilitate și a reduce congestionarea traficului, cu ajutorul unor sisteme inteligente de transport (Soomro și alții, 2018; Badii și alții, 2018).

Deși tehnologia aduce numeroase beneficii pentru orașe, conceptul *smart city* nu este lipsit de critici. În ciuda entuziasmului larg răspândit, un număr tot mai mare de autori subliniază că simpla utilizare a tehnologiei nu este suficientă pentru a transforma un oraș într-unul cu adevărat inteligent. O critică frecvent întâlnită se referă la faptul că abordările actuale ale orașelor inteligente tind să se concentreze excesiv pe tehnologie, neglijând dimensiunea socială (Hassan și Lee 2015). Accentul disproporționat pe tehnologie riscă să ignore aspecte cheie precum echitatea socială, implicarea cetățenilor și a comunităților în procesul de dezvoltare urbană (Kitchin, 2014). Studiile recente evidențiază necesitatea unei participări mai active a cetățenilor, subliniind faptul că orașele inteligente pot amplifica inegalitățile sociale și excluziunea digitală dacă nu sunt gândite într-o manieră inclusivă și echitabilă (Nikki Han și Kim 2021).

De asemenea, utilizarea pe scară largă a tehnologiei ridică probleme legate de protecția datelor și securitatea informațiilor. Pe măsură ce orașele devin din ce în ce mai dependente de tehnologie, este imperativ ca acestea să adopte măsuri de securitate cibernetică pentru a proteja confidențialitatea și

integritatea datelor personale ale cetățenilor. Astfel, provocarea majoră pentru viitorul orașelor inteligente nu este doar integrarea tehnologiilor avansate, ci și asigurarea că acestea sunt utilizate într-un mod responsabil și etic.

Cu toate acestea, evoluția digitală și emergența conceptului de oraș inteligent au un impact semnificativ asupra formei urbane, aducând schimbări în domenii precum mobilitatea urbană, gestionarea resurselor, promovarea eficienței energetice în clădiri și infrastructură, contribuind la atingerea sustenabilității urbane (Chatterjee și alții, 2022). Tehnologiile sunt folosite și în cadrul orașelor inteligente, unde sistemul de transport, managementul deșeurilor, iluminatul public și alte aspecte sunt monitorizate și reglate prin intermediul senzorilor și a sistemelor de comunicație. În ceea ce privește mobilitatea urbană, tehnologia digitală a introdus noi moduri de transport și sisteme avansate de gestionare a traficului, precum și aplicații și platforme digitale care facilitează mobilitatea urbană inteligentă (Ares și alții, 2017; Docherty și alții, 2018). Gestionarea resurselor în mediul urban a devenit mai eficientă datorită tehnologiilor digitale, care permit implementarea unor sisteme inteligente de iluminat și monitorizare a consumului de energie (Chatterjee și alții, 2022).

Concret, evoluția tehnologică și emergența conceptului de oraș inteligent au influențat forma urbană tradițională în mai multe moduri.

În primul rând, infrastructura digitală dezvoltată pe fondul evoluției tehnologice asigură o conectivitate (digitală) sporită. Prin dezvoltarea infrastructurii de telecomunicații și a rețelelor de internet de mare viteză, orașele au devenit mai bine conectate și accesibile digital. Acest lucru facilitează comunicarea și schimbul de informații între locuitori și alți actori urbani. Totodată, conectivitatea sporită permite implementarea altor tehnologii digitale, cum ar fi Internetul Lucrurilor (IoT) [9] și sistemul de transport inteligent (Huang și alții, 2001). Prin conexiunea sistemelor inteligente de transport cu dispozitivele mobile, utilizatorilor li se pot oferi informații în timp real despre rute, opțiuni de transport și evenimente care pot influența călătoria. Aplicația de navigație *Waze* constituie un astfel de exemplu care utilizează datele colectate de la utilizatorii pentru a oferi informații în timp real despre trafic și rute alternative (Townsend, 2013).

În al doilea rând, evoluția tehnologică permite colectarea și gestionarea unei cantități mari de date despre diferite aspecte ale vieții urbane, cum ar fi

[9] Internetul obiectelor (IoT) este o rețea de dispozitive fizice și alte elemente încorporate cu electronice, software, senzori și conectivitate, permițând acestor obiecte să se conecteze și să schimbe date (Shafiq și alții, 2022).

traficul, calitatea aerului, consumul de energie și nivelul de poluare (Hashem și alții, 2016; Allam și Dhunny, 2019). Senzorii și dispozitivele conectate pot furniza informații în timp real, care sunt utilizate pentru a monitoriza și evalua performanța infrastructurii și a serviciilor urbane. Acestea date pot fi utilizate pentru a lua decizii informate în vederea îmbunătățirii planificării și proiectării urbane (Townsend, 2013). De exemplu, *Boston's Office of New Urban Mechanics* este o organizație guvernamentală care utilizează tehnologia și datele pentru a îmbunătăți serviciile publice, cum ar fi colectarea deșeurilor, întreținerea drumurilor și gestionarea parcajelor, iar *Streetline* o companie care utilizează senzori și analiza datelor pentru a ajuta municipalitățile să gestioneze mai eficient parcajele publice (*ibid*.).

În al treilea rând, evoluția tehnologică a accelerat dezvoltarea și utilizarea unor platforme digitale și a serviciilor online menite să faciliteze interacțiunea între cetățeni, organizații și autorități publice (Paskaleva, 2009; Vinod Kumar, 2015). Aceste platforme și servicii includ aplicații mobile și platforme de consultare publică și participare cetățenească, servicii de plată online și multe alte servicii din sfera e-guvernării. De exemplu, primăria municipiului Cluj-Napoca a adoptat primul funcționar public virtual, numit Antonia[10], care permite înregistrarea unui număr de 60 de tipuri de cereri, de la distanță. Aceste tipuri de servicii contribuie la crearea unei comunități mai active și implicarea cetățenilor în procesele de dezvoltare urbană (Elisei și alții, 2016).

În final, evoluția tehnologică stimulează, indirect, eficiența și sustenabilitatea în orașe. Prin utilizarea tehnologiilor de monitorizare și control, se pot optimiza fluxurile de trafic, consumul de energie, gestionarea resurselor și alte aspecte ale vieții urbane (Eremia și alții, 2017). Acest lucru poate duce la reducerea emisiilor de carbon, creșterea eficienței energetice și îmbunătățirea calității mediului. În plus, infrastructura digitală facilitează adaptarea formei urbane la provocările și oportunitățile din societatea contemporană (Kim și alții, 2021). De exemplu, *City of Santa Cruz* este un oraș care a implementat un sistem de iluminat public inteligent, ce utilizează senzori pentru a ajusta nivelul de iluminare în funcție de trafic și condițiile meteorologice, contribuind la reducerea consumului de energie și la optimizarea utilizării resurselor (Townsend, 2013).

În esență, conceptul de oraș inteligent (*smart city*) este, de fapt, precursorul formei urbane inteligente, fiind prima noțiune care a abordat utilizarea tehnologiilor avansate în domeniul urbanismului. În acest sens, forma urbană

[10] *https://primariaclujnapoca.ro/informatii-publice/comunicate/comunicat-2679/*, accesată în 25.07.2024.

inteligentă este o formă avansată a formei urbane tradiționale și reprezintă o abordare inovatoare a proiectării orașelor în era digitală. Aceasta implică utilizarea tehnologiilor noi și a datelor în timp real pentru a înțelege și a optimiza diferite aspecte ale formei urbane tradiționale, cu scopul de a îmbunătăți calitatea vieții locuitorilor și a reduce impactul negativ asupra mediului. Forma urbană inteligentă include utilizarea unor tehnologii avansate, precum senzori IoT și rețele de comunicații, pentru a monitoriza și gestiona fluxurile de trafic și de energie, pentru a asigura o gestionare eficientă a resurselor și o mai bună comunicare între locuitori și autorități.

În același timp forma urbană tradițională a suferit modificări semnificative în ultimele decenii pentru a deveni o formă urbană inteligentă, respectiv un oraș care integrează tehnologii avansate în infrastructura urbană și le folosește pentru a genera informații precise, bazate pe datele colectate. Modificările aduse formei urbane tradiționale sunt determinate de necesitatea de a face față provocărilor și de a maximiza beneficiile oferite de tehnologie și date. Astfel, forma urbană inteligentă aduce o nouă perspectivă asupra orașelor în era digitală, prin utilizarea tehnologiilor avansate pentru a extinde și a îmbunătăți diverse elemente ale formei urbane tradiționale în domenii precum industrie, securitate, comerț, sănătate, rezidențial, energie, transport și altele (*cf.* Figura 15). Prin urmare definițiile existente în literatura de specialitate pun în evidență faptul că orașele inteligente folosesc tehnologii avansate și infrastructură pentru a colecta și utiliza date în timp real, a furniza servicii și a aborda provocările cu care se confruntă orașele moderne.

Acestea se referă, în cele mai frecvente cazuri, la îmbunătățirea sustenabilității, a eficienței serviciilor publice, precum și a calității vieții cetățenilor. Totuși, în timp ce unele definiții sunt mai concentrate pe aspectele tehnologice și digitale, altele subliniază nevoia considerării dimensiunii sociale în definirea orașelor inteligente.



Figura 15. Domenii de manifestare a conceptului de oraș inteligent
(sursa: autorul, cu ajutorul inteligenței artificiale[11])

Aceasta este, de fapt, una dintre principalele critici aduse conceptului de oraș inteligent, subliniind faptul că orașul inteligent poate neglija aspecte legate de echitate socială, incluziunea comunității și participarea cetățenilor în procesul de luare a deciziilor cu privire la dezvoltarea urbană. În acest sens, posibilele soluții identificate se referă la creșterea gradului de implicare a cetățenilor în dezvoltarea orașelor inteligente, atât pentru a evita excluziunea digitală, cât și pentru a crește gradul de angajament și colaborare între diverse părți interesate (Kitchin, 2014; Nikki Han și Kim, 2021).

IV.3. Modelarea formei urbane inteligente prin metoda *FBC*

În modelarea formei urbane inteligente, abordările actuale se concentrează pe integrarea datelor complexe preluate din mediul urban prin intermediul senzorilor și a altor instrumente digitale. Cea mai comună metodă pentru modelarea formei urbane inteligente este prin intermediul modelelor tridimensionale digitale. Această abordare integrează date pentru a sprijini

[11] Open art AI, disponibil la adresa: *https://openart.ai/home?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw_ZC2BhAQEiwAXSgClvmcfu7Cx2C15QJwqbgUC5saQAJHfFNQNe61xgVBjjEvxHqJA5hBwxoC3OAQAvD_Bw*, accesată în 20.07.2024.

deciziile informate în dezvoltarea orașelor inteligente, adaptându-se nevoilor actuale ale societății.

Modelarea formei urbane permite o analiză detaliată a elementelor esențiale, cum ar fi densitatea, înălțimea clădirilor, distribuția spațiilor verzi și circulația urbană, oferind o înțelegere profundă a modului în care aceste elemente interacționează și influențează mediul urban. De exemplu, studiile arată că prin intermediul proiecțiilor 3D, cercetătorii au simulat impactul morfologiei urbane asupra transportului urban în megaorașul Beijing (Liu și alții, 2012b). Alte exemple de utilizare a modelării și reprezentării tridimensionale în proiectarea urbană includ identificarea spațiilor deschise din interiorul zonele urbane dense, unde densitatea ridicată a clădirilor reprezintă o provocare (Kaya și Mutlu, 2016), studiul evoluției morfologice (Labetski și alții, 2022) sau chiar eficientizarea dezvoltării urbane, pentru a îmbunătăți consumul de energie (Cousins, 2017).

Prin urmare, reprezentările tridimensionale și analiza spațială bazată pe modelele 3D ale orașului oferă posibilitatea rezolvării problemelor referitoare la îmbunătățirea calității activităților de proiectare a spațiului urban și a modului de transmitere a informației (Zhang și alții, 2004). Aceste progrese au deschis perspective pentru regândirea modului în care este gândită și proiectată forma urbană în era digitală.

În contextul progresului tehnologic și al Mișcării Noului Urbanism, a luat naștere o nouă abordare a practicii de proiectare urbană, numită codificarea bazată pe formă (FBC). Codificarea bazată pe formă se referă la procesul de transformare a informațiilor despre entitățile urbane într-o formă codificată, care poate fi apoi utilizată în analize, evaluări și simulări. Aceste codificări pot fi realizate utilizând diverse tehnici și instrumente, inclusiv sisteme de informații geografice (GIS), modele tridimensionale, diagrame și hărți tematice. Practic, integrarea reprezentărilor 2D și 3D a permis identificarea și analiza caracteristicilor și configurațiilor spațiale ale zonelor urbane cu mai multă ușurință. Acest lucru a fost determinat și de nevoia creșterii capacității de a măsura și a analiza atribute spațiale, în special în sensul standardizării definițiilor operaționale și a metodelor de măsurare a elementelor caracteristice formelor urbane (Clifton și alții, 2008). În acest sens, utilizarea codurilor bazate pe formă este considerată drept un mecanism posibil pentru „remedierea” unei varietăți de condiții problematice în diferite contexte urbane (Scheer, 2010).

Codificarea bazată pe formă sau FBC[12] este o metodă de reglementare a dezvoltării urbane care se concentrează pe formă și aspectul fizic al clădirilor și străzilor, în loc de utilizarea strictă a destinației terenului sau a utilizării solului. Principalele elemente incluse în codurile bazate pe formă sunt planul de reglementare, standarde pentru spațiul public și standarde pentru forme ale clădirilor. Aceste coduri pot include și alte elemente, precum standarde arhitecturale, standarde de peisagistică sau standarde privind signalistica urbană.

Reglementarea elementelor formei urbane inteligente prin intermediul FBC a pornit din SUA, cu exemple celebre precum *Winter Springs* (Florida) și *Farmers Branch* (Texas) sau Cincinnati care reglementează dezvoltarea urbană într-un anumit district sau zonă (*cf.* Figura 16). Cu toate acestea, există și în Europa astfel de exemple, cel mai cunoscut fiind cartierul Vauban din orașul Freiburg (Germania), adoptat în anii ’80. Ansamblul Vauban este o comunitate durabilă construită pe o fostă bază militară dezafectată în 1992.

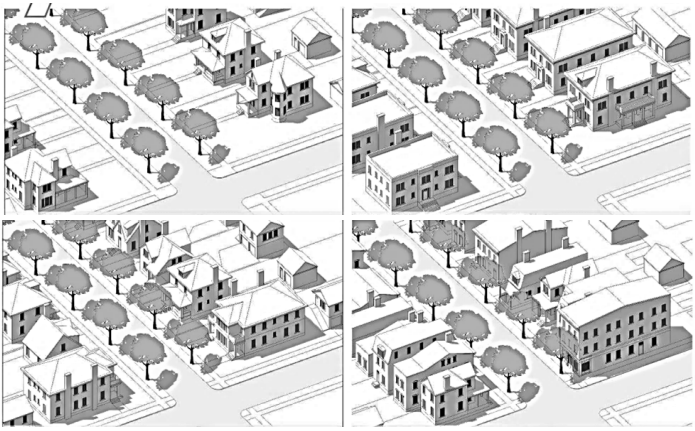


Figura 16. Exemplu de coduri bazate pe formă într-un cartier din Cincinnati[13]

[12] FBC (*Form-Based Code*) este o metodă de planificare și modelare urbană care pune accentul pe aspectul fizic al construcțiilor și pe calitatea spațiului public, mai degrabă decât pe utilizările specifice ale terenului. Conceptul de FBC a fost dezvoltat în anii 1980 de către arhitectul și urbanistul Andres Duany și de Elizabeth Plater-Zyberk.
[13] Sursa: *https://formbasedcodes.org/codes/cincinnati-form-based-code/*, accesată în 22.03.2023.

Codul bazat pe formă pentru cartierul Vauban acordă prioritate utilizării de materiale durabile, precum și dezvoltării de clădiri eficiente din punct de vedere energetic și designului solar pasiv. Codul a fost actualizat în 2015, cu un accent puternic pe designul străzilor și promovarea mobilității durabile. Codul include, de asemenea, reglementări privind utilizarea parcărilor auto și încurajarea opțiunilor de transport durabil. Totuși, trebuie luate în calcul și posibile efecte negative ale mecanismelor de tip coduri bazate pe formă, respectiv aplicarea lor într-un mod care ignoră studiul atent al evoluției modelelor de dezvoltare urbană de-a lungul timpului (Scheer, 2010).

Modelarea formei urbane inteligente se bazează adesea pe utilizarea codurilor bazate pe formă, care joacă un rol esențial în definirea și optimizarea aspectului orașelor (Parolek și alții, 2008). Aceste coduri stabilesc standarde și reguli de proiectare care facilitează crearea și ajustarea formei fizice a orașelor, influențând direct caracteristicile și interacțiunile elementelor urbane. Prin aplicarea acestor coduri, se poate modela forma urbană într-un mod care optimizează integrarea clădirilor și spațiilor publice în contextul urban, promovând o mai bună înțelegere și vizualizare a acestora în cadrul orașului.

Codurile bazate pe formă permit o abordare standardizată și unitară a modelării urbane, influențând atât nivelul detaliat al zonelor urbane, cât și scara mai amplă a întregului cartier sau oraș. Aceste norme sunt cel mai frecvent utilizate în cazurile clădirilor și a spațiilor publice (*cf*. Tabel 2). În general, standardele pentru clădiri includ seturi de reguli referitoare la tipurile de clădiri și amplasarea acestora, în timp ce standardele pentru spațiul public determină forma fizică a zonelor publice, cum ar fi piețe, parcuri, străzi și alte spații deschise.

Tabel 2. Utilizarea FBC pentru clădiri și pentru spațiul public

Norme pentru Forma clădirilor	Aspecte reglementate prin Standarde de Formă a Clădirilor • alinierea clădirilor cu strada; • distanța dintre clădiri și trotuare; • vizibilitatea și accesibilitatea intrărilor în clădiri; • înălțimea minimă și maximă a clădirilor; • acoperirea minimă sau maximă a suprafeței lotului; • acoperirea minimă și maximă a ferestrelor de pe fațade; • elementele fizice obligatorii de pe clădiri (de ex. trepte, terase, balcoane permise); • utilizarea funcțională a etajelor (birouri, rezidențial sau comercial).

Norme pentru spațiul public	Aspecte reglementate prin Standarde pentru spațiul public • dimensiunea secțiunilor transversale; • lățimea spațiului carosabil (benzile de circulație); • lățimea spațiului pietonal (trotuare/ promenade, etc); • amplasarea arborilor; • amplasarea corpurilor pentru iluminat stradal; • amplasarea și dimensionarea benzilor de tranzit;

Sursa: autorul, prelucrare după Parolek și alții, 2008

În acest context, codificarea bazată pe formă reprezintă o modalitate inovatoare de gestionare a spațiului urban prin modelare tridimensională, deoarece permite stabilirea unor standarde clare, dar în același timp flexibile și dinamice, pentru designul și aspectul clădirilor și străzilor, promovând o abordare eficientă din punctul de vedere al utilizării terenurilor. Codurile bazate pe formă sunt un instrument de reglementare care se concentrează mai ales pe relația dintre forma fizică a dezvoltării și utilizarea terenului. În ceea ce privește utilizarea terenurilor, codurile bazate pe formă nu sunt la fel de restrictive ca reglementările tradiționale, deoarece acestea permit o varietate mai mare de utilizări ale terenurilor.

Fără îndoială, există diferențe semnificative între zonarea convențională bazată pe planuri statice și codurile bazate pe formă în ceea ce privește reprezentarea lor. Codurile bazate pe formă sunt mai flexibile, permițând adaptabilitate și răspuns la schimbările dinamice ale orașului, în timp ce zonarea convențională este mai rigidă și mai greu de modificat. În plus, codurile bazate pe formă oferă o reprezentare mai accesibilă și ușor de înțeles, utilizând ilustrații clare (*cf.* Figura 17), spre deosebire de planurile complexe și greu de descifrat ale zonării convenționale. Aceasta facilitează comunicarea și înțelegerea între toate părțile implicate în dezvoltarea urbană.



Figura 17. Diferențe între zonarea convențională, direcțiile de zonare și FBC[14]

[14] *https://formbasedcodes.org/definition/*, accesată în 22.02.2023.

Modelarea formei urbane inteligente prin intermediul codurilor bazate pe formă (FBC) oferă multiple beneficii. Aceste coduri facilitează adaptabilitatea și inovația în proiectarea urbană, oferind standarde și reguli clare care ghidează dezvoltarea orașelor într-o direcție bine definită. De asemenea, permite evaluarea impactului propunerilor de dezvoltare asupra mediului urban existent, facilitând identificarea soluțiilor optime prin analizarea interacțiunilor dintre aspectele arhitecturale, de infrastructură/ transport și de utilizare a terenului.

Deși nu este singura metodă de modelare tridimensională disponibilă, FBC se distinge prin principiile sale clare și linii directoare precise, care promovează o proiectare urbană eficientă și sustenabilă, având la bază standarde de calitate. Alte modalități de modelare digitală a formei urbane inteligente sunt explorate în subcapitolul IV.4, care completează metoda FBC, oferind o perspectivă mai largă asupra abordărilor actuale care contribuie la modelarea urbană în era digitală.

IV.4. Modalități de reprezentare a formei urbane inteligente

Aplicațiile digitale pentru modelarea și reprezentarea formei urbane inteligente permit transpunerea formelor urbane tradiționale în mediul digital, oferind o platformă avansată pentru crearea, explorarea și vizualizarea orașelor într-un mod interactiv. Aceste instrumente se bazează pe tehnologie de ultimă generație, grafică computerizată și sisteme de informații geografice, combinându-le cu software specializat pentru a oferi o reprezentare detaliată a mediului urban. Prin intermediul acestor aplicații, utilizatorii pot crea și modifica modele tridimensionale ale clădirilor, străzilor și spațiilor urbane, explorând în detaliu diferite elemente ale formei urbane.

Utilizarea tehnologiei aduce un nivel ridicat de precizie și eficiență în procesul de modelare a formei urbane inteligente. Aceasta permite vizualizarea diferitelor opțiuni și scenarii într-un mediu digital, reducând costurile și timpii de execuție. Datele devin esențiale în generarea modelelor digitale realiste, iar utilizatorii specializați joacă un rol central în acest proces, interacționând cu aceste date și contribuind activ la dezvoltarea modelelor.

În era digitală, reprezentările tridimensionale (3D) sunt cea mai eficientă metodă de transpunere a formelor urbane tradiționale în mediul digital, contribuind la crearea unei forme urbane inteligente. Aceste reprezentări sunt esențiale pentru vizualizarea detaliată și realistă a mediului construit, permițând o înțelegere mai profundă a relațiilor spațiale și a proporțiilor din

oraș. În comparație cu reprezentările bidimensionale, modelele 3D oferă o perspectivă mai intuitivă, chiar dacă necesită mai multe resurse pentru a fi create. Ele asigură un nivel superior de claritate și realism, facilitând interpretarea și comunicarea ideilor. Modelele tridimensionale joacă un rol esențial în reprezentarea digitală a formelor urbane inteligente, folosind date generate cu ajutorul camerelor de supraveghere, a senzorilor de mișcare și a dispozitivelor portabile inteligente.

Odată cu evoluția tehnologică, reprezentarea și modelarea tridimensională au căpătat o nouă dimensiune prin intermediul proiectării asistate de calculator (CAD), care facilitează crearea și manipularea grafică a elementelor urbane într-un mediu digital (Batty și alții, 2001; Herbert și Chen, 2014). Progresul tehnologic a dus la înlocuirea schițelor desenate de mână cu reprezentări digitale 3D. Această evoluție permite vizualizarea obiectelor spațiale într-un mod mai realist și cuprinzător, aducând o nouă dimensiune în procesul de analiză și luare a deciziilor privind gestionarea resurselor naturale, planificarea infrastructurii și evaluarea impactului asupra mediului (Batty și alții, 2001).

De asemenea, integrarea reprezentărilor bidimensionale (2D) cu cele tridimensionale (3D) a contribuit semnificativ la îmbunătățirea capacității de proiectare, precum și la facilitarea participării publicului la procesele de planificare, proiectare și luare a deciziilor cu privire la evoluția formei urbane (Yu și alții, 2012). Acest lucru demonstrează faptul că dezvoltarea capacităților de vizualizare și analiză în 3D reprezintă o direcție importantă de cercetare și dezvoltare în domeniul urbanismului.

Utilizarea reprezentărilor 3D are ca scop implicare a publicului pentru obținerea unor reacții sau validarea soluțiilor propuse pentru dezvoltarea formei urbane. De exemplu, machetele 3D cu rol consultativ sunt amenajate în cadrul unor instituții cu rol în coordonarea proceselor de planificare și proiectare urbană cum este cazul agenției de dezvoltare SAMOA[15] din Nantes (*cf*. Figura 18 - stânga) sau al administrației publice locale, cum este cazul Primăriei Vilnius (*cf*. Figura 18 - dreapta).

În ambele situații, rolul machetelor 3D este de ilustra viziunea de dezvoltare a orașului, oferind o bază pentru exprimarea opiniilor locuitorilor cu privire la nevoile acestora. Pe lângă machete, modelarea formei urbane în mediul digital se realizează prin instrumente bazate pe tehnologia CAD, BIM și GIS.

[15] SAMOA - Société d'Aménagement de la Métropole Ouest Atlantique.



Figura 18. Reprezentări 3D: dezvoltare urbană Ile-de-Nantes, Franța (stânga) și dezvoltare urbană Vilnius, Lituania (dreapta) (Sursa: autorul)

Instrumente de modelare a formei urbane prin tehnologia CAD și BIM

Aplicațiile bazate pe tehnologia CAD (proiectarea asistată de calculator) și BIM (modelarea informațiilor despre clădiri) sunt esențiale în domeniul urbanismului. Acestea permit crearea unor modele tridimensionale precise și detaliate ale clădirilor, infrastructurii și spațiilor urbane, oferind funcționalități avansate pentru analiza, simularea și vizualizarea acestora. În esență, aplicații bazate pe tehnologia CAD și BIM aplicații oferă instrumente de design și editare, precum și opțiuni avansate pentru gestionarea datelor geospațiale și a atributelor clădirilor într-un mod integrat și colaborativ. Cu alte cuvinte, tehnologiile CAD și BIM oferă o abordare multidimensională a proiectării urbane și a construcțiilor, având funcționalitatea de a integra informații despre geometrie, structură, instalații, eficiență energetică și multe altele într-un singur model digital, optimizând performanța proiectelor (Lorek, 2022).

Proiectarea asistată de calculator (CAD) este o metodă utilizată de profesioniștii din domeniul proiectării pentru a genera și prezentare idei de proiectare într-un mod rapid și eficient (Bosselmann, 1998). Practic, utilizarea tehnologiei CAD permite stocarea și actualizarea informațiilor într-un mod dinamic și facilitează proiectarea și optimizarea arhitecturii și designului urban, oferind posibilitatea evaluării și modificării rapide a conținutului proiectelor. Această metodă permite simularea condițiilor precum iluminarea și materialele prin texturi și culori realiste. Modelele computerizate pot deveni și mai realiste prin animație și prin includerea de persoane, vehicule, amenajări peisagistice și mobilier stradal. Totuși, în ceea ce privește nivelul de detaliu necesar în procesul de luare a deciziilor de proiectare urbană, există o dezbatere în rândul specialiștilor din domeniu. Unii susțin că modelele extrem de detaliate distrag atenția de la aspectele

fundamentale ale formei urbane, cum ar fi retragerile față de limite importante sau chiar dimensiunea propunerii. Alții susțin că, fără detalii arhitecturale, este dificilă imaginarea proiectului în realitate (Levy, 1995). Cu toate acestea, modelele tridimensionale detaliate generate pe calculator sunt extrem de utile în evaluarea impactului dezvoltării urbane asupra formei urbane existente. Astfel, modelarea digitală permite ca noile propuneri de proiectare să fie vizualizate din diferite unghiuri, oferind o modalitate rapidă și eficientă de a explora și de a rezolva problemele de proiectare (Bosselmann, 1998). AutoCAD este unul dintre cele mai populare și răspândite software-uri CAD, dezvoltat de Autodesk[16]. AutoCAD oferă o varietate de funcții pentru proiectarea și modelarea 2D și 3D, fiind utilizat în special pentru a crea desene precise și detaliate, a modela obiecte într-un spațiu tridimensional și pentru a realiza analize și scenarii urbane.

În ceea ce privește tehnologia BIM (*Building Information Modeling*), aceasta este o aplicație colaborativă care permite arhitecților, inginerilor și altor profesioniști din domeniul construcțiilor, proiectarea și construirea unei structuri sau clădiri folosind un model tridimensional comun (Tulubas Gokuc și Arditi, 2017). BIM depășește abordarea tradițională a desenelor și planurilor 2D, permițând schimbul de informații într-un mod coordonat și consistent pe parcursul întregului proces de construcție, punând bazele unei noi paradigme în domeniul arhitecturii (Jasiński, 2020). În acest sens, BIM permite crearea unui model digital 3D al unei clădiri, care include informații detaliate despre geometria clădirii, materialele utilizate, cantitățile și proprietățile componentelor, dar și informații funcționale și de performanță.

Aceste informații sunt centralizate și partajate între toate părțile implicate în proiect și pot fi actualizate pe parcursul întregului ciclu de viață al clădirii, oferind posibilitatea testării unor scenarii de tipul „ce ar fi dacă” (Mirzaei și alții, 2018). În mod cert, aplicația BIM aduce beneficii incontestabile arhitecturii, urbanismului și construcțiilor, cum ar fi reducerea costurilor proiectelor, îmbunătățirea productivității și calității prin interoperabilitatea datelor, scurtarea timpului de livrare a proiectelor și eficiența sporită a proceselor de construcție (Tulubas Gokuc și Arditi, 2017; Jasiński, 2020). Cu toate acestea, implementarea tehnologiei BIM presupune un proces complex și destul de provocator din cauza unor factori umani, infrastructurali și financiari (Deutsch, 2011; Jasiński, 2020).

Prin urmare, BIM este o metodă inovatoare de proiectare și gestionare a informațiilor în industria construcțiilor. Acesta a fost adoptat cu succes în

[16] https://www.autodesk.com/products/autocad/overview?term=1-YEAR&tab=subscription, accesat în 15.05.2023.

majoritatea statelor ca un instrument eficient de îmbunătățire a calității, productivității și eficienței în construcții (Jasiński, 2020). De exemplu, Germania este unul dintre cele mai cunoscute exemple pentru adoptarea tehnologiei în domeniul proiectării urbane și a construcțiilor. ALLPLAN este unul dintre cei mai importanți furnizori de soluții software pentru industria construcțiilor, cu o experiență îndelungată în domeniul BIM. ALLPLAN a dezvoltat software-uri BIM care acoperă toate fazele de proiectare, construcție și gestionare a clădirilor și oferă integrări cu alte software-uri BIM populare, precum Revit. În plus, ALLPLAN a dezvoltare tehnologia Allpan Bimplus, o platformă colaborativă bazată pe *cloud*, care permite utilizatorilor să lucreze împreună pe modele BIM și să partajeze informații în timp real, indiferent de locul în care se află. De asemenea, utilizatorii pot realiza simulări de construcție, pot gestiona procesul de construcție și pot efectua evaluări de costuri.

Concret, ALLPLAN oferă și software-uri BIM pentru proiectarea clădirilor și a orașelor, cum ar fi *ALLPLAN Architecture*, *ALLPLAN Engineering* și *ALLPLAN Urbanism*. De exemplu, ALLPLAN Architecture este un software dedicat urbaniștilor și arhitecților care permite crearea de modele detaliate 3D ale clădirilor, documentarea și ilustrarea acestora într-un mod eficient (*cf*. Figura 36 - centru). Cu ajutorul modulului *ALLPLAN Architecture*, utilizatorii pot crea modele BIM detaliate și precis parametrizate, care integrează toate aspectele relevante ale unui proiect. Prin intermediul funcțiilor BIM avansate, software-ul permite actualizarea automată a tuturor modificărilor efectuate asupra proiectului. Pe lângă modulul de Arhitectură, ALLPLAN oferă și funcția Engineering, respectiv un software BIM specializat în proiectarea structurală a clădirilor.

Acesta permite crearea de modele 3D complexe ale structurilor și analiza comportamentului acestora în diferite condiții. ALLPLAN Urbanism, pe de altă parte, este un software pentru proiectare urbană, care este specializat în proiectarea orașelor, a infrastructurilor și a spațiilor urbane (*cf*. Figura 19). Acest software permite crearea unor planuri de regenerare urbană, modele 3D ale orașelor și simulări ale impactului noilor construcții asupra formei urbane existente. Modulul ALLPLAN Urbanism integrează toate aspectele relevante ale unui proiect referitor la dezvoltarea formei urbane, inclusiv topografia, infrastructura de transport, distribuția activităților funcționale și reglementările locale. Acest software ajută la optimizarea proceselor de proiectare urbană, oferind o gamă largă de instrumente și funcții pentru proiectare. De asemenea modulul de Urbanism permite și proiectarea peisagistică, oferind funcționalități pentru crearea de modele 3D ale parcurilor, grădinilor și spațiilor verzi, precum și simulări ale evoluției vegetației în timp.



Figura 19. Allplan Urbanism și Modul de Infrastructuri [17]

Principalul avantaj al utilizării software-ului ALLPLAN constă în interfața și grafica sa intuitivă, ce facilitează procesul de învățare pentru noii utilizatori și accelerează ritmul de lucru pentru cei experimentați. Astfel aplicațiile bazate pe tehnologia CAD și BIM oferă o gamă largă de funcționalități și instrumente, cum ar fi designul parametric, analizele de performanță, simulările de impact, vizualizările realiste și multe altele. Acestea reprezintă o parte importantă a tranziției de la orașul fizic către orașul digital, permițând proiectarea orașelor într-un mod mai precis, eficient și sustenabil.

Lumion[18] este o aplicație software de vizualizare arhitecturală și urbanistică 3D și creare a animațiilor. Această aplicație este larg utilizată în domeniul arhitecturii, designului urban și peisagistic, precum și în industria construcțiilor. Principala caracteristică a Lumion este capacitatea sa de a transforma modelele 3D complexe create în alte aplicații CAD sau BIM în scene vizuale realiste și impresionante. Practic, utilizatorii pot importa modelele 3D în Lumion și apoi pot adăuga materiale, texturi, iluminare și elemente de mediu pentru a crea o prezentare vizuală a proiectului lor. Unul dintre aspectele remarcabile ale programului Lumion este viteza sa de randare în timp real. Utilizatorii pot vedea imediat rezultatele schimbărilor efectuate în proiectul lor, permițându-le să experimenteze și să ajusteze rapid designul, în funcție de imaginea pe care vor să o obțină.

De asemenea, Lumion oferă o gamă largă de efecte și filtre, permițând utilizatorilor să creeze prezentări de înaltă calitate cu lumini dinamice, umbre realiste, apă mișcătoare și multe altele.

[17]https://www.youtube.com/watch?v=B3hXx3LLq4&ab_channel=ALLPLANEnglish, accesat în 15.05.2023.
[18] https://lumion.com/, accesat în 17.05.2023.



Figura 20. Randare în programul Lumion 10[19]
(Sursa: autorul)

Un alt avantaj important al aplicației Lumion constă în interfața sa prietenoasă cu utilizatorul și intuitivă, ceea ce o face accesibilă chiar și pentru utilizatorii care nu au experiență în domeniul vizualizărilor 3D (*cf*. Figura 20). Aceasta permite și adăugarea de elemente externe, cum ar fi oameni, vehicule și vegetație, pentru a da viață proiectelor și a le face mai realiste. Cu ajutorul Lumion, urbaniștii, arhitecții, designerii și dezvoltatorii pot prezenta proiectele de dezvoltare a formei urbane într-un mod captivant și convingător. În acest context, programul Lumion devine un facilitator important în ceea ce privește comunicarea mai eficientă cu clienții, specialiștii sau a altor părți interesate.

De asemenea, Lumion a devenit o unealtă indispensabilă în procesul de prezentare și vânzare a proiectelor, oferind o perspectivă vizuală mai clară și realistă a viitoarelor construcții și amenajări.

[19]https://www.youtube.com/watch?v=2p7IFFVumxM&ab_channel=URBANIFICARCHITECTURE, accesat în 17.05.2023.

Aplicații bazate pe tehnologia GIS sau georeferențiere spațială

Utilizarea tehnologiei digitale a permis crearea de hărți interactive și dinamice, care pot fi manipulate și actualizate în timp real, oferind informații geografice specifice. Digitalizarea hărților a deschis, de asemenea, calea către dezvoltarea sistemelor informaționale geografice. În ultimele decenii, aplicațiile bazate pe tehnologia GIS (Sistem de Informații Geografic) sau georeferențiere spațială au devenit din ce în ce mai relevante și utilizate în domeniul urbanismului. Aceste aplicații utilizează date geografice și informații spațiale pentru a oferi soluții eficiente în procesul decizional și în gestionarea resurselor. Aceste aplicații permit realizarea unor analize avansate și a vizualizării 3D pentru a înțelege mai bine mediul urban și a identifica soluții optime în procesul de proiectare.

Conform literaturii de specialitate, aplicațiile bazate pe tehnologia GIS au o metodologie bogată pentru crearea, interpretarea, vizualizarea și analiza datelor geo-spațiale și a modelelor de teren (Maliqi și alții, 2017). GIS-ul a devenit un instrument din ce în ce mai mult utilizat în procesul de proiectare urbană, oferind o abordare multistratificată pentru analiza și modelarea formei urbane (Batty și alții, 2001). Sistemele GIS sunt utilizate pentru a stoca și analiza informații cu referință geografică, cum ar fi hărți digitizate și folosesc date privind utilitățile, serviciile și rutele de transport.

Aceste sisteme permit stocarea, gestionarea și analiza datelor spațiale într-un mod structurat și eficient. În practică, aplicațiile bazate pe GIS au avantajul de a putea fi folosite atât în cadrul proiectelor urbane la scară mică, cât și în cazul studiilor sau al proiectelor de planificarea la scară mare, inclusiv pentru managementul resurselor regionale, de mediu, ecologice și naturale (Al-Kodmany, 2000). De asemenea, utilizarea sistemului GIS permite integrarea datelor geografice din diferite surse, cum ar fi imagini aeriene/ satelitare, date topografice sau alte tipuri de caracteristici ale formei urbane. Acest lucru permite o mai bună înțelegere a mediului construit și a interacțiunilor sale complexe, aducând avantaje semnificative în ceea ce privește accesibilitatea și interactivitatea informațiilor geografice.

GIS-ul joacă un rol esențial în fazele inițiale ale procesului de proiectare, în care se construiește o înțelegere a contextului urban, având o influență profundă asupra capacității de a vizualiza datele sub formă de hărți și statistici asociate (Batty și alții, 2001).

Funcționalitățile GIS în contextul formei urbane inteligente sunt legate de analiza și fundamentarea deciziilor de planificare și proiectare urbană, sistemul fiind utilizat pentru a colecta, analiza și vizualiza date spațiale,

inclusiv informații despre forma și configurarea fizică a terenului și clădirilor.

Practic, sistemul GIS furnizează informații care pot fi utilizate în procesul de reglementare urbanistică, oferind informații complete și precise despre mediul urban. Sistemele GIS în domeniul urbanismului pot fi utilizate pentru:

- Identificarea modului de ocupare și utilizare a terenurilor: clasificarea și ilustrarea zonelor funcționale (ex. zone rezidențiale, comerciale, industriale sau de recreere, etc.), pe baza datelor spațiale. Aceste informații permit modelarea formei urbane inteligente în așa fel încât să asigure o bună organizare a zonelor de activități în cadrul formei urbane și o utilizare eficientă a terenului.
- Stabilirea reglementărilor privind înălțimea și densitatea clădirilor: definirea indicatorilor urbanistici privind înălțimea maximă și densitatea clădirilor în diferite zone ale orașului, în funcție de caracteristicile funcționale, pentru a menține un aspect urban armonios și a evita supraaglomerarea sau subutilizarea terenurilor.
- Planificarea și proiectarea rețelei de transport: analiza rețelei de transport existente și dezvoltarea reglementărilor pentru infrastructura rutieră, transportul în comun, infrastructura pietonală și velo. Aceste date contribuie la îmbunătățirea mobilității urbane în cadrul orașelor.
- Protecția zonelor verzi și a spațiilor publice: identificarea și ilustrarea zonelor verzi/ spațiilor publice din cadrul formei urbane, în funcție de caracteristicile acestora (ex. spații publice reprezentative, piețe, zone de recreere, parcuri, grădini, scuaruri, plantații de aliniament, etc.). Aceste informații permit stabilirea unor reguli clare privind integrarea spațiilor verzi și a spațiilor publice în cadrul zonelor construite.
- Planificarea și proiectarea serviciilor pe baza datelor spațiale pentru a dezvolta reglementări care asigură o distribuție eficientă în cadrul orașului a tuturor serviciilor edilitare, cum ar fi alimentarea cu apă, canalizarea, iluminatul stradal, etc.

De exemplu, Universitatea din Oregon a creat în 2005 site-ul web interactiv *Nolli Map*, având intenția de a dezvălui atât semnificația istorică a hărții, cât și principiile formei urbane ce pot influența designul orașului în viitor. În acest sens, pagina web creată de Universitatea din Oregon prezintă harta ca un instrument dinamic, interactiv și practic, ce ilustrează orașul Roma și structura formei sale urbane, evoluția orașului în timp și câteva puncte de interes în dezvoltarea orașului (*cf*. Figura 21).

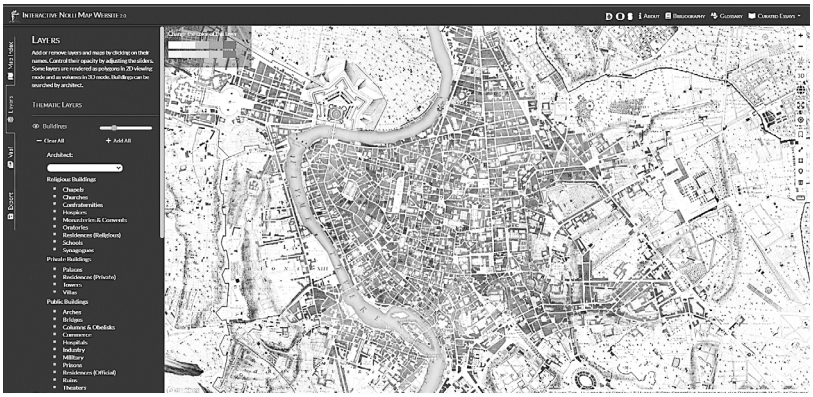


Figura 21. Harta Romei – prelucrare după *Harta Nolli* (1748)
(Sursa web[20])

Între timp, sistemul GIS a fost adoptat pe scară largă în diverse scopuri, de la analiza schimbării utilizării terenului, până la cartografierea densității zonelor urbane sau identificarea zonelor inundabile dintr-un oraș (Tan și alții, 2005; Jat și alții, 2008; Curebal și alții, 2015). Revoluția GIS a transformat forma urbană tradițională într-una inteligentă, prin integrarea datelor spațiale complexe în procesul de planificare și proiectare urbană. Astfel, GIS-ul nu doar că îmbunătățește calitatea analizelor, dar facilitează și luarea de decizii informate în vederea modelării formei urbane (Batty și alții, 2001; Batty, 2009). GIS-ul oferă flexibilitate în vizualizarea spațiului urban, aducând mai multă profunzime prin observarea relațiilor spațiale complexe, identificarea de modele și tendințe ascunse și înțelegerea mai profundă a fenomenelor geografice (Batty și alții, 2001; Zhang și alții, 2012; Herbert și Chen, 2014).

Există chiar și în România un progres vizibil în adoptarea tehnologiei GIS în domeniul planificării și proiectării urbane. Un exemplu concret în acest sens este chiar harta GIS interactivă a Zonei Metropolitane Cluj[21], prima inițiativă pe plan național de dezvoltare a unei platforme de tip GIS metropolitan în România. Platforma conține mai multe straturi de informații, împărțite pe multiple domenii, precum Mediu, Infrastructură, Educație, Sănătate, Demografie, etc., împărțite, la rândul lor, în subdomenii. Astfel, platforma interactivă GIS permite vizualizarea unor date spațiale variate, cum ar fi zone protejate, temperatura solului, distribuția unităților de învățământ, a

[20] *https://web.stanford.edu/group/spatialhistory/nolli/index.html*, accesată în 13.01.2023.
[21] GIS Zona Metropolitană Cluj: *https://beta.getlayer.xyz/cluj/,* accesat în 22.02.2023.

serviciilor de sănătate, culturale și de loisir, a gradului de siguranță, infrastructura de circulații și localizarea stațiilor de transport în comun, distribuția serviciilor de mobilitate, utilizarea terenurilor, limitele terenului intravilan și ale unităților administrativ-teritoriale, precum și vizualizarea unor indicatori precum gradul de circulabilitate pietonală (*walkability*), densitatea populației, etc. Astfel, cu ajutorul hărții GIS interactive, un utilizator poate afla diferite informații despre modul de configurare a formei urbane, precum și informații precise privind localizarea celor mai apropiate dotări publice. De asemenea, platforma include și proiectele majore de dezvoltare propuse la nivelul zonei metropolitane (ex. căi de comunicații, mobilitate urbană, etc.).

De asemenea, rolul sistemului GIS în elaborarea/ actualizarea Planului Urbanistic General al Municipiului București[22] (PUG-ul dinamic) este evident, în sensul capacității acestuia de a gestiona eficient mediul urban în continuă schimbare. În fața provocărilor complexe și imprevizibile ale dezvoltării urbane contemporane, GIS-ul devine un instrument esențial pentru integrarea datelor structurale și funcționale, oferind suport constant în luarea deciziilor. În acest context, PUG-ul Dinamic propune o nouă paradigmă paradigmă a secolului al XXI-lea în domeniul urbanismului, axată pe flexibilitate și adaptabilitate, pentru a răspunde dinamicii socio-economice a orașului. Spre deosebire de planurile rigide anterioare, acest nou PUG valorifică capacitatea GIS de a reglementa și adapta planificarea urbană la schimbările locale, regionale și globale, asigurând o dezvoltare sustenabilă și rezilientă a capitalei.

QGIS (Quantum GIS) și ArcGIS sunt două dintre cele mai frecvent utilizate aplicații GIS, esențiale pentru analizarea și vizualizarea datelor geografice. QGIS, o platformă *open-source* gratuită, se distinge prin flexibilitatea și ușurința sa de utilizare (*cf*. Figura 22). Aceasta este aplicată într-o gamă largă de proiecte, de la modele digitale de teren, până la hărți de risc la incendiu forestier (Maliqi și alții, 2017; Teodoro și Duarte, 2013).

[22] PUG București: *https://pug-bucuresti.uauim.ro/despre,* accesat în 25.07.2024.

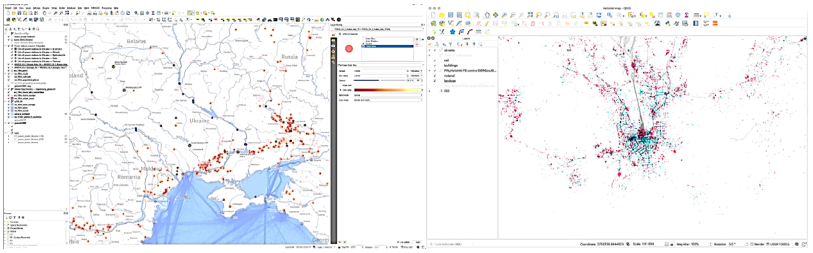


Figura 22. Interfața programului QGIS[23]

În mod similar, ArcGIS, dezvoltat de Esri, oferă o suită completă de instrumente pentru analiza spațială, colaborarea și partajarea datelor prin hărți, aplicații, tablouri de bord și rapoarte (*cf.* Figura 23). Acesta este un instrument esențial pentru reprezentarea formei urbane inteligente (în mediul digital), sprijinind procesele decizionale și managementul resurselor (Zhang și alții, 2016).

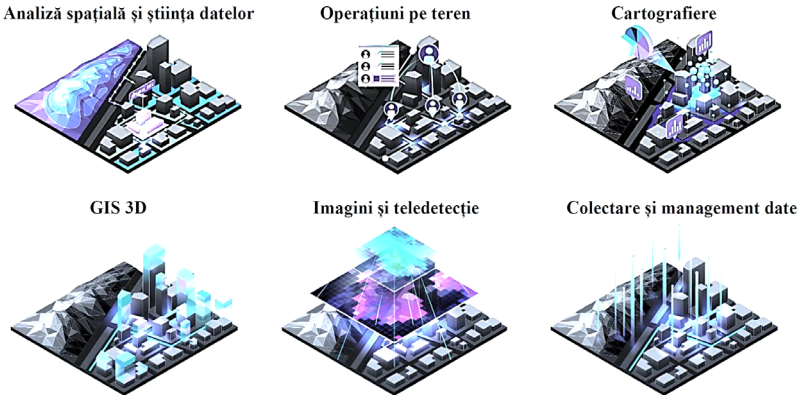


Figura 23. Funcționalitățile programului ArcGIS[24]

Prin adăugarea funcționalității 3D la sistemele GIS, s-au deschis noi oportunități pentru înțelegerea și interpretarea datelor spațiale.

ArcGIS Urban, dezvoltat de Esri, este un software specializat care facilitează planificarea și proiectarea urbană prin crearea de scenarii în timp real, oferind

[23] *https://www.qgis.org/en/site/,* accesat în 17.05.2023.
[24] *https://www.esri.com/en-us/arcgis/about-arcgis/overview*, accesat în 15.05.2023.

o experiență tridimensională pentru o înțelegere mai realistă a utilizării potențiale a terenurilor. Programul permite vizualizarea modului în care noile proiecte vor interacționa cu forma urbană existentă, oferind funcția de a explora mai bine posibilitățile de transformare a formei urbane, pornind de la informații precum țesutul urban construit, densitatea zonelor din oraș, etc. (*cf*. Figura 24).

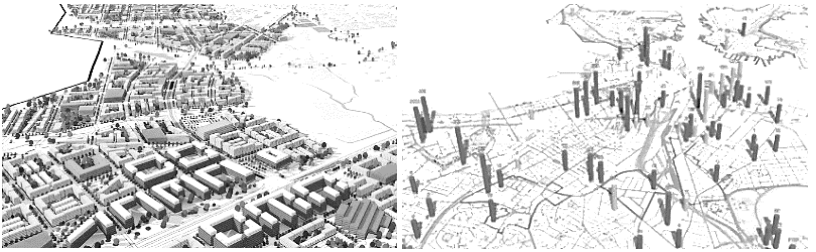


Figura 24. Imagini generate cu ajutorul aplicației ArcGIS Urban[25]

ArcGIS Urban funcționează ca o copie digitală a orașului, integrând multiple straturi de informații și reproducând clădiri și infrastructuri 3D, oferind o vedere holistică asupra dezvoltării urbane (*cf*. Figura 25). Acest instrument accelerează procesul decizional, permițând explorarea scenariilor de utilizare a terenului și zonificare, și monitorizarea performanței urbane pe termen lung.

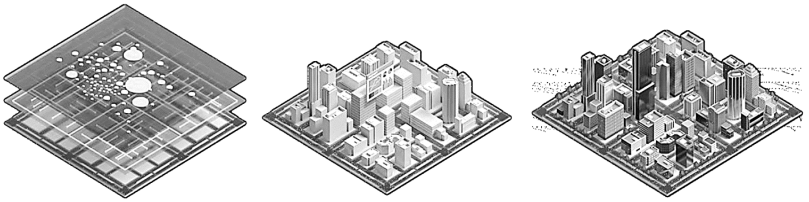


Figura 25. Pașii de funcționare a aplicației ArcGIS Urban[26]

[25] *https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-urban/overview*, accesat în 15.05.2023.
[26] *https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-urban/overview*, accesat în 15.05.2023.

V. FORMA URBANĂ ÎN MEDIUL VIRTUAL

Capitolul al cincilea examinează evoluția formei urbane în contextul realității virtuale și al tehnologiilor avansate, detaliind tranziția de la VR la XR și impactul acestora asupra urbanismului. Subcapitolele discută emergența realității virtuale și extinse, modalitățile de modelare a formei urbane în mediul virtual, precum și diversele reprezentări ale formei urbane virtuale. De asemenea, se analizează modul în care tehnologia VR influențează procesul de proiectare urbană, culminând cu conceptualizarea formei urbane virtuale, care combină inovațiile tehnologice cu nevoile și cerințele societății contemporane.

V.1. Emergența realității virtuale – de la VR la XR

Mai recent, domeniul urbanismului beneficiază de emergența unor tehnologii avansate precum realitatea virtuală (VR), realitatea augmentată (AR) și realitatea mixtă (MR). Aceste tehnologii au un impact semnificativ asupra formei urbane inteligente, chiar dacă efectele lor pot să nu fie întotdeauna vizibile la nivel spațial. Prin realitatea virtuală, utilizatorii pot explora modele virtuale ale orașului, în timp ce realitatea augmentată oferă informații suplimentare despre diferite elemente ale mediului urbane, precum clădiri, servicii publice, infrastructură, în timp real (Huang și alții, 2001). Realitatea mixtă permite interacțiunea cu obiecte virtuale și mediul fizic, facilitând simulări și evaluări ale diferitelor scenarii urbane. Aceste tehnologii oferă avantaje considerabile în procesele de proiectare urbană, deoarece contribuie la o mai bună înțelegere a formei urbane și a funcționalității orașului și permit testarea scenariilor de dezvoltare într-un mediu digital, în realitatea virtuală, înainte ca acestea să producă efecte în mediul fizic.

Realitatea virtuală (VR) reprezintă o experiență simulată creată prin intermediul tehnologiei, în care utilizatorii interacționează cu un mediu digital, în realitatea virtuală. Conform literaturii de specialitate, realitatea virtuală reprezintă o lume alternativă plină de imagini generate de calculator (Steuer, 1992; Çöltekin și alții, 2020). Alte definiții fac referire la o interfață care facilitează interacțiunea între om și calculator, prin crearea unui mediu interactiv de imersiune senzorială, care este controlat în funcție de comportamentul utilizatorului (Achten și alții, 1999; Abdelhameed, 2013). Această experiență este posibilă prin utilizarea unor dispozitive specializate

care includ ochelari sau căști ce facilitează imersiunea în realitate virtuală, controlere și senzori de mișcare, precum și o infrastructură hardware adecvată și pachete software specializate, capabile să gestioneze și să afișeze grafica și interacțiunile în timp real (Kähkönen, 2003). Astfel, utilizatorul poate interacționa cu această realitate virtuală prin mișcările corpului sau prin intermediul instrumentelor speciale. Primul set de căști VR a fost proiectat în 1960, fiind folosit pentru a permite utilizatorilor se simtă ca și cum ar fi prezenți într-o lume digitală (Sutherland, 1968).

Termenul de realitate virtuală a fost introdus în anii '80 de Jaron Lanier, pionier al tehnologiei VR și fondator al *VPL Research* (Shen și Shirmohammadi, 2008). Lanier a dezvoltat primele unelte VR și a contribuit semnificativ la popularizarea tehnologiei în diverse industrii precum design, medicină, militar și divertisment, promovând totodată potențialul ei de a îmbunătăți calitatea vieții prin experiențe imersive (*ibid*.).

Dezvoltarea tehnologiei de realitate virtuală nu ar fi fost posibilă fără o serie de progrese tehnologice majore care să pună bazele sale (*cf*. Figura 26). Practic, evoluția tehnologiei care a permis dezvoltarea realității virtuale începe cu primele etape de progres în domeniul electronicii, până la inovațiile recente.

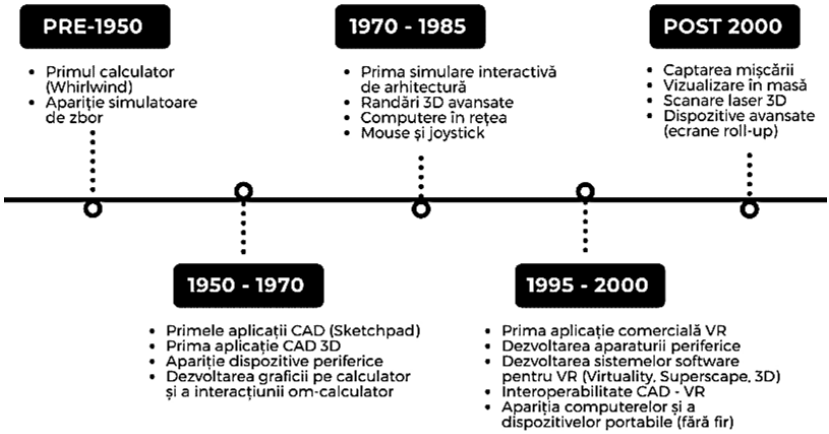


Figura 26.. Evoluția tehnologică ce a pus bazele dezvoltării VR
(prelucrare după Nikolić și Whyte, 2021)

Evoluția tehnologiei de la primul calculator „Whirlwind” până la dezvoltarea dispozitivelor periferice, cum ar fi mouse-ul și joystick-ul a fost esențială pentru dezvoltarea realității virtuale. Între 1950 și 2000, progresele în CAD, simulările și randările 3D, rețelele de calculatoare și interoperabilitatea CAD-VR au deschis noi posibilități în domeniul jocurilor, ingineriei, arhitecturii și urbanismului. După 2000, tehnologiile avansate de captare a mișcării și dispozitivele portabile au permis crearea de experiențe virtuale tot mai realiste, transformând interacțiunea cu mediul digital și extinzând aplicațiile VR în domeniul proiectării, educației, divertismentului și multe altele.

Realitatea virtuală (VR) modernă permite utilizatorilor să experimenteze medii alternative cu un puternic sentiment de prezență (Loureiro și alții, 2020). Aceasta este utilizată frecvent în jocuri video, arhitectură și educație pentru a crea experiențe imersive și simulări realiste sau pentru a permite utilizatorilor să vizualizeze și să exploreze modele 3D ale clădirilor și orașelor (Jerald, 2016). În industria AEC (Arhitectură, Inginerie și Construcții), VR îmbunătățește eficacitatea și comunicarea în procesele de planificare urbană și proiectare a clădirilor (Delgado și alții, 2020a). Pe măsură ce tehnologia avansează, se anticipează un impact tot mai mare asupra interacțiunii noastre cu mediul digital (Jerald, 2016).

Realitatea virtuală se distinge prin faptul că informațiile sunt generate și transmise digital, recreând senzorial o experiență artificială. Spre deosebire de realitatea fizică, unde informațiile sunt percepute direct prin simțuri, realitatea virtuală simulează aceste semnale pentru a crea un mediu interactiv controlat de tehnologie. În acest mediu, timpul și spațiul sunt flexibile: mișcarea poate fi accelerată, încetinită sau inversată, iar spațiul este recreat digital, fără prezență fizică reală. Astfel, realitatea virtuală permite experiențe care depășesc limitările lumii fizice, oferind o nouă dimensiune de interacțiune și percepție.

În esență, VR integrează componente *hardware* și *software* ale unui calculator pentru a construi un mediu 3D simulat, diferit de vizualizarea normală, în care utilizatorii pot experimenta senzații realiste și se pot simți prezenți în acea lume virtuală (Milgram și Colquhoun, 1999). Realitatea virtuală face parte dintr-un concept mai larg al realității extinse (XR), care cuprinde și alte tehnologii, precum realitatea augmentată (AR) și realitatea mixtă (MR) (Milgram și Kishino, 1994). Tehnologiile VR extind realitatea fizică prin folosirea de echipamente digitale specializate pentru a integra informații suplimentare în mediul real (*cf*. Tabel 3). Aceste tehnologii combină grafica pe calculator și senzorii pentru a crea experiențe imersive pentru a testa și a evalua efectele, înainte de a influența realitatea fizică.

Tabel 3. Diferențe VR (mediul digital) și Urbanism (mediul real)

VR	–	URBANISM
Mediu Digital	–	**Mediu Real**
(„lumea" virtuală de date)		(cadrul urban fizic în care trăim)
Realitate virtuală	–	**Realitate fizică**
(echipamente digitale specializate)		(simțuri și percepții ale oamenilor)
Interacțiuni indirecte	–	**Interacțiuni directe**
(efecte, acțiuni, decizii cu impact în mediul real)		(conexiuni fizice, nevoi, aspirații)

Sursa: autorul

Totuși, trebuie precizat faptul că între realitatea virtuală și realitatea fizică nu există o separare atât de clară și rigidă. Literatura de specialitate subliniază prezența unui „continuum al virtualității" (Milgram și Kishino, 1994). Acest continuum descrie modul în care obiectele și mediile virtuale și reale pot fi amestecate și integrate în diverse moduri, indicând la un capăt mediile exclusiv reale, iar la celălalt mediile exclusiv virtuale (*cf*. Figura 27).

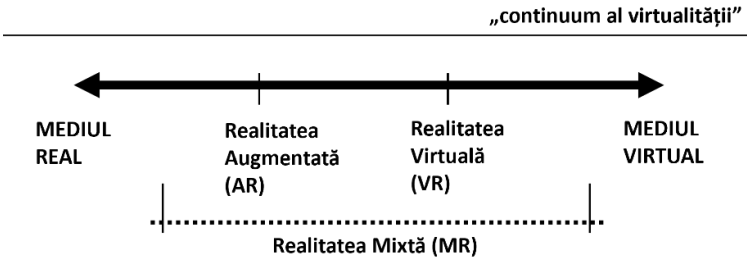


Figura 27. „Continuumului virtualității" (prelucrare după Milgram și Kishino, 1994)

În practică, există numeroase situații în care aceste două tipuri de medii se pot intersecta și se pot combina pentru a crea medii mixte sau realități mixte. Aceste medii mixte pot include afișarea simultană a obiectelor și informațiilor virtuale într-un mediu real sau adăugarea de elemente virtuale într-un mediu real existent. Astfel, continuumul virtualității oferă o perspectivă mai complexă asupra relației dintre realitatea virtuală și realitatea fizică, evidențiind că aceste două tipuri de medii pot coexista și interacționa în diferite grade și modalități, oferind utilizatorilor o gamă variată de

experiențe în funcție de modul în care obiectele și mediile virtuale și reale sunt integrate în cadrul unui mediu de afișare (*ibid*.).

Practic, orice tip de experiență care îmbină realitatea fizică cu cea virtuală se poate identifica sub umbrela tehnologiilor de realitate extinsă (XR) (Çöltekin și alții, 2020). În esență, conceptul de XR se referă la o abordare integrată a acestor tehnologii și experiențe, care implică fuziunea mediilor digitale și fizice. În acest fel, termenul XR acoperă un spectru larg de tehnologii care îmbină limitele dintre domeniul fizic și cel digital (Paradiso și Landay, 2008). Astfel, elementele cheie care contribuie la experiența XR sunt: existența unui mediu digital (creat artificial), imersiunea, feedback-ul senzorial și interactivitatea. Cu toate acestea, există și medii virtuale nonimersive, considerate tot o formă de VR (Sherman și Craig, 2003).

În principal, cele trei tipologii de realitate - VR, AR și MR (*cf*. Tabel 4) explorează diferite niveluri de interacțiune între utilizator și mediul virtual sau mediul real, oferind experiențe diferite și deschizând noi posibilități în domenii precum industria jocurilor, sectorul medical, inginerie, arhitectură, urbanism, construcții, design interior, precum și în scopuri educaționale, de formare și de cercetare (Mazuryk și Gervautz, 1999). Există multiple definiții și interpretări ale diferitelor părți ale continuumului XR, însă principalele diferențe dintre aceste tehnologii se reflectă în cadrele de referință spațiale utilizate pentru fiecare în parte (Evans, 2018). VR creează un mediu complet digital, în care utilizatorul este total imersat și interacționează doar cu obiecte virtuale, în timp ce AR suprapune obiecte virtuale asupra mediului real, îmbunătățind câmpul vizual al utilizatorului cu informații digitale fără a-l scufunda complet într-un mediu virtual. MR combină elemente din ambele realități, integrând obiecte digitale în spații fizice și permițând interacțiunea între elementele virtuale și cele reale.

Tabel 4. Definirea termenilor din spectrul realității virtuale

Forma de realitate	Definiție succintă și caracteristici principale
Realitatea virtuală (VR)	VR reprezintă o experiență creată prin intermediul tehnologiei, în care utilizatorii interacționează, în timp real, cu un mediu digital și se simte complet implicat în această lume virtuală (Greenwood și alții, 2008). VR oferă posibilitatea utilizatorilor de interacționa cu obiective în mediul virtual și a evalua, într-un mod interactiv și captivant, diferite scenarii și soluții, pe baza unor simulări realiste (Chavan, 2016). VR implică crearea unei realități virtuale și oferirea unei experiențe de prezență în acel mediu, care poate fi experimentat în moduri diferite, de la interacțiunea cu obiecte digitale până la experimentarea unor scenarii de viață sau de lucru (Jerald, 2016).
Realitatea augmentată (AR)	AR reprezintă o tehnologie care folosește VR pentru a adăuga, în timp real, obiecte virtuale în medii reale, folosind dispozitive tehnologice pentru suprapunerea imaginilor (Azuma, 1997; Chalmers, 2017). Această tehnologie este folosită pentru a „augmenta" câmpul vizual al utilizatorului prin intermediul instrumentelor specializate cum ar fi căștile cu afișaj sau alte dispozitive electronice (Caudell și Mizell, 1992). AR reprezintă o combinație de obiecte virtuale și obiecte din lumea reală, astfel încât utilizatorii să poată experimenta o iluzie realistă atunci când folosesc obiecte digitale pentru a explora mediul real (Kan, 2011).
Realitatea mixtă (MR)	MR reprezintă o combinație între un mediu pur fizic (sau „real") și un mediu pur virtual, oferind posibilitatea de interacțiune comună între mediul real și experiențele virtuale (Milgram și Kishino, 1994; Holz și alții, 2011). MR reprezintă o combinație între AR și VR (Milgram și Kishino, 1994; Yusoff și alții, 2011). MR implică referințe spațiale pentru a conecta obiecte digitale, cum ar fi hologramele, în spații din realitatea fizică (Speicher și alții, 2019).

Sursa: autorul

De fapt, principala diferență dintre MR, AR și VR se bazează pe abilitatea utilizatorului de a interacționa cu elementele digitale sau virtuale în lumea reală (Milgram și Kishino, 1994; Yusoff și alții, 2011) (*cf*. Figura 28). În cazul AR, utilizatorul poate vedea și experimenta suprapuneri virtuale în lumea reală, prin intermediul unor dispozitive digitale. În acest caz, interacțiunea este în principal vizuală, iar utilizatorul nu poate manipula sau interacționa fizic cu obiectele virtuale. În cadrul MR, utilizatorul nu doar vede suprafețele sau obiectele virtuale, ci poate și interacționa fizic cu acestea în lumea reală și le poate manipula. În cazul VR, utilizatorul este transpus într-un mediu digital, în realitatea virtuală generat de computer, cu ajutorul unor dispozitive specializate, mediul fizic fiind complet înlocuit de mediul virtual.

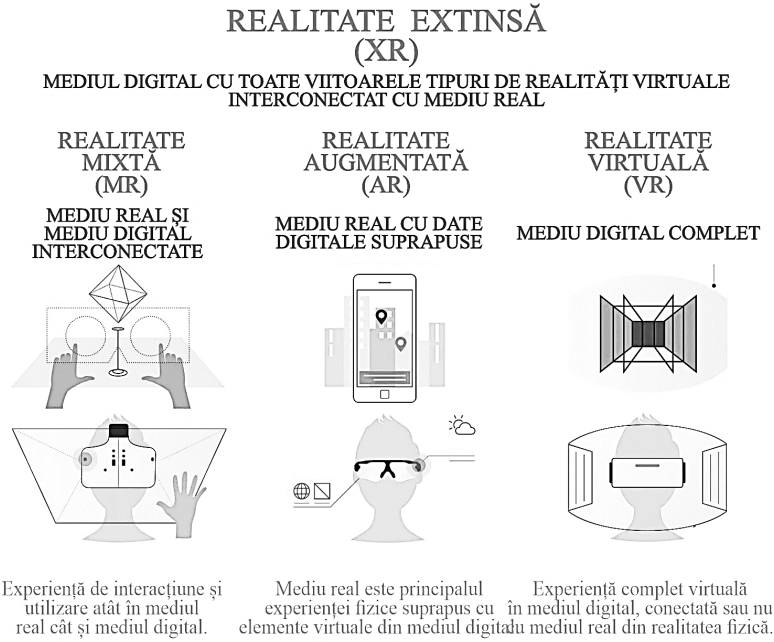


Figura 28 Principalele caracteristici ale sistemelor VR-AR-MR și exemplificarea aplicării acestora (Sursa: autorul)

Cercetările în domeniul realității virtuale au identificat patru caracteristici esențiale pentru crearea unei experiențe captivante: imersiunea, interactivitatea, intensitatea informațiilor și inteligența obiectelor (MacEachren și alții, 1999; Lanier, 2017). Imersiunea se referă la sentimentul profund de a fi complet absorbit într-un mediu digital, unde utilizatorul interacționează cu obiecte virtuale ca și cum ar fi reale (Slater și alții, 1994). Interactivitatea permite utilizatorului să influențeze și să manipuleze elementele din mediul virtual, îmbunătățind astfel angajamentul și controlul asupra experienței. Intensitatea informațiilor se referă la nivelul de detaliu și complexitate al stimulilor prezentați, contribuind la realismul și autenticitatea experienței VR.

Inteligența obiectelor adaugă un alt strat de complexitate, implicând interacțiunea cu obiecte digitale care au comportamente inteligente și reacționează în mod dinamic la acțiunile utilizatorului. În ultimi anii, studiile au evidențiat faptul că activitatea utilizatorului în vederea obținerii imersiunii este, de asemenea, esențială (Evans, 2018). Pentru a obține o imersiune deplină în VR, utilizatorii trebuie să se miște, să exploreze și să interacționeze cu mediul virtual pentru a trăi o experiență captivantă și autentică (*ibid*.). Gradul de imersiune într-o experiență de realitate virtuală este amplificat prin implicarea diferitelor simțuri: vizual, auditiv și tactil.

Sistemele de clasificare a imersiunii recunosc patru tipuri principale de imersiune, fiecare contribuind la crearea unei experiențe unice prin implicarea simțurilor (Jerald, 2016). Imersiunea vizuală se axează pe calitatea imaginilor și efectele vizuale, oferind utilizatorului o experiență imersivă, dar realistă. Prin intermediul căștilor VR și a controlerelor, utilizatorii pot avea senzația că se află fizic în acel mediu virtual simulat și pot naviga prin el, observând diferite elemente. Imersiunea auditivă implică sunete și efecte sonore care sunt sincronizate cu acțiunile vizuale, aducând un plus de realism și autenticitate prin folosirea dispozitivelor tip căști. De exemplu, în proiectarea urbană imersiunea auditivă poate fi creată prin utilizarea sunetului ambiental și a efectelor sonore precum zgomotul traficului, voci umane sau sunetul păsărilor.

Imersiunea haptică/ senzorială stimulează simțul tactil, permițând utilizatorilor să experimenteze senzații fizice precum atingerea și presiunea în timpul interacțiunii cu mediul virtual, folosind dispozitive precum mănuși haptice sau dispozitive de simulare a rezistenței fizice. Imersiunea cognitivă se concentrează pe implicarea mentală și emoțională a utilizatorului, prin crearea unui mediu captivant și provocator. Prin implicarea mentală și emoțională a utilizatorului, imersiunea cognitivă își propune să creeze o conexiune puternică între utilizator și mediul virtual.

De asemenea, imersiunea în realitatea virtuală poate fi clasificată în funcție de gradul de imersiune, variind de la sisteme simple la cele sofisticate (Lee și Wong, 2014; Southgate și alții, 2018; Beverly și alții, 2022; Omlor și alții, 2022). Prima categorie, VR non-imersivă, implică utilizarea unui ecran de calculator sau similar pentru a vizualiza medii 3D sau videoclipuri la 360 de grade, controlând mișcarea prin periferice precum joystick-uri sau mouse-uri (Maas și Hughes, 2020). Este cea mai accesibilă formă de VR, oferind utilizatorilor conștientizarea că se află într-un mediu digital.

A doua categorie, VR semi-imersivă, adaugă ochelari de realitate virtuală pentru a oferi o experiență mai profundă, permițând utilizatorilor să exploreze lumea virtuală cu ajutorul dispozitivelor de control, fiind utilizată frecvent în educație și formare. Cea mai avansată categorie este VR complet imersivă, unde utilizatorii sunt complet absorbiți în mediul virtual. Aceasta utilizează echipamente avansate, precum căști VR și dispozitive de urmărire a mișcărilor, oferind o experiență extrem de realistă și interactivă.

Imersiunea în VR este esențială pentru a crea sentimentul de prezență în mediul digital. Diferența majoră între VR non-imersivă și VR imersivă constă în nivelul de implicare și senzația de prezență resimțite de utilizatori. VR imersivă oferă o experiență captivantă și interactivă, în timp ce VR non-imersivă se bazează mai mult pe observarea mediului virtual (*cf*. Tabel 5).

Imersiunea în VR joacă un rol esențial în modelarea și proiectarea formelor urbane, oferind diferite niveluri de implicare și realism. VR non-imersivă, utilizată în jocuri precum *SimCity,* permite vizualizarea și simularea planurilor urbane pe ecrane de calculatoare, oferind un grad redus de realism. VR semi-imersivă, exemplificată de *Google Earth VR*, îmbunătățește realismul prin combinarea imaginilor virtuale cu mediul real, fiind ideală pentru explorarea și analiza interactivă a planurilor urbane. VR complet imersivă, utilizând căști VR avansate, permite o vizualizare realistă și detaliată a diferitelor aspecte ce aparțin formei urbane.

Tabel 5 Caracteristici ale celor trei tipuri de sisteme VR

Tipuri	***VR non-imersivă***	***VR semi-imersivă***	***VR imersivă***
Gradul de realism	- grad de realism relativ redus (în comparație cu VR imersivă); - imersiune senzorială incompletă; - gradul de realism variază în funcție de calitatea graficii, a efectelor vizuale și a sunetului.	- grad mediu de realism în ceea ce privește grafica, sunetul și interacțiunea cu mediul virtual; - îmbină imagini și elemente virtuale cu mediul real.	- grad ridicat de realism, generat de imagini și efecte vizuale/ sonore de înaltă calitate; - imersiune completă într-un mediu digital, în realitatea virtuală tridimensional.
Dispozitive necesare	- dispozitive de afișare: ecrane de calculatoare, monitoare, proiectoare; - sisteme care utilizează dispozitive de intrare standard, cum ar fi controlere, tastaturi și mouse-uri pentru a interacționa cu mediul virtual.	- dispozitive mai avansate decât în cazul VR non-imersivă (ex. dispozitive portabile care suprapun imaginile virtuale cu cele din mediul real), dar fără a necesita echipamente complexe de VR (ex. căști).	- afișaje montate pe cap, căști VR (cum ar fi Oculus Rift, HTC Vive, PlayStation VR) și controlere speciale (cum ar fi Oculus Touch, HTC Vive Controllers sau mănuși haptice).

Beneficii	- afișarea și vizualizarea interactivă a mediilor virtuale tridimensionale ; - oferirea unei perspective clare asupra mediilor virtuale.	- permite interacțiunea atât cu mediul virtual, cât și cu mediul real și permite vizualizarea obiectelor virtuale în mediul lor real.	- permite utilizatorilor să se afle în interiorul mediului virtual, oferind o experiență de imersiune totală.
Exemple concrete	- jocuri precum FIFA, The Sims, Simcity, World of Warcraft, în care utilizatorii pot explora lumi virtuale fără a necesita echipamente speciale de VR.	- aplicația Google Earth VR, care permite utilizatorilor să exploreze și să navigheze prin întreaga lume într-un mediu digital tridimensional	- jocuri precum Beat Saber, Job Simulator, care oferă utilizatorilor o imersiune completă într-un mediu digital captivant.
Scopul utilizării (în proiectarea urbană)	- vizualizarea interactivă a planurilor de dezvoltare; - simularea experiențelor de utilizator în mediul urban și evaluarea impactului proiectelor asupra mediului urban.	- vizualizarea, analiza și explorarea modelelor și a planurilor urbane; - testarea diferitelor idei și soluții într-un mediu digital interactiv.	- vizualizare și simulare realiste a proiectelor de dezvoltare urbană; - testare eficientă și colaborare optimizată.

Sursa: autorul

Combinarea imersiunii vizuale, auditive, haptice și cognitive în realitatea virtuală oferă o experiență extrem de captivantă și realistă, esențială în procesele de modelare și proiectarea urbană. Această integrare permite utilizatorilor să exploreze, testeze și simuleze diferite aspecte ale formelor

urbane într-un mod interactiv și detaliat, contribuind la luarea unor decizii mai bine informate.

Utilizarea VR permite vizualizarea interactivă a planurilor de dezvoltare, simularea experiențelor de utilizator în spațiile publice propuse, evaluarea impactului proiectelor asupra mediului urban într-un mod virtual și eficient, precum și creșterea gradului de transparență decizională și participare publică în procesele de proiectare urbană. Această tehnologie poate, de asemenea, să ajute la îmbunătățirea comunicării dintre echipele de proiectare și clienți, oferind o modalitate mai intuitivă de a comunica ideile de proiectare. Practic, tehnologia VR poate ajuta la creșterea preciziei și a calității proiectelor. Prin intermediul imersiunii în VR, utilizatorii pot interacționa cu diferite elemente din proiecte, cum ar fi texturile, lumina și efectele de sunet, pentru a avea o mai bună înțelegere a modului în care va arăta spațiul real când va fi construit.

Un sistem de realitate virtuală (VR) include componente hardware, software și dispozitive de intrare și ieșire, precum dispozitive de urmărire a poziției, dispozitive de control, afișaje vizuale, intrări și ieșiri auditive și dispozitive haptice (*cf.* Figura 29). Acestea permit explorarea detaliată a formelor urbane, în timp ce afișajele vizuale, imersive sau nonimersive, oferă perspective variate asupra spațiului urban (Nikolić și Whyte, 2021).

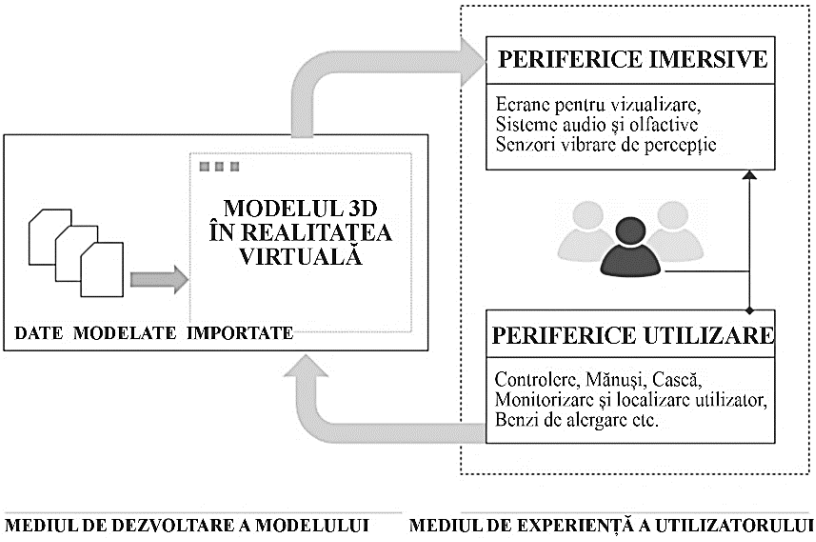


Figura 29. Componente ale unui sistem VR – hardware și software
(prelucrare după Nikolić și Whyte, 2021)

Interfața pentru utilizator este esențială în arhitectura sistemelor de VR, având rolul de a facilita interacțiunea utilizatorilor cu mediul virtual și este alcătuită din elemente precum butoane, meniuri, câmpuri de introducere a datelor și alte elemente grafice (Meixner și alții, 2011; Roth, 2017). În navigația urbană, interfețele VR și AR utilizează tehnologii precum GPS și modelare 3D pentru a îmbunătăți orientarea și a furniza informații în timp real (Hussain și alții, 2018).

Totodată, interfețele tangibile pentru utilizator (*Google Glass* și *Hololens*) utilizate în AR combină interfețele digitale cu obiecte fizice pentru a crea o experiență mai intuitivă (Ishii și alții, 2004). Exemple precum sketchand+ și simulările AR pentru iluminat în timp real demonstrează aplicabilitatea acestor tehnologii în proiectarea urbană (Seichter, 2003; Silcock și alții, 2021).

V.2. Modelarea formei urbane în mediul virtual

În era digitală, modelarea formei urbane a evoluat semnificativ datorită avansurilor tehnologice, în special prin utilizarea aplicațiilor bazate pe parametrizarea automată a datelor. Aceste instrumente digitale, care depășesc simpla modelare 3D și integrarea GIS, se bazează pe algoritmi și tehnologii avansate pentru a genera automat modele 3D complexe și detaliate ale clădirilor și infrastructurii urbane. Procesul începe cu definirea unor seturi de parametri și reguli prestabilite, care includ caracteristici precum înălțimea, lățimea, configurația fațadelor și alte detalii arhitecturale, precum și reguli urbanistice privind amplasarea construcțiilor pe parcele sau alte orientări privind modul de confirmare a spațiului urban. Ulterior, software-ul automat generează modelele 3D în concordanță cu aceste parametri, fără a fi nevoie să creeze manual fiecare detaliu.

Prin intermediul tehnologiilor avansate, modelarea urbană nu mai necesită intervenție manuală la nivel de detaliu, ci se realizează automat, conform parametrilor specificați de utilizator. Acest lucru permite o explorare rapidă și eficientă a diferitelor variante de proiectare urbană, facilitând identificarea soluțiilor optime în raport cu specificul contextului urban. În plus, aceste modelarea formei urbane în mediul virtual oferă oportunități semnificative pentru colaborare între urbaniști, arhitecți și alte părți interesate, permițând o comunicare clară și eficientă pe parcursul întregului proces.

Această abordare nu doar că economisește timp și resurse, dar deschide și noi perspective în planificarea urbană, contribuind la realizarea unor proiecte inovatoare și personalizate care răspund mai bine nevoilor și cerințelor

mediului urban contemporan. Astfel, modelarea formei urbane în mediul virtual devine un proces mai dinamic, adaptabil și orientat spre performanță, susținut de cele mai recente tehnologii digitale.

Pe măsură ce a avansat tehnologia, aplicațiile bazate pe parametrizarea automată au căpătat din ce în ce mai multă popularitate și utilizare în domeniul arhitecturii și al urbanismului. Aceste aplicații au devenit o alegere preferată pentru urbaniști, arhitecți, și dezvoltatori, datorită capacității lor de a accelera și eficientiza procesul de proiectare și modelare a formei urbane.

Modelarea formei urbane în mediul virtual utilizează parametrii specifici pentru a crea și ajusta structurile urbane, facilitând explorarea diferitelor scenarii de dezvoltare urbană. În loc să se concentreze pe detaliile de proiectare tradiționale, această abordare automatizează procesul de modelare prin introducerea de parametri esențiali care guvernează forme și funcțiuni urbane.

În cadrul acestui sistem, aplicațiile software precum *Modelur*[27], *ArcGIS CityEngine*[28], *3D Cityplanner*[29], *TestFit*[30], *ENVI-MET*[31] și multe altele, joacă roluri esențiale, fiecare contribuind la diferite aspecte ale modelării urbane prin parametrizare automată.

De exemplu, Modelur este specializat în generarea automată a modelelor de clădiri pe baza unor parametri urbani cheie (cum ar fi numărul de etaje sau suprafața totală a clădirii). Aplicația permite calculul în timp real atât al indicatorii de control al dezvoltării urbane (cum ar fi procentul de ocupare a terenului, coeficientul de utilizare a terenului, etc.), cât și cerințele (cum ar fi numărul de locuri de parcare sau suprafața zonele verzi) bazate pe normativele în vigoare.

Acest software ajută la crearea rapidă a studiilor în variante privind viitorul formei urbane. De asemenea, Modelur oferă posibilitatea de a vizualiza rapid și eficient diferite scenarii de dezvoltare, iar estimările financiare și cerințele de proiectare urbană sunt actualizate automat în funcție de schimbările aduse proiectului (*cf*. Figura 30).

[27] *https://modelur.com/features/*, accesat în 15.05.2023.
[28] *https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-cityengine/overview*, accesat în 15.05.2023.
[29] *https://3dcityplanner.com/*, accesat în 15.05.2023.
[30] *https://testfit.io/testfit-for-urban-planning*, accesat în 15.05.2023.
[31] *https://www.envi-met.com/*, accesat în 15.05.2023.

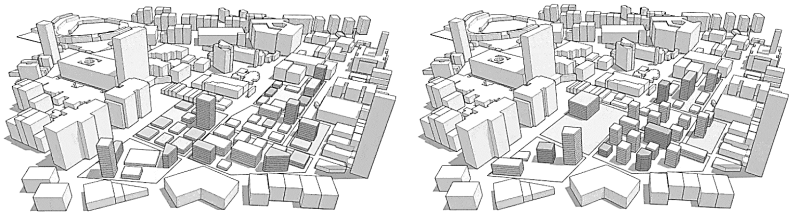


Figura 30. Variante generate automat cu ajutorul aplicației *Modelur*[32]

ArcGIS CityEngine facilitează procesul de modelare a formei urbane prin crearea de orașe virtuale și gemeni digitali urbani, utilizând contextul urban (real) existent pentru a adăuga clădiri și alte elemente, consolidând astfel modelele 3D complexe. Programul permite crearea de modele detaliate ale mediului urban, inclusiv clădiri, străzi, parcuri și alte elemente, pentru a obține o reprezentare realistă a orașului. Cu ArcGIS CityEngine, procesul de modelare 3D este unul rapid și eficient, deoarece oferă o paletă bogată de instrumente și funcționalități pentru a desena și edita forme 3D complexe. Utilizatorii pot aplica reguli de design și parametri specifice pentru a crea automat diferite tipuri de clădiri și structuri, simulând aspectul urbanistic al unui oraș real (*cf*. Figura 31). Eficiența sa a fost confirmată prin utilizarea în diferite proiecte de dezvoltare urbană, fiind folosită pentru a testa scenarii alternative (Badwi și alții, 2022) (*cf*. Figura 32).

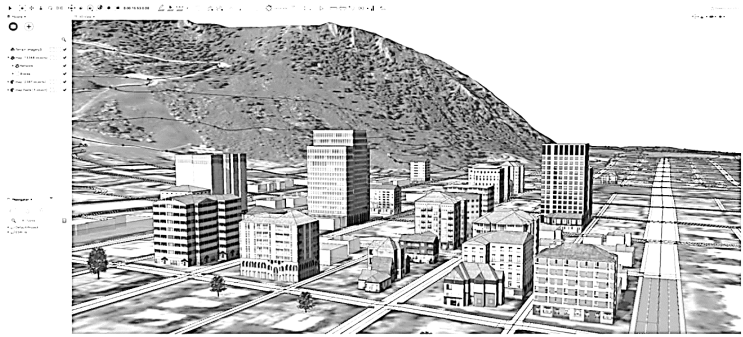


Figura 31. Imagini generate cu ajutorul aplicației *ArcGIS CityEngine*[33]

[32] *https://modelur.com/features/*, accesat în 15.05.2023.
[33]*https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-cityengine/overview,* accesat în 15.05.2023.

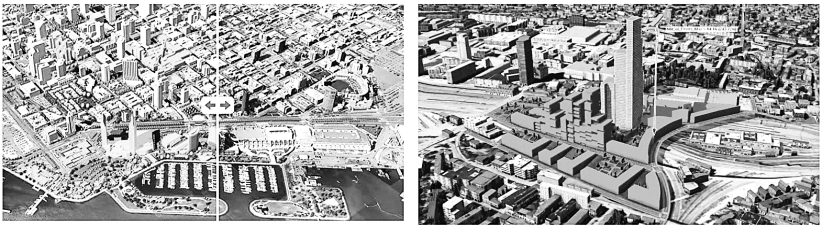


Figura 32. Imagini generate cu ajutorul aplicației ArcGIS CityEngine[34]

Similar, aplicația *3D Cityplanner*, dezvoltată de *StrateGis Groep BV* oferă o platformă intuitivă pentru vizualizarea și calcularea planurilor spațiale într-un mod intuitiv. Una dintre caracteristicile-cheie ale aplicației *3D Cityplanner* este generarea automată a clădirilor, permițând utilizatorilor să creeze rapid și ușor modele cu ajutorul preferințelor lor, cum ar fi dimensiunile lotului sau suprafața construită (*cf*. Figura 33). Aplicația *3D Cityplanner* oferă o gamă largă de funcționalități care permit utilizatorilor să creeze modele 3D și să calculeze diferite aspecte în cadrul proiectelor de dezvoltare urbană, cum ar fi costurile, utilizarea terenului și sustenabilitatea unei soluții (*cf.* Figura 34).

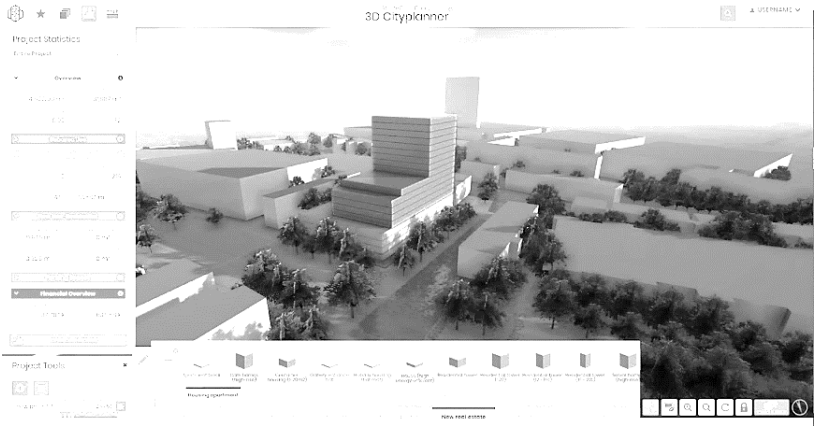


Figura 33. Imagine generată automat cu ajutorul aplicației *3D Cityplanner*[35]

[34] *https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-cityengine/overview*, accesat în 15.05.2023.
[35] *https://3dcityplanner.com/*, accesat în 15.05.2023.

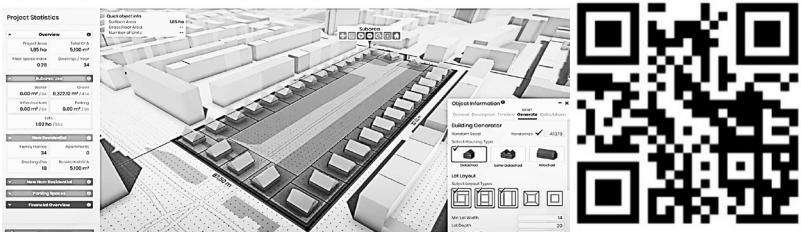


Figura 34. *3D Cityplanner*: generare automată a clădirilor și cartierelor[36]

TestFit se remarcă, de asemenea, prin generarea automată a planurilor pentru diverse tipuri de clădiri (rezidențiale, comerciale și de birouri) și structuri urbane. Utilizatorii pot specifica parametrii cheie, cum ar fi dimensiunea lotului, înălțimea maximă, procentul de ocupare și alte cerințe, iar aplicația generează planuri multiple în funcție de aceste criterii (*cf*. Figura 35). *TestFit* oferă funcționalități pentru o analiză rapidă a fezabilității unui proiect, inclusiv evaluarea numărului de unități rezidențiale, spațiilor de birouri sau comerciale, precum și necesitățile privind numărul de locuri de parcare și alte aspecte. De asemenea, utilizatorii pot ajusta și personaliza rapid planurile generate de aplicație, adăugând sau eliminând spații, modificând dimensiunile și distribuția unităților sau regândind configurarea clădirilor. *TestFit* permite exportarea planurilor în formate compatibile cu alte aplicații BIM/ CAD.

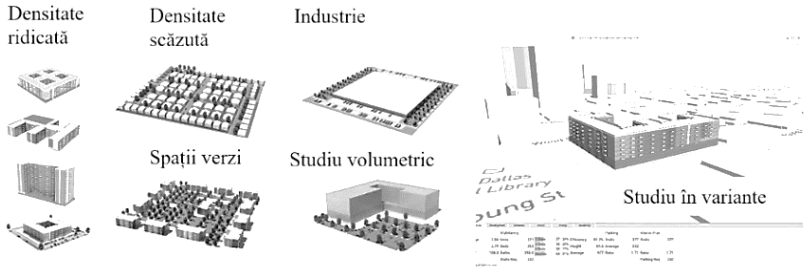


Figura 35. Imagini generate cu ajutorul aplicației *TestFit*[37]

[36] *https://www.youtube.com/watch?v=0lksmhE4E48&feature=youtu.be&ab_channel=3D Cityplanner-StrateGisGroep*, accesat în 15.05.2023.
[37] *https://testfit.io/,* accesat în 18.05.2023.

TestFit a câștigat popularitate în rândul profesioniștilor atât din industria construcțiilor, cât și din domeniul urbanismului și arhitecturii, datorită vitezei și eficienței sale în generarea planurilor și a analizelor de fezabilitate (Kendall, 2023). *TestFit* permite definirea contextului sitului, includerea spațiilor comerciale, a zonelor de locuire cu densitate ridicată și planificarea rețelei de drumuri. Practic, aplicația *TestFit* oferă diferite variante de organizare a zonei urbane, prin generarea automată a clădirilor și modificarea tipologiilor acestora în conformitate cu cerințele de fezabilitate și regulile de construire (*ibid*.). Utilitatea aplicației *TestFit* se datorează și faptului că integrează elemente 3D, facilitând evaluarea proiectului în contextul urban existent.

ENVI-MET este un software avansat, utilizat pentru modelarea microclimatului urban și evaluarea impactului schimbărilor climatice asupra mediului construit. Prin simularea interacțiunii dintre atmosferă, clădiri, vegetație și sol, *ENVI-MET* permite evaluarea efectelor microclimatice și confortul termic în diferite condiții meteorologice. Principalele caracteristici ale aplicației *ENVI-MET* includ simularea detaliată a microclimatului urban, analiza efectelor încălzirii urbane, evaluarea confortului termic resimțit de oameni, studiul efectelor vegetației urbane, simularea schimbărilor climatice și evaluarea sustenabilității energetice a clădirilor (*cf*. Figura 36).

Recent, a fost realizat un model urban digital pentru a evalua confortul termic al pietonilor în zona de reînnoire urbană "*City North*" din Melbourne, în contextul „Planului Melbourne” (Jamei și alții, 2017). Studiul a folosit *ENVI-MET* pentru a analiza impactul viitoarelor planuri de dezvoltare asupra microclimatului și confortului termic din zonă. Rezultatele au arătat că schimbările în morfologia urbană și peisajul afectează interacțiunea dintre construcții și microclimat, influențând confortul termic uman. Studiul a sugerat strategii, precum zone de umbră cu arbori sau umbrele, pentru a îmbunătăți confortul termic al pietonilor în cadrul dezvoltările urbane viitoare.

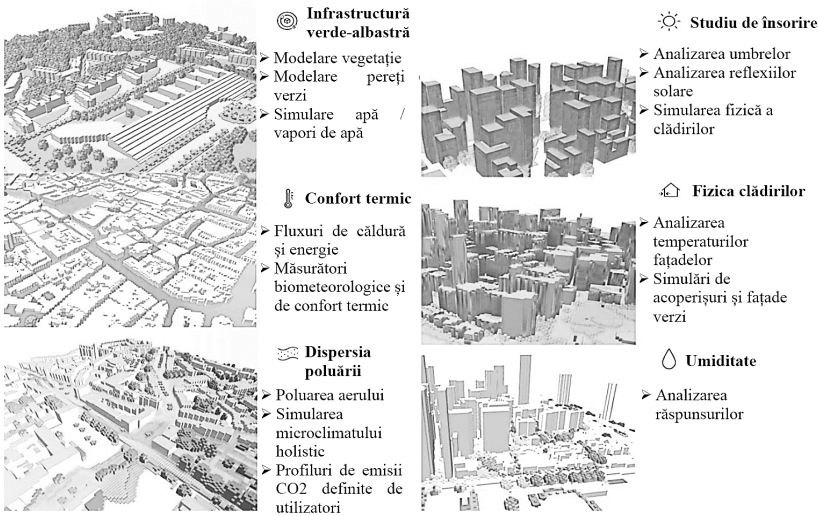


Figura 36. Imagini generate cu ajutorul aplicației *ENVI-MET*[38]

De asemenea, utilizarea teoriei fractalilor în modelarea automată a formei urbane reprezintă o abordare inovatoare pentru înțelegerea și generarea structurilor urbane complexe. Fractalii sunt modele geometrice care se repetă la diferite scări și sunt caracterizați prin detalii și structuri recursive (Mandelbrot, 1982). Caracteristica fractalilor constă în faptul că fiecare iterație a modelului reprodus trebuie detaliată (Falconer, 2003). Una dintre principalele proprietăți ale fractalilor este auto-similaritatea, respectiv capacitatea de a-și păstra forma și structura la orice scară de observare (Edgar, 2008). Această auto-similaritate permite fractalilor să umple spațiul într-un mod mai eficient decât formele tradiționale, fiind un aspect esențial în simularea și analiza urbană (Mandelbrot, 2004).

Teoria fractalilor, popularizată de cercetători precum Batty (1992) și Frankhauser (1998), evidențiază că principiile fractalilor sunt deosebit de potrivite pentru simularea creșterii organice a orașelor. Fractalii pot fi folosiți pentru a genera modele de dezvoltare urbană care reflectă complexitatea și evoluția naturală a orașelor, oferind noi perspective asupra sistemelor urbane și regionale. Salingaros (2005) a extins aceste aplicații în arhitectură și urbanism, argumentând că formele fractalilor contribuie la crearea unor medii urbane mai plăcute și funcționale. În esență, teoria fractalilor subliniază caracterul evolutiv al formei urbane și evidențiază aspecte de

[38] *https://www.envi-met.com/,* accesat în 18.05.2023.

continuitate și discontinuitate în structura sa (Florescu, 2009). Această teorie oferă o perspectivă operațională asupra formei urbane, subliniind atât caracterul evolutiv al formei și fenomenului urban, precum și subtilitățile continuității și discontinuității în structura sa (*ibid*.).

Un exemplu de fractal utilizat în acest context este fractalul cutiei sau figura lui Vicsek (1989), care este generat prin subdivizarea iterativă a spațiului. Acest fractal oferă un model de auto-similaritate care poate fi aplicat pentru a reflecta aspectele geometrice și creșterea urbană, fiind util în simularea formelor urbane complexe. Cu toate acestea, pentru a măsura eficient sistemele fractale, este esențial ca indicele utilizat să fie clar definit, deoarece lipsa unei valori definitive poate conduce la rezultate inconsistente.

Există mai multe etape ale procesului infinit de umplere a spațiului prin care un fractal își schimbă forma, etape ce pot fi asimilate cu procesele de creșterea urbană, în timp ce procesul recursiv de subdiviziune spațială, poate fi asimilat cu aglomerarea regională.

Cu certitudine, definirea unei formule clare pentru auto-generarea formelor urbane rămâne o provocare, însă utilizarea fractalilor oferă o metodă promițătoare de modelare spațială și înțelegere a formei urbane. În cadrul proiectului de disertație intitulat „iCity24/7" și realizată în 2018, în cadrul programului de Master Proiectare Urbană la Universitatea de Arhitectură și Urbanism „Ion Mincu", am explorat aplicarea conceptului de fractal în contextul procesului de modelare urbană. Această cercetare a demonstrat cum fractalii pot genera forme urbane complexe și detaliate la diferite scări.

Am folosit software-ul *Mandelbulb 3D*[39] pentru a crea o reprezentare fractală a formei urbane, parametrizând aspecte precum densitatea, înălțimea construcțiilor și modul de configurare a spațiului urban (*cf.* Figura 37).

[39] Mandelbulb este un fractal tridimensional, construit pentru prima dată în 1997 de Jules Ruis și dezvoltat în continuare de Daniel White și Paul Nylander în 2009. Sursa*: https://www.skytopia.com/project/fractal/2mandelbulb.html*, accesat în 25-10-2022.

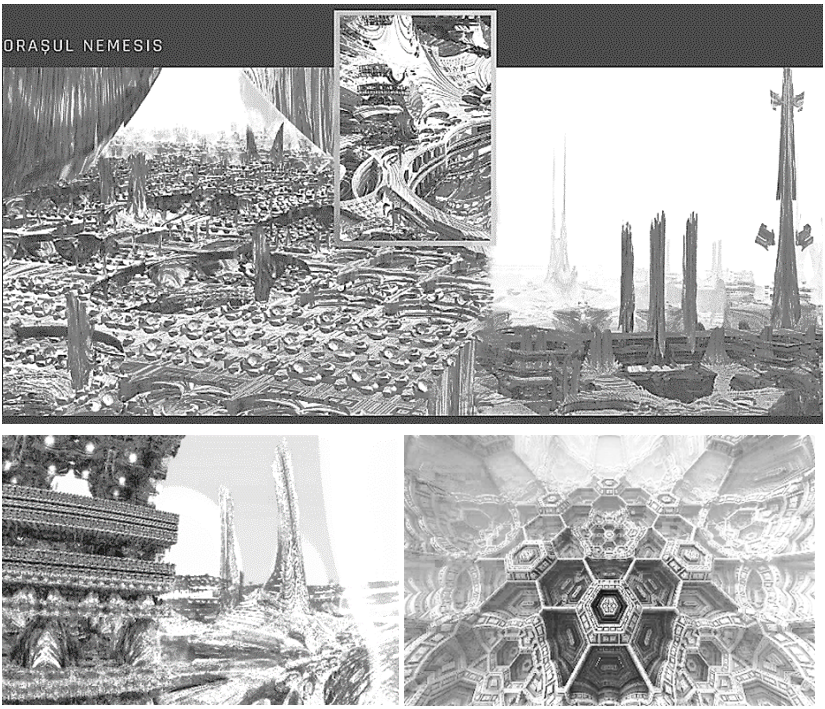


Figura 37. Studiu Master – Modelarea automată sau auto-generarea orașului Nemesis, folosind softul *Mandelbulb 3D* (Sursa: autorul)

Prin modelarea formei urbane în mediu virtual, bazată pe aplicații de auto-generare și parametrizare a datelor introduse inițial, a adus o schimbare semnificativă în domeniul urbanismului. Aplicațiile CAD și BIM, cum ar fi *Allplan* și *AutoCAD*, rămân fundamentale pentru proiectarea tridimensională și vizualizarea detaliată, punând bazele unei forme urbane inteligente, care nu este altceva decât o proiecție în mediul digital a formei urbane tradiționale sau contemporane. Tehnologiile GIS, precum *QGIS* și *ArcGIS*, adaugă o dimensiune suplimentară prin integrarea modelului digital în contextul urban existent, permițând analiza detaliată în timp real.

Mai recent, tehnologiile avansate și aplicațiile bazate pe parametrizarea automată a datelor, cum ar fi Modelur, ArcGIS CityEngine, 3D Cityplanner și TestFit, oferă soluții inovatoare pentru generarea automată a formei urbane și optimizarea parametrilor pentru dezvoltare urbană.

Aceste aplicații permit crearea eficientă a scenariilor urbane și evaluarea impactului asupra mediului fizic înainte de a produce efecte asupra acestuia,

asigurând conformitatea cu reglementările urbanistice. De exemplu, Kendall (2023) încurajează urbaniști, arhitecții și dezvoltatorii să facă trecerea de la schițe manuale la o abordare a proiectării urbane bazată pe date, susținută de tehnologie.

Toate aceste tehnologii avansate contribuie fundamental la transformarea modului în care se realizează proiectarea urbană, oferind modalități mai precise și eficiente de a vizualiza, analiza și evalua formele urbane. Ele permit o înțelegere mai profundă a impactului planurilor de dezvoltare asupra mediului construit și contribuie la luarea deciziilor urbane fundamentate.

Progresul tehnologic continuă să îmbunătățească aceste aplicații, înlocuind schițele tradiționale cu modele 3D detaliate și medii imersive, cum ar fi realitatea virtuală (VR), care oferă o experiență mai completă a proiectelor urbane. Aceste inovații ajută la crearea unor orașe inteligente și adaptabile, pregătite să răspundă provocărilor contemporane.

V.3. Reprezentări ale formei urbane virtuale

Reprezentarea formei urbane în mediul virtual a evoluat semnificativ odată cu integrarea tehnologiilor avansate, permițând o explorare mai profundă și detaliată a dinamicii spațiale și temporale a orașelor. Una dintre cele mai inovatoare metode de reprezentare este cea cvadrimensională (4D), care adaugă o dimensiune temporală modelelor tridimensionale (3D), oferind posibilitatea de a vizualiza evoluția și transformările unui spațiu urban pe parcursul timpului.

Utilizarea unei dimensiuni suplimentare (în afara celor trei dimensiuni obișnuite - lungime, lățime și înălțime), denumită adesea „a patra dimensiune” sau timp, permite nu doar reprezentarea statică a formelor urbane, ci și animarea secvențelor care ilustrează schimbările dinamice într-un mediu tridimensional (Hartmann și Fischer, 2007; Bruno și alții, 2019). Avantajul reprezentărilor cvadrimensionale constă în faptul că se realizează prin intermediul proiecțiilor ortografice din orice poziție și punct de vedere al unui obiect sau spațiu (Hartmann și Fischer, 2007).

Această abordare deschide noi orizonturi pentru înțelegerea evoluției urbane și pentru realizarea de simulări precise ale transformărilor spațiale în funcție de variabile temporale. De exemplu, prin crearea de animații 3D și simulări dinamice, urbaniștii pot observa modul în care se dezvoltă o clădire sau o zonă urbană pe parcursul timpului.

Există multiple modalități prin care se realizează reprezentarea cvadrimensională, precum:

- Animații 3D, care oferă o reprezentare vizuală a evoluției unui sistem sau fenomen în timp, prin redarea succesivă rapidă a unor cadre tridimensionale, generând impresia unei reprezentări a evoluției în patru dimensiuni.
- Simulările și modelele dinamice, care utilizează medii digitale sau realitate virtuală pentru a analiza și simula schimbările și interacțiunile în timp ale obiectelor într-un spațiu tridimensional.
- Vizualizări ale datelor temporale, care folosesc grafice sau diagrame 3D care au o a patra dimensiune, reprezentând timpul. Aceste reprezentări ajută la identificarea tendințelor și a recurențelor în cadrul datelor temporale.

Reprezentările cvadrimensionale (4D) aduc o inovație majoră în domeniul urbanismului, permițând analiza detaliată și vizualizarea evoluției spațiilor urbane în timp. Aceste tehnici sunt esențiale pentru sprijinirea deciziilor în planificare, facilitând analiza schimbărilor spațiale și temporale și îmbunătățind comunicarea informațiilor în domeniul construcțiilor și al planificării și proiectării urbane (Spanedda, 2003). Studiile, precum cele realizate de Tanikawa și Hashimoto, 2009), demonstrează eficacitatea utilizării sistemelor de informații geografice cvadrimensionale (4D-GIS) pentru gestionarea materialelor de construcție la scară urbană, analizând distribuția acestora în timp și impactul asupra reciclării, folosind ca studiu de caz două zone urbane din Marea Britanie și Japonia. În plus, integrarea tehnologiei BIM cu simulările 4D permite o monitorizare precisă a stării fondului construit și a evoluției stării de degradare a clădirilor (Bruno și alții, 2019). De asemenea, în domeniul construcțiilor, modelele 4D sunt utilizate pentru a sprijini comunicarea și transmiterea informațiilor necesare în proiectele de construcții (Hartmann și Fischer, 2007; Bruno și alții, 2019).

Progrese recente, ilustrarea prin intermediul cercetărilor asupra platformei 4D din Singapore, evidențiază capacitatea de a combina date spațio-temporale cu modele tridimensionale pentru a crea vizualizări detaliate, utile în procesul de proiectarea urbană. Astfel, reprezentările 4D nu doar că îmbogățesc înțelegerea mediului construit, dar și permit o planificare mai precisă a orașelor viitorului (Benita și alții, 2020).

Practic, accesul la tehnologii avansate a determinat apariția conceptului de „oraș 4D", care subliniază importanța integrării dimensiunii temporale în proiectarea urbană. Spanedda (2003) argumentează că un plan urban extins la această dimensiune temporală ar permite o alocare mai eficientă a resurselor, contribuind la dezvoltarea compactă și sustenabilă a orașelor, la menținerea vitalității în spațiile controlate și la îmbunătățirea capacității de predicție în fața complexității mediului urban contemporan (*ibid*.). Datorită

progresului tehnologic, acest concept s-a materializat în ultimele decenii, deschizând calea pentru noi modalități de modelarea și vizualizare a formei urbane în mediul digital și virtual, care îmbină analiza temporală cu reprezentările spațiale avansate.

Utilizarea reprezentărilor 4D în scop consultativ poate fi mediată și prin intermediul tehnologiilor avansate. Această modalitate de implicarea activă a publicului presupune un grad ridicat de interacțiune, bazat pe utilizarea modelului 3D împreună cu un dispozitiv digital suplimentar, ce permite vizualizarea augmentată a unui țesut urban existent.

În acest context, datele 3D devin esențiale pentru crearea unor experiențe de realitate augmentată, capabile să ofere o reprezentare precisă a mediului înconjurător, recunoscută de software-ul de poziționare vizuală al dispozitivelor portabile, cum ar fi telefoanele mobile. Această abordare transformă modul în care sunt percepute și proiectate spațiile urbane, aducând o nouă dimensiune participativă în procesul de planificare urbană.

Prin urmare, modelarea cvadrimensională aduce un aport semnificativ în diverse domenii. De exemplu, în proiectarea urbană, aceasta poate fi utilizată pentru a analiza evoluția unei zone urbane în timp și evaluarea impactului asupra mediului urban. De asemenea, aceste reprezentări sunt utile pentru a facilita înțelegerea impactului potențial al deciziilor asupra unei zone și pentru a contribui la creșterea gradului de informare a publicului. Prin intermediul vizualizărilor 4D, respectiv a reprezentărilor tridimensionale în timp, utilizatorii pot interacționa într-un mod mai prietenos cu seturile de date spațial-temporale. Totuși, este important de menționat faptul că reprezentările cvadrimensionale implică adesea o abstracție a celei de-a patra dimensiuni, deoarece percepția umană este limitată la cele trei dimensiuni spațiale. Prin urmare, modelele 4D pot fi interpretate ca o simplificare sau o reprezentare simbolică a evoluției în timp.

O modalitate de augmentare a modelului 3D poate fi observată în cazul orașului Liverpool, care folosește un videoproiector pentru a suprapune diferite elemente ale formei urbane peste modelul 3D al orașului – infrastructura de circulații, elementele de patrimoniu construit, zone funcționale (*cf.* Figura 38 – stânga). Orașul Eindhoven a adoptat o abordare similară bazată pe augmentarea modelului 3D al cartierului Strijp-S, aflat în proces de regenerare urbană, folosind un dispozitiv digital de tip telefon mobil pentru a ilustra diferite propuneri de modificare a formei urbane – inserții asupra fondului construit, iluminatului public, vegetației, etc. (*cf.* Figura 38 – dreapta).



Figura 38. Reprezentări 3D: dezvoltare urbană Liverpool, Anglia (stânga) și dezvoltare urbană în cartierul Strijp-S din Eindhoven, Olanda (dreapta) (Sursa: autorul)

Un alt mod de a realiza modelarea și reprezentarea cvadrimensională este prin utilizarea realității virtuale. Realitatea virtuală este o tehnologie care creează o experiență simulată, imersivă și interactivă într-un mediu tridimensional generat pe calculator.

Aceasta oferă utilizatorului posibilitatea de a interacționa cu spațiul într-un mod mai dinamic și captivant, adăugând o dimensiune suplimentară de experiență (*cf*. Figura 39).



Figura 39. Vizualizarea evoluției țesutului urban prin VR[40] (sursa: autorul)

[40] Bienala de Arhitectură de la Veneția, 2023, Pavilionul Arsenale, Expoziția Republicii Populare Chineze.

Astfel, utilizatorul poate explora un spațiu virtual 3D care simulează o a patra dimensiune, cum ar fi timpul și poate observa schimbările în timp manifestate în cadrul procesului de transformare, inclusiv impactul dezvoltării asupra formei urbane existente. Prin intermediul controlului și al mișcării utilizatorului, acesta poate experimenta și observa cum se desfășoară și evoluează un sistem în patru dimensiuni. În mod evident, această interacțiune este posibilă prin intermediul unor dispozitive specializate, prin care utilizatorul interacționează cu spațiul într-un mod imersiv.

Realitatea virtuală poate fi utilizată în contextul reprezentării cvadrimensionale pentru a oferi utilizatorilor posibilitatea de a interacționa cu spațiul într-un mod mai dinamic și captivant. Această tehnologie poate adăuga o dimensiune suplimentară de experiență și înțelegere, facilitând explorarea și analiza aspectelor cvadrimensionale în domeniul urbanismului. Astfel, tehnologiile avansate oferă o perspectivă cuprinzătoare asupra evoluției formei urbane, ținând cont de cantitatea extinsă de puse la dispoziție în timp real.

Reprezentările tri- și cvadrimensionale au produs un impact semnificativ și asupra industriei jocurilor (*gaming*). Utilizarea noilor tehnologii a permis dezvoltarea unei grafici avansate, cu efecte vizuale impresionante și experiențe de joc mai realiste și captivante. Astfel pot fi create personaje, obiecte și lumi virtuale într-un mod realist, adăugând texturi, iluminare și animație pentru a oferi o experiență vizuală bogată și captivantă. Modelarea tridimensională permite jucătorilor să exploreze și să interacționeze cu mediile virtuale într-un mod mai realist, adăugându-se astfel imersiunea în experiența de joc.

Prin intermediul elementelor de joc, utilizatorii pot dobândi cunoștințe și înțelegere a aspectelor complexe ale formei urbane în patru dimensiuni. Un astfel de exemplu este chiar jocul SIMCITY, care permite manipularea conținutului 3D prin interacțiunea utilizatorului (*cf*. Figura 40). Cu toate că SimCity este doar un joc de simulare, acesta a dovedit un potențial pedagogic considerabil în domeniul geografiei urbane (Kim și Shin, 2016).



Figura 40. Reprezentare 3D a orașului în cadrul jocului *SimCity*[41]

Astfel a luat naștere și gamificarea, care presupune crearea unor experiențe similare celor trăite în timpul jocurilor, prin aplicarea principiilor de joc în contexte non-joc (Robson și alții, 2015; Vanolo, 2018; Hamari, 2019). Gamificarea permite crearea unei experiențe interactive și captivante, care să ofere utilizatorilor posibilitatea de a explora și de a gestiona probleme reale prin utilizarea elementelor de joc (Vanolo, 2018). Aceasta poate implica utilizarea unor reguli de joc, precum obținerea de puncte, nivele sau realizarea de sarcini specifice în cadrul modelelor cvadrimensionale (Muehlhaus și alții, 2022). Potrivit literaturii de specialitate, aplicarea jocurilor în proiectarea urbană abordează diverse aspecte ale formei urbane cum ar fi utilizarea terenurilor, transportul, ecologia și managementul resurselor naturale (Ampatzidou și alții, 2018). În acest cadru, utilizatorii sunt motivați să își îmbunătățească performanța, să îndeplinească obiective și să se implice activ în procesul de proiectare urbană (Lerner, 2014; Azali, 2021).

Cea mai cunoscută aplicație de gamificare în context urban este jocul Pokémon GO, care funcționează pe baza tehnologiilor de realitate augmentată și de urmărire a locației (Potts și alții, 2017; Gattupalli, 2022).

[41] Imagine preluată de pe web, disponibilă la adresa: *https://www.forbes.com/sites/andyrobertson/2014/09/10/sim-city-buildit-announced-for-android-and-ios/?sh=8e0e54812334*, accesată în 28.05.2023.

Jocul este conceptul sub forma unei aplicații pentru telefonul mobil, în care utilizatorii prind și antrenează personaje Pokémon, descoperind diferite locații reale (*cf*. Figura 41).



Figura 41. Pokémon GO[42]

De asemenea, gamificarea a fost folosită în cadrul unui proiect real, respectiv viitorul cartier NAR din Istanbul (Turcia) de aproximativ 50,000 de locuitori, proiectat sub forma unui ansamblu alcătuit din 40 de superblocuri. Acest joc a fost creat pentru a crește conștientizarea principiilor unui oraș inteligent, implicarea cetățenilor și informarea acestora privind sustenabilitatea (Ozden și alții, 2022). Spre deosebire de jocurile tradiționale, acesta a fost modelat în jurul explorării mobilității urbane (ex. vizitarea piețelor publice, explorarea peisajelor stradale, etc.) (*ibid*.). Aceste exemple demonstrează implicațiile pozitive ale gamificării asupra interacțiunii dintre oameni și oraș (Adlakha și alții, 2017; Gattupalli, 2022).

Un alt exemplu reprezentativ pentru utilizarea gamificării în domeniul urbanismului din România a fost documentat în cadrul unei cercetări doctorale axate pe dezvoltarea și planificarea urbană a Pieței Unirii din București, având la bază procesul de gamificare și integrare BIM-GIS. Acest proiect are ca obiectiv îmbunătățirea calității vieții, a interacțiunii sociale, precum și a condițiilor urbane, cu un accent deosebit pe reamenajarea domeniului public, modernizarea infrastructurii și crearea unui mediu urban mai funcțional.

[42] Imagine preluată de pe web, disponibilă la adresa: *https://www.archdaily.com/989548/what-is-urban-gamification*, accesată în 28.05.2023.

Gamificarea este integrată în acest proiect pentru a implica activ comunitatea locală și pentru a colecta idei și feedback din partea locuitorilor. Prin intermediul unei aplicații digitale, locuitorii pot contribui cu sugestii privind designul și funcționalitatea Pieței Unirii. Acest proces participativ este sprijinit de tehnologia gamificării, care transformă implicarea publicului într-un joc interactiv și captivant (Kamalpoorsheikhdad, 2020). Unul dintre avantajele majore ale acestei abordări este gestionarea eficientă a activelor urbane, inclusiv colectarea, prelucrarea, afișarea și cartografierea datelor privind diferite elemente ale formei urbane.

În acest sens, aplicația digitală dezvoltată permite identificarea suprapunerilor în cazul unor construcții, determinarea amprentei unei rețele de canalizare, a intersecției unei structuri cu alte materiale și spații, precum și identificarea nevoilor de consolidare sau mentenanță a infrastructurii existente. Practic, datele colectate pun bazele proiectării și managementului urban inteligent, iar utilizarea gamificării în combinație cu tehnologia BIM-GIS reprezintă o abordare inovatoare pentru implicarea comunității în procesele de planificare și proiectare urbană în era digitală, în România (*ibid*.).

V.4. Impactul tehnologiei VR asupra proiectării urbane

Evoluția tehnologiilor imersive și realitatea extinsă au adus schimbări majore în modul în care interacționăm, percepem și proiectăm mediul urban. Realitatea virtuală (VR) și realitatea augmentată (AR) sunt două tehnologii imersive care au fost utilizate în proiectarea urbană și a clădirilor, permițând utilizatorilor să vizualizeze proiecte noi sau renovări ale spațiilor existente într-un mod mai detaliat și realist (Cirulis și Brigmanis, 2013; Mills și Pearlman, 2019). Realitatea virtuală implică transpunerea utilizatorului într-o lume complet digitală, în timp ce realitatea augmentată îmbină mediul digital cu mediul real. Aceste tehnologii au adus numeroase beneficii în procesele de planificare și proiectare urbană. Pe măsură ce tehnologia avansează, se așteaptă ca impactul lor asupra orașelor să crească și să aducă beneficii din ce în ce mai mari pentru comunitățile urbane.

Un exemplu de utilizare a tehnologiilor XR (cum ar fi VR, AR, MR) în procesul de proiectare urbană ar putea fi crearea de hărți interactive și modele 3D ale clădirilor și spațiilor propuse pentru dezvoltare sau reamenajare, ce permit flexibilitatea de a face modificări în funcție de noile decizii (Thompson și alții, 2006). Concret, fiecare dintre cele trei tipuri de VR poate îndeplini un rol specific.

- Realitatea augmentată (AR) poate fi utilizată pentru a crea modele 3D ale clădirilor sau zonelor urbane ce pot fi proiectate în timp real pe dispozitive mobile sau pe ochelari de realitate augmentată. Acest lucru permite vizualizarea ideilor de proiectare și identificarea problemelor sau neconcordanțelor cu mediul înconjurător.
- Realitatea virtuală (VR) poate fi, de asemenea, utilizată pentru a crea simulări virtuale ale clădirilor și zonelor urbane, permițând utilizatorilor să experimenteze și să exploreze diferite modele și scenarii de proiectare într-un mod imersiv și interactiv. Acest tip de interacțiune ajută la înțelegerea și explorarea unor concepte și idei complexe.
- Realitatea mixtă (MR) poate fi utilizată pentru a integra modele virtuale cu lumea reală, permițând utilizatorilor să vizualizeze și să interacționeze cu ideile de proiectare în mediul fizic, astfel încât să poată observa impactul în context real.

Implementarea VR în proiectarea urbană deschide o multitudine de posibilități, adaptate în funcție de scopul pentru care este utilizată această tehnologie. Printre acestea, funcția de bază, respectiv vizualizarea detaliată a proiectelor urbane, aduce beneficii semnificative în întregul proces de planificare și proiectare urbană. Prin intermediul VR, proiectele urbane pot fi redate într-un mod captivant și interactiv, oferind o perspectivă mai clară și realistă asupra viitoarelor dezvoltări. Aceasta permite tuturor părților implicate să vadă și să experimenteze în detaliu cum va arăta zona urbană proiectată sau cum vor interacționa diverse elemente arhitecturale, urbanistice ș de infrastructură.

(1) În primul rând, vizualizarea. explorarea și evaluarea mai detaliată a formei urbane sunt amplificate prin utilizarea tehnologiei VR.

Prin posibilitatea de a „plimba" utilizatorii prin mediul virtual urban, VR oferă o perspectivă multidimensională asupra proiectelor, permițând identificarea detaliilor și interacțiunea cu mediul construit într-un mod interactiv (El Araby și Okeil, 2004; Abdelhameed, 2013; Cabs și alții, 2013; Devaux și alții, 2018). Prin vizualizarea detaliată, pot fi identificate mai ușor eventualele neconformități sau neconcordanțe din cadrul proiectului, facilitând luarea de măsuri corective într-un stadiu incipient al dezvoltării. De exemplu, în cazul orașului Uppsala din Suedia autoritățile locale au inițiat un studiu 3D al zonei înconjurătoare gării principale, bazat pe tehnologia VR, pentru a evalua și a comunica conceptul unui proiect referitor la mobilitatea urbană (Videira Lopes și Lindström, 2012). De asemenea, Departamentul de Planificare Urbană din orașul New York a lansat, în 2019, o platformă cu

ajutorul VR numită NYC 3D Zoning[43], care permite utilizatorilor să vizualizeze modul în care se aplică reglementările de zonificare pentru orice proprietate din oraș. Acest lucru permite părților interesate să înțeleagă mai bine regulamentele de zonificare și modul în care acestea afectează dezvoltările propuse.

(2) În al doilea rând, VR permite testarea scenariilor privind transformarea formei urbane fără a produce efecte în mediul real.

Simularea unor scenarii diverse în mediul virtual permite evaluarea impactului și a consecințelor deciziilor luate, ajutând la dezvoltarea unor planuri urbanistice mai sustenabile și adaptate nevoilor comunității (Videira Lopes și Lindström 2012; Fisher-Gewirtzman, 2018; Casini, 2022). Mediile virtuale oferă oportunitatea de a defini, examina și evalua variațiile complexe ale mediilor tridimensionale, precum și experiența umană și reacțiile acestora în situații controlate (Fisher-Gewirtzman, 2018).

Astfel, scenariile propuse pot fi explorate într-un mod interactiv și imersiv, oferind utilizatorilor posibilitatea de a înțelege impactul acestora. De exemplu, această tehnologie este valorificată în cadrul proiectelor de renovare urbană, care necesită o atenție mai mare la nevoile proprietarilor, prin comparație cu proiectele de construcții noi (Gao, 2020). Pentru a permite publicului larg să-și exprime opiniile, este esențial să se utilizeze modele fizice intuitive și ușor de utilizat. Aceste modele fizice oferă, de asemenea, oportunități de comunicare directă între urbaniști și beneficiari, la fața locului, fiind un instrument ideal pentru proiectele de renovare, care înglobează atât concepte și idei de proiectare, cât și diferite condiții specifice de construire preluate de la fața locului.

(3) În al treilea rând, implicarea comunității și participarea publică este facilitată prin intermediul utilizării tehnologiei VR.

VR oferă posibilitatea ca membrii comunității să exploreze și să interacționeze cu proiectele propuse, contribuind astfel la colectarea de feedback și la luarea în considerare a opiniilor publicului în procesul de planificare și proiectare urbană (Allen și alții, 2011; Boos și alții, 2023). Practic, tehnologia VR deschide noi modalități pentru urbanismul participativ, punând la dispoziție o platformă convenabilă pentru participarea colaborativă (Välkkynen și alții, 2013; Potts și alții, 2017; Jamei și alții, 2017). De exemplu, districtul *Eixample Esquerra* din Barcelona utilizează tehnologia XR pentru a implica cetățenii în crearea unor spații publice plăcute și dinamice. Prin intermediul unui joc în VR, utilizatori pot modela

[43] *https://www.nyc.gov/site/planning/data-maps/open-data/dwn-nyc-3d-model-download.page*, accesat în 26.05.2023.

spațiul urban în timp real, contribuind la dezvoltarea unor zone adaptate nevoilor comunității. De asemenea, Autoritatea de Reamenajare Urbană din Singapore a utilizat tehnologia VR pentru a implica publicul în proiectarea planului urbanistic general al orașului, cu ajutorul platformei Virtual Singapore[44], care permite utilizatorilor să ofere feedback cu privire la dezvoltările propuse.

(4) În ultimul rând, tehnologia VR oferă o eficiență sporită în luarea deciziilor privind evoluția formei urbane.

Vizualizarea VR permite factorilor de decizie să analizeze și să compare mai ușor diferite opțiuni și variante de proiecte înainte de a fi implementate în mediul real, ceea ce duce la o luare a deciziilor eficientă și mai bine informată (El Araby și Okeil, 2004; Boos și alții, 2023). În contextul proiectării urbane în mediul digital, realitatea virtuală permite o comunicare și o colaborare eficientă și în timp real între părțile implicate în procesul de planificare și proiectare urbană (Greenwood și alții, 2008; Videira Lopes și Lindström 2012).

În ultimii ani, modelele 3D de orașe au devenit din ce în ce mai utilizate (Förstner, 1999). Printre cele mai cunoscute orașe care folosesc deja un model 3D digital sau tehnologii avansate precum realitatea virtuală pentru planificarea și proiectarea urbană se numără: New York, Berlin, Londra, LA, Singapore, Barcelona, Liverpool și Helsinki. Acest lucru este susținut și prin finanțarea unor proiecte de cercetare cu componentă aplicativă care studiază beneficiile și avantajele aduse de tehnologii precum realitatea virtuală sau realitatea augmentată în orașe. De exemplu, proiectul „*Augmented Urbans*”[45], finanțat de Uniunea Europeană prin programul *Interreg Central Baltic*, a investigat cum tehnologiile de realitate extinsă pot contribui la planificarea urbană integrată în șapte orașe și municipalități din regiunea Mării Baltice. Proiectul a vizat utilizarea de soluții inovatoare precum combinarea tehnologiei XR cu metode tradiționale de proiectare urbană, cu scopul de a îmbunătăți participarea cetățenilor și de a oferi o platformă pentru diverse voci în procesul decizional.

În general, rolul VR se extinde de la explorarea confortului termic al pietonilor în orașe (aspecte legale de mediul înconjurător), până la vizualizarea și simularea transportului inteligent în cadrul orașelor sau chiar vizualizarea comportamentului cognitiv al locuitorilor urbani (aspecte socio-culturale) (Jamei și alții, 2017).

[44] *https://www.sla.gov.sg/geospatial/gw/virtual-singapore/*, accesat în 27.05.2023.
[45] *https://www.augmentedurbans.eu/portfolio_page/helsinki/*, accesat în 27.05.2023.

Cu toate acestea, utilizarea VR în domeniul urbanismului are câteva limitări care trebuie luate în considerare – bariere financiare, tehnologice și logistice (Delgado și alții, 2020b). În primul rând, componente tehnologiei VR (hardware și software) implică costuri relativ ridicate, care limitează utilizarea pe scară largă în domeniul urbanismului. În plus, dispozitivele VR necesită calibrare adecvată pentru a genera o experiență precisă și realistă. De asemenea, nevoia unui spațiu adecvat pentru utilizarea tehnologiei VR și rezistența la schimbare în ceea ce privește adoptarea noilor tehnologii în industria construcțiilor și urbanismului pot constitui alte limitări relevante. De exemplu, Weiser (1991) era sceptic în privința realității virtuale, considerând că aceasta încerca să creeze o lume separată în interiorul computerului, cu ajutorul ochelarilor și al altor dispozitive senzoriale.

Realitatea virtuală și tehnologiile avansate prezintă numeroase beneficii în multe industrii, mai ales în domeniul urbanismului, arhitecturii și construcțiilor. De exemplu, compania UrbanXR[46] explorează conceptul de AR la scară mondială, ceea ce reprezintă o idee relativ nouă și inovatoare. Această tehnologie nu se limitează la divertisment, ci poate fi utilizată într-o varietate de domenii, inclusiv în scopuri educaționale, arhitecturale, turistice și comerciale. Scopul XR la scară mondială este de a oferi o experiență continuă, care poate fi accesată de toți locuitorii unui oraș sau localitate, indiferent de vârstă sau de nivelul lor de competență tehnologică. Cu toate acestea, costurile ridicate ale dispozitivelor VR pot fi un obstacol pentru adoptarea lor de către consumatori.

Utilizarea tehnologiei VR aduce numeroase beneficii, precum vizualizarea detaliată, evaluarea și testarea scenariilor, implicarea comunității, precum și comunicarea și colaborarea eficientă. VR pune la dispoziție o modalitate inovatoare și eficientă de a aborda procesele de proiectare urbană, oferind o perspectivă realistă și interactivă asupra proiectelor. Evoluția tehnologiilor modifică considerabil perspectiva asupra formei urbane tradiționale și creează noi oportunități pentru practica de proiectare urbană prin funcția principală de vizualizare detaliată a proiectelor urbane într-un mediu digital multidimensional, imersiv.

[46] *UrbanXR* a fost fondată în anul 2018 în Statele Unite ale Americii, cu sediul în San Francisco, California. Compania se concentrează pe utilizarea tehnologiei de realitate augmentată pentru a îmbunătăți experiența utilizatorilor în mediile urbane, precum și pentru a ajuta la crearea unor spații mai durabile și mai echitabile. De atunci, *UrbanXR* a fost implicată în cercetare și dezvoltare de soluții de realitate augmentată pentru medii urbane, precum și în furnizarea de servicii și soluții personalizate pentru clienții săi. Informații disponibile la adresa: *https://urban-xr.com/,* accesată în 28.05.2023.

V.5. Conceptualizarea formei urbane virtuale

Conceptualizarea formei urbane virtuale este strâns legată de integrarea infrastructurii digitale și a tehnologiilor avansate în cadrul orașelor inteligente. Acest context oferă o platformă robustă pentru explorarea și vizualizarea detaliată a formei urbane contemporane, facilitând procesele de investigare și modelare a formei urbane.

Tranziția de la forma urbană tradițională la cea virtuală nu poate fi înțeleasă fără o privire de ansamblu asupra evoluției formei urbane. Pentru a aborda forma urbană în era digitală, este necesară definirea și îmbinarea caracteristicilor din cadrul realității fizice și realității virtuale pe care aceasta le ocupă și le determină (Florescu, 2009). În acest fel, forma urbană poate fi explorată la diferite scări spațiale în mediul digital, oferind o înțelegere aprofundată a funcționării sale și a interacțiunii dintre diverse componente ce o alcătuiesc. Acest proces contribuie semnificativ la îmbunătățirea proceselor de planificare și proiectare urbană, permițând testarea soluțiilor alternative într-un mediu virtual, crescând precizia și eficiența intervențiilor în mediul fizic, real.

În primul rând, pentru a conceptualiza forma urbană virtuală, este necesară prezentarea succintă a contextului în care se produce tranziția de la forma urbană tradițională către forma urbană virtuală, marcat de progresul tehnologic. În ultimii 20 de ani, acest lucru a fost vizibil mai ales prin adoptarea unor practici de urbanism inteligent pentru dezvoltarea urbană a orașelor (Bibri și Krogstie, 2017).

Procesul de tranziție de la forma urbană tradițională la cea virtuală, subliniază evoluția urbanismului prin integrarea treptată a tehnologiilor avansate (*cf*. Figura 42). Începută cu orașele tradiționale din perioada preindustrială și modernă, unde planificarea urbană se baza pe metode convenționale fără implicarea tehnologiei digitale, evoluția urbanismului a condus la apariția orașelor inteligente. Acestea utilizează tehnologii precum GIS și XR pentru a optimiza funcționarea orașelor și a sprijini procesul decizional. În cele din urmă, forma urbană virtuală presupune o integrare totală a realității fizice cu cea virtuală, în care urbanismul devine, de fapt, "VRbanism". Cu alte cuvinte, forma urbană proiectată exclusiv în mediul digital este o formă urbană virtuală, care folosește ca date de intrate caracteristicile formei urbane tradiționale sau contemporane. În această etapă, deciziile în urbanism sunt susținute de simulări avansate într-un spațiu complet digital, permițând proiectarea și gestionarea unor scenarii urbane noi într-un mediu virtual. Această tranziție reflectă un progres continuu asupra modului în care spațiul urban este conceptualizat, proiectat și gestionat, de la forme tradiționale simple la forme urbane complet virtuale.

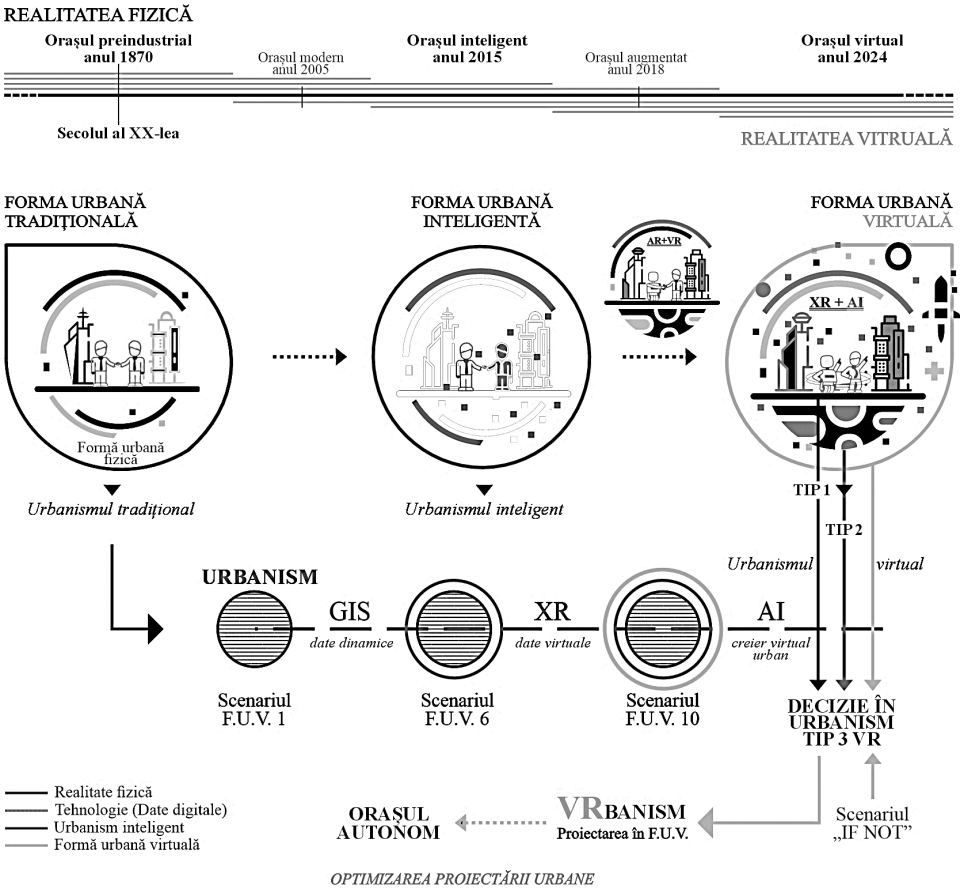


Figura 42. Tranziția de la forma urbană tradițională către forma urbană inteligentă și cea virtuală (sursa: autorul)

Literatura de specialitate promovează utilizarea tehnologiilor digitale pentru a îmbunătăți procesul de proiectare urbană și a reduce costurile, prin combinarea modelelor fizice cu tehnologia digitală, cum ar fi realitatea virtuală și augmentată. Această abordare facilitează un proces de proiectare mai intuitiv și colaborativ, îmbunătățind implicarea publicului și eficiența comunicării între diverse părți implicate (Schubert și alții, 2013; Schubert și alții, 2015). Integrarea formatelor BIM și utilizarea algoritmilor de învățare automată contribuie la optimizarea urbanismului, sprijinind tranziția de la

orașul fizic tradițional la orașul virtual al viitorului (Zhang și alții, 2018; Noyman și Larson, 2020).

Pentru a explica mai bine noțiunea de formă urbană virtuală, este esențială distincția dintre noțiunile „virtualizat" și „virtual", care se referă la diferența dintre reprezentarea unui loc și crearea efectivă a acelui loc. Virtualizarea este un proces digital, discret și abstract, în timp ce virtualitatea este legată de concret, fiind percepută ca un proces continuu de devenire, care permite transformarea și evoluția.

În domeniul proiectării urbane virtuale, combinarea celor două concepte - virtualizat și virtual - poate duce la crearea unor reprezentări digitale convingătoare ale realității, care nu doar descriu un spațiu, ci și permit explorarea potențialului continuu al acestuia. Cu alte cuvinte, un loc virtual este un spațiu creat în totalitate de imaginația sau de conceptele noastre, care nu poate avea o existență fizică reală – de exemplu, o propunere de transformare a formei urbane. Acesta poate fi creat prin intermediul unui limbaj, al unei descrieri sau al unei imagini mentale și poate fi folosit pentru a explora concepte abstracte sau pentru a crea un context fictiv în care să se desfășoare anumite activități. Un loc virtual digital este un spațiu virtualizat care există doar în mediul digital și care poate fi accesat prin intermediul unui dispozitiv electronic, cum ar fi un computer sau un telefon mobil.

Acesta poate fi creat prin intermediul diferitelor tehnologii, cum ar fi realitatea virtuală sau augmentată, și poate fi utilizat pentru a oferi experiențe imersive sau pentru a crea un context virtual în care să se desfășoare anumite activități, cum ar fi jocurile video sau simulările. Un loc virtualizat este un spațiu creat prin intermediul tehnologiilor digitale și al programelor de calculator, fiind o reprezentare abstractă a unui spațiu fizic existent sau inexistent care poate fi modificat fără a afecta spațiul fizic real.

În contextul urbanismului, această abordare complexă conduce la construirea unei forme urbane virtuale, un proces care combină elementele virtualizate și virtuale pentru a dezvolta o nouă formă urbană, mai complexă și adaptată realităților contemporane. Acest proces, descris ca o formă de morfogeneză urbană, nu doar generează o nouă formă urbană, ci și păstrează identitatea și caracterul esențial al orașului, conectând tradiția cu inovația digitală (Florescu, 2009). Astfel, forma urbană virtuală emergentă nu doar reflectă, ci și amplifică complexitatea și potențialul de transformare continuă al spațiului urban, marcând o tranziție semnificativă de la urbanismul tradițional la cel digital și virtual.

Așadar, forma urbană virtuală (FUV) reprezintă o abordare mai amplă a formei urbane tradiționale, care vizează crearea unui model virtual pentru a înțelege și gestiona mediul urban într-un mod mai intuitiv și eficient. Practic,

existența formei urbane în mediul virtual este posibilă datorită utilizării tehnologiilor avansate, având scopul de a îmbunătăți eficiența și rezultatele procesului de planificare și proiectare urbană, fără a produce un impact fizic asupra mediului real. Practic, prin crearea unei forme urbane virtuale, se poate testa, în prealabil, impactul proiectelor și al deciziilor urbanistice asupra formei urbane, ceea ce poate duce la evitarea unor consecințe negative.

În esență, realitatea virtuală joacă un rol crucial în procesul de creștere și morfogeneză urbană, oferind un mediu digital avansat pentru proiectarea și dezvoltarea urbană. Forma urbană virtuală (FUV) se referă la utilizarea realității virtuale pentru a crea un mediu urban mai durabil și eficient, adaptat nevoilor societății moderne și progreselor tehnologice. Prin integrarea tehnicilor de modelare digitală, precum CAD și BIM, FUV transformă cadrul urban existent într-un sistem virtual ce poate fi testat înainte de implementare, asigurând astfel decizii mai bine informate în urbanism. Utilizarea tehnologiilor avansate precum XR și GIS permite o evaluare detaliată și imersivă a spațiilor urbane, facilitând dezvoltarea și testarea unor soluții inovatoare care reflectă fidel realitatea fizică.

Avantajele formei urbane virtuale sunt multiple. FUV poate fi solicitată de către decidenții administrației, mediul public sau de către antreprenori, dezvoltatori, mediul privat, în procesul de proiectare urbană a orașului, și utilizată de către specialiști, urbaniști, arhitecți, ingineri, rezidenți și alți actori urbani. Utilizarea tehnologiei prin FUV permite o abordare mai eficientă și colaborativă a designului urban, permițând vizualizarea și testarea opțiunilor de proiectare într-un mediu digital, în realitatea virtuală. Acest lucru ajută la implicarea comunităților și a altor actori urbani în procesul de proiectare și la asigurarea faptului că soluțiile finale de proiectare sunt în conformitate cu nevoile și așteptările rezidenților.

Există câteva diferențe între forma urbană tradițională, forma urbană inteligentă și cea virtuală atât în ceea ce privește definiția și caracteristicile principale, cât și la nivelul modului de funcționare și materializarea conceptului (*cf*. Figura 43).

Criterii / Caracteristici	**Formă Urbană Tradițională**	**Formă Urbană Inteligentă**	**Formă Urbană Virtuală**
Definiție	Forma urbană tradițională se referă la structurile, străzile și clădirile tradiționale din orașele noastre, dezvoltate în trecut.	Forma urbană inteligentă este un conceptul de „Smart City" care implică folosirea tehnologiei pentru a îmbunătăți gestionarea și calitatea vieții în orașe.	Forma urbană virtuală reprezintă o replică digitală a orașului existent sau a unui segment al acestuia, prin instrumentul „Digital Twin" cu scopul simulării, proiectării și dezvoltării urbane.
Caracteristici Principale	• Structuri tradiționale pe tipuri de funcțiuni. • Infrastructură convențională. • Organizare spațială și interacțiuni sociale tradiționale.	• Utilizarea senzorilor și a tehnologiei IoT. • Gestionarea eficientă a resurselor. • Datele colectate și analizate pentru îmbunătățirea serviciilor.	• Replică digitală a orașului. • Modelare 3D dinamică a cadrului urban. • Utilizarea în proiectarea urbană și simularea dezvoltării, vulnerabilității urbane.
Modul de Funcționare	• Funcționează pe baza regulilor tradiționale de proiectare și planificare urbană. • Comunicare fizică între locuitori.	• Colectarea constantă de date de la senzori. • Analiza datelor în timp real. • Sisteme de informare pentru locuitori.	• Simularea efectelor și actualizarea constantă a datelor din realitatea virtuală în realitatea fizică. Acces online la informațiile despre oraș. • Decizii actori urbani.
Materializare a Conceptului	• Planuri și hărți tradiționale bidimensionale. • Fotografii și documente istorice.	• Senzori de monitorizare a traficului, a calității aerului etc. • Platforme de gestionare a datelor. • Aplicații mobile pentru cetățeni.	• Software de modelare 4D. • Hărți digitale și simulări dinamice în timp real. • Aplicații de realitate virtuală pentru simularea efectelor de proiectare și dezvoltare urbană.
Avantaje	• Conservarea patrimoniului istoric. • Tradiție și cultură. • Identitate locală.	• Eficiență energetică. • Mobilitate îmbunătățită. • Gestionarea mai bună a resurselor.	• Testarea proiectelor și a conceptelor de dezvoltare urbană. • Proiectare urbană precisă. • Simularea efectelor diferitelor intervenții.
Limitări	• Dificultate în adaptarea rapidă la nevoile și schimbările moderne. • Dificultate în integrarea tehnologiei în structurile existente de proiectare și administrare. • Limitări în ceea ce privește eficiența energetică și gestionarea resurselor. • Riscul conservării excesive a patrimoniului istoric, care poate împiedica dezvoltarea.	• Vulnerabilități ale datelor. • Dependența de tehnologie poate crea vulnerabilități. • Costuri ridicate de implementare a infrastructurii inteligente pot fi limitative pentru unele comunități.	• Discrepanțe între modelul din Realitatea virtuală și Realitatea fizică. • Accesibilitate limitată la tehnologie. • Costuri pentru dezvoltarea și actualizarea constantă a modelelor digitale ale orașului..

Figura 43. Analiză comparativă între forma urbană tradițională, forma urbană inteligentă și forma urbană virtuală (sursa: autorul)

Importanța cercetării formei urbane virtuale (FUV) este accentuată prin faptul că, cel mai probabil, aceasta va deveni un instrument important în domeniul urbanismului în următorii ani, acționând ca un liant dinamic în procesele de evoluție și metamorfoză a orașelor existente. Prin utilizarea tehnologiilor avansate, se poate crea un suport de testare în mediul virtual, imersiv, care imită identic elementele mediului real.

Astfel integrarea tehnologiilor avansate în domeniul urbanismului permite crearea unei noi forme urbane – forma urbană virtuală (FUV). Utilizarea tehnologiilor avansate (precum XR – VR, AR, MR) în contextul noii forme urbane permite utilizatorilor să experimenteze o formă urbană virtuală, în realitatea fizică a unui cartier sau oraș. Aceasta se realizează prin utilizarea dispozitivelor precum smartphone-uri, tablete sau alte dispozitive portabile, care afișează elemente virtuale și informații suprapuse în mediul real prin intermediul camerei dispozitivului. Informațiile pot include proiecte arhitecturale, propuneri de proiectare urbană, date istorice, culturale și alte informații contextuale care contribuie la crearea unei imagini cât mai realiste asupra orașului.

Această tehnologie permite utilizatorilor să vizualizeze caracteristicile de proiectare urbană, cum ar fi clădiri, peisaje și infrastructură viitoare, într-un mod interactiv și eficient. Prin utilizarea XR, forma urbană poate fi analizată și experimentată într-un mod mai dinamic, permițând o mai mare implicare în proiectare a actorilor urbani și o evaluare mai cuprinzătoare a potențialelor schimbări sau decizii.

Prin urmare, forma urbană virtuală permite urbaniștilor să ia decizii mai bine informate cu privire la dezvoltarea urbană, deoarece aceștia pot evalua implicațiile deciziilor luate cu privire la dezvoltarea urbană într-un mod mai precis și mai cuprinzător decât ar fi posibil în mod tradițional.

VI. MATERIALIZAREA FORMEI URBANE VIRTUALE: DIGITAL TWIN

Capitolul al șaselea explorează conceptul de Digital Twin (sau replica digitală a orașului) în urbanism, ca materializare a formei urbane virtuale. Capitolul discută despre definiția și principiile acestei tehnologii, modul în care funcționează prin integrarea datelor din diverse surse și beneficiile aduse, cum ar fi îmbunătățirea planificării și interacțiunea cu cetățenii. Capitolul prezintă câteva exemple concrete de implementare a Digital Twin în mediul urban, ilustrând avantajele și limitările acestei abordări inovatoare în procesul proiectare urbană.

VI.1. Definiția și principiile *Digital Twin*

Geamănul Digital, cunoscut și sub denumirea de *Digital Twin* (DT), reprezintă un model virtual al obiectelor, proceselor sau sistemelor din realitate, conceput pentru a facilita analiza, optimizarea și simularea acestora într-un cadru digital (Hua și alții, 2022). Alte definiții frecvente ale conceptului de Digital Twin se referă la „replici virtuale inteligente, bazate pe inteligență artificială, ale sistemelor fizice" (Barricelli și alții, 2019). În ultimii ani, conceptul de DT a câștigat tot mai multă atenție în diverse sectoare, precum industria aviației, manufacturii, sănătatea și mai ales proiectarea urbană (*ibid*.).

De fapt, conceptul de *Digital Twin* a fost introdus relativ recent în domeniul urbanismului, în contextul managementului urban, începând cu anul 2018 (Batty, 2018; Al-Sehrawy și alții, 2023). Cu toate acestea, potrivit unui studiu realizat de *ABI Research*, se preconizează că până în anul 2025 vor fi realizați peste 500 de gemeni digitali în diferite orașe din întreaga lume[47]. Această creștere rapidă reflectă potențialul și importanța pe care DT o poate avea în domeniul urbanismului și al proiectării urbanism (*cf.* Figura 44). În ultimii ani, se observă o creștere a utilizării termenului Digital Twin în literatura academică, atât în general, cât și în contextul orașelor și mediului construit (Ketzler și alții, 2020). Literatura dedicată implementării tehnologiei Digital

[47] Informație disponibilă la adresa: *https://www.abiresearch.com/market-research/product/1033835-digital-twins-smart-cities-and-urban-model*, accesată în 13.05.2023.

Twin în domeniul urbanismului a evoluat în paralel cu cercetarea de față, motiv pentru care acest subiect a devenit o parte consistentă a întregului studiu, în contextul materializării formei urbane virtuale.

Tehnologia *Digital Twin* a luat naștere pe fondul progresului tehnologic și al adoptării tehnologiilor avansate în domeniul urbanismului.



Figura 44. Simularea virtuală a unui oraș
(Sursa: Hurtado și Gomez, 2021)

Conceptul *Digital Twin* constă în crearea de gemeni digitali - modele virtuale inteligente ale sistemelor fizice, fiind considerați una dintre cele mai importante avansări în domeniul tehnologiei (Barricelli și alții, 2019). Această evoluție tehnologică vine în sprijinul rezolvării unor provocări cu care se confruntă administrațiile locale în ceea ce privește obținerea acceptării publice a măsurilor necesare pentru a crea un viitor mai sustenabil, prin capacitatea DT de a prezenta soluții bazate pe date și dovezi într-o formă ușor de înțeles pentru public (Engin și alții, 2020). În plus, adoptarea pe scară largă a principiilor *smart city* a condus la o creștere rapidă a conectivității și a volumului de date disponibile, sporind viabilitatea utilizării DT (Engin și alții, 2020; Fuller și alții, 2020).

În sens operațional, realizarea unui *Digital Twin* constă în elaborarea unui model tridimensional virtual al unei zone urbane sau chiar al unui întreg oraș, însă nu se limitează doar la acest lucru. De fapt, asocierea frecventă a termenului *Digital Twin* cu modelul digital tridimensional al unui oraș este eronată, această confuzie fiind parțial generată de faptul că modelul 3D reprezintă baza pentru crearea unui model de DT urban (Ferré-Bigorra și

alții, 2022). Acest model virtual permite actorilor urbani atât să analizeze diferite aspecte ale formei urbane, cât și să testeze, evalueze și să compare diverse opțiuni și scenarii de dezvoltare, într-un mediu digital controlat. Principalul avantaj al tehnologiei *Digital Twin* constă în abilitatea sa de a reprezenta forma urbană într-un mod dinamic și evolutiv, prin intermediul simulărilor și al modelărilor 3D.

Acest proces presupune o inovație și permite o înțelegere mai precisă și detaliată a formei și fenomenului urban, incluzând posibilitatea de a evidenția subtilitățile continuității și discontinuității de structură. În același timp, utilizarea tehnologiei DT poate ajuta la monitorizarea și înțelegerea acestui proces evolutiv într-un mod mai precis și detaliat (Fuller și alții, 2020). Cu alte cuvinte, DT reprezintă o abordare inovatoare și eficientă în domeniul urbanismului, fiind folosit în scopuri multiple, de la analiza, planificarea și proiectarea sau modelarea formelor urbane, până la implicarea cetățenilor, monitorizarea și controlul în timp real al orașelor și anticiparea tendințelor de dezvoltare a formelor urbane.

Cu toate acestea, utilizarea DT în domeniul urbanismului și al proiectării urbane nu este lipsită de provocări, cum ar fi colectarea și procesarea unor cantități mari de date și informații, probleme de confidențialitate și securitate a datelor, integrarea și interoperabilitatea diferitelor sisteme și tehnologii, precum și necesitatea actualizării și întreținerii constante a gemenilor digitali. Totuși, în ciuda unor limitări de ordin tehnic sau tehnologic, modelul DT poate fi privit ca o abordare revoluționară în proiectarea urbană digitală datorită abilității sale de a genera modele virtuale detaliate și interactive ale construcțiilor și mediilor urbane.

În prezent, domeniul urbanismului asistă la o schimbare fundamentală în ceea ce privește practicile existente. Cu alte cuvinte, are loc o reinventare a modului în care se realizează planificarea, proiectarea și modelarea formei urbane, pe baza tehnologiilor și instrumentelor digitale disponibile. Acest lucru presupune adoptarea unei perspective integrate asupra echipamentelor, proceselor și instrumentelor cu care urbaniștii operează. În acest context, gemenii digitali sau *Digital Twins* reprezintă o parte vitală a acestei reorientări a practicii de urbanism, oferind posibilitatea unei înțelegeri complete a formei urbane, prin intermediul reprezentării sale virtuale. Din acest motiv, înțelegerea conceptului de Digital Twin, a modului său de și a rolului pe care îl joacă în domeniul urbanismului este esențială pentru a putea beneficia de deplin de avantajele pe care le oferă.

Conceptul de geamăn digital sau *Digital Twin* este definit în literatura de specialitate în diverse moduri, însă în contextul urbanismului și al proiectării urbane, acesta se referă în principal la reprezentările digitale ale formei

urbane. Un geamăn digital urban este o reprezentare virtuală inteligentă a unui sistem fizic, care cuprinde atât obiecte, procese, cât și servicii existente în lumea fizică (Hurtado și Gomez, 2021). Această reprezentare digitală este caracterizată de atribute și proprietăți unice, oferind o înțelegere detaliată a formelor urbane fizice (Hua și alții, 2022).

Termenul *Digital Twin* a fost inițial utilizat în contextul industriilor de manufacturare (Grieves, 2014), însă în prezent este folosit într-o varietate de domenii, printre care și urbanismul. În esență, Digital Twin este un model virtual sau o reprezentare digitală a unei entități fizice, cum ar fi un obiect, un proces sau chiar o ființă umană (Fuller și alții, 2020; Hua și alții, 2022).

O altă definiție frecvent întâlnită în literatura de specialitate face referire la o replică digitală a unei entități fizice mai detaliată decât un model de simulare tradițional (Batty, 2018; Hua și alții, 2022). Totuși, asocierea dintre Digital Twin și ideea de „replică" sau „oglindă" a unui obiect sau sistem fizic este destul de înșelătoare (Tomko și Winter, 2019). Această asociere a fost demontată de evidențierea caracterului evolutiv al conceptului DT, subliniat prin definiția potrivit căreia: „DT este un model viu, inteligent și în evoluție, fiind contra-partea virtuală a unei entități fizice" (Barricelli și alții, 2019). De asemenea, definiția conform căreia „un DT este ceva ce depășește un simplu model tridimensional al unui oraș, incluzând, de exemplu, date semantice, date generate de senzori în timp real, modele fizice și simulări" susține ideea de asociere nepotrivită între DT și replică (Ketzler și alții, 2020).

Conceptul de *Digital Twin* a fost definit în mai multe moduri în literatura de specialitate. Unii cercetători au descris un DT ca fiind un model virtual al obiectelor fizice care simulează comportamentul acestora (Qi și Tao, 2018), în timp ce alții l-au numit oglinda digitală a lumii fizice, evidențiind astfel ideea conform căreia DT este o reprezentare digitală a lumii reale (Guo și alții, 2018). În aceeași notă, Kuhn (2017) susține faptul că un geamăn digital este o reprezentare digitală care permite schimbul cuprinzător de date și poate conține modele, simulări și algoritmi care descriu caracteristicile și comportamentul acesteia în lumea reală.

Există și definiții care se concentrează pe aspectul virtual al unui element fizic, cum ar fi un obiect sau un sistem (Talkhestani și alții, 2018). În plus, unii cercetători au subliniat că un *Digital Twin* este o reprezentare digitală dinamică a unui sistem fizic, care capturează și reproduce caracteristicile și comportamentul acestuia (Madni și alții, 2019). Aceste diverse definiții ilustrează diversitatea perspectivelor și abordărilor cu privire la DT, oferind înțelegeri diferite asupra conceptului și a utilizărilor acestuia.

În acest context, DT permite simularea și modelarea formei urbane într-un mediu digital, fiind legat de obiectul fizic printr-o reprezentare fidelă a sa.

Practic, un geamăn digital este un model inteligent și dinamic, care evoluează odată cu entitatea sa fizică. Aceasta permite schimbul de date și informații între mediul virtual și cel fizic, aducând beneficii semnificative în înțelegerea și optimizarea sistemelor urbane complexe (Grieves, 2014; Grieves și Vickers, 2017; Barricelli și alții, 2019). Mai mult, gemenii digitali permit modelarea sistemelor reale și facilitează analiza comportamentului acestora, furnizând informații valoroase despre operațiunile sistemelor (Hua și alții, 2022). Ei permit testarea scenariilor, identificarea problemelor potențiale și eficientizarea sistemelor (Hurtado și Gomez, 2021). De asemenea, gemenii digitali urbani reprezintă o unealtă esențială în domeniul urbanismului, permițând simularea mediului urban, testarea opțiunilor de politici, facilitarea colaborării între diferite domenii și actori și, inclusiv, implicarea cetățenilor în procesele de planificare și luare a deciziilor (*ibid*.).

Astfel, gemenii digitali reprezintă o componentă esențială în procesul de modernizare a practicii de proiectare urbană, permițând integrarea viziunii fizice și digitale asupra diferitelor componente și procese din cadrul formei urbane. Ei oferă oportunități de analiză rapidă, luare a deciziilor în timp real și vizualizare a scenariilor de dezvoltare, contribuind la eficiența sistemelor urbane (Fuller și alții, 2020; Birks și alții, 2020; Hua și alții, 2022). Gemenii digitali urbani, numiți și „gemeni digitali la scară de oraș", sunt reprezentări digitale realiste ale orașelor. Aceștia servesc drept medii de simulare și gestionare pentru dezvoltarea scenariilor și facilitează luarea deciziilor în proiectarea și managementul urban (Nochta și alții, 2021).

În ceea ce privește direcțiile de cercetare urmărite în cadrul acestei lucrări, studiul conceptului *Digital Twin* este strâns legat de demonstrația aplicabilității tehnologiilor avansate și a realității virtuale în domeniul urbanismului și al proiectării urbane. Prin urmare, întrebarea *Este Digital Twin (DT) un tip de Formă Urbană Virtuală (FUV)*? admite un răspuns destul de simplu, pornind de la definițiile și caracteristicile conceptului. În acest sens, *Digital Twin* poate fi considerat un tip de Formă Urbană Virtuală deoarece reprezintă o abordare complexă și interactivă în dezvoltarea unor modele virtuale ale orașelor. În comparație cu alte reprezentări digitale ale formei urbane, *Digital Twin* oferă o reprezentare mai detaliată și dinamică a mediului urban, integrând diverse elemente și funcționalități, care permit interactivitatea utilizatorului cu interfața digitală.

Conform definițiilor din literatura de specialitate, *Digital Twin* poate fi perceput ca un model virtual al unei entități fizice, cum ar fi un obiect, un proces sau un sistem urban, care păstrează o legătură strânsă și bidirecțională cu contra-partea sa reală. Acesta este alcătuit dintr-o combinație de modele, simulări și algoritmi care descriu caracteristicile, comportamentul și

funcționalitățile unei entități fizice existente în lumea reală. În ceea ce privește FUV, aceasta reprezintă o abordare mai amplă a formei urbane care vizează crearea de modele virtuale ale orașelor pentru a înțelege și gestiona mediul urban într-un mod mai eficient. Aceste modele pot include elemente precum modele 3D, date în timp real, informații semantice și simulări.

Digital Twin se încadrează în categoria FUV prin capacitatea sa de a integra multiple aspecte și tehnologii pentru a crea o reprezentare completă și interactivă a mediului urban. Prin conectarea și sincronizarea cu entitatea sa fizică, *Digital Twin* permite schimbul de date în timp real și oferă posibilitatea de a simula și testa scenarii, de a identifica probleme și de a lua decizii informate în proiectarea, gestionarea și dezvoltarea formei urbane.

Astfel, Digital Twin nu este doar o simplă reprezentare statică a unui oraș sau a unor elemente urbane, ci un model dinamic și evolutiv care aduce în prim plan interacțiunea și colaborarea între mediul virtual și mediul fizic. Prin urmare, putem afirma că Digital Twin reprezintă un tip avansat de Formă Urbană Virtuală, care aduce o valoare adăugată prin integrarea datelor, simulărilor și algoritmilor pentru o înțelegere mai profundă și o gestionare mai eficientă a formei urbane. DT al unui oraș inteligent se bazează pe mai multe straturi de date care se construiesc unul peste altul, adăugând informații despre teren, clădiri, infrastructură, mobilitate și dispozitive IoT (*cf.* Figura 45).

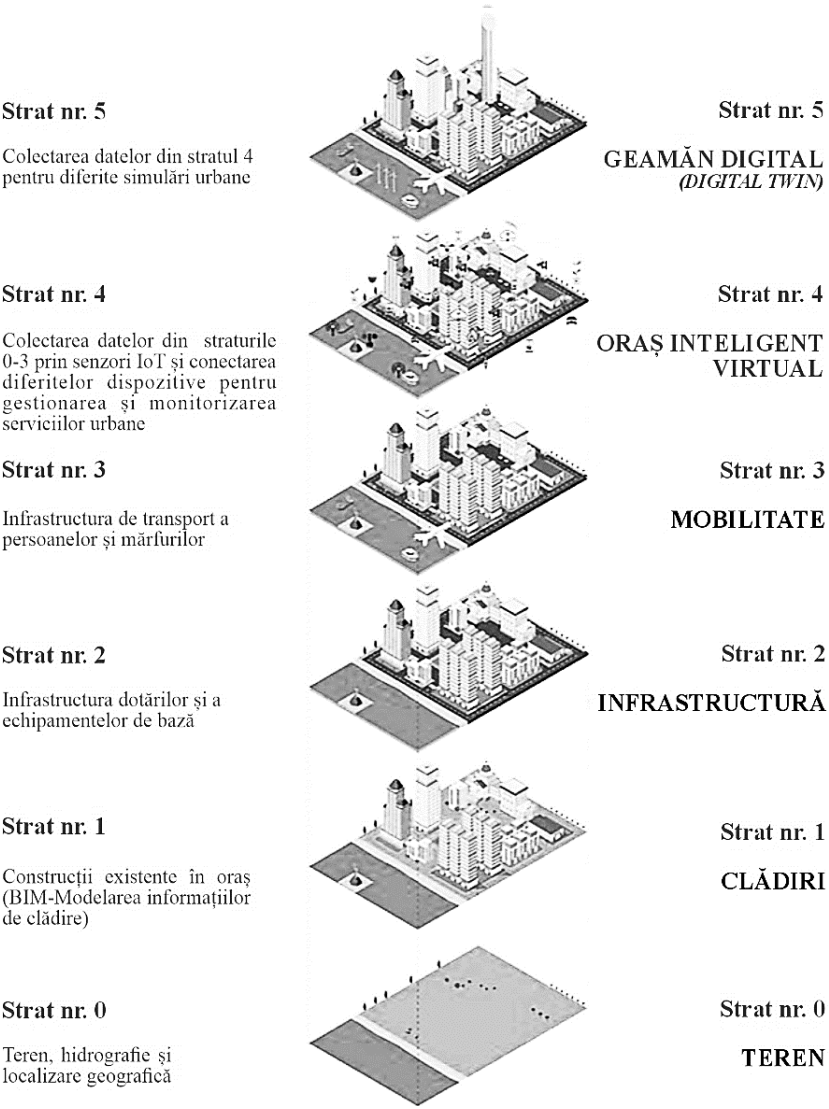


Figura 45. Reprezentarea Digital Twin al unui oraș inteligent
(Sursa: Hurtado și Gomez, 2021)

VI.2. Modul de funcționare a tehnologiei *Digital Twin*

În contextul proiectării urbane, utilizarea tehnologiilor avansate este definitorie pentru evoluția tehnologiei *Digital Twin* într-o nouă formă urbană virtuală. Aceste tehnologii au facilitat dezvoltarea și implementarea DT într-o manieră inovatoare și eficientă, transformând-o într-un instrument puternic pentru proiectarea și gestionarea urbană. Ele permit colectarea, stocarea, analiza și procesarea datelor într-un mod eficient și scalabil, oferind un nivel ridicat de detaliu și acuratețe în cadrul replicii digitale a orașului. Acestea reprezintă elemente cheie care permit ca *Digital Twin* să devină un instrument valoros pentru proiectarea și gestionarea formei urbane, facilitând simulări avansate, testarea scenariilor și luarea de decizii informate în ceea ce privește dezvoltarea și optimizarea orașului. Cu alte cuvinte, capacitatea de dezvoltare a gemenilor digitali depinde de disponibilitatea datelor[48].

Progresul tehnologic în domeniul orașelor inteligente, cum ar fi implementarea senzorilor și Internet of Things (IoT), permit colectarea datelor despre aproape fiecare mișcare, flux sau activitate dintr-un oraș. Această disponibilitate a datelor, combinată cu puterea de analiză sporită și inteligența artificială, permit digitalizarea întregului oraș. De exemplu, tehnologiile avansate precum senzorii pentru analiza fluxului de persoane sau a mișcării acestora în spațiul urban (*location-based analytics/ LBASense*[49]) contribuie la colectarea datelor necesare pentru crearea unei replici digitale a orașului. Aceste informații valoroase pot fi ulterior utilizate în analize și simulări pentru a obține o înțelegere mai profundă a modului în care orașul funcționează și pentru a lua decizii mai bune în ceea ce privește modelarea și gestionarea acestuia.

Din perspectiva modului de funcționare a tehnologiei Digital Twin, primul aspect relevant se referă la modul de constituire a unui geamăn digital. Acesta este alcătuit din mai multe straturi de date, oferind informații despre teren, clădiri, țesut urban, infrastructură, mobilitate și alte aspecte privind funcționarea orașelor, determinate cu ajutorul volumului mare de date (*big*

[48] Informație disponibilă la adresa: *https://www.smartcitiesdive.com/news/are-digital-twins-the-future-of-urban-planning/609232/*, accesată în 25.05.2023.

[49] LBASense (*location-based analytics*, sau analiza bazată pe date privind poziția geografică) estimează numărul de persoane prezente într-o zonă, determină durata ședерii lor, analizează modelele de fluxuri, precum și țara de proveniență a persoanelor. Acest instrument ajută la înțelegerea dimensiunii unei mulțimi de oameni sau a distribuției lor într-o zonă, fiind utilizat pentru a îmbunătăți serviciile publice, de la transport la evenimente culturale, sau pentru a măsura succesul inițiativelor de revitalizare a unor spații publice sau dotări. Informații disponibile la adresa: https://dfrc.kr/lbasense-technology/, accesată în 25.05.2023.

data), generate prin intermediul senzorilor și al dispozitivelor IoT. De exemplu, prin conectarea dispozitivelor și senzorilor la internet, IoT permite colectarea datelor în timp real de la diverse obiecte și sisteme prezente în mediul urban. Aceste date pot include informații despre starea infrastructurii, consumul de energie, calitatea aerului, nivelurile de trafic și multe altele. De asemenea, BD poate fi utilizată pentru a analiza datele colectate și pentru a extrage informații relevante pentru modelarea formei urbane. Aceste date pot include informații demografice, comportamente de utilizare a serviciilor urbane, preferințe și alte detalii relevante, pe baza cărora se pot identifica modele, tendințe și relații în cadrul formei urbane.

Astfel, integrarea IoT și *Big Data* în DT permite obținerea unui flux constant de date actualizate, care reflectă modul în care orașul funcționează în timp real. DT utilizează datele generate în stratul virtual al orașului pentru a efectua diverse simulări, care, la rândul lor, generează informații ce pot fi ulterior implementate în lumea fizică, furnizând o imagine virtuală și în timp real a mediului fizic (Hurtado și Gomez, 2021). Prin utilizarea datelor în timp real și a inteligenței artificiale, DT devin oglindiri virtuale ale formelor urbane fizice, oferind oportunități de vizualizare și simulare în domenii precum mobilitatea, construcțiile, consumul de energie și altele (*cf*. Figura 46).

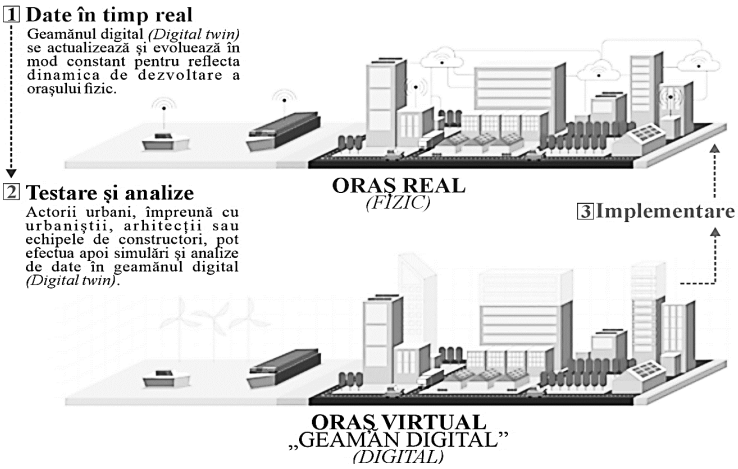


Figura 46. Relația dintre forma urbană fizică și geamănul digital urban (prelucrare după Lee, 2023[50])

[50] Imagine preluată de la adresa: *https://edition.cnn.com/2023/01/31/world/digital-twin-cities-tnf-spc-intl*, accesată în 22.05.2023.

Practic, conectarea gemenilor digitali și a celor fizici implică două fluxuri paralele de date, unul care merge de la mediul fizic către cel digital, iar celălalt în sens invers (Hua și alții, 2022). Acest proces este posibil prin intermediul unei sincronizări continue între forma urbană fizică, geamănul său digital și mediul extern înconjurător (Barricelli și alții, 2019).

În ceea ce privește funcționarea gemenilor digitali, DT este sincronizat în mod constant cu forma urbană fizică pe care o ilustrează și se modifică odată cu aceasta, iar schimbarea reflectă proprietățile obiectului fizic oglindit. Capacitatea gemenilor digitali de a înregistra și monitoriza modificările formei fizice permite anticiparea unor posibile probleme prin extrapolare, precum și testarea rezultatelor unor soluții și scenarii alternative (Barricelli și alții, 2019; Tomko și Winter, 2019; Engin și alții, 2020). Una dintre condițiile esențiale pentru funcționarea optimă a gemenilor digitali este ca aceștia să fie echipați cu dispozitive de rețea pentru a asigura o conexiune continuă și un schimb constant al unei cantități mari de date (Engin și alții, 2020; Lei și alții, 2023). În plus, tehnologia DT funcționează pe baza unor tehnici eficiente de analiză și decodificare a datelor, precum și a unor algoritmi de învățare pentru procesarea datelor primite în mod continuu, care provin atât de la elemente ce aparțin formei urbane fizice, cât și din mediul înconjurător (Barricelli și alții, 2019).

Funcționarea gemenilor digitali urbani este dependentă de mai mulți factori. În primul rând, DT trebuie să comunice în permanență cu sisteme de informații geografice (GIS) și rețelele de senzori în vederea alimentării cu informații a gemenilor digitali (Dembski și alții, 2019; Nochta și alții, 2021; Lei și alții, 2023). Un alt element important în crearea DT constă în modelele urbane tridimensionale (3D) bazate pe informații geometrice și semantice, care reprezintă o bază importantă pentru construirea gemenilor digitali urbani, iar modele BIM (*Building Information Modelling*) asigură o reprezentare precisă a formei urbane, contribuind la rafinarea acesteia (Döllner și Hagedorn, 2007). În general, interacțiunea cu un geamăn digital este posibilă cu ajutorul tehnologiei *Google Beacon*, încorporată în fiecare cutie de senzor, iar datele pot fi accesate prin intermediul dispozitivelor mobile și pot include o trimitere către reprezentarea tridimensională a Gemenilor Digitali (Dawkins și alții, 2018).

De asemenea, trebuie menționat faptul că Gemenii Digitali pot include un strat de date suplimentar, alcătuit din populații sintetice de oameni și comunități. Acest model de geamăn digital se regăsește în literatura de specialitate sub denumirea de societal twin sau geamăn social (Birks și alții, 2020). Acești gemeni sociali sunt reprezentări virtuale ale comunităților umane care locuiesc și interacționează într-un mediu construit. Crearea

acestui strat de date are ca scop conturarea unei imagini realiste asupra diverselor categorii de populație, cum ar fi rezidenții, angajații, vizitatorii etc., integrate în simulările și analizele realizate cu ajutorul DT. Prin utilizarea gemenilor sociali, se pot obține informații și o înțelegere mai profundă asupra comportamentului uman, a modului în care oamenii utilizează infrastructura și interacționează cu mediul urban. Această abordare poate aduce beneficii semnificative în planificarea și proiectarea orașelor inteligente, în dezvoltarea serviciilor personalizate pentru cetățeni, precum și în luarea deciziilor bazate pe date și pe nevoile reale ale populației.

Pentru a înțelege modul de funcționare a gemenilor digitali, este important să înțelegem care sunt etapele de dezvoltare a unui DT, care permit crearea unei reprezentări virtuale precise a unui obiect sau sistem fizic. Principalele etape în crearea unui DT includ colectarea datelor, managementul și analiza acestora, extragerea cunoștințelor, dezvoltarea modelului și vizualizarea datelor și, în final, validarea, comunicarea și utilizarea modelului (Friederich și alții, 2021; Hua și alții, 2022), după cum urmează (*cf*. Figura 47):

- Colectarea datelor: Prima etapă implică colectarea datelor relevante despre obiectul sau sistemul fizic pentru care se dorește crearea unui Geamăn Digital. Aceste date pot fi obținute din diverse surse, inclusiv senzori, instrumente de măsură, modelare 3D sau alte tehnologii de captare a informațiilor.
- Managementul și analiza datelor: Această etapă se concentrează pe organizarea datelor într-o structură coerentă și ușor de accesat, gestionarea în sensul integrării datelor provenite din mai multe surse și analiza datelor colectate pentru a crea o reprezentare digitală fidelă a formei urbane reale. După colectarea datelor, este importantă validarea și verificarea calității și acurateței acestora. Această etapă implică inclusiv corectarea erorilor sau a discrepanțelor din datele colectate.
- Extragerea cunoștințelor: În această etapă, se folosesc algoritmi și tehnici pentru a extrage cunoștințe și informații semnificative din datele colectate, pentru a le transforma în date de intrare pentru construirea geamănului digital. Această etapă presupune identificarea modelelor, tendințelor, a relațiilor sau a caracteristicilor importante ale obiectului sau sistemului fizic pentru care se construiește DT.
- Construirea modelului și vizualizarea datelor: Odată ce cunoștințele au fost extrase, se poate dezvolta un model matematic sau logic care să reprezinte Geamănul Digital. Acest model poate fi o reprezentare virtuală a obiectului sau sistemului fizic și poate include proprietăți,

comportamente și relații relevante. În cadrul acestei etape, nu doar construirea inițială a modelului DT este importantă, cât și actualizarea sa în mod constant, astfel încât să reflecte schimbările și evoluțiile din obiectul sau sistemul fizic real. Acest lucru implică integrarea datelor noi și ajustarea modelului pentru a ilustra noile informații.

- Validarea modelului, utilizarea și comunicarea acestuia: După dezvoltarea modelului, acesta trebuie validat pentru a se asigura că reproduce în mod corespunzător comportamentul și caracteristicile obiectului sau sistemului fizic real. În ceea ce privește utilizarea și aplicarea, Geamănul Digital poate fi utilizat într-o varietate de scopuri și aplicații, cum ar fi simulări, analize, planificare, proiectare, modelare, monitorizare sau luarea deciziilor. Prin utilizarea Gemenului Digital, se poate obține o înțelegere mai bună a comportamentului și performanțelor obiectului sau sistemului fizic, precum și posibilitatea de a testa diferite scenarii și soluții într-un mediu digital, în realitatea virtuală.

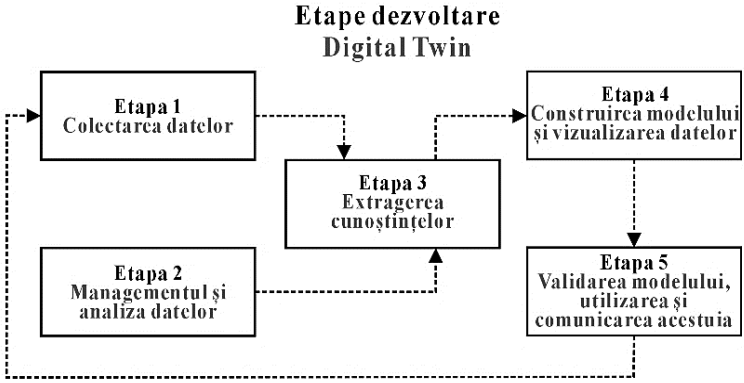


Figura 47. Etapele de dezvoltare a unui DT
(Sursa: prelucrare după Saeed și alții, 2022)

Există pe piață mai multe software-uri și instrumente disponibile pentru crearea unui *Digital Twin* urban. Acestea facilitează modelarea și simularea unui oraș sau a unei zone urbane, permițând autorităților și dezvoltatorilor să analizeze și să optimizeze diferite aspecte ale funcționării formei urbane. Un exemplu relativ cunoscut este programul *Microsoft Azure Digital Twin*, o platformă care permite crearea de modele digitale ale entităților fizice din lumea reală. Acest serviciu utilizează un grafic de inteligență spațială pentru a modela relațiile și interacțiunile dintre oameni, locuri și dispozitive.

Azure Digital Twin oferă funcții personalizate, scalabilitate și reutilizabilitate. Serviciul este integrat în platforma Azure și necesită conectarea la dispozitive senzoriale prin intermediul unui hub IoT (*cf*. Figura 48).

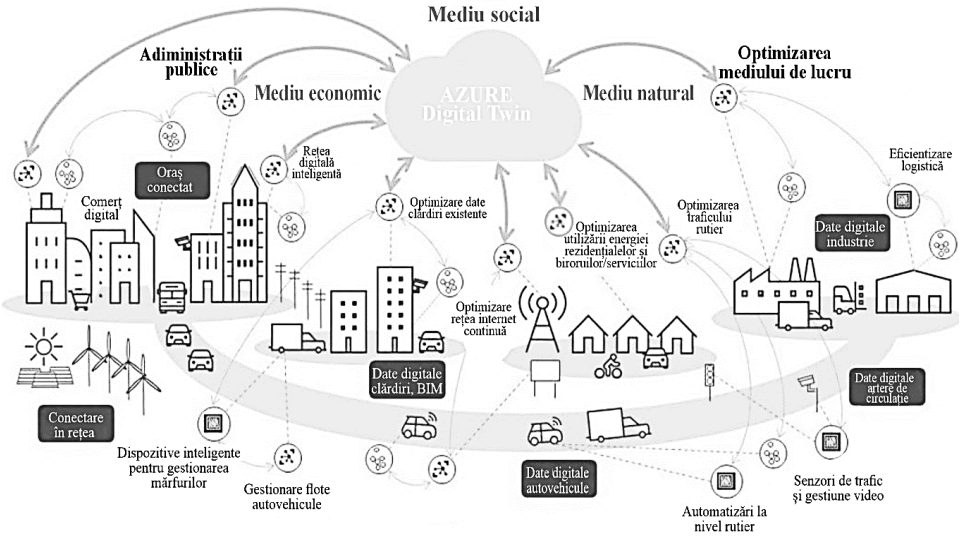


Figura 48. Modelul de funcționare a platformei *Microsoft Azure Digital Twin*[51]

Azure Digital Twin poate fi utilizat în diverse scenarii, precum simularea, analiza și optimizarea sistemelor, mașinilor sau proceselor, testarea limitelor sistemelor urbane și vizualizarea clară a stării curente a formei urbane.

Un exemplu de instrument folosit pentru crearea și implementarea gemenilor digitali urbani este platforma 3D Cityplanner[52]. Acesta oferă o platformă software dedicată pentru planificarea, proiectarea și gestionarea orașelor care folosesc tehnologia Digital Twin. Prin utilizarea 3D Cityplanner, este posibilă construirea unor modele digitale 3D complexe și realiste ale orașelor, integrând diverse tipuri de date geospațiale și informații urbanistice.

[51] Imagini preluate din filmul de promovare a platformei *Azure Digital Twins*, disponibil la adresa: *https://365xr.blog/an-introduction-to-the-microsoft-azure-digital-twin-service/,* accesată în 26.05.2023.
[52] Disponibilă la adresa: *https://ftp-dev.3dcityplanner.com/tool/#18/51.899172/4.475269/,* accesată în 26.05.2023.

Acest cadru permite adunarea și procesarea datelor din surse multiple, inclusiv hărți, imagini aeriene, date demografice și senzori IoT, fiind unul dintre cele mai complexe instrumente disponibile la ora actuală. Unul dintre avantajele sale constă în capacitatea de a oferi o vizualizare interactivă și detaliată a orașului într-un mediu digital, în realitatea virtuală. Utilizatorii pot explora și analiza diferite elemente ale formei urbane, cum ar fi infrastructura, transportul, mediul, energia și resursele, prin intermediul unei interfețe intuitive și ușor de utilizat.

3D Cityplanner servește ca un cadru flexibil și scalabil, permițând personalizarea și adaptarea sa la nevoile specifice ale fiecărui oraș. Prin implementarea acestui cadru, se poate crea un DT urban complex, care poate fi utilizat într-o gamă largă de situații, precum planificarea și proiectarea urbană, analiza impactului deciziilor, simularea și optimizarea fluxurilor de trafic, evaluarea riscurilor și multe altele. Prin integrarea cu alte tehnologii și servicii, cum ar fi analiza datelor, *machine learning (ML*) și IoT, *3D Cityplanner* poate fi extins pentru a oferi funcționalități avansate și pentru a gestiona în mod eficient aspecte complexe ale formei urbane.

Un exemplu concret al utilizării 3D Cityplanner este proiectul Rotterdam Digital Twin, o reprezentare detaliată a orașului Rotterdam din Olanda (*cf.* Figura 49). Prin utilizarea 3D Cityplanner, Rotterdam DT integrează date din diferite surse, precum hărți geospațiale, informații despre infrastructură, date demografice și informații despre mediu. Aceste date sunt transformate într-un model tridimensional interactiv, care permite utilizatorilor să exploreze și să analizeze diverse aspecte ale formei urbane într-un mod vizual și captivant.



Figura 49. Rotterdam Digital Twin realizat cu ajutorul platformei 3D Cityplanner[53]

[53] Imagini preluate din platforma 3D Cityplanner, disponibilă la adresa: *https://ftp-dev.3dcityplanner.com/tool/#18/51.899172/4.475269/*, accesată în 26.05.2023.

În ciuda faptului că software-urile și instrumentele pentru crearea unui DT au devenit destul de răspândite, trebuie menționat faptul că nu sunt disponibile gratuit. Aceste platforme sunt soluții comerciale și implică costuri asociate cu licențele de utilizare și serviciile oferite.

VI.3. Beneficii ale utilizării *Digital Twin* în urbanism

Utilizarea tehnologiei *Digital Twin* în domeniul urbanismului aduce numeroase beneficii și oportunități pentru planificarea, proiectarea și gestionarea orașelor. Tehnologia *Digital Twin* oferă aplicații de modelare și simulare care ilustrează, într-un mod realist și natural, atât starea în timp real a formei urbane fizice, cât și diferite scenarii ipotetice de tipul „ce-ar-fi-dacă (*if not*)" (Barricelli și alții, 2019; Farsi și alții, 2020).

Literatura de specialitate evidențiază potențialul uriaș al DT în diferite etape ale evoluției formei urbane (Engin și alții, 2020; Ketzler și alții, 2020; Deren și alții, 2021). Principalul avantaj al gemenilor digitali constă în optimizarea planificării și proiectării urbane la diferite scări spațiale (Dembski și alții, 2020). Digital Twin permite experților și decidenților să creeze o replică virtuală a orașului real, oferindu-le o perspectivă holistică asupra diferitelor elemente ale formei urbane (Hurtado și Gomez, 2021). Această replică digitală permite testarea și simularea diferitelor scenarii și soluții pentru dezvoltarea formei urbane, contribuind la luarea deciziilor informate și la optimizarea utilizării resurselor (Collins, 2022).

Studiile arată că utilizarea gemenilor digitali (DT) aduce beneficii semnificative în urbanism, reducând incertitudinea și riscurile prin explorarea digitală a diferitelor scenarii de planificare (Hurtado și Gomez, 2021). Acești gemeni digitali permit gestionarea mai eficientă a riscurilor, inclusiv în situații de criză, precum inundații sau pandemii (Laroche, 2022). De asemenea, gemenii digitali facilitează dezvoltarea orașelor inteligente prin vizualizarea datelor în timp real, analiza predictivă și susținerea deciziilor bazate pe dovezi (Farsi și alții, 2020; Fuller și alții, 2020; Deren și alții, 2021; Nochta și alții, 2021; Al-Sehrawy și alții, 2023). Fiind un instrument emergent în analiza urbană, DT contribuie la dezvoltarea și întreținerea orașelor inteligente, oferind suport în operațiuni și întreținere prin rețele de senzori și IoT (Ferré-Bigorra și alții, 2022).

Gemenii digitali ai orașelor joacă un rol crucial în managementul urban, aducând multiple beneficii în planificarea și proiectarea formelor urbane (Nochta și alții, 2021; Ferré-Bigorra și alții, 2022; Al-Sehrawy și alții, 2023). Aceștia îmbunătățesc configurarea și zonificarea terenurilor (Ferré-Bigorra și alții, 2022) și servesc ca platformă centralizată pentru stocarea și partajarea

datelor relevante între departamentele orașului (Ferré-Bigorra și alții, 2022). Această centralizare crește eficiența managementului urban, permițând analiza, simularea și predicția diverselor aspecte urbane, inclusiv sociale și economice, contribuind astfel la crearea unor orașe mai eficiente și sustenabile (Lei și alții, 2023). De asemenea, gemenii digitali oferă o perspectivă mai clară asupra tendințelor urbane și a impactului deciziilor, sprijinind astfel luarea deciziilor bazate pe dovezi în timp real (Engin și alții, 2020). Astfel, DT-urile se dovedesc a fi net superioare instrumentelor tradiționale de urbanism, care se bazează pe planuri bidimensionale și reprezentări tridimensionale simple.

Conform literaturii de specialitate, un alt domeniu în care gemenii digitali joacă un rol crucial este managementul traficului și planificarea mobilității urbane, facilitând simulările de trafic și anticiparea emisiilor de gaze cu efect de seră prin tehnologia predictivă (Farsi și alții, 2020; Fuller și alții, 2020; Xu și alții, 2023). Aceștia integrează senzori și dispozitive IoT în infrastructura urbană pentru a optimiza mobilitatea și performanța traficului în timp real (Laroche, 2022). Gemenii digitali îmbunătățesc controlul infrastructurii rutiere și semafoarelor, oferind analize interactive pentru predicția traficului (Xu și alții, 2023).

De asemenea, gemenii digitali sunt esențiali în procesul decizional, favorizând colaborarea și guvernarea participativă. Ei permit simularea datelor în timp real și vizualizarea politicilor urbane, facilitând co-crearea planurilor și colectarea feedback-ului (Hurtado și Gomez, 2021; Dembski și alții, 2019). Această tehnologie sprijină o abordare democratică în luarea deciziilor, contribuind la consensul public (Lei și alții, 2023; Charitonidou, 2022). Gemenii digitali sunt astfel recunoscuți ca instrumente valoroase în dezvoltarea urbană, optimizând utilizarea resurselor și reducând impactul asupra mediului fizic (Tomko și Winter, 2019; Laroche, 2022).

Astfel, gemenii digitali joacă un rol semnificativ în procesul de luare a deciziilor, promovând colaborarea, participarea cetățenilor și guvernarea participativă în contextul urban (Tomko și Winter, 2019; Dembski și alții, 2019; Engin și alții, 2020; Lei și alții, 2023; Xu și alții, 2023).

Tehnologia *Digital Twin* a fost implementată cu succes în numeroase orașe din întreaga lume. Această tehnologie este predominant utilizată în țările dezvoltate precum SUA, Australia, Singapore și Emiratele Arabe Unite, dar eforturi semnificative se fac și în Europa pentru a integra *Digital Twin* în domeniul planificării și proiectării urbane. Un exemplu este proiectul DUET

(*Digital Urban European Twins*[54]), care utilizează *cloud*-ul, datele produse de senzori și sisteme analitice sub forma gemenilor digitali pentru a sprijini luarea deciziilor în sectorul public într-o manieră democratică și eficientă (Raes și alții, 2022a; 2022b). Proiectul DUET facilitează colaborarea între factorii de decizie pentru a aborda provocările urbane complexe prin analiza detaliată a datelor. Această tehnologie este testată în Flandra (Belgia), Pilsen (Cehia) și Atena (Grecia) (Raes și alții, 2022a).

Un exemplu notabil de utilizare a tehnologiei *DT* este Singapore, care a fost un pionier în acest domeniu. Guvernul a dezvoltat platforma „Virtual Singapore," o replică digitală care include date despre clădiri, terenuri, infrastructură și mediul înconjurător (*cf*. Figura 50). Acest model este folosit pentru a optimiza planificarea urbană, transportul, energia, gestionarea impactului schimbărilor climatice, inclusiv managementul crizelor economice (Holstein, 2015).

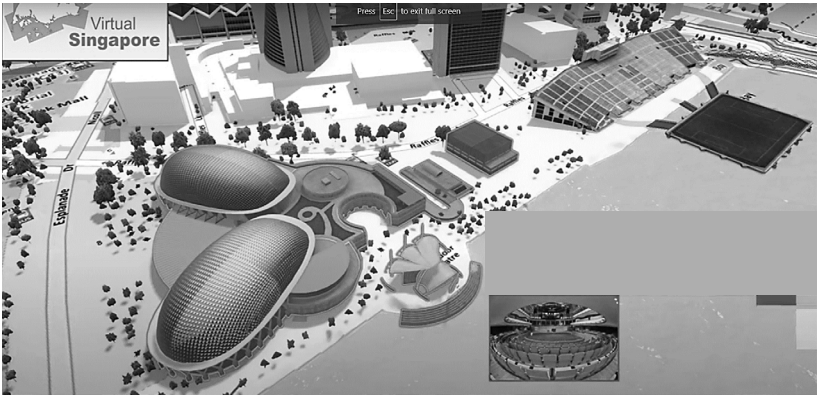


Figura 50. Ilustrare 3D Digital Twin Singapore[55]

Exemplele de implementare a tehnologiei Digital Twin în orașele Barcelona (Spania), Chattanooga (SUA), Herrenberg (Germania) și Amsterdam (Olanda) demonstrează diversitatea și beneficiile acestui concept în urbanism. În Barcelona, *Digital Twin*-ul este utilizat pentru optimizarea planificării și gestionării proiectului de renovare a stadionului Camp Nou și modernizarea străzilor adiacente (Collins, 2022). În Chattanooga, tehnologia

[54] Proiectul DUET, finanțat de Comisia Europeană prin programul H2020. Informații disponibile la adresa: *https://www.digitalurbantwins.com/*, accesată în 15.05.2023.

[55] Imagine preluată din Virtual Singapore, disponibil la adresa: *https://www.sla.gov.sg/geospatial/gw/virtual-singapore*, accesată în 27.05.2023.

a fost folosită pentru a îmbunătăți sistemul de transport urban, reducând congestia, incidentele și consumul de combustibil (Xu și alții, 2023). Herrenberg a creat un prototip de *Digital Twin* care combină un model tridimensional al mediului urban cu simulări ale rețelei stradale și fluxului de vânt, fiind folosit în procesele de participare publică pentru a rezolva probleme de trafic și poluare (Dembski și alții, 2020). În Amsterdam, *Digital Twin*-ul este utilizat pentru a testa scenarii de reducere a riscului de inundații și pentru a fundamenta strategii de gestionare a resurselor de apă (de Matos și alții, 2022).

Orașul Boston (SUA) a dezvoltat cu succes un *Digital Twin* urban care include clădirile, transportul public, vegetația și alte elemente urbane, atât existente, cât și propuse (*cf*. Figura 51). Acest model servește ca arhivă a evoluției orașului și este folosit pentru a îmbunătăți planificarea urbană, analiza mobilității și optimizarea serviciilor publice (Solomon, 2021; Tuchen și alții, 2022).



Figura 51. Ilustrare 3D Digital Twin Boston[56]

În Marea Britanie, implementarea tehnologiei *Digital Twin* în planificarea și managementul urban este ilustrată prin mai multe exemple notabile. Modelul tridimensional Virtual London (ViLo) include Parcul Queen Elizabeth din Estul Londrei (*cf*. Figura 52) și utilizează date generate de senzori în timp real pentru a actualiza modelul urban, facilitând o proiectare mai precisă

[56] Imagine preluată din Boston Citywide 3D model, disponibil la adresa: *https://boston.maps.arcgis.com/apps/webappviewer3d/index.html?id=cf3415dea19d480caa71eb5dbdce185f*, accesată în 27.05.2023.

(Dawkins și alții, 2018). În orașul Cambridge, DT sprijină luarea deciziilor politice prin identificarea inconsistențelor și a conflictelor între politici sectoriale, promovând gândirea interdisciplinară (Nochta și alții, 2021). În zona West Cambridge, DT folosește date senzoriale în timp real și vizualizări 3D pentru a sprijini deciziile de proiectare și management urban (Lu și alții, 2020).

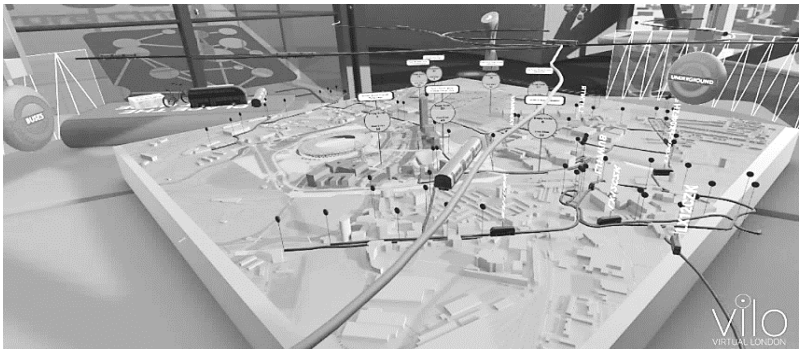


Figura 52 Ilustrare Digital Twin Virtual London (ViLo)[57]

Aceste exemple demonstrează potențialul DT în abordarea provocărilor urbane. Prin furnizarea unei perspective digitale complete și a posibilității de simulare și testare a diferitelor scenarii, DT contribuie la luarea deciziilor informate și la dezvoltarea soluțiilor inovatoare pentru un viitor urban durabil. În orașul Pilsen, DT analizează legătura dintre transport și poluarea fonică, vizând îmbunătățirea calității vieții prin înțelegerea evoluției zgomotului de trafic și a calității aerului, oferind o imagine clară a spațiului public folosind resurse digitale disponibile (*cf*. Figura 53).

[57] Imagine preluată din platforma ViLO, dezvoltată de *UCL Centre for Advanced Spatial Analysis*, disponibilă la adresa: *https://connected-environments.org/portfolio/vilo-platform/*, accesată în 27.05.2023.



Figura 53. Ilustrare Digital Twin Pilsen demo – impactul transportului asupra poluării fonice[58]

Exemplul orașului Zurich ilustrează utilizarea unui DT pentru a aborda provocările legate de creșterea populației și densificarea terenurilor. DT-ul Zurichului este o bază de date actualizată constant care include clădiri, poduri și vegetație (*cf.* Figura 54). Acest model facilitează comunicarea cu publicul și sprijină inițiativa „*Open Government Data*" prin simularea și analiza scenariilor de dezvoltare urbană. Astfel, transformarea digitală a proceselor decizionale ajută la luarea unor decizii informate, evidențiind importanța actualizării periodice a datelor spațiale 3D (Schrotter și Hürzeler, 2020).

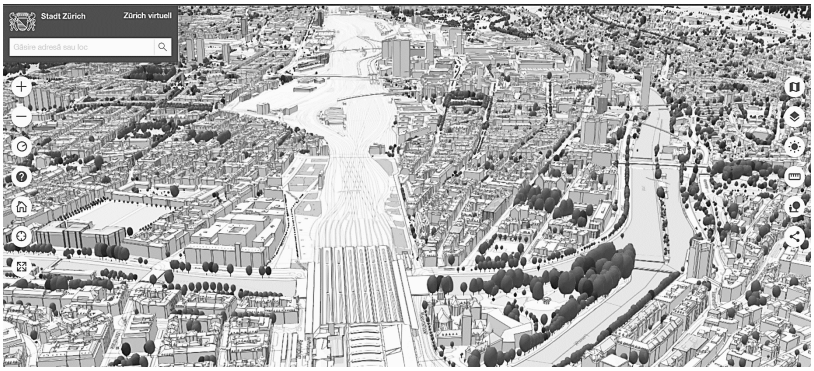


Figura 54. Ilustrare Digital Twin Zurich[59]

[58] Imagine preluată de pe pagina proiectului DUET, disponibilă la adresa: *https://www.digitalurbantwins.com/pilsen-twin*, accesată în 27.05.2023.
[59] Imagine preluată de pe pagina Primăriei Zurich, secțiunea *Digital Twin*, disponibilă la adresa: *https://3d.stzh.ch/appl/3d/zuerichvirtuell/*, accesată în 27.05.2023.

Acestea constituie doar câteva dintre multiplele exemple de gemeni digitali dezvoltate în ultimii ani în Europa și în lume. Elementul comun al acestor exemple constă în faptul că toate ilustrează potențialul tehnologiei Digital Twin în domeniul urbanismului și al proiectării urbane. Conform exemplelor studiate, principalul avantaj la gemenilor digitali se referă la capacitatea acestora de a îmbunătăți activitățile de planificare și proiectare urbană, atât din perspectiva bazelor de date extinse care fundamentează un proces decizional bine informat, cât și din perspectiva eficienței procesului de proiectare urbană. Cu toate acestea, este important de menționat că fiecare oraș are nevoi și provocări specifice, iar aplicarea și eficiența Digital Twin depind în mare măsură de contextul local și de resursele disponibile. Pentru a ilustra diferitele situații de utilizare a gemenilor digitali urbani, voi prezenta trei studii de caz detaliate.

Prin urmare, DT aduce beneficii multiple în domeniul urbanismului, având un impact pozitiv semnificativ în diverse activități, de la monitorizarea și gestionarea infrastructurii urbane, implicarea activă a populației în procesul decizional cu privire la viitorul formei urbane, până la comunicarea unor informații pe scară largă într-un mod simplu și ușor de înțeles. DT poate ajuta la prezicerea modului în care schimbările de design dintr-un oraș ar avea impact asupra rețelelor de transport, clădirilor și populației prin simularea unor factori precum clima, calitatea aerului, fluxul de trafic și circulația oamenilor. De asemenea, prin simularea și evaluarea scenariilor alternative de dezvoltare, DT poate ajuta la identificarea soluțiilor care minimizează consumul de resurse, reducerea emisiilor de carbon și îmbunătățirea calității vieții locuitorilor într-un oraș.

VI.4. Limitări ale digitalizării formei urbane

În ciuda faptului că tehnologiile avansate aduc beneficii semnificative în domeniul urbanismului, există încă numeroase provocări critice și limitări asociate digitalizării formei urbane sub forma unei forme urbane virtuale sau a unui geamăn digital. Aceste limitări sunt prezente și în literatura de specialitate, fiind clasificate în mai multe categorii (Fuller și alții, 2020), după cum urmează: (i) nevoia de actualizare a infrastructurii IT/ digitale vechi; (ii) provocări de conectivitate, confidențialitate și securitate a datelor sensibile; (iii) provocări privind încrederea și așteptările utilizatorilor; (iv) lipsa unei abordări standardizate de modelare a formei urbane. De asemenea, există și alte aspecte de trebuie discutate din perspectiva limitărilor digitalizării formei urbane, cum ar fi costurile și capacitatea de utilizare a acestor instrumente.

În primul rând, principala provocare constă în constrângerile generate de infrastructura IT existentă. Evoluția rapidă a tehnologiei necesită componente hardware și software de ultimă generație pentru a permite executarea comenzilor eficient (Fuller și alții, 2020; Attaran și alții, 2023).

Având în vedere cantitatea mare de date și interacțiunea permanentă între modelul digital și real al formei urbane prin intermediul IoT, conexiunea rapidă și fiabilă la internet reprezintă o cerință pentru funcționarea optimă a gemenilor digitali (Barricelli și alții, 2019). De asemenea, problema conectivității discontinue a senzorilor urbani reprezintă o preocupare în dezvoltarea DT urbani (Shirowzhan și alții, 2020; Lei și alții, 2023). Toate aceste provocări pot genera limitări de ordin tehnic în implementarea gemenilor digitali. Prin urmare, pentru ca tehnologia Digital Twin să funcționeze eficient, este necesară o infrastructură capabilă să susțină cerințele IoT și ale analizei datelor. De exemplu, un oraș care dorește să dezvolte un sistem de gestionare a traficului urban utilizând tehnologia Digital Twin, trebui să integreze o rețea extinsă de senzori în infrastructura sa rutieră și să colecteze date în timp real despre trafic, astfel încât să poată crea o replică digitală a rețelei de drumuri și a fluxurilor de trafic.

Cu toate acestea, infrastructura IT existentă în oraș este învechită și nu poate face față volumului mare de date și cerințelor de conectivitate ale unui astfel de proiect. Serverele și echipamentele de stocare pot fi depășite, iar rețeaua de internet poate fi lentă și nesigură. Acest lucru poate duce la întârzieri în colectarea și prelucrarea datelor, ceea ce face dificilă crearea unei replici digitale precise a traficului urban în timp real. Pentru a depăși această limitare, orașul ar trebui să investească într-o infrastructură IT modernizată, inclusiv echipamente hardware noi și o rețea de internet mai rapidă și mai sigură.

În al doilea rând, problema datelor pare a fi unul dintre principalele impedimente în ceea ce privește digitalizarea formei urbane. De exemplu, procesul de creare a unui geamăn digital urban necesită o cantitate semnificativă de date, iar obținerea și actualizarea constantă a datelor poate fi o sarcina extrem de dificilă și costisitoare (Fuller și alții, 2020). Acest aspect poate limita aplicabilitatea și scalarea gemenilor digitali în anumite orașe unde resursele necesare pentru crearea și menținerea lor sunt limitate. Gemenii digitali prezintă și anumite limitări tehnice precum calitatea datelor și interoperabilitatea, conectivitatea, confidențialitatea și securitatea datelor sensibile (Barricelli și alții, 2019; Fuller și alții, 2020; Shirowzhan și alții, 2020; Lei și alții, 2023; Attaran și alții, 2023). De exemplu, integrarea modelării informaționale a construcțiilor (BIM) și a sistemelor informaționale geografice (GIS) poate crea dificultăți în convertirea datelor

dintre aceste două sisteme. O altă problemă este compatibilitatea dispozitivelor și a software-urilor prin intermediul cărora sunt colectate și transmise datele, deoarece integrarea datelor provenite din sisteme diferite poate fi un obstacol major (Lei și alții, 2023). De asemenea, colectarea datelor transmise în timp real de la forma urbană fizică către gemenul său digital și actualizarea continuă a datelor generează preocupări semnificative privind protecția datelor personale și confidențialitatea informațiilor. Din acest motiv, este esențial să existe politici și măsuri adecvate de anonimizare, securitate și protecția datelor personale (GDPR[60]), oferind încredere publicului în utilizarea DT urbani (Fuller și alții, 2020; Major și alții, 2021).

În acest scop, prevederile guvernamentale pot reglementa modul în care DT este utilizat, precum și metodologiile de validare a credibilității modelului generat (Barricelli și alții, 2019). De exemplu, un oraș care dorește să implementeze restricții privind circulația rutieră pe anumite străzi sau tronsoane utilizează tehnologia Digital Twin pentru a planifica, proiecta, monitoriza și evalua implicațiile acestor modificări. Astfel, orașul ar trebui să colecteze date actuale despre traficul rutier pe străzile respective, inclusiv informații despre volumul de trafic, viteza medie, orele de vârf și altele. Pe baza datelor existente, orașul poate crea un model digital al străzilor și al rețelei de transport pentru a evalua impactul restricțiilor asupra fluxului de trafic.

De aici ia naștere o altă provocare legată de relația dintre tehnologia *Digital Twin* și gestionarea în timp real a formei și a fenomenelor urbane. Practic, aceasta constă în gestionarea cu succes a întârzierilor generate asupra tranziției rapide de la o etapă la alta în cadrul proceselor de proiectare și planificare a formei urbane, respectiv de la informare la analiză, decizie și acțiune în spațiul fizic. Geamănul Digital colectează și procesează date în timp real (sau aproape în timp real). Orice întârziere în colectarea și transmiterea datelor către Geamănul Digital poate afecta capacitatea sa de a furniza informații relevante și actualizate, ducând la o discrepanță între starea reală a mediului urban și ceea ce este reflectat în *Digital Twin*.

Într-un mediu urban care este într-o continuă schimbare, deciziile trebuie să fie luate în timp real pentru a răspunde la evenimente și situații neașteptate. De exemplu, un oraș care utilizează *Digital Twin* pentru a monitoriza și gestiona nivelul de poluare în timp real poate avea de suferit din cauza întârzierilor în transmiterea datelor către geamănul digital, colectate dintr-o rețea de senzori de calitate a aerului plasați în diverse zone ale orașului. Într-o zi, senzorii detectează o creștere semnificativă a concentrației de poluanți

[60] Regulamentul General privind Protecția Datelor

într-o anumită zonă a orașului, semnalând un posibil incident de poluare. Datele sunt transmise către Geamănul Digital, care începe să analizeze situația. În acest caz, provocarea apare în gestionarea acestui „*delay*" informațional și a tranziției rapide de la etapa de analiză/ constatare către etapa de decizie și acțiune. Orice întârziere în colectarea sau transmiterea datelor către *Digital Twin* poate conduce la o reacție întârziată în luarea deciziilor critice. În acest context, delay-ul poate fi cauzat de mai multe factori, cum ar fi probleme tehnice cu senzorii sau rețeaua de transmisie a datelor, sau poate fi legat de timpul necesar pentru a procesa și analiza datele înainte de a ajunge la o concluzie.

În al treilea rând, un alt obstacol în adoptarea tehnologiei *Digital Twin* este legat de încrederea și așteptările utilizatorilor (Fuller, 2020). Modelele digitale nu sunt întotdeauna complet autonome și necesită intervenția umană, în special pentru interpretarea, diagnosticarea și alegerea celor mai potrivite soluții pentru dezvoltarea formei urbane (Barricelli și alții, 2019; Hua și alții, 2022). În general, lipsa de încredere este alimentată de faptul că geamănul digital este o tehnologie relativ nouă și complexă, iar utilizarea acestuia poate părea descurajatoare pentru cei care nu sunt familiarizați cu ea. Pentru a depăși aceste probleme, încrederea poate fi consolidată prin educație, transparență și reglementări adecvate. Din acest punct de vedere, dezvoltarea capacității resurselor umane care operează cu un *Digital Twin* este absolut necesară (Lei și alții, 2023).

În ceea ce privește așteptările, în general utilizatorii văd doar beneficiile procesului de digitalizare a formei urbane și se așteaptă ca aceasta să poată rezolva toate problemele unui oraș. În realitate, este necesară o mai bună înțelegere a tehnologiei Digital Twin pentru a rezolva cât mai multe probleme.

În al patrulea rând, o altă provocare cheie vizează tehnica de modelare utilizată, respectiv absența unei abordări standardizate pentru modelare (Fuller, 2020). De exemplu, abordările standardizate asigură un parcurs fluid al fluxului de informații între fiecare etapă a dezvoltării și implementării unui Gemen Digital. În plus, alegerea metodei trebuie să aibă în vedere și compatibilitatea cu domenii precum IoT și analiza datelor, permițând utilizarea cu succes a Gemenilor Digitali.

De asemenea, finanțarea procesului de digitalizare a formei urbane și, în particular, a gemenilor digitali reprezintă una dintre cele mai mari provocări la ora actuală. Costurile de dezvoltare, inclusiv componentele software și hardware, precum și interconectivitatea fizică și în cloud, pot reprezenta obstacole în implementarea gemenilor digitali (Barricelli și alții, 2019;

Attaran și alții, 2023). Asigurarea resurselor financiare este crucială pentru operarea gemenilor digitali (Lei și alții, 2023).

O altă limitare majoră contă în faptul că procesul de digitalizare a formei urbane poate genera modele abstractizate și poate omite multe elemente ale sistemului urban real, respectiv ale formei urbane fizice, cum ar fi fluxurile de trafic, intensitatea utilizării spațiului, inclusiv emoțiile umane asociate unei planificări și proiectări urbane de succes (Batty, 2018; Tomko și Winter, 2019; Dembski și alții, 2020).

Acest lucru este întărit de faptul că modelele virtuale tridimensionale sunt, de fapt, reprezentări ale orașului la un moment dat în timp și nu pot cuprinde în totalitate dinamica și complexitatea sistemului urban. Pentru a întâmpina această problemă, cercetătorii au identificat soluția implicării locuitorilor pentru a înregistra răspunsurile emoționale ale acestora la scenariile simulate din spațiile publice utilizând o aplicație dedicată în cadrul platformei Digital Twin a orașului Herrenberg (Dembski și alții, 2020). De asemenea, integrarea tehnologiilor avansate, cum ar fi realitatea augmentată (AR) și realitatea virtuală (VR) pot contribui semnificativ la crearea unor experiențe captivante și interactive pentru utilizatori (Kuru, 2023).

În ultimul rând, digitalizarea formei urbane prezintă beneficii semnificative, cum ar fi modelarea 3D precisă a mediului construit, simularea fenomenelor fizice și modelarea dinamică a traficului și a altor elemente în mișcare ale formei urbane. Cu toate acestea, tehnologia ce stă la baza gemenilor digitali este încă în fază incipientă și există o serie de limitări și provocări asociate utilizării lor. Printre acestea se numără abstractizarea anumitor elemente ale sistemului real în modelul digital, necesitatea unei bune calități a datelor și interoperabilității, costurile de dezvoltare și nevoia de resurse umane specializate.

De asemenea, sunt necesare investiții considerabile în infrastructură IT și capacități de dezvoltare pentru a asigura funcționarea și adoptarea DT în practică, pe scară largă. Cu toate acestea, progresul tehnologic din ultimii ani în domeniul gemenilor digitali este extrem de promițător și indică un potențial considerabil în aplicarea lor în domeniul urbanismului. În mod cert, în viitorul apropiat, gemenii digitali vor oferi avantaje din ce în ce mai semnificative în domeniul urbanismului, îmbunătățirea managementului urban și luarea deciziilor informate privind dezvoltarea formei urbane.

VII. PARADIGMA VRbanism: proiectarea urbană în VR

Capitolul al șaptelea explorează paradigma VRbanism, o abordare inovatoare în proiectarea urbană care utilizează realitatea virtuală (VR) pentru a crea și gestiona orașul virtual. Capitolul detaliază definiția și relevanța paradigmei VRbanism, explicând cum tehnologiile avansate și VR pot transforma procesele de proiectare urbană în era digitală. Se analizează aplicabilitatea acestei paradigme în România, evidențiind atât potențialul, cât și limitările implementării sale. De asemenea, sunt formulate recomandări pentru integrarea paradigmei VRbanism în contextul urbanistic românesc, stabilind pașii necesari pentru adoptarea sa viitoare.

VII.1. Paradigma VRbanism: definiție și relevanță

În esență, tehnologiile avansate joacă un rol extrem de important în regândirea și adaptarea practicii de planificare și proiectare urbană la posibilitățile oferite de era digitală. Acest lucru este deja vizibil în multe orașe din lume, prin adoptarea tehnologiilor avansate, care deschid noi oportunități pentru domeniul urbanismului, punând bazele unei noi paradigme dictate de era digitalizării.

Paradigma VRbanism poate fi definită ca integrarea tehnologiilor avansate, cu precădere a realității virtuale, în proiectarea și gestionarea formei urbane, având ca scop explorarea și evaluarea diferitelor scenarii și soluții într-un mod eficient și precis. VRbanism utilizează modele și simulări virtuale ale orașelor, precum și interfețe interactive pentru a crea o experiență imersivă și interactivă într-un mediu digital controlat. Această abordare inovatoare a practicii de urbanism are scopul de a spori înțelegerea formei urbane, de a facilita luarea deciziilor informate și de a optimiza proiectele de dezvoltare urbană în ceea ce privește sustenabilitatea, eficiența și acceptabilitatea.

Prin intermediul VRbanism-ului, urbaniștii și proiectanții pot utiliza tehnologia realității virtuale și procesele de autogenerare pentru a crea modele digitale tridimensionale ale orașelor și pentru a permite utilizatorilor să experimenteze și să interacționeze cu aceste modele într-un mod interactiv. Proiectarea urbană în VR constituie o tehnică inovatoare, bazată pe utilizarea unor instrumente *hardware* și *software* avansate de proiectare, care permit crearea de modele detaliate ale orașelor într-un mediu digital, virtual. Aceste modele pot fi utilizate pentru a testa diferite scenarii de dezvoltare urbană, pentru a vizualiza și a evalua diferite opțiuni de

proiectare, dar și pentru a comunica mai ușor ideile de proiectare către clienți și locuitorii orașului.

Avantajul proiectării urbane în VR constă în faptul că aceasta poate fi utilizată atât pentru a crea modele virtuale ale orașelor existente, cât și pentru a proiecta orașe noi sau pentru a reînnoi zone existente. De exemplu, prin intermediul proiectării urbane în mediul virtual, proiectanții pot testa diferite scenarii de dezvoltare urbană, inclusiv modele de trafic, de utilizare a terenului și de dezvoltare economică, fără a fi nevoie să construiască modele fizice costisitoare sau să perturbe activitățile curente ale orașului.

De asemenea, aceștia au posibilitatea conceperii unei forme urbane complet noi, în cadrul căreia pot testa diferite soluții de structurare și configurare a spațiului, având posibilitatea de a obține feedback de la viitorii locuitori ai spațiului respectiv înainte ca aceasta să fie construit. Practic, acest lucru indică faptul că metoda de proiectare urbană (în realitatea virtuală) este net superioară metodelor tradiționale.

Prin crearea unui mediu digital, realist și interactiv, utilizatorii pot experimenta și interacționa cu mediul construit într-un mod mai natural și intuitiv, ceea ce poate duce la o îmbunătățire a proceselor de proiectare, construcție și utilizare a formei urbane. În plus, realitatea virtuală poate ajuta la reducerea costurilor și a timpului necesar pentru dezvoltarea și testarea prototipurilor, precum și la identificarea și rezolvarea problemelor de proiectare într-un stadiu incipient (*cf*. Figura 55).

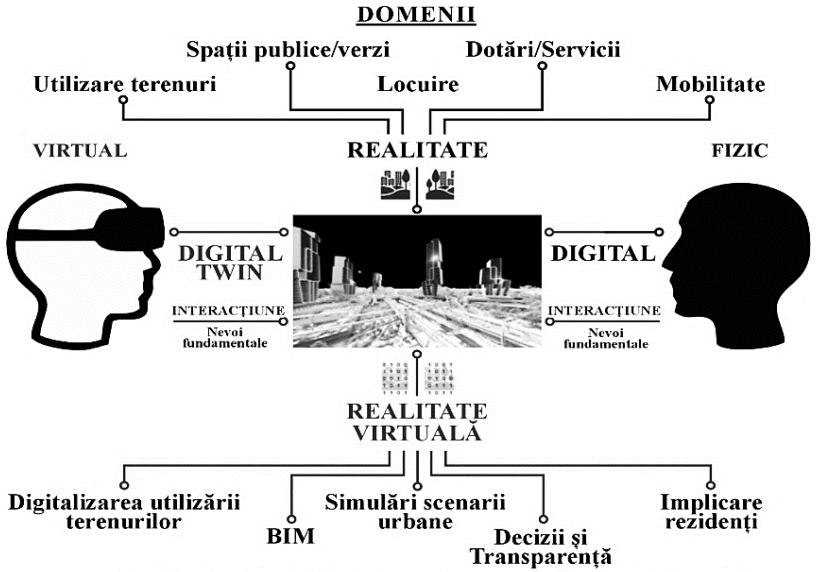


Figura 55. Modelul de funcționare a paradigmei VRbanism
(Sursa: autorul[61])

În plus, utilizarea VR în mediul construit poate duce la îmbunătățirea calității mediului construit și la creșterea eficienței în toate etapele de dezvoltare ale formei urbane, având un impact semnificativ asupra unor domenii precum mobilitatea, serviciile publice, locuirea, consumul de energie și utilizarea terenurilor.

Paradigma VRbanism aduce îmbunătățiri considerabile în domeniul urbanismului pe mai multe planuri. În primul rând, utilizarea VR în proiectarea urbană permite evaluarea ideilor de proiectare în timp real și într-un spațiu 3D în timpul fazei de proiectare, comunicarea eficientă între diferitele părți interesate, economisirea timpului prin excluderea presupunerilor în proiectare și integrarea tuturor aspectelor în proiectare pentru a obține un oraș durabil și rezistent cu un minim de timp și resurse financiare.

[61] imagini din cadrul proiectului orașului iCity24/7, realizat la Master MPU-2018.

VR poate fi, de asemenea, folosită pentru promovarea urbanismului participativ, implicând cetățenii în procesul de dezvoltare urbană prin crearea unor medii virtuale prin care aceștia pot explora și contribui la proiectele de dezvoltare urbană. Nu în ultimul rând, realitatea virtuală poate fi utilizată pentru a simula și testa condiții operaționale diferite în mediul construit, specifice atât pentru clădiri, cât și pentru infrastructură. Acest lucru permite proiectanților să experimenteze și să testeze alternative de proiectare pentru a îmbunătăți calitatea produsului final și a optimiza designul.

În esență, există mai multe stadii prin care trece o formă urbană înainte de a ajunge la forma sa cea mai avansată, respectiv forma urbană virtuală, generată de VRbanism. În prima fază, forma urbană este alcătuită din ceea ce cunoaștem drept elemente de bază: obiecte (pavaj, vegetație, signalistică, fântâni, spații deschise și verzi), clădiri (clasificate după anumite criterii), infrastructură (străzi, poduri, stadion, ziduri, monumente, etc); loturi/ parcele; trasee, terenul și elementele de configurare a terenului (de ex. topografia).

Aceasta este cea mai simplă formă urbană și nu presupune niciun fel de interacțiune cu tehnologia (*cf*. Figura 56.1). În schimb, cea de-a doua fază reprezintă o primă formă de integrare a tehnologiei în cadrul formei urbane, dând naștere unei forme urbane inteligente, cunoscută și sub denumirea de *smart city* (*cf*. Figura 56.2).

În cadrul formei urbane inteligente, putem discuta despre un ecosistem digital simplu, alcătuit dintr-un ansamblu de tehnologii digitale (precum IoT, Big Data, senzori, telefoane mobile și alte dispozitive portabile) interconectate care permit colectarea, analiza și comunicarea datelor în vederea îmbunătățirii funcționării orașului și a serviciilor publice (Schaffers și alții, 2012). A treia fază reprezintă, de fapt, o formă urbană inteligentă avansată, construită pe platformele existente ale orașului inteligent (*cf*. Figura 56.3). Aceasta presupune adăugarea unor tehnologii și dezvoltarea infrastructurilor necesare pentru a amplifica experiențele utilizatorilor prin realități augmentate și virtuale. Ultima fază este și cea mai avansată metodă de reprezentare și înțelegere a formei urbane, respectiv forma urbană virtuală, ilustrată prin intermediul geamănului digital (*cf*. Figura 56.4).

Folosind tehnicile de proiectarea urbană în XR, utilizatorii integrează scene reale în procesul de proiectare urbană. În mod evident, această abordare este mai avansată decât platformele anterioare, care se concentrau doar pe vizualizarea modelelor digitale. În schimb, VRbanismul suprapune reprezentarea digitală peste mediul fizic existent la fața locului, oferind o perspectivă mai precisă asupra spațiului (Schubert și alții, 2015).

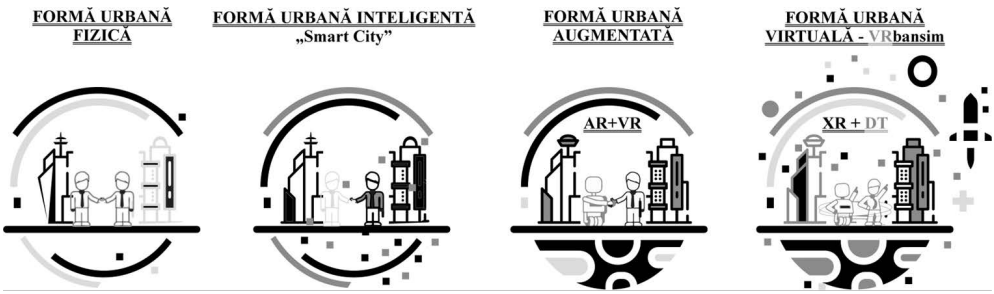


Figura 56 (1-4). VRbanism: etapele transformării formei urbane într-o formă urbană virtuală (Sursa: autorul)

Practic, trecerea de la forma urbană fizică la forma urbană virtuală coincide cu tranziția de orașul fizic la orașul virtual, acesta fiind chiar contextul apariției paradigmei VRbanism. Trecerea de la orașul fizic la cel virtual implică o transformare radicală a modului în care oamenii interacționează cu mediul construit. Orașul virtual este definit ca un spațiu generat de tehnologia informației, care este accesibil prin intermediul internetului și în care oamenii pot interacționa cu diferite servicii și informații, fără a fi prezenți fizic în acel spațiu.

Tranziția de la forma urbană fizică la cea virtuală se realizează prin crearea de modele digitale detaliate ale clădirilor și spațiilor urbane. Aceste modele includ informații despre caracteristicile fizice, funcționale și de performanță ale elementelor constitutive. Prin intermediul tehnologiei IoT și al proceselor de analiză a datelor extinse se construiește un mediu digital reprezentativ al întregii forme urbane (*cf*. Figura 57). Acest mediu oferă experiențe imersive care facilitează vizualizarea și interacțiunea cu orașul virtual.

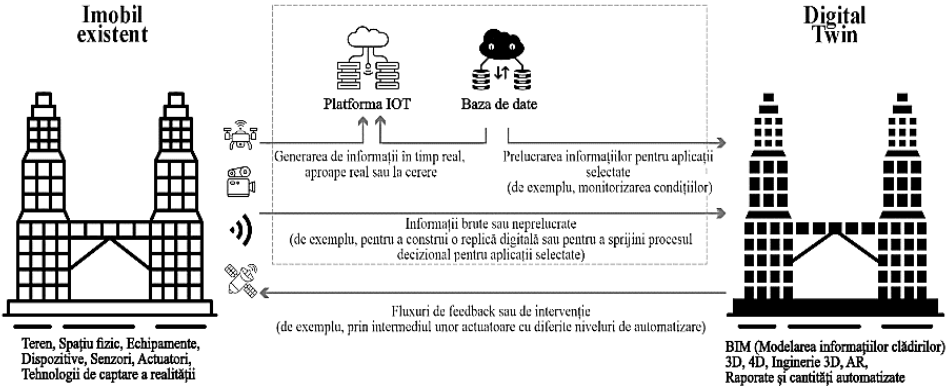


Figura 57. Tranziția oraș fizic - oraș virtual: DT obiectul arhitectural
(Sursa: autorul, prelucrare după Shahzad, 2022)

În ceea ce privește legitimitatea VRbanism-ului, aceasta constă în capacitatea sa de a răspunde provocărilor și nevoilor actuale ale dezvoltării urbane. Într-o lume tot mai digitalizată, VRbanismul oferă o abordare nouă și inovatoare în proiectarea urbană, aducând avantaje precum participarea comunității, simulările realiste, evaluarea eficientă a impactului și optimizarea proiectelor urbane.

Această paradigmă valorifică tehnologiile avansate precum realitatea virtuală și realitatea augmentată, Big Data, IoT, pentru a obține rezultate mai eficiente, contribuind la crearea unor orașe mai inteligente și mai adaptate nevoilor comunității. În acest context, VRbanismul poate deveni o modalitate valoroasă de a comunica conceptele de proiectare urbană către diverse audiențe, oferind o experiență imersivă și interactivă pentru părțile interesate.

Unul dintre avantajele VRbanism-ului constă în posibilitatea implementării sale pentru a permite utilizatorilor să experimenteze mediul urban în moduri care altfel nu ar fi posibile în lumea reală. În primul rând, prin simularea unor scenarii de dezvoltare sau transformare a formei urbane în Digital Twin, se pot testa și evalua diferite variante înainte de a fi implementate în mediul real.

Altfel spus, funcționalitatea orașului virtual sau a geamănului digital permite vizualizarea și evaluarea comparativă a unor scenarii alternative - „*what if scenarios*" (*cf*. Figura 58). Acest lucru permite analiza impactului proiectelor și identificarea potențialelor probleme sau oportunități înainte de a angaja costuri ridicate pentru construcția, dezvoltarea sau transformarea formei

urbane. În al doilea rând, utilizatorii pot explora un oraș din perspective multiple, de la nivelul unui pieton, a unui biciclist, a unui șofer sau a unui pasager într-un mijloc de transport în comun, până la nivelul unui decident politic. Nu în ultimul rând, prin intermediul VRbanism-ului, urbaniștii pot lucra cu un instrument virtual foarte precis în obținerea de feedback rapid din partea rezidenților și a altor actori urbani. Folosind Digital Twin-ul pentru a îmbunătăți calitatea proiectelor de urbanism înainte de a le construi fizic, în lumea reală.

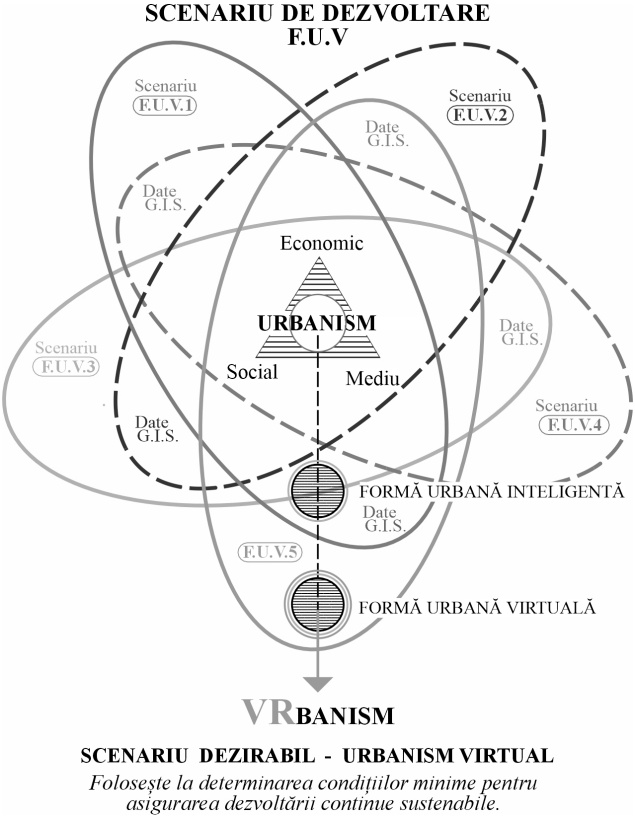


Figura 58. Ilustrarea scenariilor alternative din cadrul unui *Digital Twin* (Sursa: autorul)

VII.2. Legitățile paradigmei VRbanism

Pentru a face trecerea de la spațiul fizic la spațiul virtual, este necesară îndeplinirea unor condiții și adoptarea unor tehnologii emergente în practica de urbanism. Practic, aceste condiții de implementare sunt, de fapt, legitățile paradigmei VRbanism și includ:

(1) VRbanismul depinde de accesul continuu la infrastructură digitală și competențe tehnologice adecvate. Astfel, implementarea VRbanism-ului necesită o infrastructură tehnologică solidă, inclusiv echipamente *hardware* și *software* specializate pentru crearea, simularea și interacțiunea cu mediul urban virtual. Este important ca această infrastructură să fie actualizată și funcțională pentru a permite o experiență de calitate. Totuși, accesul la infrastructură tehnologică adecvată nu garantează succesul implementării VRbanism-ului în proiectarea urbană. Prin urmare, trebuie subliniată importanța cunoștințelor și a abilităților personalului implicat în proiectarea urbană bazată pe realitate virtuală și tehnologii avansate, precum și capacitatea de analiză a datelor obținute din mediul urban virtual.

(2) VRbanismul se bazează pe un proces de proiectare urbană transparent, flexibil și incluziv, care încurajează participarea activă a cetățenilor în procesul de luare a deciziilor privind forma urbană. Altfel spus, VRbanismul trebuie să acorde o atenție deosebită includerii tuturor comunităților și grupurilor de interes, având la bază principiul colaborării și al participării publice/ comunitare active și oferind oportunități egale pentru toți participanții implicați în activitățile de proiectare urbană inteligentă. Acest aspect necesită crearea unui mediu deschis și transparent care să promoveze dialogul și implicarea tuturor părților interesate.

(3) Autosuficiența și finanțarea adecvată sunt fundamentale pentru implementarea eficientă a VRbanism-ului în proiectarea urbană. Cu alte cuvinte, implementarea VRbanism-ului necesită resurse financiare și suport adecvat pentru a asigura funcționarea și dezvoltarea continuă a infrastructurii tehnologice și a proceselor implicate în proiectarea urbană inteligentă în mediul virtual. De asemenea, acesta trebuie să-și dezvolte capacitatea de a genera resurse și finanțare internă pentru a susține operaționalitatea și evoluția VRbanism-ului pe termen lung, inclusiv prin generarea de venituri din servicii și produse digitale asociate.

(4) Operaționalizarea paradigmei VRbanism în domeniul urbanismului necesită o reglementare riguroasă și instituirea unor norme de aplicare precise. Cu alte cuvinte, această legitate presupune existența unor reguli

și standarde clare pentru utilizarea tehnologiilor de realitate virtuală în proiectarea urbană, inclusiv a chestiunilor referitoare la interoperabilitate. În plus, aspectele etice, confidențialitatea datelor și protecția informațiilor personale trebuie să fie luate în considerare și să fie respectate în implementarea acestei paradigme.

(5) Interdisciplinaritatea și colaborarea sunt esențiale în implementarea VRbanism. Acest lucru presupune colaborarea între diverse discipline și domenii de expertiză, cum ar fi urbanismul, arhitectura, ingineria, designul interactiv și tehnologiile informatice. Abordarea VRbanism-ului necesită o înțelegere integrată a aspectelor urbanistice și tehnologice, pentru a dezvolta soluții inovatoare și eficiente în proiectarea și urbană inteligentă în mediul virtual.

Paradigma VRbanism este deja o realitate a secolului al XXI-lea. O demonstrație a acestei afirmații este chiar utilizarea conceptului de *Digital Twin*, o replică digitală a orașului real, care integrează informații geospațiale, reprezentări tridimensionale, date urbanistice și alte aspecte legate de forma urbană (elemente fizice, infrastructură, etc.).

Acest lucru este posibil prin suprapunerea mai multor straturi de date, precum: terenul, contextul în care se înscrie forma urbană, infrastructura, cadrul urban, elemente ale orașului fizic (mobilitate, economie, mediu de viață, etc.) (*cf*. Figura 59). Ultimul strat este reprezentat de orașul virtual, „construit” pe baza unor simulări privind dezvoltarea și evoluția formei urbane. Practic, între straturile 5 și 6, respectiv orașul fizic și orașul virtual se creează o relație bidirecțională continuă, în care orașul fizic transmite date reale și precise, în timp ce orașul virtual furnizează imagini prelucrate și simulări bazate pe teste și analize, care fundamentează decizii privind intervențiile ulterioare asupra formei urbane.

Astfel, utilizarea Digital Twin în contextul paradigmei VRbanism permite o analiză mai precisă, o luare de decizie mai informată și o colaborare mai eficientă între toate părțile implicate în proiectarea și dezvoltarea urbană.

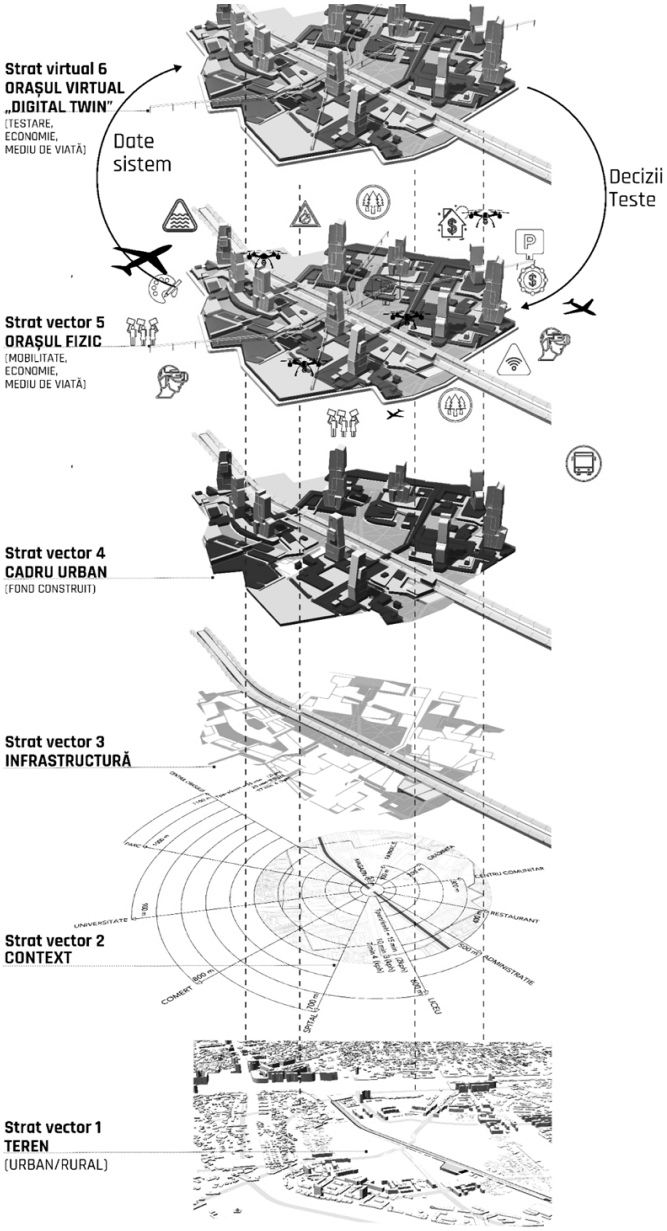


Figura 59. Ilustrarea straturilor aferente unui DT (Sursa: autorul)

Tranziția către un spațiu virtual în proiectarea orașelor presupune îndeplinirea unor condiții prealabile, care includ:

- Infrastructura IT - o infrastructură IT robustă este esențială pentru a susține funcționarea orașului virtual. Aceasta include rețele de comunicații, centre de date și alte elemente tehnice care permit oamenilor să se conecteze și să interacționeze în mod eficient în mediul virtual.
- Platforme de colaborare online - sunt necesare platforme de colaborare online pentru a permite interacțiunea dintre cetățeni, autorități locale și alte părți interesate. Acestea pot include rețele sociale, forumuri online, instrumente de colaborare la distanță și alte aplicații de comunicare.
- Date și analize - o componentă-cheie a orașului virtual este capacitatea de a colecta și analiza date. Acestea pot fi utilizate pentru a îmbunătăți proiectarea urbană, pentru a monitoriza fluxurile de trafic și pentru a dezvolta strategii de dezvoltare urbană. Tehnologiile asociate datelor, cum ar fi IoT și inteligența artificială (AI), sunt esențiale pentru a gestiona volumul mare de informații care intră într-un oraș virtual.
- Securitatea cibernetică - pentru a proteja datele și informațiile cu caracter personal ale cetățenilor și ale administrației locale, se impune dezvoltarea unor sisteme de securitate cibernetică puternice și eficiente. Acest lucru poate include criptarea datelor, anonimizarea datelor și alte măsuri de securitate similare.
- Finanțarea - trecerea la un oraș virtual necesită investiții semnificative în infrastructura IT, instrumente și tehnologii. Autoritățile locale trebuie să găsească surse de finanțare pentru a dezvolta și implementa aceste tehnologii.

În proiectarea urbană virtuală, prelucrarea datelor locale și globale au un rol complementar în îmbunătățirea eficienței și a preciziei procesului. Prelucrarea locală a datelor implică procesarea și generarea de cunoștințe în apropierea surselor de date, cum ar fi senzorii și dispozitivele mobile inteligente, sau alte obiecte inteligente care transmit date precise în timp real. În acest context, tehnologia IoT și inteligența artificială sunt extrem de importante pentru a procesa cantități mari de date provenite din surse eterogene.

De exemplu, senzorii de trafic și dispozitivele GPS produc date despre mișcarea vehiculelor, în timp ce senzorii de mediu produc date despre calitatea aerului și nivelurile de poluare. Astfel, VRbanism-ul poate sprijini procesul de proiectare urbană inteligentă prin integrarea tehnologiilor

digitale și analiza datelor pentru a obține o imagine mai completă și mai relevantă asupra nevoilor și preferințelor populației.

VRbanismul poate fi privit ca o paradigmă în disciplina urbanismului ce integrează tehnologiile avansate în domeniul proiectării urbane, având potențialul de a defini un nou tip de urbanism „virtual" (*cf.* Figura 60). Scopul său este de a exploata aceste tehnologii pentru a oferi experiențe imersive și interactive care să ajute profesioniștii, părțile interesate și publicul să participe și să înțeleagă mai bine procesul de proiectare urbană.

Concluziile studiilor de specialitate demonstrează una dintre ipotezele cercetării, respectiv faptul că VRbanism-ul poate facilita testarea și evaluarea opțiunilor de proiectare, furnizând informații relevante despre impactul și beneficiile proiectelor urbane înainte de a fi implementate. VRbanism poate fi considerat o nouă paradigmă în domeniul urbanismului contemporan, în sensul tranziției de la conceperea unui oraș fizic, la simularea unui oraș într-un mediu digital, în VR.

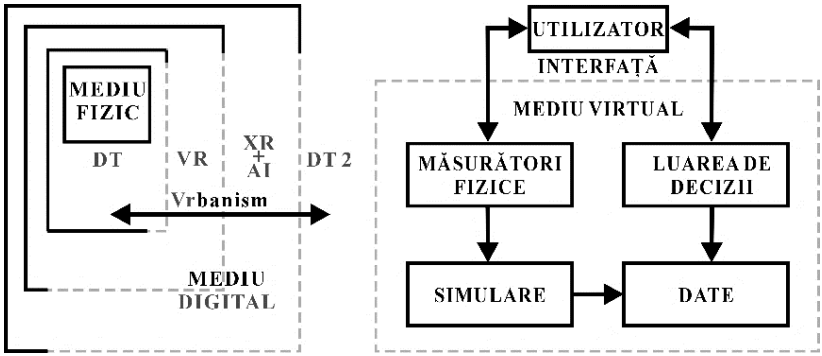


Figura 60. Integrare tehnologii avansate în cadrul sistemului de proiectare (Sursa: autorul)

VRbanism-ul oferă o modalitate interactivă de a explora schimbările propuse în mediul construit înainte de a fi efectuate și permite testarea și rafinarea ideilor înainte de a angaja resursele pentru construcția efectivă, ceea ce poate duce la o utilizare mai eficientă a resurselor.

În acest sens, VRbanismul aduce avantaje semnificative în diverse etape ale procesului de planificare și proiectare urbană, incluzând (1) identificarea problemei, (2) colectarea datelor, (3) analiza, (4) crearea de planuri alternative, (5) evaluarea și validarea, (6) luarea deciziilor, precum și (7) în

etapa de consultare și comunicare publică a rezultatelor procesului. Principalele tehnologiile de vizualizare a formei urbane virtuale (în mediul digital) includ: (a) cartografierea pe calculator și GIS, (b) simulările bazate pe jocuri, (c) vizualizarea datelor statistice, (d) modelarea geometrică 2D și 3D, precum și (e) reprezentările fotorealiste (*cf*. Figura 61).

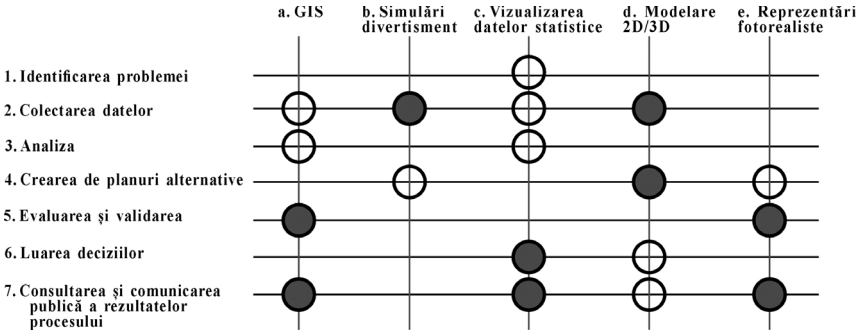


Figura 61. Corelare între etapele procesului de planificare și proiectare urbană și tehnologiile de vizualizare a formei urbane (sursa: autorul)

Această matrice indică faptul că tehnologiile avansate specifice VRbanismului prezintă avantaje considerabile pentru toate etapele procesului de planificare și proiectare urbană. Cu toate acestea, există diferite modalități prin care tehnologiile pot fi valorificate în cele trei etape principale ale urbanismului inteligent, respectiv planificarea, proiectarea și reglementarea formei urbane (*cf.* Figura 62).

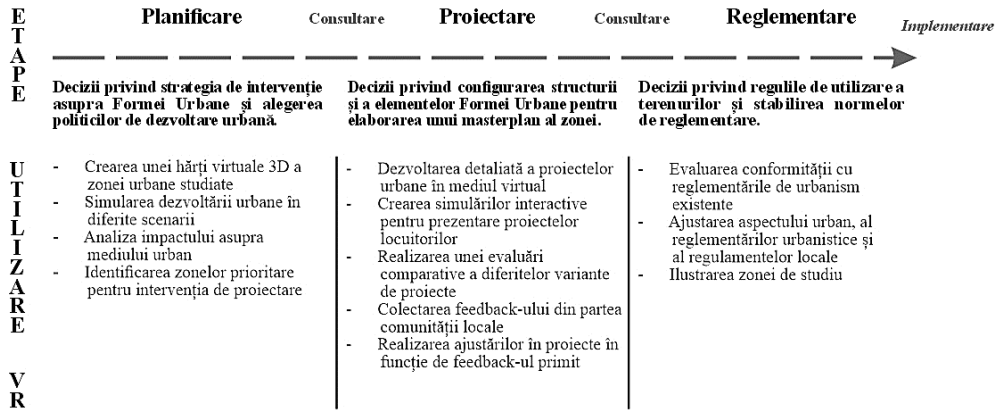


Figura 62. Utilizarea tehnologiilor avansate în cele trei etape ale urbanismului inteligent: planificare-proiectare-reglementare (sursa: autorul)

De asemenea, trebuie precizat faptul că posibilitatea de a implica publicul în procesele de proiectare și dezvoltare este adesea idealizată, însă este necesar un efort susținut pentru a obține validarea unei soluții de către comunitate (Walters, 2007). Cu toate acestea, studiile indică faptul că nu întotdeauna locuitorii unei zone cunosc cea mai bună soluție pentru comunitatea lor, iar atitudini negative pot apărea frecvent, în special în contextul propunerilor unei dezvoltări de amploare a formei urbane.

În ciuda acestor posibile provocări, actorii urbani și deciziile lor joacă un rol extrem de important în evoluția, definirea și modelarea formei urbane virtuale, influențând decizii care afectează aspectul și funcționarea orașelor. Cu alte cuvinte, VRbanismul poate fi o resursă valoroasă pentru procesul de planificare și proiectare a orașului, însă trebuie să fie utilizat cu atenție pentru a evita marginalizarea sau ignorarea anumitor grupuri de cetățeni. Prin urmare, actorii urbani ar trebui să fie implicați activ în procesul de dezvoltare urbană virtuală, mai ales prin crearea unui dialog deschis și transparent.

Subliniind astfel transformarea digitală și, implicit, adoptarea și valorificarea tehnologiilor avansate în contextul paradigmei VRbanism pot îmbunătăți semnificativ procesul de proiectare și planificare urbană inteligentă, contribuind la dezvoltarea unor proiecte care să răspundă eficient nevoilor comunităților și generând un impact pozitiv asupra formei urbane.

VII.3. Premise privind aplicabilitatea VRbanism în contextul proiectării urbane din România

În România, planificarea teritorială se realizează la două niveluri – urbanism și amenajarea teritoriului, iar elaborarea și aprobarea documentelor aferente sunt supuse unor legi în schimbare rapidă, controlate de autoritățile locale și centrale (Petrișor, 2010).

În ultimele decenii, România a experimentat o dezvoltare urbană rapidă, iar procesele de proiectare și planificare urbană au devenit tot mai complexe. Cu toate acestea, gradul de digitalizare a practicilor de urbanism din țară a rămas destul de în urmă. Până în prezent, procesele de proiectare și planificare urbană din România au fost, în general, bazate pe abordări tradiționale, cu utilizarea predominantă a metodelor și instrumentelor tradiționale de desen, planificare, proiectare și analiză urbană. Prin urmare, planurile și documentele urbanistice sunt realizate, în mare parte, sub formă fizică sau în format electronic standard. În plus, elaborarea documentațiilor de urbanism și amenajarea teritoriului implică, adesea, un proces birocratic lung și complicat (Petrișor, 2010). Totuși, trebuie remarcat faptul că există din ce în ce mai multe inițiative și măsuri pentru reducerea birocrației și simplificarea procedurilor (*ibid*.).

De exemplu, digitalizarea se numără printre principalele eforturi depuse la nivel național în diverse domenii, inclusiv în domeniul urbanismului și amenajării teritoriului. Acest lucru poate fi observat atât la nivel legislativ (în sensul adoptării unor prevederi legislative care impun anumite obligativități la nivelul elaborării documentațiilor de urbanism și amenajarea teritoriului), cât și la nivel aplicativ.

În primul rând, la nivel legislativ, digitalizarea în domeniul urbanismului și amenajării teritoriului a devenit o prioritate la nivel național. Aceasta se reflectă prin adoptarea unor reglementări ce prevăd implementarea și valorificarea noilor tehnologii, cum ar fi sistemele de informații geografice (GIS), pentru a sprijini elaborarea și actualizarea documentațiilor de urbanism și amenajarea teritoriului. Un exemplu elocvent în această direcție este reprezentat de normele metodologice de aplicare a Legii nr. 350/2001 privind amenajarea teritoriului și urbanismul[62], care stipulează faptul că

[62] ORDIN nr. 233 din 26 februarie 2016 pentru aprobarea Normelor metodologice de aplicare a Legii nr. 350/2001 privind amenajarea teritoriului și urbanismul și de elaborare și actualizare a documentațiilor de urbanism, publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 199 din 17 martie 2016, disponibil la adresa: *https://legislatie.just.ro/Public/DetaliiDocument/176682*, accesată în 06.06.2023.

Planul de Amenajare a Teritoriului Zonal (PATZ)[63] și Planul de Amenajare a Teritoriului Județean (PATJ)[64] trebuie să includă o bază de date geospațială realizată în format GIS, pe straturi tematice, în sistem de proiecție stereografică 1970. Același lucru se aplică și documentelor referitoare la mobilitatea urbană (planul de mobilitate urbană - PMU)[65], care trebuie elaborate atât în format tipărit, cât și în format digital GIS. În practică, tehnologia GIS a început să fie din ce în ce mai utilizată în realizarea documentațiilor de urbanism, cum ar fi Planul Urbanistic General al municipiilor și orașelor din România. Un exemplu elocvent în acest sens este chiar proiectul de *Revizuire Plan Urbanistic General al Municipiului București*, coordonat de Centrul de Cercetare, Proiectare, Expertiză și Consulting (CCPEC) al Universității de Arhitectură și Urbanism Ion Mincu, București, aflat în curs de elaborare. Documentația aferentă PUG București prevede integrarea instrumentelor GIS ca suport constant de decizie în gestiunea eficientă a teritoriului. În acest context, documentația PUG bazată pe tehnologia GIS oferă o bază solidă pentru prevederea unor reglementări flexibile, adaptabile la o dezvoltare dinamică, punând bazele unei noi paradigme a secolului al XXI-lea, respectiv cea a urbanismului dinamic[66].

De asemenea, interesul crescut privind integrarea soluțiilor geospațiale în domeniul urbanismului în România este reflectat și de suita conferințelor organizate anual începând cu 2003, de *Intergraph Computer Services*, sub egida evenimentelor „Lumea Geospațială" (*cf*. Figura 63).

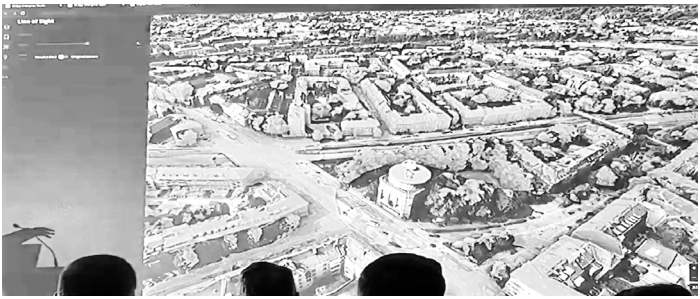


Figura 63. Maparea inteligentă și dinamică a luminii naturale în zone urbane (sursa: Florescu, 2023[67])

[63] *cf*. Art 6, alin d(4).
[64] *cf*. Art 8, alin 2.
[65] *cf*. Art 15, alin 10.
[66] Informații disponibile la adresa: *https://pug-bucuresti.uauim.ro/despre*, accesată în 03.10.2023.
[67] Imagine realizată în cadrul ediției 2023 a evenimentului Lumea Geospațială.

Practic, temele dezbătute în cadrul acestor evenimente au marcat diverse etape ale evoluției tehnologice, de la problematica datelor și a serviciilor deschise pentru eficientizarea procesului decizional, până la maturizarea digitală[68]. Aceste subiecte au culminat cu tema inteligenței artificiale și utilizarea acesteia în instituții și organizații care furnizează servicii critice în România, subiect abordat în cadrul evenimentului Lumea Geospațială 2023. Concluziile evenimentului indică faptul că integrarea inteligenței artificiale în procesul de digitalizare a instituțiilor și organizațiilor din România reprezintă un pas esențial pentru eficientizarea și inovația în furnizarea serviciilor publice.

Un alt exemplu de accelerare a tranziției către digitalizarea activităților de planificare și proiectare urbană se poate identifica la nivelul condițiilor de accesare a fondurilor europene aferente Planului Național de Redresare și Reziliență (PNRR), care prevede elaborarea și actualizarea în format GIS a documentelor de amenajare a teritoriului și de planificare urbană, în cadrul componentei 10 – Fondul local[69]. În principal, această investiție are ca obiectiv utilizarea soluțiilor TIC guvernamentale și a aplicațiilor digitale pentru dezvoltarea urbanismului inteligent și beneficiază de o finanțare în valoare totală de 52,00 milioane euro, din care 40,00 milioane de euro valoare eligibilă prin PNRR.

De asemenea, propunerea de lege privind Codul Amenajării Teritoriului, Urbanismului și Construcțiilor (CATUC)[70] subliniază importanța utilizării GIS în elaborarea documentațiilor de urbanism. În ciuda faptului că această lege nu este încă adoptate, este important de subliniat faptul că aceasta prevede ca documentațiile de urbanism să fie elaborate și actualizate în format vectorial compatibil GIS, având ca suport geospațial datele actualizate și complete din cadrul sistemelor informaționale specifice domeniilor de activitate ale autorităților administrației publice și instituțiilor publice, prin intermediul platformei datelor informaționale interoperabile,

[68] Informații disponibile la adresa: *https://lumeageospatiala.ro/acasa-lgs-2023*/, accesată în 03.10.2023.

[69] Ghid specific din 10 mai 2022 privind Condiții de accesare a fondurilor europene aferente Planului național de redresare și reziliență în cadrul apelurilor de proiecte PNRR/2022/C10, componenta 10 - Fondul local, publicat în Monitorul Oficial al României, nr. 467 bis din 10 mai 2022, disponibil la adresa: *https://legislatie.just.ro/Public/DetaliiDocument/255096*, accesată în 06.06.2023.

[70] Propunerea de lege privind Codul Amenajării Teritoriului, Urbanismului Și Construcțiilor, disponibilă la adresa *http://sgglegis.gov.ro/legislativ/docs/2022/11/_0n1p98wvfxmskrt375c.pdf,* accesată în 06.06.2023.

pentru a fi publicate în geo-portalul național de urbanism[71]. Din punctul de vedere al proiectării urbane, proiectul de lege privind CATUC propune ca documentațiile tip *Plan Urbanistic General (PUG) se realizează în sistem GIS utilizând simultan două categorii de informații care fundamentează deciziile, respectiv: a) date de tip vectorial prin care sunt reprezentate entități spațiale ce sunt reglementate urbanistic, precum limite administrative, limite ale unităților teritoriale de referință, limite ale parcelelor, limite ale unor zone de protecție, zone funcționale, clădiri, drumuri, rețele și altele asemeni; b) date de tip atribut prin care sunt gestionate informațiile specifice asociate referitoare la fiecare dintre entitățile spațiale reglementate*[72].

Toate aceste schimbări legislative demonstrează eforturile susținute de România pentru a se alinia la tehnologia digitală și pentru a utiliza GIS-ul în elaborarea și gestionarea documentațiilor de urbanism și amenajarea teritoriului. Prin măsurile de digitalizare, se urmărește crearea unor baze de date geospațiale precise și actualizate, care să ofere suport pentru luarea deciziilor în proiectarea urbană și dezvoltarea sustenabilă a orașelor.

În al doilea rând, la nivel aplicativ, digitalizarea în domeniul urbanismului și amenajării teritoriului, a cunoscut o evoluție semnificativă în ultimii ani, cu accent pe utilizarea sistemelor de informații geografice (GIS) și tehnologiei tridimensionale (3D) pentru a aborda diverse provocări urbane și pentru a sprijini o dezvoltare urbană sustenabilă. Aceste soluții tehnologice avansate sunt utilizate într-o varietate de scopuri, de la gestionarea resurselor naturale până la planificarea mobilității urbane și managementul traficului și protejarea patrimoniului cultural (Grecea și alții, 2016; Tereşneu și alții, 2016; Moscovici și alții, 2022; Crenganiș și alții, 2023).

În ceea ce privește gestionarea patrimoniului cultural, Timișoara este un exemplu din punctul de vedere al implementării unui geo portal dedicat obiectelor de patrimoniu cultural, integrat în cadrul unui sistem GIS urban existent, pentru a sprijini planificarea și proiectarea urbană și proiectul „Capitală Culturală Europeană". Studiile indică faptul că acest geo portal ar putea include modele tridimensionale ale obiectelor de patrimoniu cultural, asigurând o mai bună conservare și restaurare a acestora în timp și oferind posibilitatea de tururi virtuale, disponibile prin intermediul webGIS (Grecea și alții, 2016).

De asemenea, tot în cazul orașului Timișoara, tehnologia GIS și-a demonstrat utilitatea în soluționarea unor probleme ale traficului rutier, generate de

[71] *cf.* Art. 13, alin 5; Art. 15, alin 2, cf. Art. 23, alin 2; Art. 138, alin 5.
[72] *cf.* Art. 47, alin 3.

aglomerarea centrelor urbane de trafic intens și a zonelor cu trafic la orele de vârf (Moscovici și alții, 2022). În acest context, GIS-ul poate fi folosit pentru fluidizarea traficului, asigurând o mai bună circulație și aerisire a zonelor aglomerate și evitarea blocajelor de trafic, în special în orele de vârf (*ibid.*). În plus, digitalizarea joacă un rol important în managementul sustenabil al resurselor naturale.

În ceea ce privește managementul pădurilor în România, GIS-ul oferă posibilitatea de a controla în mod judicios resursele forestiere, inclusiv prin calculul exact al tăierii admisibile și programarea corespunzătoare a tăierilor (Tereşneu și alții, 2016). De asemenea, GIS-ul este aplicat și în domeniul gestionării apelor, oferind soluții pentru inventarierea și documentarea sistematică, cantitativă și calitativă a tuturor datelor privind condițiile naturale ale apelor, precum și gestionarea, utilizarea și protecția resurselor de apă pentru toate apele de pe teritoriul României (Crenganiș și alții, 2023).

Totodată, se poate observa o creștere a interesului pentru tehnologiile 3D în ultimii ani, fiind dezvoltate modele digitale tridimensionale ale marilor orașe bazate pe caracteristicile cartografice ale formei urbane, care pot fi utilizate în diverse domenii, cum ar fi cartografierea clădirilor și a înălțimilor acestora, simularea de construcții noi, operațiuni militare, gestionarea dezastrelor naturale, actualizarea bazelor de date cadastrale (Grecea și alții, 2012a; Moscovici și Grecea, 2017). Aceste exemple sunt rezultatul dezvoltării accelerate a tehnologiilor informaționale, contribuind la digitalizarea urbanismului românesc.

Ultimul exemplu, dar poate cel mai important, se referă la valorificarea tehnologiei GIS în contextul digitalizării cadastrului și fondului funciar. În acest sens, GIS-ul a devenit o soluție extrem de ofertantă pentru cartografierea terenurilor imobiliare și pentru înțelegerea evoluției acestora în cadrul pieței imobiliare. Utilizarea GIS în acest domeniu aduce numeroase avantaje în gestionarea eficientă a informațiilor spațiale, contribuind la optimizarea activității administrației locale și la monitorizarea eficientă a statutului entităților cadastrale (Grecea și alții, 2012b).

În România, Agenția Națională de Cadastru și Publicitate Imobiliară (ANCPI[73]) gestionează cadastrul național, care în iulie 2023 înregistra 21.821.176 proprietăți, reprezentând 54,55% din totalul estimat de 40.000.000. Dintre acestea, 6.057.529 provin din înregistrarea sistematică, adică 28% din total.

[73] *https://www.ancpi.ro/,* accesat în 06.06.2023.

Geoportalul INIS[74] oferă aplicații utile precum vizualizarea imobilelor, descărcarea limitelor administrative și accesul la seturi de date topografice și ortofotoplanuri. De asemenea, INIS include baze de date extinse, cum ar fi adrese, parcele cadastrale, rețele de transport, arii protejate, și informații meteorologice, geologice și de utilizare a terenului, facilitând accesul la informații complexe și actualizate pentru gestionarea și planificarea urbană (*cf*. Figura 64). De asemenea, Geoportalul INIS integrează o gamă variată de baze de date, inclusiv informații despre resurse energetice, habitate, și condiții atmosferice, oferind un suport esențial pentru analiza și planificarea urbană. Acest sistem contribuie semnificativ la gestionarea eficientă a terenurilor și la luarea deciziilor informate în domeniul public și privat.



Figura 64. Aplicație vizualizare TopRO5 - ilustrare strat clădiri
(Sursa: Geoportal INIS)

Implementarea GIS-ului în domeniul cadastrului permite optimizarea activităților de gestionare a terenului și reducerea timpului necesar pentru întocmirea documentațiilor de urbanism și amenajarea teritoriului, conducând la o eficiență crescută în cadrul instituțiilor responsabile (Grecea și alții, 2012a). Acest aspect evidențiază rolul deosebit pe care tehnologia GIS și cadastrul îl joacă în contextul urbanismului și al evaluării proprietăților imobiliare în România. Aceste tehnologii avansate au devenit fundamentale în procesul de dezvoltare urbană și administrare eficientă a teritoriului.

Prin urmare, tehnologia joacă un rol esențial în gestionarea eficientă a orașelor. În acest sens, România a făcut, în ultimii ani, eforturi graduale

[74] *http://geoportal.gov.ro/arcgis/apps/sites/#/inspire/*, accesată în 06.06.2023.

vizibile pentru digitalizarea practicilor de urbanism și proiectare urbană. Aceste eforturi sunt în mare parte susținute de modernizarea administrației publice și implementarea tehnologiilor informaționale în procesele administrative. Există exemple notabile de implementare a soluțiilor informatice pentru gestionarea și monitorizarea datelor spațiale și pentru eficientizarea proceselor de elaborare a documentațiilor de urbanism (Grecea și alții, 2012a; Grecea și alții, 2012b; Droj și Droj, 2015).

În mod evident, procesul de digitalizare în domeniul urbanismului în România este încă într-un stadiu incipient, dar se observă o creștere a interesului și adoptării platformelor și a instrumentelor software. În ciuda progreselor semnificative făcute, sunt necesare eforturi continue pentru a extinde și optimiza tehnologia în acest domeniu.

Cu toate acestea, utilizarea tehnologiilor avansate precum realitatea virtuală sau realitatea augmentată în proiectarea urbană rămâne încă limitată în România. Există câteva exemple izolate de utilizare a acestui tip de instrumentele digitale în domeniul urbanismului sau în domenii conexe, dar acestea nu sunt încă răspândite pe scară largă. De exemplu, realitatea augmentată a fost implementată în scopul explorării patrimoniului cultural prin intermediul proiectului Google Tango (Voinea și alții, 2019), în timp ce realitatea virtuală a fost aplicată în scopul promovării turismului durabil focalizat în jurul monumentelor istorice și bisericilor de lemn din România (Caciora și alții, 2021).

De asemenea, cercetarea asistată de noile tehnologii este una dintre principalele direcții de dezvoltare în cadrul Universității de Arhitectură și Urbanism Ion Mincu. Acest lucru este dovedit, de exemplu, de proiectul „Reconstrucția în realitatea virtuală a Muzeului Simu", care face parte dintr-o etapă actuală de recuperare a memoriei colective legate de vechiul București, fiind unul dintre proiectele fanion realizate în cadrul Atelierului Experimental „Mac Popescu"[75].

Cu toate acestea, există încă o rezistență la schimbare și unele dificultăți în implementarea tehnologiilor digitale în planificarea și proiectarea urbană, precum și limitări de ordin financiar. Implementarea tehnologiilor avansate presupune atât investiții în infrastructura digitală, cât și pregătirea personalului din administrațiile și instituțiile publice în utilizarea și operarea cu aceste tehnologii.

Prin urmare oportunitatea implementării paradigmei VRbanism în România se deschide pe măsură ce digitalizarea avansează și tehnologia devine din ce

[75] *https://ateliermacpopescu.wixsite.com/uauim,* accesat în 06.06.2023.

în ce mai accesibilă. De la crearea modelelor virtuale ale orașelor (Digital Twin) și utilizarea lor în procesul de proiectare, până la simularea experienței urbane pentru utilizatorii finali, tehnologiile avansate pot aduce o nouă dimensiune în proiectarea urbană.

VII.4. Potențial și limitări ale implementării VRbanism în România

VRbanismul, adică utilizarea realității virtuale (VR) în domeniul urbanismului prezintă atât un potențial semnificativ, cât și anumite limitări în contextul implementării sale în România. Această tehnologie emergentă poate aduce beneficii remarcabile în activitățile de proiectare urbană, dar există și provocări ce trebuie depășite pentru a valorifica pe deplin avantajele sale.

În esență, sistemele VR 3D pot fi utilizate pentru a depăși limitările reprezentărilor bidimensionale, permițând urbaniștilor să evalueze impactul noilor dezvoltări din diverse perspective, cum ar fi modelele de transport, impactul asupra mediului și accesul la infrastructură și alte facilități (Vakali și alții, 2014). De asemenea, utilizarea VR în proiectarea urbană poate aduce numeroase beneficii, inclusiv o vizualizare mai eficientă a datelor și o comunicare mai bună între toți factorii implicați în procesul decizional cu privire la viitorul formei urbane. Acest instrument poate fi deosebit de util în cadrul urbanismului participativ și poate contribui la crearea unor orașe mai durabile și inteligente. Cu alte cuvinte, realitatea virtuală (VR) poate fi considerată un instrument inovator pentru crearea și vizualizarea orașelor inteligente în era digitală, contribuind la revoluționarea proiectării și planificării orașelor actuale și viitoare. Cu toate acestea, sunt încă necesare mai multe cercetări și teste pentru a evalua pe deplin potențialul VR în proiectarea orașelor inteligente și pentru a dezvolta instrumente și tehnici care să permită utilizarea optimă a acestei tehnologii în proiectarea urbană inteligentă.

În ceea ce privește situația particulară din România, eforturile susținute în ultimii ani de digitalizare a domeniului urbanismului sunt evidente. Cu toate acestea, stadiul digitalizării este încă relativ în urmă pentru a permite implementarea imediată a unor soluții de tip VRbanism, însă acest lucru nu este imposibil. Oportunitățile de finanțare în domeniul digitalizării și presiunile Uniunii Europene în această direcție constituie, cu siguranță, niște stimuli promițători pentru a asista la un salt tehnologic rapid.

În aceste condiții, putem discuta despre principalele avantaje pe care utilizarea tehnologiilor avansate le poate aduce în activitățile de planificare și proiectare urbană.

În primul rând, implementarea tehnologiilor precum *Digital Twin* (DT) și Realitate Virtuală/ Realitate Extinsă (XR) în proiectarea urbană poate facilita participarea civică și incluziunea socială în procesul de dezvoltare a formei urbane. Aceste tehnologii permit cetățenilor să se implice activ în procesul decizional și să ofere feedback în timp real asupra propunerilor și proiectelor de dezvoltare. De asemenea, utilizarea tehnologiilor DT și XR poate îmbunătăți comunicarea și colaborarea între diferiți actori urbani, inclusiv autorități locale, profesioniști în domeniul urbanismului, arhitecți, dezvoltatori și cetățeni. Aceasta poate duce la o mai bună înțelegere a nevoilor și așteptărilor diferitelor grupuri și la dezvoltarea unor proiecte mai bine adaptate realității locale și nevoilor comunității. Practic, aceste tehnologii ar contribui la transparentizarea activității de proiectare urbană și a procesului decizional, având un impact pozitiv imediat asupra îmbunătățirii calității proiectării urbane.

În al doilea rând, tehnologiile DT și XR permit simularea și analiza eficientă a diferitelor scenarii de dezvoltare urbană. Aceasta permite evaluarea rapidă a impactului potențial al diferitelor decizii de proiectare asupra comunităților, mediului și economiei, facilitând astfel luarea deciziilor bazate pe date. Prin intermediul acestor tehnologii, se pot reduce costurile și timpul necesar pentru dezvoltarea proiectelor, deoarece analiza virtuală a diferitelor opțiuni și soluții de proiectare poate evita erorile și costurile asociate metodelor și instrumentelor tradiționale de proiectare urbană. În plus, este extrem de important de precizat faptul că analiza și evaluarea în mediul virtual nu presupun niciun fel de impact asupra formei urbane fizice. Cu alte cuvinte, aceste instrumente permit testarea unor scenarii într-un mediu controlat, fără a afecta, în realitate, diferite elemente ale formei urbane. Este de așteptat ca în următorii ani companiile de pe piața imobiliară să adopte aceste tehnologii pentru a crea proiecte convingătoare, eficiente și inovatoare, folosind tehnologiile digitale și realitatea extinsă, pentru a prezenta potențialilor cumpărători și investitori o experiență vizuală captivantă și interactivă a viitoarelor proiecte imobiliare.

În al treilea rând, tehnologiile DT și XR pot fi utilizate ca instrumente educaționale și de formare în domeniul urbanismului. Acestea pot oferi studenților și profesioniștilor o experiență practică și imersivă în procesul de proiectare urbană, contribuind astfel la dezvoltarea unor noi generații de profesioniști mai bine pregătiți și mai adaptați la provocările actuale și viitoare ale dezvoltării urbane. Această abordare poate spori interesul și angajamentul studenților față de domeniul urbanismului și îi poate motiva să se implice activ în învățarea și dezvoltarea competențelor necesare în acest domeniu. De asemenea, implementarea tehnologiilor DT și XR în programele de formare profesională consolidează înțelegerea teoretică cu

aplicații practice, pregătind astfel specialiștii pentru provocările reale din domeniul urbanismului. Acest lucru este susținut prin faptul că Universitatea de Arhitectură și Urbanism Ion Mincu se îndreaptă deja către această direcție, prin realizarea unor proiecte cu componenta de VR, precum VRtransFORm[76], respectiv dezvoltarea unei platforme online de expunere în realitatea virtuală.

Datorită implementării tehnologiilor DT și XR în urbanismul din România poate aduce numeroase beneficii în ceea ce privește dezvoltarea durabilă și eficientă a orașelor și comunităților. Prin folosirea acestor tehnologii, România poate face pasul către o proiectare urbană adaptivă și reziliență, monitoriza și gestiona eficient diferite elemente ale formei urbane, cu scopul de a îmbunătăți calitatea vieții locuitorilor. Toate aceste posibile avantaje ale implementării tehnologiilor avansate în contextul urbanismului românesc sunt extrem de așteptate și constituie o oportunitate valoroasă pentru modernizarea sistemului și adaptarea la realitatea secolului al XXI-lea. toate acestea, este important să abordăm și limitările și obstacolele asociate cu implementarea tehnologiilor avansate pentru a asigura o adoptare eficientă și responsabilă a acestor soluții inovatoare în procesul de dezvoltare urbană din România.

Astfel, în contextul implementării VRbanism-ului și a tehnologiilor avansate în domeniul urbanismului din România, trebuie să ținem cont și de anumite provocări și obstacole ce pot apărea pe parcursul acestui proces. Acestea includ:

- Accesibilitatea și calitatea datelor: O provocare esențială este asigurarea bazelor de date necesare pentru a alimenta tehnologiile avansate. Ținând cont de disparitățile regionale din România, este foarte posibil ca disponibilitatea datelor să fie inegală în diverse zone urbane, iar standardizarea și actualizarea constantă a datelor pot reprezenta un obstacol în crearea unor modele digitale precise pentru orașele din România. Există, cu certitudine, orașe fruntașe la capitolul digitalizării în domeniul urbanismului (precum Timișoara, Cluj-Napoca), însă stadiul la nivelul întregii țări nu este încă atât de avansat, ceea ce poate pune probleme serioase în adoptarea tehnologiilor avansate.

[76] Dezvoltarea infrastructurii de cercetare-dezvoltare și inovare din cadrul UAUIM prin introducerea noilor media de Realitate Virtuală în expunerea rezultatelor inovative a cercetării prin proiect din Departamentele Bazele Proiectării de Arhitectură și Sinteza Proiectării de Arhitectură a UAUIM, *https://www.uauim.ro/cercetare/ffcsu-2021/vrtransform/*, accesat în 08.06.2023.

- Disponibilitatea infrastructurii și a resurselor tehnologice: Pentru implementarea eficientă a tehnologiilor avansate și VRbanismului, este necesară o infrastructură digitală adecvată. Așa cum am precizat și în cazul accesului și calității datelor, conectivitatea și accesul la echipamente avansate pot fi limitate în unele regiuni din țară, ceea ce poate afecta implementarea și utilizarea pe scară largă a acestor tehnologii în procesele de proiectare urbană. Cu toate acestea, activitățile de proiectare și planificare și proiectare urbană la nivel local se pot dezvolta independent de planificarea la scară teritorială, ceea ce însemnă că tehnologiile avansate pot juca un rol important în contextul proiectelor la scară urbană în următorii ani, în orașele inteligente și avansate.
- Costuri și posibilități de finanțare: Implementarea tehnologiilor avansate și a VRbanism-ului poate implica costuri semnificative pentru achiziționarea de echipamente, software și servicii specializate. Asigurarea resurselor financiare necesare pentru dezvoltarea și menținerea acestor tehnologii poate fi un factor crucial pentru succesul lor pe termen lung. Din păcate, resursele financiare disponibile în România sunt destul de limitate, ceea ce poate afecta capacitatea autorităților locale sau a companiilor private de a investi în tehnologiile avansate pentru proiectarea urbană. De asemenea, potențialii beneficiari ai tehnologiilor avansate precum autoritățile locale sau companiile de construcții, pot fi reticente să investească în aceste tehnologii din cauza incertitudinilor legate de rentabilitatea investiției pe termen lung.
- Securitate și confidențialitate: Atât în România, cât și în alte state, utilizarea tehnologiilor avansate în proiectarea urbană ridică preocupări specifice în privința securității datelor și a protecției confidențialității. Aspectele legate de colectarea și stocarea datelor sensibile despre infrastructură și cetățeni necesită o abordare riguroasă a securității cibernetice pentru a preveni accesul neautorizat sau utilizarea abuzivă a informațiilor. Din acest punct de vedere, implementarea tehnologiilor avansate presupune, obligatoriu, adoptarea unor norme de securitate.

În ciuda acestor provocări, potențialul tehnologiilor avansate și al VRbanism-ului în domeniul urbanismului din România este promițător. Abordarea inteligentă a acestor obstacole, colaborarea strânsă dintre părțile interesate și dezvoltarea unor strategii adecvate pot duce la o dezvoltare urbană mai eficientă, durabilă și adaptată la nevoile și cerințele secolului al XXI-lea.

De fapt, identificarea și înțelegerea oportunităților și a provocărilor pot servi drept ghid pentru dezvoltarea unei strategii adecvate de implementare a tehnologiilor avansate precum Realitate Virtuală și Digital Twin în proiectarea urbană din România. Cu eforturi concentrate în această direcție, România poate valorifica pe deplin potențialul tehnologiilor avansate pentru a crea orașe inteligente și durabile, adaptate nevoilor comunităților, îmbunătățind considerabil calitatea activităților de proiectare urbană și adaptându-le la cerințelor secolului al XXI-lea.

VII.5. Recomandări pentru implementarea paradigmei VRbanism în România

Implementarea VRbanism-ului în România poate fi un pas important pentru dezvoltarea urbană durabilă și inteligentă și îmbunătățirea activităților de proiectare urbană, în sensul adaptării lor la posibilitățile oferite de era digitală. Totuși, pentru a discuta aplicat despre implementarea paradigmei VRbanism în România, este necesară o scurtă trecere în revistă a etapelor necesare pentru operaționalizarea acestei paradigme în domeniul urbanismului.

(1) În primul rând, este important să înțelegem punctul de plecare, care este reprezentat de orașul fizic. Orașul fizic este o entitate complexă alcătuită din multiple componente interconectate, precum mediul natural (atmosfera și factorii de mediu), mediul construit (clădiri și infrastructură), fluxurile de persoane și mărfuri (transport și mobilitate). Toate aceste componente sunt strâns legate între ele și au un impact reciproc asupra funcționării și dezvoltării formei urbane. În acest context, primul pas constă în descompunerea formei urbane astfel încât să permită identificarea problemelor și a avantajelor în raport cu obiectivul planificării și proiectării urbane. Astfel, reprezentarea lor în mediul digital oferă o perspectivă cuprinzătoare asupra funcționării orașului și facilitează identificarea oportunităților de îmbunătățire a diferitelor elemente din cadrul formei urbane.

(2) Al doilea pas se referă la echiparea orașului cu infrastructura digitală necesară funcționării tehnologiilor avansate. În această etapă, se pune accentul pe distribuția datelor prin intermediul infrastructurii digitale. Concret, acest pas se referă la procesul de distribuție a punctelor și dispozitivelor IoT ce vor asigura actualizarea permanentă a datelor în diferite locații din cadrul orașului. În principal, construirea infrastructurii de rețea poate include rețele de frecvență radio, cabluri de fibră optică și banda largă pentru asigurarea unei conexiuni permanente la Internet. În această fază, se

impune o atenție deosebită securității cibernetice și protecției datelor în cadrul infrastructurii de rețea.

(3) Al treilea pas vizează procesul de colectare a datelor prin senzorii din mediul urban. Etapa de colectare a datelor extrage informațiile necesare pentru a fundamenta procesul de analiză urbană și pentru a ghida procesul de luare a deciziilor cu privire la transformarea formei urbane. Datele sunt emise în permanență de dispozitivele amplasate în mediul urban, care transmit informații despre starea lor curentă. În general, datele colectate sunt de mai multe tipuri, cum ar fi: date privind locația și fluxurile de mișcare în oraș (generate prin sistemele de poziționare GPS/ *Bluetooth* utilizate pentru serviciile de localizare a telefoanelor mobile), date privind calitatea factorilor de mediu (generate prin instrumente de detectare a vremii, Lidar/Radar, imagini prin satelit/aer, dispozitive de monitorizare a calității aerului, apei, etc.), date privind consumul de teren, energie, etc (generate prin indicatori și indici urbanistici, precum și prin intermediul contoarelor de electricitate/gaz sau a sistemelor integrate de monitorizare a clădirilor – *smart buildings*), date privind siguranța (generate cu ajutorul camerelor de luat vederi montate în trafic, etc.).

De exemplu, aceste date pot furniza informații despre cum densitatea populației sau dezvoltarea zonelor noi influențează mijloacele de transport în comun și infrastructura publică existentă, cum ar fi parcuri sau alte dotări socio-culturale precum școli, licee, spitale, etc. Practic, această etapă coincide cu constituirea unei forme urbane inteligente (*smart city*), în care procesul de colectare a datelor se bazează pe conceptul de Internet of Things (IoT), ce funcționează ca un sistem urban de senzori digitali care măsoară în mod continuu diferiți indicatori urbane și le transformă în informații digitale utilizabile.

(4) Pasul patru se referă la procesul de gestionare și stocare în infrastructurile de stocare a datelor bazate pe tehnologia IoT. În mod evident, datele colectate necesită stocare pentru a fi utilizate ulterior. Există diverse forme de infrastructură de stocare a datelor, în funcție de volumul, formatul, complexitatea și sensibilitatea datelor. Această infrastructură poate fi amplasată fie pe teren (în diferite locații în care sunt montate dispozitivele de colectare a datelor respective), fie în cloud. În oricare dintre aceste cazuri, stocarea datelor este extrem de importantă, întrucât analizele urbane și procesele de înțelegere a dinamicii urbane presupun accesul la o bază extinsă de date, pentru a permite identificarea unor tendințe și a unor posibile direcții de evoluție a diferitelor elemente din cadrul formei urbane.

(5) În următorul pas, procesul este orientat pe prelucrarea datelor în mediul digital. Practic, această etapă este extrem de importantă întrucât asigură

selectarea datelor relevante, sintetizarea concluziilor pentru diferite tipuri de analize sectoriale și suprapunerea concluziilor pentru a identifica cele mai importante aspecte de transmis privind forma urbană. Din moment ce datele provin din diferite surse, în această etapă este esențială asigurarea interoperabilității datelor care să permită integrarea informațiilor și extragerea unor concluzii relevante pe mai multe paliere de analiză. În această etapă, este posibilă, de asemenea, utilizarea unor software avansate pentru analiza urbană, inclusiv a inteligenței artificiale pentru a valoriza cât mai bine informațiile culese.

(6) Pasul al șaselea se bazează pe procesul de vizualizare a datelor. Vizualizarea datelor transformă informațiile urbane în informații semnificative pentru diferite categorii de audiență – public specializat și public nespecializat. Astfel, vizualizarea devine un instrument puternic care permite utilizatorilor să înțeleagă rezultatele, să identifice domeniile de acțiune și să comunice deciziile rezultate din proiect. Practic, în această fază, sunt comunicate diferite aspecte referitoare la forma urbană, iar datele pot fi prezentate sub formă de grafice, diagrame sau hărți, individual sau combinate într-un tablou de bord. Această etapă este relevantă atât pentru discutarea unor posibile scenarii de intervenție asupra formei urbane în colective mixte de elaborarea a proiectelor de urbanism și proiectare urbană, cât și pentru comunicarea rezultatelor către publicul larg, în cadrul unor procese de consultare și implicare a populației.

(7) Al șaptelea pas este constituit din procesul de învățare automată cu ajutorul algoritmilor de parametrizare a datelor digitale. În această etapă, algoritmii și învățarea automată îmbunătățesc multiple aspecte ale proiectelor urbane, aspecte ce ar putea fi trecute cu vedere în alte condiții. În acest context, utilizarea tehnologiilor avansate și în special a inteligenței artificiale devine esențială pentru realizarea unor intervenții urbane automate, permițând alerte automatizate, predicții viitoare și modelarea scenariilor de intervenție asupra formei urbane, ținând cont de diferiți parametri. De fapt, această etapă se materializează prin generarea de hărți tematice detaliate utilizând tehnologiile avansate pentru a analiza scenariile generate pe baza datelor, permițând identificarea tendințelor urbane.

(8) Ultimul pas coincide cu procesul de luare a deciziilor și adaptarea acestora în funcție de impactul proiectelor asupra mediului real. Această etapă permite părților interesate să pună în practică rezultatele proceselor anterioare, folosind, de fapt, rezultatele acestora. Luarea deciziilor și adaptarea acestora în funcție de evoluția formei urbane trebuie să fie un proces continuu de evaluare, pentru a asigura adaptarea formei urbane la noi condiții și nevoi ale locuitorilor. În etapa de luare a deciziilor, proiectele

urbane sunt pregătite să genereze un impact asupra mediului fizic, în sensul rezolvării unor probleme sau îmbunătățirii condițiilor și calității vieții în orașe. Acest lucru duce la noi vizualizări și perspective, care pot genera diferite predicții și, la rândul lor, pot inspira decizii alternative.

Punctul final al procesului de operaționalizare a VRbanism-ului constă în generarea unei forme urbane virtuale, cunoscută și sub denumirea de Digital Twin sau Geamăn Digital. Această formă urbană virtuală semnifică, de fapt, orașul viitorului, respectiv o replică digitală exactă a orașului real, cu toate caracteristicile și elementele sale cheie, într-un mediu digital, în realitatea virtuală la nivel tridimensional. Aceasta oferă posibilitatea de a înțelege mai bine impactul deciziilor de proiectare înainte ca acestea să fie implementate în mediul fizic. Generarea unui Digital Twin pentru orașul viitorului reprezintă un pas important în implementarea VRbanism-ului în România. Această reprezentare digitală avansată și complexă a orașului poate aduce numeroase avantaje în procesul de proiectare urbană. Prin utilizarea tehnologiilor avansate și a paradigmei VRbanism-ului, România poate face pași importanți către inovarea metodelor specifice urbanismului inteligent, folosind instrumente noi, specifice erei digitale.

Astfel, întregul proces asigură, în sens operațional, tranziția de la forma urbană fizică la forma urbană virtuală, sau de la orașul real la orașul digital (*cf*. Figura 65). Prin utilizarea tehnologiilor avansate în contextul VRbanism-ului, se creează o punte importantă între mediul real și cel virtual, oferind oportunități semnificative pentru îmbunătățirea activităților din domeniul urbanismului, oferind posibilitatea testării unor scenarii de dezvoltare, înainte ca acestea să producă consecințe neașteptate asupra formei urbane reale.

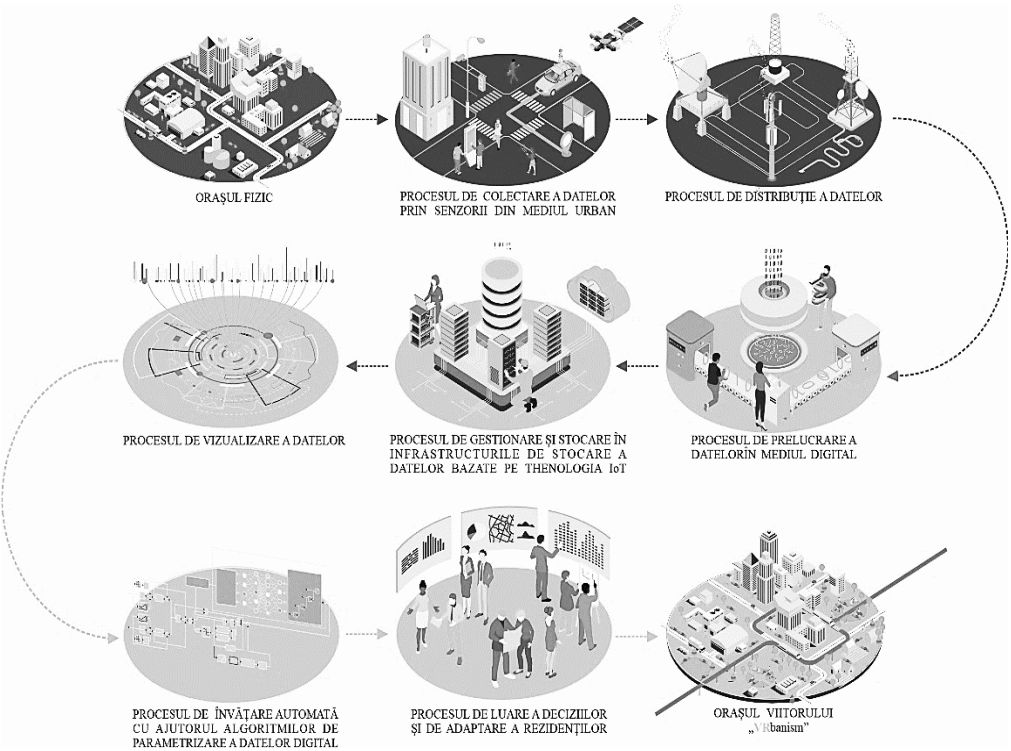


Figura 65. Procesul de operaționalizare a VRbanism
(Sursa: autorul, după Popelka și alții, 2023)

Pentru a asigura implementarea VRbanism-ului în România, este necesară îndeplinirea unor condiții specifice pe trei paliere: la nivel strategic, legislativ și operațional.

În ceea ce privește nivelul strategic, România trebuie să facă pași serioși pentru a permite adoptarea tehnologiilor avansate în proiectarea urbană inteligentă pe scară largă. Acest lucru presupune, în primul rând, dezvoltarea unei strategii naționale cuprinzătoare pentru digitalizarea în domeniul urbanismului, care să includă VRbanism-ul și tehnologia Digital Twin ca elemente cheie.

Această strategie ar trebui să ofere o viziune clară asupra dezvoltării inteligente și durabile a orașelor românești și să definească obiective specifice și priorități de acțiune, susținute prin oportunități de finanțare

disponibile. În acest sens, este esențială stabilirea unor parteneriate de tip public-privat, care să permită dezvoltarea și tranziția către această abordare inteligentă a activităților de proiectare urbană. Astfel de parteneriate strategice ar trebui stabilite între autoritățile locale, companii specializate în produse tehnologice și universități pentru a dezvolta și implementa soluții inovatoare în domeniul urbanismului.

La nivel legislativ, așa cum am văzut, există deja o bază pentru digitalizarea în domeniul urbanismului și amenajării teritoriale în România. Totuși, aceasta este într-un stadiu destul de incipient, ceea ce presupune consolidarea eforturilor în această direcție. Legislația în domeniul urbanismului ar trebui să reglementeze concret utilizarea tehnologiilor avansate și a VRbanism-ului în proiectarea urbană, oferind un cadru legal clar și predictibil pentru dezvoltarea și implementarea soluțiilor digitale în orașe. Dincolo de obligativitatea elaborării documentațiilor de urbanism în format digital (baze de date GIS), proiectarea urbană inteligentă presupune mult mai multă implicarea a tehnologiei, dezideratul fiind realizarea unui geamăn digital pentru fiecare oraș inteligent din România. De fapt, acest lucru presupune revizuirea și actualizarea Legii 350/2001 privind amenajarea teritoriului și urbanismul pentru a include cerințe specifice referitoare la utilizarea datelor GIS și a informațiilor colectate prin intermediul unor senzori urbani în procesul de proiectare urbană.

Acest lucru ar putea fi prevăzut în Secțiunea a 3-a Documentații de urbanism, din Capitolul IV Documentații de amenajare a teritoriului și de urbanism, precum și în Ordinul nr. 233/2016 pentru aprobarea Normelor metodologice de aplicare a Legii nr. 350/2001 privind amenajarea teritoriului și urbanismul și de elaborare și actualizare a documentațiilor de urbanism. De asemenea, Legea 50/1991 privind autorizarea executării lucrărilor de construcții ar putea suferi anumite modificări în sensul digitalizării certificatului de urbanism, a procedurilor de emitere a documentațiilor necesare autorizării proiectelor de construcții.

În plus, este esențială adoptarea unei abordări comune la nivel național privind standardizarea datelor urbane. Din acest punct de vedere, România ar trebui să investească atât în construirea infrastructurii și a tehnologiilor necesare pentru a facilita colectarea și standardizarea datelor, cât și în demersul de legiferare a preciziei, calității și interoperabilității datelor. În acest sens, Autoritatea pentru Digitalizarea României ar trebui să se ocupe în mod explicit de aspecte privind digitalizarea în domeniul urbanismului.

De asemenea, legislația în domeniul urbanismului trebuie completată de reglementări pentru protecția datelor, în condițiile în care VRbanism-ul implică colectarea și utilizarea unui volum mare de date sensibile. Astfel,

este necesară adoptarea unor standarde clare privind protecția datelor și confidențialitatea pentru a asigura respectarea drepturilor persoanelor și pentru a preveni utilizarea abuzivă a acestora.

În ceea ce privește nivelul operațional, sunt trei aspecte extrem de importante ce trebuie îndeplinite. În primul rând, implementarea VRbanism-ului necesită investiții semnificative în echipamente, infrastructură și capacități tehnologice. Din acest punct de vedere, autoritățile publice centrale și locale ar trebui să pună la dispoziție resursele financiare necesare pentru a susține dezvoltarea și utilizarea eficientă a tehnologiilor avansate în activitățile de proiectare urbană. Astfel, România ar trebui să investească în infrastructura necesară pentru a facilita colectarea datelor urbane relevante, care poate include senzori IoT pentru monitorizarea parametrilor urbani, rețele de comunicații pentru transmiterea datelor în timp real și dispozitive mobile pentru colectarea datelor de la cetățeni și utilizatori ai orașului.

De asemenea, este necesară dezvoltarea de centre de date pentru stocarea și procesarea datelor, precum și furnizarea de instrumente software avansate pentru modelarea formei urbane și simularea scenariilor de dezvoltare. În al treilea rând, este obligatorie formarea și instruirea specializată a personalului ce va opera cu tehnologiile avansate în procesele de proiectare urbană. Pentru a asigura succesul implementării VRbanism-ului, este nevoie de personal calificat și bine instruit în domeniul urbanismului digital și al tehnologiilor avansate.

În acest sens, universitățile, instituțiile de formare profesională, precum și alți actori cum ar fi Ministerul Dezvoltării Lucrărilor Publice și Administrației (MDLPA), Ministerul Cercetării Inovării și Digitalizării (MCID), Registrul Urbaniștilor din Romania (RUR), Ordinul Arhitecților din Romania (OAR), Asociația Profesională a Urbaniștilor din Romania (APUR), precum și ONG-urile relevante la nivel național, cum ar fi Asociația pentru Tranziția Urbană (ATU), pot juca un rol semnificativ. De exemplu, acestea pot oferi programe de instruire și specializare în VRbanism, contribuind la dezvoltarea competențelor necesare pentru piața muncii din domeniul urbanismului digital. Prin intermediul acestor inițiative de formare și colaborare între instituții guvernamentale, organizații profesionale și ONG-uri, digitalizarea domeniului urbanismului în România poate fi accelerată cu ajutorul oportunităților aduse de tehnologiile emergente.

Implementarea VRbanism-ului în România depinde, cu certitudine, de o serie de eforturi concertate. Aceasta poate fi posibilă prin intermediul unei strategii naționale, dar ar putea fi, de asemenea, demarată independent la nivelul fiecărui oraș. Elaborarea unei strategii naționale pentru VRbanism ar fi deosebit de importantă pentru a coordona eforturile la nivelul întregii țări

și pentru a promova o abordare unitară a dezvoltării inteligente și durabile a orașelor românești.

În acest mod, orașele din România ar putea beneficia de un model digital precis, facilitând procesul de proiectare urbană, punând bazele unor rezultate mai bune la nivelul dezvoltării urbane. Pe lângă strategia națională, fiecare oraș ar putea iniția implementarea VRbanism-ului în mod independent, având autonomie în proiectarea și implementarea propriilor soluții de digitalizare urbană. Această abordare ar permite administrației publice locale să răspundă mai eficient la nevoile specifice fiecărui oraș și să implice activ cetățenii și actorii locali în procesul decizional.

Indiferent de metoda adoptată, implementarea VRbanism-ului și, implicit, a tehnologiilor avansate (precum Realitate Virtuală și Digital Twin) în proiectarea urbană din România poate aduce beneficii semnificative pentru dezvoltarea durabilă și eficientă a orașelor inteligente. Prin urmare, adoptarea acestor recomandări, România poate crea un cadru propice pentru utilizarea eficientă a tehnologiei și îmbunătățirea proceselor de proiectare urbană, conducând la rezultate mai sustenabile.

Concret, funcționarea tehnologiilor avansate în domeniul urbanismului se poate rezuma printr-un proces simplu în care sistemele de analiză a big data și inteligența artificială preiau și analizează date analitice despre o anumită problemă/ zonă din oraș, pe care o auto-procesează și generează niște rezultate standardizate, ce pot fi ulterior preluate și utilizate ca bază în analizele viitoare (de ex. raza de deservire a unor dotări publice, profile stradale ale diferitelor tipuri de artere, amplasarea stațiilor de transport public, etc.) sau în procesele de generare a unor scenarii posibile de dezvoltare urbană.

De asemenea, datele și informațiile generate de tehnologiile avansate pot fi utilizate în VRbanism cu scopul de a auto-genera, de exemplu, condițiile impuse printr-un certificat de urbanism digital - studiile solicitate pentru zone istorice, zone periferice, spații verzi, viitoare platforme logistice, etc); indicatorii și indicii urbanistici ce trebuie respectați în vederea elaborării documentațiilor de urbanism; lista avizelor necesare autorizării finale a documentației, etc.

VIII. CONCLUZII

Capitolul al optulea prezintă concluziile cercetării, validând ipotezele formulate. În final, sunt subliniate aspectele care nu au putut fi abordate în acest studiu, propunând direcții și întrebări pentru viitoare studii. Totodată, capitolul concluziv aduce în prim-plan atât contribuțiile originale, cât și limitările cercetării.

VIII.1. Concluzii sintetice

Concluziile cercetării privind *VRbanism: o nouă paradigmă în domeniul urbanismului bazată pe integrarea tehnologiilor avansate* subliniază potențialul semnificativ pe care tehnologiile digitale, în special tehnologia realității virtuale (VR), îl au asupra transformării proceselor de proiectare urbană în secolul al XXI-lea. Practic, aceste tehnologii revoluționează modul în care gândim, proiectăm, planificăm și dezvoltăm orașele în era digitală. De asemenea, lucrarea a investigat și potențialul implementării acestor tehnologii avansate în contextul urbanismului românesc, evidențiind atât beneficiile, cât și provocările și obstacolele pe care acestea le-ar putea întâmpina.

Per ansamblu, lucrarea a abordat o perspectivă exploratorie asupra rolului tehnologiilor avansate în urbanism și a adus în prim-plan conceptul inovator al VRbanism-ului, adică proiectarea urbană inteligentă prin utilizarea realității virtuale.

Astfel, studiul a avut trei obiective principale: (i) înțelegerea rolului tehnologiei digitale și a impactului produs de conceptele actuale în urbanism asupra modelării formei urbane contemporane; (ii) investigarea modului în care realitatea virtuală și realitatea fizică se integrează în procesul de proiectare urbană, evidențiind beneficiile utilizării acestor tehnologii prin exemple concrete; (iii) definirea paradigmei VRbanism și identificarea modului în care aceasta poate fi integrată treptat în proiectarea urbană din România.

Lucrarea de cercetare pornește de la premisa conform căreia utilizarea tehnologiilor avansate precum realitatea virtuală, realitatea augmentată și realitatea extinsă, și a instrumentelor digitale cum ar fi *Digital Twin*, aduce o plus-valoare în activitatea de proiectare urbană. Această idee susține faptul că prin intermediul tehnologiei, proiectarea și planificarea urbană pot

beneficia de o înțelegere mai profundă și realistă a proiectelor de dezvoltare. Astfel, în cadrul cercetării au fost avansate patru ipoteze principale.

Prima ipoteză indică un rol semnificativ pe care tehnologia îl joacă în procesul de proiectare urbană, facilitând o vizualizare mai detaliată și interactivă a formei urbane. Această idee este susținută atât de concluziile revizuirii literaturii de specialitate (*cf*. Capitol IV), cât și de rezultatele analizei studiilor de caz privind implementarea Digital Twin urban în diferite orașe și contexte urbane (*cf*. Capitol VI).

A doua ipoteză subliniază faptul că forma urbană virtuală (FUV) poate fi utilizată pentru a anticipa și înțelege transformările și impactul deciziilor asupra mediului urban real, contribuind la dezvoltarea unor orașe adaptate secolului al XXI-lea. Această ipoteză este mai curând o interpretare proprie bazată pe literatura de specialitate din domeniul *smart city* și al tehnologiilor avansate (*cf*. Capitol IV). Noțiunea de FUV nu este încă bine stabilită în literatură și a fost definită în cadrul lucrării de cercetare pe baza informațiilor disponibile în domeniul urbanismului inteligent și al conceptului de *smart city* (*cf*. Capitol V).

A treia ipoteză relevă faptul că progresul tehnologic impulsionează tranziția de la forma urbană tradițională către forma urbană virtuală, generând o nouă paradigmă în domeniul urbanismului, numită VRbanism sau proiectarea urbană inteligentă prin integrarea tehnologiilor avansate (*cf*. Capitol VII). Și în acest caz discutăm, în mod cert, despre o noțiune care nu există în literatura de specialitate – VRbanism. Noțiunea a fost definită în cadrul acestei lucrări, în contextul tranziției către proiectarea urbană inteligentă prin integrarea tehnologiilor avansate, înlocuind ideea de URbanism cu VRbanism. Această propunere de conceptualizare a paradigmei VRbanism poate fi considerată contribuția proprie la dezvoltarea cercetării în acest domeniu, punând bazele unei noi paradigme. Cu toate acestea, subiectul află într-o continuă evoluție și admite reiterații continue asupra definiției unei noi paradigme a proiectării urbane inteligente în era digitală.

Cea de-a patra ipoteză demonstrează utilitatea Digital Twin (DT) în sensul folosirii acestuia drept un instrument util și eficient pentru gestionarea, modelarea și interacțiunea cu forma urbană în contextul activităților de proiectare urbană inteligentă în era digitală (*cf*. Capitol VI). Această ipoteză de cercetare poate fi confirmată pe baza studiilor de caz de la nivel internațional analizate în cadrul cercetării. Cu certitudine, Digital Twin va căpăta un rol din ce în ce mai mare în proiectarea urbană inteligentă în viitor, fiind susținut și de integrarea Inteligenței Artificiale și a altor tehnologii avansate. Această idee pune bazele unei ipoteze viitoare de cercetare atât în sens teoretic, cât și aplicativ.

În esență, concluziile cercetării pot fi sintetizate după cum urmează:

1. Forma urbană este un organism complex, care este abordat din două perspective principale în literatura de specialitate. Prima abordare se concentrează pe detaliile microscopice ale orașului, cum ar fi tipul, cantitatea, densitatea, granularitatea și organizarea elementelor spațiale (Lynch și Rodwin, 1958a; Kostof, 1991; Habraken, 2000), în timp ce a doua abordare examinează structura generală a orașului, inclusiv legăturile și nodurile de transport, precum și forma și structura orașului (Lynch, 1981; Frey, 1999; Newton, 2000). Ambele perspective sunt esențiale pentru înțelegerea formei fizice a orașului, atât în detaliu, cât și în ansamblu. Cu toate acestea, forma urbană nu se rezumă doar la caracteristicile fizice ale orașului. Ea cuprinde și aspecte non-fizice, precum caracteristicile socio-economice și evenimentele istorice legate de un anumit loc, utilizarea terenului, confortul spațiului și multe altele (etc (Dempsey și alții, 2010; Scheer, 2018; Çalişkan și Şevik, 2022). Dintr-o perspectivă socio-morfologică, forma urbană este considerată un proces dinamic care implică interacțiunea dintre factorii fizici și sociali, precum utilizarea terenurilor, transportul, spațiul public, diversitatea socială și participarea comunității la viața orașului (Çalişkan și Şevik, 2022). Aceste caracteristici ale formei urbane sunt esențiale pentru înțelegerea modului în care orașele evoluează în timp și identificarea celor mai potrivite instrumente pentru proiectarea urbană.

2. Conform literaturii de specialitate, forma urbană este o entitate evolutivă, într-o permanentă transformare, ca urmare a schimbărilor sociale și culturale din cadrul societății umane, fiind determinată de suportul spațial și de înțelegerea ei ca sistem socio-spațial specific urban (Florescu, 2009). Pornind de la această afirmație, este evident că activitatea de proiectare a formei urbane este una dinamică, adaptată posibilităților și cerințelor societății din diferite momente (Zhu și alții, 2019). În prezent, pe fondul evoluției tehnologice, tehnologiile avansate, în special realitatea virtuală (VR), joacă un rol esențial în transformarea proceselor de proiectare urbană în secolul al XXI-lea (Evans, 2018). Integrarea acestora în proiectarea urbană poate aduce multiple avantaje în comparație cu abordările tradiționale, de la vizualizarea interactivă și realistă a datelor și a proiectelor de dezvoltare urbană, până la testarea scenariilor de dezvoltare urbană într-un mediul digital controlat sau la facilitarea colaborării între diferiți actori urbani implicați în procesul decizional privind viitorul formei urbane (Batty și alții, 1998; Huang și alții, 2001; Jamei și alții, 2017; Delgado și alții, 2020a). Cu alte cuvinte, tehnologiile avansate permit o mai bună proiectare și gestionare a formei urbane aflate într-o permanentă transformare, datorită posibilităților oferite de noile instrumente digitale precum sistemele GIS, programele

capabile de autogenerare a formei urbane, senzorii urbani care colectează date dinamice, precum și software-urile capabile să opereze și să interpreteze o cantitate mare de date într-un timp extrem de scurt. Practic, progresul tehnologiei creează premisele pentru proiectarea urbană inteligentă în secolul al XXI-lea, deschizând noi posibilități pentru luarea deciziilor informate cu privire la dezvoltarea infrastructurii, utilizarea terenurilor, gestionarea resurselor și optimizarea serviciilor urbane în cadrul orașelor contemporane.

3. Subiectul proiectării urbane inteligente se află la intersecția domeniilor urbanismului și al tehnologiei. Având în vedere progresul tehnologic din ultimele decenii, putem constata faptul că domeniul studiat se află într-o dinamică ascendentă, atât în ceea ce privește noi familii de tehnologii informatice destinate modelării formei urbane în mediul digital (demonstrate prin multitudinea aplicațiilor digitale dezvoltate în ultimii ani, cum ar fi aplicațiile bazate pe tehnologia CAD și BIM – ex. Allplan, aplicațiile bazate pe tehnologia GIS – ex. QGIS, ArcGIS Urban, precum și aplicațiile bazate pe parametrizarea automată a datelor – ex. ArcGIS CityEngine, 3D Cityplanner sau TestFit), cât și, pe cale de consecință, lărgirea utilizării acestora în procesele de proiectare urbană inteligentă și de gestiune a orașului inteligent în era digitală (Eremia și alții, 2017; Cugurullo, 2020; Deren și alții, 2021). Din acest punct de vedere, implementarea tehnologiilor avansate în domeniul urbanismului necesită eforturi susținute pentru accelerarea digitalizării activităților de proiectare urbană. De asemenea, îmbunătățirea infrastructurii digitale și asigurarea securității și confidențialității datelor sunt aspecte esențiale pentru a valorifica pe deplin potențialul tehnologiilor avansate în domeniul urbanismului contemporan (Barricelli și alții, 2019; Fuller și alții, 2020; Lei și alții, 2023).

4. Paradigma VRbanism care implică proiectarea urbană inteligentă prin utilizarea realității virtuale, constituie o abordare promițătoare pentru orașele contemporane, în contextul digitalizării procesului de proiectare urbană (Cirulis și Brigmanis, 2013). Tehnologia VR este un instrument promițător pentru proiectarea urbană într-un mediu în continuă schimbare (Zhu și alții, 2019). VR este o tehnologie care permite crearea unui mediu replicat, real sau imaginar, care simulează prezența fizică a utilizatorului și permite interacțiunea cu acesta (Jerald, 2016). Astfel, prin utilizarea formei urbane virtuale, se pot crea prototipuri virtuale pentru a explora diferite opțiuni de proiectare a orașelor, fără a produce un impact real asupra formei urbane reale. În plus, forma urbană virtuală poate ajuta la identificarea problemelor și a potențialelor soluții într-un stadiu incipient al procesului de proiectare urbană. Cu alte cuvinte, tranziția către forma urbană virtuală aduce o plus valoare practicii de proiectare urbană, ajutând la anticiparea transformărilor

și la evaluarea eficientă și în timp util a impactului deciziilor asupra modificării mediului urban real.

5. Adoptarea tehnologiilor avansate în proiectarea urbană din România poate aduce numeroase beneficii, însă sunt necesare eforturi suplimentare pentru adaptarea și optimizarea acestora în contextul urbanismului românesc actual. Oportunitățile de finanțare precum PNRR și presiunile din partea Uniunii Europene în direcția digitalizării reprezintă stimuli promițători pentru a accelera tranziția către o proiectare urbană inteligentă în România în următorii ani. Cu toate acestea, sunt necesare anumite modificări, în primul rând de ordin legislativ, pentru a permite adoptarea tehnologiilor avansate pe scară largă în domeniul urbanismului românesc din secolul al XXI-lea.

Deși studiul a evidențiat oportunitățile și avantajele tehnologiilor avansate în proiectarea urbană, au fost identificate și câteva provocări care trebuie abordate pentru a valorifica pe deplin potențialul acestor tehnologii. Acestea includ asigurarea accesibilității și calității datelor, dezvoltarea infrastructurii digitale adecvate și garantarea securității și confidențialității datelor. Cu toate acestea concluziile studiului subliniază că tehnologiile avansate, în special tehnologia realității virtuale, reprezintă o oportunitate valoroasă pentru a revoluționa procesele de proiectare urbană în secolul al XXI-lea. Implementarea acestor tehnologii poate contribui la dezvoltarea urbană eficientă și inteligentă, susținând o dezvoltare urbană adaptivă în era digitală. Prin cercetări continue și integrarea inovațiilor tehnologice, se pot aborda provocările contemporane și se pot valorifica pe deplin beneficiile oferite de tehnologiile avansate în domeniul urbanismului.

În concluzie, lucrarea oferă o perspectivă nouă și o înțelegere aprofundată asupra modului în care tehnologiile digitale și noile forme urbane pot fi folosite pentru a îmbunătăți procesele de proiectare urbană. Cercetarea de față a deschis noi direcții de studiu în domeniul urbanismului și tehnologiilor avansate, cu accent pe schimbarea de paradigmă (de la Urbanism la VRbanism) și adoptarea unei noi practici de proiectarea urbană inteligentă, din perspectivă teoretică. Cu toate acestea, există încă multe aspecte care trebuie explorate și multe tehnologii implementate în digitalizarea formei fizice urbane pentru evoluția și utilizarea formei urbane virtuale în cadrul proiectării urbane. În plus, la nivel aplicativ, viitoarele cercetări ar trebui să se concentreze pe adaptarea și optimizarea tehnologiilor pentru specificul urbanismului românesc, evaluarea impactului social și economic al implementării acestor tehnologii și dezvoltarea unor strategii și politici pentru o implementare eficientă în procesul de dezvoltare urbană. Prin abordarea acestor aspecte, orașele din România pot face un pas important către o proiectare urbană adaptivă, durabilă și inteligentă, care să

îmbunătățească calitatea vieții locuitorilor și să asigure o dezvoltare urbană sustenabilă în era digitală.

VIII.2. Contribuțiile autorului

Secțiunea dedicată contribuțiilor autorului urmărește să evidențieze aportul personal adus în domeniul cercetării asupra tranziției formei urbane de la mediul real către un mediu virtual, cu accent pe interacțiunea dintre cele două. Studiul propune o abordare inovatoare care explorează evoluția urbanismului în contextul digitalizării accelerate. Structurat pe trei secțiuni principale, acest demers evidențiază etapele cheie ale transformării orașului, de la forma urbană tradițională din secolul al XX-lea, până la apariția „orașului virtual" al viitorului, construit cu ajutorul tehnologiilor avansate precum Digital Twin. În plus, autorul introduce și dezvoltă conceptul de „VRbansim" (Urbanismul Virtual), conturând o nouă paradigmă a proiectării urbane contemporane. Această abordare are drept scop identificarea condițiilor esențiale pentru o dezvoltare urbană sustenabilă, într-o lume aflată într-o continuă transformare digitală, unde implicarea cetățenilor în procesul decizional devine din ce în ce mai relevantă.

Tranziția formei urbane de la mediul 100% real către un mediu 100% virtual reprezintă un proces complex, care nu poate fi explicat fără o ilustrare adecvată (*cf*. Figura 66). Această ilustrare pune accent pe înțelegerea și explorarea orașului în diferite stadii ale parcusului de la mediul real către cel virtual, cu accent pe elementele definitorii în fiecare stadiu. Astfel, cele trei ipostaze ale formei urbane sunt:

- Forma urbană tradițională sau orașul din secolul al XX-lea;
- Forma urbană inteligentă sau versiunea avansată a conceptului de smart city;
- Forma urbană virtuală sau versiunea avansată a formei urbane augmentate.

Partea centrală a ilustrării reprezintă zona de convergență dintre cele două medii, unde se realizează interacțiunea dintre mediul urban real și mediul urban virtual. Concret, această interacțiune se bazează pe folosirea datelor din lumea reală pentru a genera scenarii virtuale alternative de dezvoltare urbană. În acest context, apare ilustrat rolul actorilor urbani și a factorilor de decizie, care desfășoară activități și iau decizii strategice cu un impact semnificativ asupra evoluției formei urbane.

Partea a doua a ilustrării propuse nu se limitează doar la expunerea acestei abordări, ci explorează și evoluția urbanismului într-un context tot mai

digitalizat. Plecând de la forma urbană tradițională (F.U.1-F.U.5), schema ilustrează tranziția către forme urbane mai avansate, caracterizate prin inteligență (F.U.6 – F.U.8) și augmentare (F.U.9). Un aspect deosebit de relevant este introducerea conceptului de „formă urbană virtuală" (F.U.10), care se bazează pe integrarea tehnologiilor avansate în procesul de proiectare urbană inteligentă.

Partea a treia a ilustrării prezintă un scenariu de dezvoltare urbană care implică crearea unui „oraș virtual" al viitorului prin intermediul instrumentului numit „Digital Twin" sau geamăn digital. Acest instrument permite simularea detaliată a orașului și oferă o perspectivă interactivă asupra acestuia. Pe baza acestui proces, se dezvoltă o nouă paradigmă intitulată „VRbansim" (Urbanismul Virtual), care devine dezideratul urbanismului contemporan. Scopul acestei paradigme este de a identifica condițiile esențiale pentru o dezvoltare urbană sustenabilă într-un mediu caracterizat printr-o dinamică rapidă.

În final, pe măsură ce tehnologiile continuă să avanseze, orașele devin tot mai complexe. Astfel, ultima parte a acestei ilustrări subliniază importanța implicării cetățenilor în luarea deciziilor și în procesul de proiectare urbană, anticipând o dezvoltare urbană mai eficientă, adaptată la provocările și oportunitățile aduse de noile tehnologii.

Concluzia acestui demers de cercetare evidențiază complexitatea și importanța tranziției formei urbane de la un mediu 100% real la unul 100% virtual, în contextul evoluției accelerate a tehnologiilor digitale. Studiul propune o abordare inovatoare și bine structurată care analizează în profunzime etapele critice ale acestei transformări, de la orașul tradițional la cel virtual, cu accent pe interacțiunea dintre mediile urban real și virtual. Prin introducerea conceptelor de "Digital Twin" și "VRbansim", autorul conturează un nou cadru metodologic pentru dezvoltarea urbană, demonstrând rolul fundamental al tehnologiilor avansate în generarea de scenarii alternative pentru viitorul proiectării urbane.

Totodată, lucrarea subliniază importanța implicării cetățenilor în procesul decizional, aspect esențial pentru adaptarea orașelor la provocările și oportunitățile oferite de noile realități digitale. Această lucrare contribuie astfel la creionarea unei noi paradigme urbane, în care inovația tehnologică și participarea comunității devin pilonii centrali ai dezvoltării urbane contemporane.

INSERT A4

VIII.3. Analiza reflexivă și limitările studiului

În cadrul cercetării studiul s-a axat pe proiectarea urbană inteligentă prin integrarea tehnologiilor avansate, am abordat teme complexe și inovatoare care explorează intersecția dintre urbanism și tehnologie. Studiul a adus în prim-plan potențialul tehnologiilor avansate, cum ar fi realitatea virtuală (VR) și Digital Twin (DT) pentru transformarea modului în care proiectăm și planificăm orașele viitorului.

O componentă importantă a cercetării a fost analiza modului în care tehnologiile digitale pot îmbunătăți procesele de proiectare urbană și pot facilita o implicare mai activă a comunității în luarea deciziilor cu privire la viitorul formei urbane. Astfel, am identificat avantaje clare ale utilizării realității virtuale și ale formei urbane virtuale/ *digital twin* pentru vizualizarea și simularea diferitelor scenarii de dezvoltare urbană, precum și potențialul programelor de analiză a datelor masive generate de orașele inteligente.

De asemenea, studiul a oferit o privire asupra situației specifice din România în ceea ce privește digitalizarea urbanismului. În acest sens, lucrarea evidențiază avantajele, dar și provocările și obstacolele care pot apărea în implementarea tehnologiilor avansate în proiectarea urbană în contextul specific al urbanismului românesc. Pe baza acestora, lucrarea prezintă un set de recomandări pentru operaționalizarea paradigmei VRbanism în România, respectiv pentru tranziția către urbanismul digital și proiectarea urbană inteligentă prin integrarea tehnologiilor avansate.

Prin urmare, consider că scopul cercetării, respectiv investigarea și analiza impactului tehnologiilor avansate, în special a tehnologiei realității virtuale asupra proceselor de proiectare urbană din secolul al XXI-lea a fost atins în mare măsură.

Totuși, trebuie precizat faptul că subiectul studiat este într-o continuă evoluție și schimbare rapidă. În special în domeniul tehnologiei, dezvoltările și inovațiile apar cu o viteză impresionantă, ceea ce poate aduce noi perspective și soluții pentru proiectarea urbană inteligentă în mediul digital și virtual. În următorii ani, este de așteptat ca tehnologia VR să devină și mai sofisticată și mai accesibilă, ceea ce ar putea duce la noi modalități de aplicare în proiectarea urbană.

De asemenea, pot apărea tehnologii emergente sau abordări noi care să îmbunătățească sau să extindă impactul tehnologiilor avansate asupra acestui domeniu, inclusiv la nivelul României. În ansamblu, cercetarea a oferit răspunsuri solide la temele analizate, acoperind majoritatea aspectelor

abordate. În continuare, voi prezenta principalele teme investigate și răspunsurile succinte oferite pe parcursul lucrării, în diferite secțiuni.

(1) Cum influențează tehnologiile avansate precum realitatea virtuală (VR) și realitatea extinsă (XR) procesele de proiectare urbană în secolul al XXI-lea?

Tehnologiile avansate precum realitatea virtuală (VR) și realitatea extinsă (XR) au adus schimbări semnificative în proiectarea urbană în secolul al XXI-lea. Prin intermediul VR, proiectele urbane pot fi prezentate într-un mod captivant și interactiv, oferind o perspectivă mai clară și realistă asupra viitoarelor dezvoltări. Astfel, noile tehnologii au făcut posibilă vizualizarea detaliată a proiectelor, permițând identificarea neconformităților și a potențialelor probleme într-un stadiu incipient al dezvoltării. De asemenea, tehnologiile VR și XR au permis simularea și evaluarea diferitelor scenarii de dezvoltare urbană în mediul virtual, înainte ce acestea să producă efecte asupra orașului fizic. Aceasta facilitează luarea deciziilor mai informate și dezvoltarea de planuri mai sustenabile, adaptate nevoilor comunității.

Totodată, implicarea comunității și participarea publică au fost îmbunătățite prin intermediul VR și XR, oferind membrilor comunității ocazia de a explora și interacționa cu proiectele propuse, contribuind astfel la colectarea unui feedback valoros. Aceste tehnologii au adus și eficiență sporită în procesul de luare a deciziilor. Comunicarea și colaborarea între părțile implicate în proiectarea urbană s-au îmbunătățit, iar vizualizarea detaliată și interactivitatea oferită de VR și XR au dus la reducerea timpului și a costurilor implicate în dezvoltarea urbană. Acestea sunt doar câteva dintre cele mai relevante moduri în care tehnologiile avansate influențează procesele de proiectare urbană. Pe măsură ce tehnologiile VR și XR continuă să se dezvolte, impactul lor asupra planificării și proiectării urbane se va extinde, aducând beneficii tot mai mari în domeniul urbanismului.

Cu alte cuvinte, aceste tehnologii avansate oferă oportunități inovatoare pentru îmbunătățirea și adaptarea activităților de proiectare urbană al cerințele secolului al XXI-lea.

(2) Poate contribui mai eficient forma urbană virtuală (FUV) la anticiparea transformărilor și la evaluarea impactului deciziilor asupra mediului urban real?

Conform studiul realizat, putem admite faptul că forma urbană virtuală (FUV) poate contribui mai eficient la anticiparea transformărilor și la evaluarea impactului deciziilor asupra mediului urban real, prin utilizarea tehnologiilor avansate, precum realitatea virtuală (VR), realitatea extinsă (XR) și alte instrumente inovatoare.

Aceste tehnologii permit crearea de modele virtuale ale orașelor (Digital Twin), în care se pot testa diferite scenarii de dezvoltare urbană într-un mediu sigur și controlat. Prin combinarea datelor geografice și urbane cu tehnologia digitală, forma urbană reală poate fi reprezentată virtual, permițând astfel planificarea, proiectarea, simularea și evaluarea mai eficientă a diferitelor intervenții în mediul urban.

Aceste modele virtuale pot fi create la diferite scări spațiale și perspective, oferind o mai bună înțelegere a modului în care forma urbană funcționează și cum interacționează diferitele sale componente. Odată cu avansul tehnologic și adoptarea urbanismului inteligent, forma urbană virtuală poate deveni un instrument esențial pentru dezvoltarea urbană contemporană. Aceasta poate fi folosită pentru a evalua impactul noilor proiecte și decizii asupra mediului urban, contribuind la identificarea problemelor și oportunităților în dezvoltarea orașelor într-un mod sustenabil.

Cu toate acestea, trebuie conștientizate limitele locurilor virtuale, care pot fi mai mult virtualizate decât virtuale, ceea ce înseamnă că pot avea un impact limitat asupra mediului urban real.

(3) Care sunt componentele și legitățile paradigmei VRbanism și cum pot fi integrate în proiectarea urbană inteligentă? Este posibilă implementarea VRbanism în contextul urbanismului din România?

Paradigma VRbanism reprezintă integrarea tehnologiilor avansate, cu accent pe realitatea virtuală, modelul digital al orașului (Digital Twin) în proiectarea și gestionarea formei urbane, pentru explorarea și evaluarea eficientă a scenariilor de dezvoltare. Aceste tehnologii permit crearea unor medii virtuale și interactive, în care utilizatorii pot explora și interacționa cu reprezentări digitale ale orașelor.

Integrarea paradigmei VRbanism în proiectarea urbană inteligentă se realizează prin utilizarea realității virtuale și a altor tehnologii avansate pentru crearea de modele tridimensionale ale orașelor și pentru simularea și interacțiunea cu acestea într-un mod interactiv. Paradigma VRbanism se bazează pe câteva legități importante pentru a fi implementată cu succes în domeniul urbanismului:

(1) Infrastructura tehnologică și competențele adecvate sunt esențiale pentru a susține VRbanism-ul.

(2) Procesele de proiectare urbană trebuie să fie transparente, flexibile și incluzive, implicând participarea activă a comunităților.

(3) Asigurarea finanțării și autosuficienței este crucială pentru dezvoltarea și funcționarea infrastructurii tehnologice asociate VRbanism-ului.

(4) Reglementările riguroase și normele precise sunt necesare pentru protejarea eticii și confidențialității datelor în implementarea VRbanism-ului.

(5) Colaborarea între diverse discipline, precum urbanismul, arhitectura și tehnologia, este esențială pentru aplicarea cu succes a VRbanism-ului în proiectarea urbană.

A doua parte a ultimei întrebări de cercetare este poate și cea mai sensibilă. Pe baza cercetării realizate, se poate afirma că implementarea paradigmei VRbanism, prin utilizarea realității virtuale în proiectarea urbană, în contextul urbanismului din România prezintă un potențial semnificativ. Cu toate acestea, implementarea VRbanism-ului în România necesită depășirea unor provocări și obstacole, cum ar fi accesibilitatea și calitatea datelor, disponibilitatea infrastructurii și a resurselor tehnologice, asigurarea costurilor și a finanțării necesare, precum și asigurarea securității și confidențialității datelor. Pentru a depăși aceste provocări și a valorifica pe deplin avantajele tehnologiilor avansate în proiectarea urbană din România, sunt necesare eforturi concertate la nivel strategic, legislativ și operațional.

La nivel strategic, este necesară dezvoltarea unei strategii naționale cuprinzătoare pentru digitalizarea în domeniul urbanismului, care să includă VRbanism-ul ca element cheie. La nivel legislativ, este esențială adoptarea unor reglementări și standarde pentru utilizarea tehnologiilor avansate și protecția datelor. Legislația ar trebui să ofere un cadru legal clar și predictibil pentru dezvoltarea digitală a orașelor. La nivel operațional, este nevoie de investiții în echipamente, infrastructură și capacități tehnologice, precum și formarea și instruirea specializată a personalului. În concluzie, implementarea VRbanism-ului în contextul urbanismul românesc este posibilă, dar necesită abordări strategice, investiții și eforturi concertate pentru a depăși provocările și a valorifica pe deplin avantajele tehnologiilor avansate în procesele de proiectare urbană.

În urma rezultatelor promițătoare obținute, studiul prezintă anumite limitări care pot influența interpretarea rezultatelor și extinderea aplicabilității studiului în practică. Una dintre aceste limitări este legată de mărimea eșantionului și de distribuția geografică a studiilor de caz analizate. Cercetarea s-a concentrat în principal pe orașe în care datele privind implementarea tehnologiilor avansate în activitatea de proiectare urbană au fost disponibile. În general, aceste orașe sunt amplasate în țări cu un nivel destul de ridicat de digitalizare și inovare în domeniul urbanismului, ceea ce

poate restrânge generalizarea concluziilor pentru contextul urban al României. Cu toate acestea, rezultatele obținute sunt extrem de utile pentru scopul general al cercetării, respectiv acela de a explora subiectul proiectării urbane inteligente prin integrarea tehnologiilor avansate.

De asemenea, având în vedere că tehnologia avansează rapid, unele aspecte tratate în cadrul acestei lucrări pot deveni învechite în timp, iar noile inovații pot influența modul în care tehnologiile digitale sunt aplicate în proiectarea urbană. Din acest punct de vedere, este important ca cercetările viitoare să țină pasul cu dezvoltările tehnologice, pentru a asigura relevanța și actualitatea soluțiilor propuse.

Un alt aspect de luat în considerare este necesitatea de a evalua, în profunzime, impactul social și economic al implementării tehnologiilor avansate în proiectarea urbană. Până în acest moment, studiul s-a concentrat în principal pe aspectele tehnice și funcționale ale tehnologiilor, dar există și nevoia de a înțelege în detaliu și modul în care acestea afectează cetățenii, mediul de afaceri și comunitatea în ansamblu.

În ciuda limitărilor, consider că această cercetare reprezintă un punct de pornire important pentru cercetările viitoare în domeniul urbanismului digital și tehnologiei aplicate în proiectarea urbană din România.

VIII.4. Perspective de continuare a cercetării

În contextul unei lumi în continuă transformare digitală, domeniul urbanismului și al proiectării urbane nu este scutit de valul tehnologic ce revoluționează practicile și abordările tradiționale. Cu o preocupare tot mai evidentă pentru dezvoltarea urbană sustenabilă și inteligentă, tehnologiile avansate precum realitatea virtuală și augmentată, devin din ce în ce mai atractive pentru a aduce inovație în procesele de proiectare urbană.

În acest context, cercetarea s-a axat pe explorarea subiectului proiectării urbane inteligente prin integrarea tehnologiilor avansate, cu un accent special pe conceptul de VRbanism, respectiv utilizarea realității virtuale pentru a crea și vizualiza orașul fizic în mediul digital. Prin intermediul acestei cercetări, s-au analizat multiple aspecte privind beneficiile și potențialul tehnologiilor avansate în domeniul urbanismului, precum și provocările și obstacolele asociate cu implementarea lor în contextul specific al României.

Această nișă de cercetare are un potențial semnificativ de a revoluționa modul în care proiectăm, planificăm și gestionăm orașele viitorului. Cu toate acestea, studiul de față nu reușește să acopere decât o parte infimă a domeniului vast al urbanismului digital și al tehnologiilor avansate, întrucât

domeniul este într-o dinamică crescătoare atât în ceea ce privește familiile de tehnologii informatice aplicabile în urbanism, cât și posibilitățile de utilizare a acestora în procesele de proiectare și de gestiune a orașului. Există încă multe aspecte care merită să fie cercetate și dezvoltate pentru a aduce mai multă profunzime acestui subiect situat la intersecția dintre domeniul urbanismului și cel al tehnologiei informației și comunicațiilor. Astfel, voi enumera câteva direcții viitoare de cercetare care pot completa și extinde studiul, prin intermediul unor abordări multidisciplinare.

În primul rând, consider oportună continuarea studiului privind eficiența și relevanța aplicațiilor de realitate virtuală și realitate extinsă în domeniul urbanismului. Este necesară completarea cercetării cu studii științifice privind evaluarea modului în care tehnologiile VR și XR pot contribui la luarea deciziilor mai informate în procesele de dezvoltare urbană.

Prin intermediul unor studii comparative și analize detaliate ale unor exemple de implementare a acestor tehnologii în domeniul urbanismului se va putea evalua impactul asupra rezultatelor obținute în urma procesului de proiectare urbană digitală sau virtuală. Din păcate, acest lucru nu a fost posibil în cadrul cercetării deoarece nu există, la momentul actual, un caz complex de utilizarea a tehnologiilor avansate în domeniul urbanismului.

În al doilea rând, cercetarea acestui subiect ar putea beneficia în continuare de realizarea unor simulări ale comportamentului uman în mediul urban virtual. Din păcate, până la ora actuală, modelele digitale ale orașelor (*Digital Twin*) sunt relativ limitate în simularea populației urbane și a comportamentului acesteia.

Prin urmare, această direcție de cercetare ar putea explora modul în care pot fi create modele realiste ale comportamentului uman în mediul urban virtual, cu ajutorul tehnologiilor avansate, inclusiv a inteligenței artificiale. În acest mod, s-ar putea investiga mișcarea, interacțiunile sociale și preferințele utilizatorilor, conturând, cu ajutorul DT scenarii de dezvoltare urbană mai realiste. Cu toate acestea, orientarea cercetării în această direcție este posibilă doar cu ajutorul unei abordări multidisciplinare, care presupune, deopotrivă, anumite inovații la nivelul simulărilor digitale.

În al treilea rând, ar fi interesant de urmărit impactul adoptării tehnologiei în activitățile specifice urbanismului, asupra sustenabilității și rezilienței urbane. Astfel, cercetările viitoare ar putea studia modul în care VRbanism-ul și tehnologiile avansate pot contribui la atingerea obiectivelor de dezvoltare urbană sustenabilă (SDG) și de creștere a rezilienței orașelor. Concret, studiile viitoare ar putea investiga modul în care utilizarea acestor tehnologii poate influența deciziile de proiectare în direcția orientării dezvoltării orașelor către un viitor mai sustenabil.

O altă perspectivă interesantă de continuare a studiului vizează o cercetare calitativă privind percepția diferitelor categorii de actori urbani precum autoritățile publice locale și centrale, cât și companiile de construcții active sau dezvoltatorii imobiliari asupra digitalizării activităților de proiectare urbană inteligentă în sensul adoptării tehnologiilor avansate. O astfel de perspectivă calitativă ar fi extrem de importantă pentru identificarea modalităților concrete de promovare a utilizării tehnologiei VRbanism-ului în procesul de dezvoltare urbană, atât la nivel legislativ, cât și la nivel aplicativ și operațional.

În ceea ce privește progresul tehnologic, este evident faptul că tehnologiile vor evolua în următorii ani, ceea ce va avea un impact pozitiv asupra mai multor domenii, inclusiv urbanismul. Totuși, din această perspectivă, este interesant de studiat, în viitor, modalități de integrare a datelor provenite din diverse surse (senzori IoT, date geospațiale, informații sociale, etc.) în mediul urban virtual. Odată cu multiplicarea surselor de date și cu creștere cantității datelor (Big Data), cercetarea și dezvoltarea unor algoritmi avansați de agregare și analiză a datelor va fi esențială pentru gestionarea orașelor în mediul digital.

Întrucât tehnologia a avansat considerabil pe parcursul acestui studiu, mai ales în sensul dezvoltării masive a inteligenței artificiale, ar fi interesant de aprofundat modul în care aceasta poate fi valorificată în proiectarea urbană inteligentă. Concret, studiile viitoare s-ar putea focaliza pe identificarea modalităților în care inteligența artificială poate fi utilizată pentru a analiza și interpreta volumul masiv de date generate de orașele inteligente, precum și pe modul în care această tehnologie ar putea sprijini urbaniștii și arhitecții în luarea deciziilor cu privire la dezvoltarea formei urbane, utilizarea terenurilor, gestionarea resurselor din mediul urban și optimizarea serviciilor urbane.

Personal, îmi propun continuarea acestui studiu în viitor, cu speranța că acesta poate fi completat de o abordare aplicativă a cercetării, prin realizarea de experimente și studii de caz aplicate în mediul urban virtual. În acest sens, una dintre preocupările personale și profesionale viitoare se va îndrepta către întrebarea: *Cum pot fi integrate și valorificate tehnologiile avansate în procesul de proiectare urbană inteligentă pentru a optimiza eficiența, sustenabilitatea și reziliența orașelor viitorului (cu precădere în contextul urbanismului românesc)?*

Așadar, prin explorarea acestor teme și dezvoltarea unor soluții aplicate privind adoptarea tehnologiilor avansate în contextul proiectării urbane inteligente, cercetarea în acest domeniu va contribui la construirea unor orașe mai sustenabile și mai pregătite pentru provocările secolului al XXI-lea.

BIBLIOGRAFIE

Abdelhameed, W. A. (2013), *Virtual Reality Use in Architectural Design Studios: A Case of Studying Structure and Construction*, Procedia Computer Science 25: 220–230.

Achten, H. H., Roelen, W. A. H., Boekholt, J. T., Turksma A. A. E., Jessurun, A. J. (1999), *Virtual reality in the design studio: the Eindhoven perspective,* în: 17th International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe, Vol. 17, Proceedings of the 17th eCAADe Conference, Liverpool, United Kingdom, pag. 169-176.

Adlakha, D., Marquet, O., Hipp, J. A., Tully, M. A. (2017), *Pokémon GO or Pokémon Gone: How can cities respond to trends in technology linking people and space?*, Cities & Health, 1(1), 89–94.

Agudelo-Vera, C. M., Mels, A. R., Keesman, K. J., Rijnaarts, H. H. M. (2011), *Resource management as a key factor for sustainable urban planning*, Journal of Environmental Management, 92(10), 2295–2303.

Akcin, M., Kaygusuz, A., Karabiber, A., Alagoz, S., Alagoz, B. B., Keles, C. (2016), *Opportunities for energy efficiency in smart cities*, 4th International Istanbul Smart Grid Congress and Fair (ICSG).

Al-Kodmany, K. (2000), *GIS in the Urban Landscape: Reconfiguring neighbourhood planning and design processes*, Landscape Research, 25(1), 5–28.

Allam, Z., Dhunny, Z. A. (2019), *On big data, artificial intelligence and smart cities*, Cities, 89, 80–91.

Allen, M., Regenbrecht, H., Abbott, M. (2011), *Smart-Phone Augmented Reality for Public Participation in Urban Planning*, in: Proceedings of the 23rd Australian Computer-Human Interaction Conference OzCHI, Canberra. 11–20.

Al-Sehrawy, R., Kumar, B., Watson, R. (2023), *The pluralism of digital twins for urban management: Bridging theory and practice*, Journal of Urban Management.

Ampatzidou, C., Gugerell, K., Constantinescu, T., Devisch, O., Jauschneg, M., Berger, M. (2018), *All Work and No Play? Facilitating Serious Games and Gamified Applications in Participatory Urban Planning and Governance*, Urban Planning, 3(1), 34-46.

Anthopoulos, L. G. (2017), *Understanding Smart Cities: A Tool for Smart Government or an Industrial Trick?*, Public Administration and Information Technology, Springer, Cham, Switzerland.

Ares, A.J. F., Arenas, M. G., Sánchez, P.G., Romero, G., Rivas, V., Castillo, P., Guervós, J.J.M., Mora, A.M. (2017), *Studying real traffic and mobility scenarios for a smart city using a new monitoring and tracking system*, Future Generation Computer Systems, 76, 163–179.

Attaran, H., Kheibari, N. Bahrepour, D. (2022), *Toward integrated smart city: a new model for implementation and design challenges*, GeoJournal, 87(4), 511–526.

Azali, N.N. (2021), '*Urban-Gamification' as a Collaborative Placemaking Toolkit in Nighttime: Let's Play the City*, in: Abusaada, H., Elshater, A., Rodwell, D. (Eds.), Transforming Urban Nightlife and the Development of Smart Public Spaces, IGI Global, 94-113.

Azuma, R. T. (1997), *A survey of augmented reality*, Presence – Teleoperators and Virtual Environments, 6(4), 355–385.

Badii, C., Bellini, P., Difino, A., Nesi, P. (2018), *Sii-Mobility: An IoT/IoE Architecture to Enhance Smart City*, Mobility and Transportation Services. Sensors, 19(1), 1-21.

Badwi, I. M., Ellaithy, H. M., Youssef, H. E. (2022), *3D-GIS Parametric Modelling for Virtual Urban Simulation Using CityEngine*, Annals of GIS, 28(3), 325-341.

Banister, D., Watson, S., Wood, C. (1997), *Sustainable cities: transport, energy, and urban form*, Environment and Planning B: Planning and Design, 24(1), 125–143.

Barricelli, B, Casiraghi, E., Fogli, D. (2019), *A Survey on Digital Twin: Definitions, Characteristics, Applications, and Design Implications*, IEEE Access, 7, 167653–167671.

Batty, M (1992), *The fractal nature of geography*, Geographical Magazine, 64(5), 33-36.

Batty, M. (2009), *Urban Modeling*, in: International Encyclopedia of Human Geography, edited by N. Thrift and R. Kitchin, Elsevier, Oxford, pag. 51–58.

Batty, M. (2018), *Digital twins*, Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science 45(5), 817–820.

Batty, M., Chapman D., Evans S., Haklay M., Küppers S., Shiode N., Smith A., Torrens P.M. (2001), *Visualizing the city: communicating urban design to planners and decision-makers*, Paper 26, Centre for Advanced Spatial Analysis, Working Paper Series, 1-35.

Batty, M; Dodge, M; Jiang, B; Hudson-Smith, A. (1998), *GIS and urban design*, CASA Working Paper 3, UCL (University College London), Centre for Advanced Spatial Analysis (UCL): London.

Behan, K., Maoh, H., Kanaroglou, P. (2008), *Smart growth strategies, transportation and urban sprawl: Simulated futures for Hamilton, Ontario*, Canadian Geographer, 3, 291–308.

Benevolo, L. (2003), Orașul în istoria Europei, Editura Polirom, Iași, România.

Benita, F., Perhac, J., Tunçer, B., Burkhard, R., Schubiger, S. (2020), *3D-4D visualisation of IoT data from Singapore's National Science Experiment*, Journal of Spatial Science, 1–19.

Beverly, E., Rigot, B., Love, C., Love, M. (2022), *Perspectives of 360-degree cinematic virtual reality: interview study among health care professionals*, JMIR Medical Education Online, 29;8(2): e32657.

Bhagavan, K., Sai Saketh, S., Mounika, G., Vishal, M., Hemanth, M. (2018), *IOT based intelligent street lighting system for smart city*, International Journal of Engineering Technology, 7(32), 345–347.

Bibri, S. E., Krogstie, J., Kärrholm, M. (2020), *Compact City Planning and Development: Emerging Practices and Strategies for Achieving the Goals of Sustainable Development*, Developments in the Built Environment, 100021.

Bibri, S.E., Allam, Z. (2022), *The Metaverse as a Virtual Form of Data-Driven Smart Urbanism: On Post-Pandemic Governance through the Prism of the Logic of Surveillance Capitalism*, Smart Cities, 5, 715–727.

Bibri, S.E., Krogstie, J. (2017), *Smart sustainable cities of the future: An extensive interdisciplinary literature review,* Sustainable Cities and Society, 31, 183–212.

Birks, D., Heppenstall, A. Malleson, N. (2020), *Towards the Development of Societal Twins*, 24th European Conference on Artificial Intelligence - ECAI 2020, Frontiers in Artificial Intelligence and Applications 325, 2883-2884.

Black, J. (2015), Metropolis: Mapping the city, Bloomsbury, London, UK.

Bolstad, P. (2008), *GIS Fundamentals: A First Text on Geographic Information Systems*, 3rd edition, Eider Press.

Boos, U.C., Reichenbacher, T., Kiefer, P., Sailer, C. (2023), *An augmented reality study for public participation in urban planning*, Journal of Location Based Services, 17(1), 48-77.

Borsdorf, A. (2011), *Postsuburban sprawl in European Cities: Challenges for European urban policy and research in the 21st century*, in Urbanization and the Global Environment, Edition, eds. Turunen, E., Koskinen, A., Nova Science Publishers, Inc.

Bosselmann, P. (1998), *Representation of Places: Reality and Realism in City Design*, University of California Press, Berkeley, USA.

Bruegmann, R. (2006), *Sprawl: A compact history*, University of Chicago Press.

Bruno, S., Musicco, A., Fatiguso, F., Dell'Osso, G. R. (2019), *The Role of 4D Historic Building Information Modelling and Management in the Analysis of Constructive Evolution and Decay Condition within the Refurbishment Process*, International Journal of Architectural Heritage, 1–17.

Burton, E. (2002), *Measuring urban compactness in UK towns and cities ,* Environment and Planning B: Planning and Design, 29(2), 219–250.

Cabs, K., Cekule, M., Baltmane, I. (2013), *STATBOX Concept for Simulation of Urban Phenomena*, Procedia Computer Science, 25, 271–280.

Caciora, T., Herman, G. V., Ilieș, A., Baias, Ștefan, Ilieș, D. C., Josan, I., Hodor, N. (2021), *The Use of Virtual Reality to Promote Sustainable Tourism: A Case Study of Wooden Churches Historical Monuments from Romania*, Remote Sensing, 13(9), 1758-80.

Çalişkan, O., Şevik, E. (2022), *Urban Form and Liveability: Towards a Socio-Morphological Perspective*, Built Environment, 48(3), 301-316.

Camagni, R., Gibelli, M. C., Rigamonti, P. (2002), *Urban mobility and urban form: the social and environmental costs of different patterns of urban expansion*, Ecological Economics, 40(2), 199–216.

Cao, K., M. Liu, S. Wang, M. Liu, W. Zhang, Q. Meng, and B. Huang (2020), *Spatial Multi-Objective Land Use Optimization Toward Livability Based on Boundary-Based Genetic Algorithm: A Case Study in Singapore*, ISPRS International Journal of Geo-Information 9(1): 40.

Caragliu, A., Del Bo, C., Nijkamp, P. (2011), *Smart cities in Europe*, Journal of Urban Technology, 18(2), 65-82.

Carmona, M., Heath, T., Tiesdell, S., Oc, T. (2010), Urban design today, in: Public Places Urban Spaces, 3–19.

Casini, M. (2022), *Extended Reality for Smart Building Operation and Maintenance: A Review*, Energies, 15, 3785.

Caudell, T., Mizell, D.W. (1992), *Augmented Reality: An application of Heads-Up Display Technology to Manual Manufacturing Processes*, in: Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), Kauai, HI, Vol.2, pp. 659-669.

Chalmers, D.J. (2017), *The virtual and the real*, Disputatio 2017, 9(46), 309–352.

Charitonidou, M. (2022), *Urban scale digital twins in data-driven society: Challenging digital universalism in urban planning decision-making*, International Journal of Architectural Computing, 20, 238–253.

Chatterjee, U., Biswas, A., Mukherjee, J., Majumdar, S. (2022), *Advances in Urbanism, Smart Cities and Sustainability*, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.

Chavan, S. R. (2016), *Augmented Reality vs. Virtual Reality: Differences and Similarities*, International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology, 5(6), 1947-1952.

Cirulis, A., Brigmanis, K.B. (2013), *3D Outdoor augmented reality for architecture and urban planning*, Procedia Computer Science, 25, 71–79.

Clifton, K., Ewing, R., Knaap, G., Song, Y. (2008), *Quantitative analysis of urban form: a multidisciplinary review*, Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability, 1(1), 17–45.

Collins, J. (2022), *Urban Digital Twins and the Future of City Planning*, disponibil la adresa: https://www.abiresearch.com/blogs/2022/08/15/urban-digital-twins-and-the-future-of-city-planning/, accesată în 20.05.2023.

Çöltekin, A., Lochhead, I., Madden, M., Christophe, S., Devaux, A., Pettit, C., … Hedley, N. (2020), *Extended Reality in Spatial Sciences: A Review of Research Challenges and Future Directions*, ISPRS International Journal of Geo-Information, 9(7), 439.

Congress for the New Urbanism, CNU (2000), *Charter of the New Urbanism*, McGraw-Hill, New York, USA.

Cousins, S. (2017), *3D mapping Helsinki: How mega digital models can help city planners*, Construction Research and Innovation, 8(4), 102–106.

Crenganiș, L.M., Diac, M., Balan, I. (2023), *GIS-in-Water-Cadaster-in-Romania*, in: Prime Archives in Engineering 1st Edition, Vide Leaf, Hyderabad, India, 1-40.

Cugurullo, F. (2020), *Urban Artificial Intelligence: From Automation to Autonomy in the Smart City, Frontiers in Sustainable Cities*, 2, 1-14.

Curebal, I., Efe, R., Ozdemir, H., Soykan, A., Sönmez, S. (2015), *GIS-based approach for flood analysis: case study of Keçidere flash flood event (Turkey)*, Geocarto International, 31(4), 355–366.

Da Cruz, N. F., Rode, P., McQuarrie, M. (2019), *New urban governance: A review of current themes and future priorities*, Journal of Urban Affairs, 41(1), 1–19.

Dawkins, O., Dennett, A., Hudson-Smith, A. (2018), *Living with a digital twin: Operational management and engagement using IoT and Mixed Realities at UCL's Here East Campus on the Queen Elizabeth Olympic Park*, in: Proceedings of the 26th

annual GIScience Research UK conference: GISRUK 2018. GIS Research UK (GISRUK): University of Leicester, UK.

de Matos, B.A.E, van Tilburg, T., de Vries, B., Dane, G., Verstappen, J. (2022), *State-of-the-Art of the Urban Digital Twin Ecosystem in the Netherlands*, in: M. Jalonen (ed.), Smart Cities in Smart Regions Conference Proceedings, LAB university of Applied Sciences, 37-53.

De Siqueira, G., Malaj, S., Hamdani, M. (2022), *Digitalization, Participation and Interaction: Towards More Inclusive Tools in Urban Design—A Literature Review*, Sustainability, 14(8), 4514-4527.

Delgado, J. M. D., Oyedele, L., Beach, T., Demian, P. (2020a), *A research agenda for augmented and virtual reality in architecture, engineering and construction*, Advanced Engineering Informatics, 45, 1-21.

Delgado, J.M.D., Oyedele, L., Beach, T., Demian, P. (2020b), *Augmented and Virtual Reality in Construction: Drivers and Limitations for Industry Adoption*, Journal of Construction Engineering and Management, 146(7), 1-17.

Dembski, F., Wössner, U., Letzgus, M., Ruddat, M., Yamu, C. (2020), *Urban digital twins for smart cities and citizens: The case study of Herrenberg, Germany*, Sustainability, 12(6), 2307-2324.

Dembski, F., Wössner, U., Yamu, C. (2019), *Digital twin, virtual reality and space syntax: Civic engagement and decision support for smart sustainable cities*, Proceedings of the 12th Space Syntax Symposium, New Technology, 316: 1-13.

Dempsey, N., Brown, C., Raman, S., Porta, S., Jenks, M., Jones, C., Bramley, G. (2010), *Elements of Urban Form*, in: Dimensions of the Sustainable Cities, editori M. Jenks, C. Jones, Springer, London, UK, pag. 21–51.

Deren, L., Wenbo, Y., Zhenfeng, S. (2021), *Smart city based on digital twins*, Computational Urban Science, 1(1), 1-11.

Deutsch, R. (2011), *BIM and integrated design strategies for architectural practice*, AIA & John Wiley & Sons. N J: Hoboken.

Devaux, A., Hoarau, C., Brédif, M., Christophe, S. (2018), *3D Urban Geovisualization: In situ Augmented and Mixed Reality Experiments*, ISPRS Annals of the Photogrammetry Remote Sensing Spatial Information Sciences 4: 41–48.

Docherty, I., Marsden, G., Anable, J. (2018), *The governance of smart mobility*, Transportation Research Part A: Policy and Practice, 115, 114–125.

Döllner J., Hagedorn, B. (2007), *Integrating Urban GIS, CAD and BIM Data By Service-Based Virtual 3D City Models*, in: M. Rumor, V. Coors, E.M. Fendel, S. Zlatanova, Urban and Regional Data Management: UDSM, Taylor & Francis Group, London, UK, pag. 157-170.

Downs, A. (2005), *Smart growth: Why we discuss it more than we do it*, Journal of the American Planning Association, 71(4), 367–378.

Droj, G., Droj, L. (2015), *GIS Based Automated Valuation Models – A Genuine Solution For Real Estate Valuation In Romania?*, RevCAD – Journal of Geodesy and Cadastre, 1-9.

Du, J., Ye, X., Jankowski, P., Sanchez, T., Mai, G. (2023), *Artificial intelligence enabled participatory planning: a review*, International Journal of Urban Sciences.

Edgar, G. (2008), *Measure, topology, and fractal geometry*, Springer-Verlag, New York, USA.

EEA (2006), *Urban Sprawl in Europe – The ignored challenge*, European Environment Agency, Copenhagen, 10/2006.

El Araby, M., Okeil, A. Y. (2004), *Utilizing a VR model for adding visual qualities to the downtown area of Al Ain City, UAE*, Cities, 21(2), 149–158.

Elisei, P., Dimitriu, S., Cocheci, R.-M. (2016), *Smart Governance, the Backbone of Smart Planning. A new Strategic Plan for the Cluj-Napoca Metropolitan Area*, in: REAL CORP 2016. Smart Me Up!, Proceedings of 21st International Conference on Urban Planning, Regional Development and Information Society, Vienna, Austria, pag. 625-32.

Ellis, C. (2002), *The New Urbanism: Critiques and Rebuttals*, Journal of Urban Design, 7:3, 261-291.

Enache, C. (2010), *Peisajul Urban în Contextul Tehnologiei Informaţionale*, teză de doctorat, Universitatea de Arhitectură şi Urbanism „Ion Mincu", Bucureşti, România.

Engin, Z., van Dijk, J., Lan, T., Longley, P. A., Treleaven, P., Batty, M., Penn, A. (2020), *Data-driven urban management: Mapping the landscape*, Journal of Urban Management 9(2), 140–150.

Eremia, M., Toma, L., Sanduleac, M. (2017), *The Smart City Concept in the 21st Century*, Procedia Engineering, 181, 12–9.

Evans, L. (2018), *The Reemergence of Virtual Reality*, Routledge, London, UK.

Falconer, K. (2003), *Fractal Geometry: Mathematical Foundations and Applications*, John Wiley & Sons.

Fang, Z. (2002), E-*Government in Digital Era: Concept, Practice, and Development*, International Journal of the Computer, the Internet and Management, 10(2), 1-22.

Faria, R., Brito, L., Baras, K., Silva, J. (2017), *Smart mobility: A survey*, International Conference on Internet of Things for the Global Community (IoTGC).

Farsi, M., Daneshkhah, A., Hosseinian-Far, A., Jahankhani, H. (eds.) (2020), *Digital Twin Technologies and Smart Cities*, Springer, Cham, Switzerland.

Ferré-Bigorra, J., Casals, M., Gangolells, M. (2022), *The adoption of urban digital twins*, Cities 131, 1-12.

Fisher-Gewirtzman, D. (2018), *Perception of density by pedestrians on urban paths: an experiment in virtual reality*, Journal of Urban Design, 1–19.

Florescu, T. (2009), *Formă și transformare urbană*, Editura Universitară „Ion Mincu", București, România.

Förstner, W. (1999), *3D-City Models: Automatic and Semiautomatic Acquisition Methods*, in: Photogrammetric Week 99, D. Fritsch, R. Spiller (eds.), Herbert Wichmann Verlag, Berlin, Germania, pag. 291-303.

Frankhauser, P. (1998), *The fractal approach: A new tool for the spatial analysis of urban agglomerations, Population: An English Selection*, Special issue New methodological Approaches in the Social Sciences, 205-240.

Frey, H. (1999), *Designing the City: Towards a More Sustainable Urban Form*, E&FN Spon, London.

Friederich, J., Jepsen, S.C., Lazarova-Molnar, S., Worm, T. (2021), *Requirements for Data-Driven Reliability Modeling and Simulation of Smart Manufacturing Systems*, in: 2021 Winter Simulation Conference, edited by M. Loper, C. Szabo, S.Kim, B. Feng, K. Smith, S. Masoud and Z. Zheng, 1-12. Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

Fuller, A., Fan, Z., Day, C., Barlow, C. (2020), *Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research*, IEEE Access, 8, 108952-108971.

Gao, S. (2020), *Existing building renovation; BIM +VR technology; design scheme optimization*, Master thesis, Changchun Institute of Technology, Changchun.

Gattupalli, A. (2022), *What is Urban Gamification?*, ArchDaily, dispobibil la adresa: https://www.archdaily.com/989548/what-is-urban-gamification, accesată în 29.05.2023.

Geertman, S., Ferreira, J., Goodspeed, R., Stillwell, J. (2015), *Planning support systems and smart cities*, Springer International Publishing, Germania.

Gelenbe, E., Caseau, Y. (2015), *The impact of information technology on energy consumption and carbon emissions*, Ubiquity, 2015(June), 1–15.

Gilbert, G., Dajani, J. S. (1974), *Energy, urban form and transportation policy*, Transportation Research, 8(4-5), 267–276.

Grecea, C., Herban, S., Vilceanu, C.-B. (2016), *WebGIS Solution for Urban Planning Strategies*, Procedia Engineering, 161, 1625–1630.

Grecea, C., Ienciu, I., Dimen, L., Bălă A.C., Oprea, L. (2012b), *Cadastral support for an efficient town planning in Timisoara, Romania*, Journal of Environmental Protection and Ecology, 13(2), 1099-1106.

Grecea, C., Mușat, C.C., Vîlceanu, C. -B. (2012a), *GIS, Efficient Support For Urban Planning – Framework Of Timișoara, Romania*, International Multidisciplinary Scientific GeoConference : SGEM; Sofia Vol. 2, Sofia: Surveying Geology & Mining Ecology Management (SGEM), 1057-1064.

Greenfield, A. (2006). *Everyware: The dawning age of ubiquitous computing*, New Riders, Boston, USA.

Greenwood, D., Horne, M., Thompson, E. M., Allwood, C. M., Wernemyr, C., Westerdahl, B. (2008), *Strategic Perspectives on the Use of Virtual Reality within the Building Industries of Four Countries*, Architectural Engineering and Design Management, 4(2), 85-98.

Grieves, M. (2014), *Digital twin: Manufacturing excellence through virtual factory replication*. White paper, Florida Institute of Technology.https://research.fit.edu/media/site-specific/researchfitedu/camid/documents/1411.0_Digital_Twin_White_Paper_Dr_Grieves.pdf, Accessed on October 16, 2019.

Grieves, M., Vickers, J. (2017), *Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems*, Springer International Publishing, 85-113.

Guo, J., Zhao, N., Sun, L., Zhang, S. (2018), *Modular based flexible digital twin for factory design*, Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, vol. 10, no. 3, pp. 1189–1200.

Habraken, N.J. (2000), *The Structure of the Ordinary: Form and Control in the Built Environment*, MIT Press, Cambridge, MA, USA.

Hall, P., Pfeiffer, U. (2000), *Urban Future 21: A Global Agenda for Twenty-First Century Cities*, Routledge, London, UK.

Hamari, J. (2019), *Gamification*, The Blackwell Encyclopedia of Sociology, 1–3.

Hamiduddin, I. (2017*), Journey to Work Travel Outcomes from "City of Short Distances" Compact City Planning in Tübingen, Germany*, Planning Practice & Research, 1–20.

Handayanto, R., Tripathi, N., Kim, S., Guha, S. (2017), *Achieving a Sustainable Urban Form through Land Use Optimisation: Insights from Bekasi City's Land-Use Plan (2010–2030)*, Sustainability, 9(2), 221.

Hartmann, T., Fischer, M. (2007), *Supporting the constructability review with 3D/4D models*, Building Research & Information, 35(1), 70–80.

Hashem, I. A. T., Chang, V., Anuar, N. B., Adewole, K., Yaqoob, I., Gani, A., Chiroma, H. (2016), *The role of big data in smart city*, International Journal of Information Management, 36(5), 748–58.

Hassan, A.M., Lee, H. (2015), *The paradox of the sustainable city: definitions and examples*, Environment, Development and Sustainability, 17(6), 1267–85.

Herbert, G., Chen, X. (2014), *A comparison of usefulness of 2D and 3D representations of urban planning*, Cartography and Geographic Information Science, 42(1), 22–32.

Hersperger, A. M., Thurnheer-Wittenwiler, C., Tobias, S., Folvig, S., Fertner, C. (2021), *Digitalization in land-use planning: effects of digital plan data on efficiency, transparency and innovation*, European Planning Studies, 30(12), 2537-2553.

Hillman, M. (1996), *In favour of the compact city*, in: Jenks, M., Burton, E. and Williams, K. (eds) The Compact City: A Sustainable Urban Form? E & FN Spon, London, UK.

Holstein, W. (2015), *Virtual Singapore: Creating an intelligent 3D model to improve experiences of residents, business and government*, disponibil la adresa: https://compassmag.3ds.com/special-reports/the-internet-of-experiences/virtual-singapore/, accesată în 25.05.2023.

Holz, T., Campbell, A.G., O'Hare, G.M., Stafford, J.W., Martin, A., Dragone, M., (2011), *Mira—Mixed reality agents*. International Journal of Human-Computer Studies, 69(4), 251–268.

Hua, E., Lazarova-Molnar, S., Francis, D. (2022), *Validation of Digital Twins: Challenges and Opportunities*, Proceedings of the 2022 Winter Simulation Conference (eds). B. Feng, G. Pedrielli, Y. Peng, S. Shashaani, E. Song, C.G. Corlu, L.H. Lee, E.P. Chew, T. Roeder, and P. Lendermann (eds.).

Huang, B., Jiang, B., Li, H. (2001), *An integration of GIS, virtual reality and the Internet for visualization, analysis and exploration of spatial data*, International Journal of Geographical Information Science, 15(5), 439–456.

Hurtado, P., Gomez, A. (2021), S*mart City Digital Twins Are a New Tool for Scenario Planning*, Planning Magazine, disponibil la adresa: https://www.planning.org/planning/2021/spring/smart-city-digital-twins-are-a-new-tool-for-scenario-planning/, accesată în data de 22.05.2023.

Hussain, J., Ul Hassan, A., Muhammad Bilal, H. S., Ali, R., Afzal, M., Hussain, S., … Lee, S. (2018), *Model-based adaptive user interface based on context and user experience evaluation*, Journal on Multimodal User Interfaces, 12(1), 1–16.

Idwan, S., Mahmood, I., Zubairi, J. A., Matar, I. (2020), *Optimal management of solid waste in smart cities using internet of things*, Wireless Personal Communications, 110(1), 485–501.

Ishii, H. Ratti, C. Piper, B. Wang, Y. Biderman, A.and Ben-Joseph, E.(2004), *Bringing clay and sand into digital design—continuous tangible user interfaces*, BT technology journal 22(4), 287–299.

Jamei, E., Mortimer, M., Seyedmahmoudian, M., Horan, B., Stojcevski, A. (2017), *Investigating the Role of Virtual Reality in Planning for Sustainable Smart Cities*, Sustainability, 9(11), 1-16.

Jasiński, A. (2020), *Impact of BIM implementation on architectural practice*, Architectural Engineering and Design Management, 17(5-6), 447-457.

Jat, M.K., Garg, P.K., Khare, D. (2008), *Monitoring and modelling of urban sprawl using remote sensing and GIS techniques*, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 10(1), 26–43.

Jenks, M., Burton, E., Williams, K. (1996), *The compact city: A Sustainble Urban Form?*, Routledge, London, UK.

Jerald, J. (2016), *The VR Book: Human-Centered Deisgn for Virtual Reality*, Morgan & Claypool Publishers, Vermont, USA.

Kähkönen, K. (2003), *Virtual reality technology in architecture and construction*, ITcon Special Issue Virtual Reality Technology in Architecture and Construction, 8, 101–3.

Kahn, T., Baron, A., Vieyra, J. (2018), *Digital Technologies for Transparency in Public Investment. New Tools to Empower Citizens and Governments*, Discussion Paper No. 634, Inter-American Development Bank.

Kamalpoorsheikhdad, H. (2020), *Revitalizarea Pieței Urbane prin Intermediul Tehnologiei*, teză de doctorat, Universitatea de Arhitectură și Urbanism „Ion Mincu”, București, România.

Kan T. (2011), *QR code based augmented reality applications*, in: Handbook of Virtual Reality. Springer New York, 2011. pp. 339-354.

Kaya, H. S., Mutlu, H. (2016), *Modelling 3D spatial enclosure of urban open spaces*, Journal of Urban Design, 22(1), 96–115.

Kendall, M. (2023), *How to urban plan with TestFit*, disponibil la adresa: https://testfit.io/blog/blog-how-to-urban-plan-using-testfit/, accesată în 18.05.2023.

Ketzler, B., Naserentin, V., Latino, F., Zangelidis, C., Thuvander, L., Logg, A. (2020), *Digital Twins for Cities: A State of the Art Review*, Built Environment, 46(4), 547–73.

Kim, H. M., Sabri, S., Kent, A. (2021), *Smart cities as a platform for technological and social innovation in productivity, sustainability, and livability: A conceptual framework*, în Smart Cities for Technological and social innovation. Case Studies, Current Trends and Future Steps, editori H. M. Kim, S. Sabri, A. Kent, Elsevier; London, UK, pag. 9–28.

Kim, M., Shin, J. (2016), *The pedagogical benefits of SimCity in urban geography education*, Journal of Geography, 115(2), 39–50.

Kim, T., Ramos, C., Mohammed, S. (2017), *Smart City and IoT*, Future Generation Computer Systems, 76, 159–162.

Kitchin, R. (2014), *The Data Revolution: Big Data, Open Data, Data Infrastructures and Their Consequences*, SAGE Publications Ltd, Los Angeles, USA.

Ko, Y. (2013), *Urban Form and Residential Energy Use*, Journal of Planning Literature, 28(4), 327–351.

Kostof, S. (1991), *The City Shaped: Urban Patterns and Meanings through History*, Thames & Hudson, London, UK.

Kramers, A., Höjer, M., Lövehagen, N., Wangel, J. (2014), *Smart sustainable cities – Exploring ICT solutions for reduced energy use in cities*, Environmental Modelling & Software, 56, 52–62.

Krier, L. (2009), Drawings for Architecture, MIT Press, London, England.

Kropf, K. (2009), *Aspects of urban form*, Urban Morphology, 13, 105–120.

Kropf, K. (2014), *Ambiguity in the definition of urban form*, Urban Morphology, 18, 41–57.

Kuhn, T. (2017), *Digitaler Zwilling*, Informatik Spektrum, 40(5), 440–444.

Kuru K. (2023), *MetaOmniCity: Toward Immersive Urban - Metaverse Cyberspaces Using Smart City Digital Twins*, IEEE Access 11:43844-43868.

Labetski, A., Vitalis, S., Biljecki, F., Ohori, K. A., Stoter, J. (2022), *3D building metrics for urban morphology*, International Journal of Geographical Information Science, 37(1), 36-67.

Lanier, J. (2017), *Dawn of the New Everything: A Journey through Virtual Reality*, Random House: New York, NY, USA.

Laroche, F. (2022), *How Digital Twin Solutions improve planning and management*, disponibil la adresa: https://www.jakarto.com/en/blog/digital-twin-solutions-improve-urban-planning-management, accesată în 20.05.2023.

Laurian, R. (1965), *Urbanismul*, Editura Tehnică, București, România.

Leck, E. (2005), *The Impact of Urban Form on Travel Behavior: A Meta-Analysis*, Berkeley Planning Journal, 19(1): 37-58.

Lee, E. A.-L., Wong, K. W. (2014), *Learning with desktop virtual reality: Low spatial ability learners are more positively affected*, Computers & Education, 79, 49–58.

Lei, B., Janssen, P., Stoter, J., Biljecki, F. (2023), *Challenges of urban digital twins: A systematic review and a Delphi expert survey*, Automation in Construction 147, 1-15.

Lenz, B., Heinrichs, D. (2017), *What Can We Learn from Smart Urban Mobility Technologies?,* IEEE Pervasive Computing, 16(2), 84–86.

Lerner, J. A. (2014), *Making democracy fun: How game design can empower citizens and transform politics*, MIT Press, Boston, USA.

Levy, R. M. (1995), *Visualization of urban alternatives*, Environment and Planning B: Planning and Design, 22(3), 343–358.

Li, C., Song, Y., Kaza, N. (2018), *Urban form and household electricity consumption: A multilevel study*, Energy and Buildings, 158, 181–193.

Li, W., Batty, M., Goodchild, M. F. (2020), *Real-time GIS for smart cities*, International Journal of Geographical Information Science, 34(2), 311–324.

Liu, S., Fan, X., Wen, Q., Liang, W., Wu, Y. (2012b), *Simulated impacts of 3D urban morphology on urban transportation in megacities: case study in Beijing*, International Journal of Digital Earth, 7(6), 470–491.

Liu, Y., Song, Y., Arp, H. P. (2012a), *Examination of the relationship between urban form and urban eco-efficiency in China*, Habitat International, 36(1), 171–177.

Loeffler, R., Österreicher, D., Stoeglehner, G. (2021), *The energy implications of urban morphology from an urban planning perspective – A case study for a new urban development area in the city of Vienna*, Energy and Buildings, 252, 111453.

Lorek, S. (2022), *What is BIM (Building Information Modeling)*, disponibil la adresa: https://constructible.trimble.com/construction-industry/what-is-bim-building-information-modeling, accesată în 29.05.2023.

Loureiro, S.M.C. Guerreiro, J. Ali, F. (2020), *20 Years of research on virtual reality and augmented reality in tourism context: A text-mining approach*, Tourism Management, 77, 104028.

Lü, G., Batty, M., Strobl, J., Lin, H., Zhu, A.-X., Chen, M. (2019), *Reflections and speculations on the progress in Geographic Information Systems (GIS): a geographic perspective*, International Journal of Geographical Information Science, 33(2), 346–367.

Lu, Q., Parlikad, A.K., Woodall, P., Ranasinghe, G.D., Xie, X., Liang, Z., Konstantinou, E., Heaton, J., Schooling, J.M. (2020), *Developing a Digital Twin at Building and City Levels: Case Study of West Cambridge Campus*, Journal of Management in Engineering 36(3).

Lynch, K. (1960), *The Image of the city*, The MIT Press, Cambridge, MA, USA.

Lynch, K. (1981), *A theory of good city form*, MIT Press, Cambridge, MA, USA.

Lynch, K., Rodwin, L. (1958a), *A theory of Introduction to Social Morphology*, The Free Press, Glencoe.

Lynch, K., Rodwin, L. (1958b) *A Theory of Urban Form*, Journal of the American Institute of Planners, 24:4, 201-214.

Ma, X., Xue, H. (2020), *Intelligent smart city parking facility layout optimization based on intelligent IoT analysis*, Computer Communication, 172, 10–18.

Maas, M.J., Hughes, J.M. (2020), *Virtual, Augmented and mixed reality in K–12 education: A review of the literature*, Technology, Pedagogy and Education, 29(2), 231–249.

MacEachren, A.M., Edsall, R., Haug, D., Baxter, R., Otto, G., Masters, R., Fuhrmann, S., Qian, L. (1999), *Virtual environments for geographic visualization: Potential and challenges*, in: Proceedings of the 1999 Workshop on New Paradigms in Information Visualization and Manipulation in Conjunction with the Eighth ACM Internation Conference on Information and Knowledge Management, Kansas, MO, USA, 2–6 November 1999, pag. 35–40.

Madni, A. Madni, C., Lucero, S. (2019), *Leveraging digital twin technology in model-based systems engineering*, Systems, 7(1), 7-20.

Major, P., Li, G., Hildre, H.P., Zhang, H. (2021), *The use of a data-driven digital twin of a smart city: A case study of Ålesund, Norway*, Instrumentation & Measurement Magazine, 24(7), 39–49.

Maliqi, E., Penev, P., Kelmendi, F. (2017), *Creating And Analysing The Digital Terrain Model Of The Slivovo Area Using Qgis Software*, Geodesy And Cartography, 43(3), 111–117.

Mandelbrot, B. B (1982), *The Fractal Geometry of Nature*, Freeman and Company, San Francisco, USA.

Mandelbrot, B. B. (2004), *Fractals and Chaos*, Springer. Berlin, Germany.

Mangan, S. D., Oral, G. K., Kocagil, I. E., Sozen, I. (2020), *The impact of urban form on building energy and cost efficiency in temperate-humid zones*, Journal of Building Engineering, 101626.

Marin, G. G. (2018), *iCity24/7*, teza de master susținută în cadrul programului de Master Proiectare Urbană, Universitatea de Arhitectură și Urbanism „Ion Mincu", București.

Masoumi, Z., van Genderen, J. (2022), *Artificial intelligence for sustainable development of smart cities and urban land-use management*, Geo-spatial Information Science, 1-25.

Mazuryk, T., Gervautz, M. (1999), *Virtual Reality - History, Applications, Technology and Future*, Institute of Computer Graphics.

Meixner, G., Paterno, F., Vanderdonckt, J. (2011), *Past, present, and future of model-based user interface development*, i-com 10(3), 2–11.

Milder, J. (2011), *Sustainable Urban Form*, in: van Bueren, van Bohemen, Itard, Visscher (eds.), Sustainable Urban Environments: An Ecosystem Approach, Springer, Cham, Switzerland.

Milgram, P. Kishino, F. (1994), *A taxonomy of mixed reality visual displays*, IEICE Transactions on Information Systems, 77, 1321–1329.

Milgram, P., Colquhoun. H. (1999), *A Taxonomy of Real and Virtual World Display Integration*, in: Ohta, Y., Tamura, H., Mixed Reality – Merging Real and Virtual Worlds", Springer.

Miller, E. J., Ibrahim, A. (1998), *Urban Form and Vehicular Travel: Some Empirical Findings*. Transportation Research Record, 1617(1), 18–27.

Mills, E., Pearlman, K. (2019), *XR in Practice: The Future of Urban Planning and Design*, Harvard Design Magazine.

Ministerul Dezvoltării, Lucrărilor Publice și Administrației, Proiect de act normativ: Lege pentru aprobarea Codului amenajării teritoriului, urbanismului și construcțiilor (CATUC), disponibilă la adresa: https://www.mdlpa.ro/uploads/articole/attachments/6256a7668fbc3869096979.docx , accesată în 06.06.2023.

Mirzaei A, Nasirzadeh F, Jalal MP, Zamani Y. (2018), *4DBIM dynamic time-space conflict detection and quantification system for building construction projects*, Journal of Construction Engineering and Management, 144(7), 1-14.

Moscovici, A. -M., Sîrbu, O., Vilceanu, C. B., Herban, S., Iovanovici, A. (2022), *Spatial data acquisition for traffic lights intersections as a basis for GIS development in Timisoara*, Romania, Nova Geodesia. 2(1), 1-14.

Moscovici, A.-M., Grecea, C. (2017), *Geomatics, Support for an Efficient Urban Planning*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 245, 052041.

Muehlhaus, S. L., Eghtebas, C., Seifert, N., Schubert, G., Petzold, F., Klinker, G. (2022), *Game.UP: Gamified Urban Planning Participation Enhancing Exploration, Motivation, and Interactions*, International Journal of Human–Computer Interaction, 39(2), 331-347.

Mureşanu, F. (2010), *Oraşul în era informaţională*, teză de doctorat, Universitatea de Arhitectură şi Urbanism „Ion Mincu", Bucureşti, România.

Nabielek, K. (2012), *The Compact City: Planning strategies, recent developments and future prospects in the Netherlands*, Proceedings of the AESOP 26th Annual Congress, Ankara, July.

Newton, P. (2000), *Urban form and environmental performance*, in: Jenks, M., Williams, K. and Burton, E. (eds.) Achieving Sustainable Urban Form, E & FN Spon, London, UK.

Nikki Han, M. J., Kim, M. J. (2021), *A critical review of the smart city in relation to citizen adoption towards sustainable smart living*, Habitat International, 108, 102312.

Nikolić, D., Whyte, J. (2021), *Visualizing a New Sustainable World: Toward the Next Generation of Virtual Reality in the Built Environment*, Buildings, 11(11), 546.

Nitti, M., Pilloni, V., Giusto, D., Popescu, V. (2017), *IoT Architecture for a sustainable tourism application in a smart city environment,* Mobile Informations System, 1-9.

Nochta, T., Wan, L., Schooling, J.M., Parlikad, A.K. (2021), *A Socio-Technical Perspective on Urban Analytics: The Case of City-Scale Digital Twins*, Journal of Urban Technology, 28(1-2), 263-287.

Noyman, A., Larson, K. (2020), *A deep image of the city: generative urban-design visualization*, in: Proceedings of the 11th Annual Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design, 1-8.

OECD (2012), *Compact City Policies: A Comparative Assessment*, OECD Green Growth Studies, OECD Publishing, Paris, Franța.

Oliveira, V. (2021), *Urban form and the socioeconomic and environmental dimensions of cities*, Journal of Urbanism International Research on Placemaking and Urban Sustainability, 1-23.

Omlor, A. J., Schwärzel, L.S., Bewarder, M., Casper, M., Damm, E., Danziger, G., Mahfoud, F., Rentz, K., Sester, U., Bals, R., Lepper, P. M. (2022), *Comparison of immersive and non-immersive virtual reality videos as substitute for in-hospital teaching during coronavirus lockdown: a survey with graduate medical students in Germany*, Medical Education Online, 27(1): 2101417.

Ozden, S., Arslantürk, E., Senem, M., As, İ. (2022), *Gamification In Urban Planning: Experiencing The Future City*, in: ASCAAD 2022 Conference Proceedings, The 10th International Conference of the Arab Society for Computation in Architecture, Art and Design, 530-547.

Paradiso, J.A., Landay, J.A. (2008), *Guest editors' introduction: Cross-reality environments*, IEEE Pervasive Computing, 8, 14–15.

Parlamentul României, Legea nr. 350/ 2001 privind amenajarea teritoriului și urbanismul, cu modificările și completările ulterioare, publicată în Monitorul Oficial, nr. 373 din 10 iulie 2001, disponibilă la adresa: http://legislatie.just.ro/Public/DetaliiDocument/29453, accesată în data de 06.06.2023.

Parolek, D.G., Parolek, K., Crawford, P.C. (2008), *Form Based Codes: A Guide for Planners, Urban Designers, Municipalities, and Developers*, 1st edition, Wiley, Hoboken, United States.

Paskaleva, K.A. (2009), *Enabling the smart city: the progress of city e-governance in Europe*, International Journal of Innovation and Regional Development , 1(4), 405-22.

Petrișor, A. (2010), *The theory and practice of urban and spatial planning in Romania: education, laws, actors, procedures, documents, plans, and spatial organization. A multiscale analysis*, Serbian Architectural Journal, 2, 139-154.

Pettit, C., Bakelmun, A., Lieske, S. N., Glackin, S., Hargroves, K., C., Thomson, G., Shearer, H., Dia, H., Newman, P. (2017), *Planning support systems for smart cities*, City, Culture and Society, 12, 13–24.

Picon, A, (2015), *Smart Cities: A Spatialised Intelligence*, Wiley, West Sussex, UK.

Popa, M. (2007), *Inovații în abordarea mobilității și implicații ale acestora în planificarea spațială – Repere ale unui model teoretic de organizare a formei urbane cu premise pentru o mobilitate durabilă*, în: Sârbu C., Pascariu G. (eds.), Preocupări recente în planificarea spațială. Spre confluența tendințelor europene cu prioritățile naționale, Editura Universitară "Ion Mincu", București.

Popelka, S., Zertuche, L. N., Beroche, H. (2023), *URBAN AI GUIDE*, https://urbanai.fr/our-works/urban-ai-guide/%E2%80%9E, accesat în 08.06.2023.

Potts, R., Jacka, L., Yee, L. H. (2017), *Can we 'Catch "em All"? An exploration of the nexus between augmented reality games, urban planning and urban design*, Journal of Urban Design, 22(6), 866–880.

Qi, Q., Tao, F. (2018), *Digital twin and big data towards smart manufacturing and industry 4.0: 360 degree comparison*, IEEE Access, pp. 3585-3593.

Raes, L., McAleer, S., Kogut, P. (2022a), *Local Digital Twins: Optimising Data, Shaping Policies, Transforming Lives*. Zenodo, disponibil la adresa: https://www.digitalurbantwins.com/publications, accesat în 20.05.2023.

Raes, L., Michiels, P., Adolphi, T., Tampere, C., Dalianis, T., Mcaleer, S., Kogut, P. (2022b), *DUET: A Framework for Building Secure and Trusted Digital Twins of Smart Cities*, IEEE Internet Computing, 26(3), 43–50.

Ratti, C., Baker, N., Steemers, K. (2005), *Energy consumption and urban texture*, Energy and Buildings, 37, 762-776.

Robson, K., Plangger, K., Kietzmann, J. H., McCarthy, I., Pitt, L. (2015), *Is it all a game? Understanding the principles of gamification*, Business Horizons, 58(4), 411–420.

Roth, R. E. (2017), *User Interface and User Experience (UI/UX) Design*, The GeographicInformation Science & Technology Body of Knowledge (2nd Quarter 2017 Edition), John P. Wilson(ed.).

Saeed, Z.O., Mancini, F., Glusac, T., Izadpanahi, P. (2022), *Future City, Digital Twinning and the Urban Realm: A Systematic Literature Review*, Buildings, 12(5), 685-709.

Salingaros, N. (2005), *Principles of Urban Structure*, Techne Press, Amsterdam, Olanda.

Salvati, A., Coch, H., Morganti, M. (2017), *Effects of urban compactness on the building energy performance in Mediterranean climate*, Energy Procedia, 122, 499–504.

Samih, H. (2019), *Smart cities and internet of things*, Journal of Information Technology Case and Application, 21(1), 3–12.

Sanchez, T. W., Shumway, H., Gordner, T., Lim, T. (2022), *The prospects of artificial intelligence in urban planning*, International Journal of Urban Sciences 27(2), 179-194.

Sârbu, C. (2008), Redactare capitolul 4.1-Planificarea spațială, în volumul: Strategia Națională pentru Dezvoltare Durabilă a României Orizonturi 2013-2020-2030, Guvernul României, Ministerul Mediului și Dezvoltării Durabile, PNUD, București, 2008.

Sassen, S. (2015), *The impact of the new technologies and globalization on cities*, in: The City Reader; Routledge: New York, NY, USA, pp. 706–714.

Schaffers, H., Komninos, N., Pallot, M., Aguas, M., Almirall, E. (2012), *Smart Cities as Innovation Ecosystems sustained by the Future Internet*, Technical Report.

Scheer, B. C. (2010), *The Evolution of Urban Form: Typology for Planners and Architects*, American Planning Association Planners Press, Chicago.

Scheer, B. C. (2016), *The epistemology of urban morphology*, Urban Morphology, 20(1), 5–17.

Scheer, B. C. (2018), *Urban Morphology as a Research Method*, in: Planning Knowledge and Research, 1st edition, ed. Sanchez, Routledge.

Schrotter G., Hürzeler C. (2020), *The Digital Twin of the City of Zurich for Urban Planning*, Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science, 88(5), 99-112.

Schubert, G. Riedel, S. Petzold, F. (2013), *Seamfully connected: real working models as tangible interfaces for architectural design*, in: Zhang, J., Sun, C. (eds.) CAAD Futures. CCIS,vol. 369, pp. 210–221. Springer, Heidelberg.Thailand, pp.18– 20. Master of Science Program in Computer-Aided Architectural Design,Faculty of Architecture, Rangsit University, Thailand, pag. 209–222.

Schubert, G., Schattel, D., Tönnis, M., Klinker, G., Petzold, F. (2015), *Tangible mixed reality onsite:interactive augmented visualisations from architectural working models in urban design*, Springer, Berlin Germany.

Seichter, H. (2003), *Sketchand+ a collaborative augmented reality sketching application*, in: Choutgrajank, A. (ed.) CAADRIA 2003. Proceedings of the 8th International Conference onComputer-Aided Architectural Design Research in Asia. CAADRIA, Bangkok.

Seltz, A. (2010), *Comparison – Real vs. Virtual (Digital)*, https://blogs.iad.zhdk.ch/ucd/2010/10/04/comparison-real-vs-virtual-digital/index.html.

Shafiq, M., Gu, Z., Cheikhrouhou, O., Alhakami, W., Hamam, H. (2022), *The Rise of "Internet of Things": Review and Open Research Issues Related to Detection and Prevention of IoT-Based Security Attacks*, Wireless Communications and Mobile Computing, 8669348, 1-12.

Shahzad, M., Shafiq, M.T., Douglas, D., Kassem, M. (2022), *Digital Twins in Built Environments: An Investigation of the Characteristics, Applications, and Challenges*, Buildings, 12, 120.

Shandas, V., Parandvash, G. H. (2010), *Integrating Urban Form and Demographics in Water-Demand Management: An Empirical Case Study of Portland, Oregon*, Environment and Planning B: Planning and Design, 37(1), 112–128.

Shen, X., Shirmohammadi, S. (2008), *Virtual and Augmented Reality*, in: Furht, B. (eds) Encyclopedia of Multimedia. Springer, Boston, MA, pg. 962-970.

Sherman, W.R., Craig, A.B. (2003), *Understanding Virtual Reality*, Elsevier: Amsterdam, The Netherlands.

Shirowzhan, S., Tan, W., Sepasgozar, S. (2020), *Digital twin and CyberGIS for improving connectivity and measuring the impact of infrastructure construction planning in smart cities*, ISPRS International Journal of Geo-Information, 9(4), 1-11.

Sikder, A. K., Acar, A., Aksu, H., Uluagac, A. S., Akkaya, K., Conti, M. (2018), *IoT-enabled smart lighting systems for smart cities*, IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC).

Silcock, D., Schnabel, M. A., Moleta, T. Brown, A. (2021), *Participatory AR: A parametric design instrument,* in: Projections - Proceedings of the 26th International

Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, CAADRIA 2021, pag. 295-304.

Sitte C. (1992), *Arta construitii orașelor - Urbanismul după principiile sale artistice*, Editura Tehnică, București.

Slater, M., Usoh, M., Steed, A. (1994), *Depth of Presence in Virtual Environments*, Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 3(2), 130–144.

Solomon, A. (2021), *Are digital twins the future of urban planning?*, disponibil la adresa: https://www.smartcitiesdive.com/news/are-digital-twins-the-future-of-urban-planning/609232/, accesată în 27.05.2023.

Soomro, S., Miraz, M. H., Prasanth, A., Abdullah, M. (2018), *Artificial intelligence enabled IoT: Traffic congestion reduction in smart cities*, in: IET Confernce on Publications, vol. 2018, no. CP747.

Southgate, E., Smith, S. P., Cividino, C., Saxby, S., Kilham, J., Eather, G., … Bergin, C. (2018), *Embedding immersive virtual reality in classrooms: Ethical, organisational and educational lessons in bridging research and practice*, International Journal of Child-Computer Interaction.

Spanedda, F. (2003), *4D City*, Design Philosophy Papers, 1(5), 221–228.

Speicher, M., Hall, B. D., Nebeling, M. (2019), *What is Mixed Reality?*, Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '19.

Steuer, J. (1992), *Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence*, Journal of Communication, 42, 73–93.

Sutherland, I.E. (1968), *A Head-Mounted Three-Dimensional Display*, AFIPS Conference Proceedings, 33(I), 757-764.

Talen, E. (1958), *City rules: how regulations affect urban form*, Island Press, Washington DC, USA.

Talkhestani, B. A., Jazdi, N., Schlgl, W., Weyrich, M. (2018*), Consistency check to synchronize the digital twin of manufacturing automation based on anchor points*, Procedia CIRP, 72, 159-164.

Tan, Y., Bryan, B., Hugo, G. (2005), *Development, Land-use Change and Rural Resettlement Capacity: a case study of the Three Gorges Project, China*, Australian Geographer, 36(2), 201–220.

Tanikawa, H., Hashimoto, S. (2009), *Urban stock over time: spatial material stock analysis using 4d-GIS*, Building Research & Information, 37(5-6), 483–502.

Taylor, N. (1998), *Urban Planning Theory since 1945*, Sage,.London, UK.

Teodoro, A. C., Duarte, L. (2013), *Forest fire risk maps: a GIS open source application – a case study in Norwest of Portugal*, International Journal of Geographical Information Science, 27(4), 699–720.

Tereșneu, C.C., Clinciu, I., Vasilescu, M.M., Biali, G. (2016), *Using the gis tools for a sustainable forest management*, Environmental Engineering and Management Journal, 15(2), 461-472.

Thompson, E. M., Horne, M., Fleming, D. (2006), *Virtual reality urban modelling - an overview*, CONVR2006: 6th Conference of Construction Applications of Virtual Reality, 3-4 august 2006, Florida, USA.

Tomko, M., Winter, S. (2019), *Beyond digital twins – A commentary*, Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 46(2), 395–399.

Townsend, A. M. (2013), *Smart Cities: Big Data, Civic Hackers, and the Quest for a New Utopia*, W. W. Norton Company, NY, USA.

Tuchen, S., LaFrance-Linden, D., Hanley, B., Lu, J., McGovern, S., Litvack-Winkler, M. (2022), *Urban Air Mobility (UAM) and Total Mobility Innovation Framework and Analysis Case Study: Boston Area Digital Twin and Economic Analysis*, IEEE/AIAA 41st Digital Avionics Systems Conference (DASC), Portsmouth, VA, USA, pag. 1-14.

Tulubas Gokuc, Y., Arditi, D. (2017), *Adoption of BIM in architectural design firms*, Architectural Science Review, 60(6), 483–492.

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, UN (2019), *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision* (ST/ESA/SER.A/420), New York, USA.

Unwin, D.J. (1996), *GIS, spatial analysis and spatial statistics*, Progress in Human Geography, 20 (4): 540–551.

Vakali, A. Anthopoulos, L. Krco, S. (2014), *Smart Cities Data Streams Integration: Experimenting with Internet of Things and social data flows*, in: Proceedings of the 4th International Conference on Web Intelligence, Mining and Semantics (WIMS14), Thessaloniki, Greece, 2–4 June 2014.

Välkkynen, P. Siltanen, S. Väätänen, A. Oksman, V. Honkamaa, P. Ylikauppila,M. (2013), *Developing mixed reality tools to support citizen participation in urban planning*, in: ExS 2.0:Exploring Urban Spaces in the Web 2.0 Era, Munich, Germany.

Vanolo, A. (2018), *Cities and the politics of gamification*, Cities, 74, 320–326.

Vicsek, T. (1989), *Fractal Growth Phenomena*, World Scientific Publishing Co, Singapore.

Videira Lopes, C., Lindström, C. (2012), *Virtual Cities in Urban Planning: The Uppsala Case Study*, Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research, 7(3), 88–100.

Vinod Kumar, T.M. (2015), *E-Governance for Smart Cities*, Springer, NY, USA.

Virtudes, A., Sá, J. (2017), *Approach of ICT Application to Governance in Urban Planning*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 245(5), 1-10.

Voinea, G. D., Girbacia, F., Postelnicu, C., Marto, A. (2019), *Exploring Cultural Heritage Using Augmented Reality Through Google's Project Tango and ARCore*, International Conference on VR Technologies in Cultural Heritage VRTCH 2018, Brasov, Romania, Mai 29–30, pag. 93–106.

Walters, D. (2007), *Designing Community: Charrettes, master plans and form-based codes*, 1st Edition, Routledge, London, UK.

Weiser, M. (1991), *The computer for the 21st century*, Scientific American, 265, 94-104.

Williams, K., Burton, E., Jenks, M. (eds.) (2000), *Achieving Sustainable Urban Form*, E & FN Spon, London.

Wilson, A., Tewdwr-Jones, M., Comber, R. (2019), *Urban planning, public participation and digital technology: App development as a method of generating citizen involvement in local planning processes*, Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 46(2), 286-302.

Wu, N. Silva, E.A. (2010), *Artificial Intelligence Solutions for Urban Land Dynamics: A Review. Journal of Planning Literature*, 24(3), 246–265.

Xu, H., Berres, A., Yoginath, S., Sorensen, H., Nugent, P., Severino, J., Tennille, S., Moore, A., Jones, W., Sanyal, J. (2023), *Smart Mobility in the Cloud: Enabling Real-Time Situational Awareness and Cyber-Physical Control Through a Digital Twin for Traffic*, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 1-12.

Ye, L., Mandpe, S., Meyer, P. B. (2005), *What Is "Smart Growth?"—Really?*, Journal of Planning Literature, 19(3), 301–315.

Yigitcanlar, T., Corchado, J. M., Mehmood, R., Li, R. Y. M., Mossberger, K., Desouza, K. (2021*), Responsible Urban Innovation with Local Government Artificial Intelligence (AI): A Conceptual Framework and Research Agenda*, Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity, 7(1), 71-87.

Yigitcanlar, T., Kamruzzaman, M., Buys, L., Ioppolo, G., Sabatini-Marques, J., da Costa, E. M., Yun, J. J. (2018), *Understanding "smart cities": Intertwining development drivers with desired outcomes in a multidimensional framework*, Cities, 81, 145–160.

Yigitcanlar, T., Kankanamge, N., Regona, M., Ruiz Maldonado, A., Rowan, B., Ryu, A., … Li, R.Y.M. (2020), *Artificial Intelligence Technologies and Related Urban Planning and Development Concepts: How Are They Perceived and Utilized in Australia?* Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity, 6(4), 187-208.

Yin, C. T., Xiong, Z., Chen, H., Wang, J. Y., Cooper, D., David, B. (2015), *A literature survey on smart cities*, Science China Information Sciences, 58(10), 1–18.

Yu, L.-J., Sun, D.-F., Peng, Z.-R., Zhang, J. (2012), *A Hybrid System of Expanding 2D GIS into 3D Space*, Cartography and Geographic Information Science, 39(3), 140–153.

Yusoff, R. C. M., Ibrahim, R., Zaman, H. B., Ahmad, A. (2011), *Evaluation of user acceptance of mixed reality technology*, Australasian Journal of Educational Technology, 27(8), 1369–1387.

Zhang, J., Hua, X. S., Huang, J., Shen, X., Chen, J., Zhou, Q., et al. (2019), *City brain: practice of large-scale artificial intelligence in the real world*, IET Smart Cities 1, 28–37.

Zhang, L., Han, C., Zhang, L., Zhang, X., Li, J. (2012), *Web-based visualization of large 3D urban building models*, International Journal of Digital Earth, 7(1), 53–67.

Zhang, X., Zhu, Q., Wang, J. (2004), *3D City Models Based Spatial Analysis to Urban Design*, Annals of GIS, 10(1), 82–86.

Zhang, X.; Han, Y.; Hao, D.; Lv, Z. (2016), *ARGIS-based outdoor underground pipeline information system*. Journal of Visual Communication and Image Representation, 40, 779–790.

Zhang, Y. Aubuchon, A. Lyons, K., Larson, K. (2018), *Machine learning for real-time urban metrics and design recommendations*, in: Proceedings of the 38th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA), Mexico City, Mexico 18-20 October, 2018, pag. 196-205.

Zhu, Y. Fukuda, T. and Yabuki, N. (2019), *Integrating animated computational fluid dynamics into mixed reality for building-renovation design*, Technologies, 8(1), 1-22.

SURSE WEB

https://blogs.worldbank.org/sustainablecities/livability-start-neighborhood singapore-urban-practice-part-1, accesată în 15-03-2023.
https://bldgblog.com/2005/08/interactive-nolli-map/, accesată în 13.01.2023.
https://www.dezeen.com/2013/02/28/architectural-drawings-by-daniel-libeskind-at-ermanno-tedeschi-gallery/, accesată în 25.07.2024.
https://primariaclujnapoca.ro/informatii-publice/comunicate/comunicat-2679/, accesată în 25.07.2024.
https://openart.ai/home?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw_ZC2BhAQEiwAXSgClvmcfu7Cx2C15QJwqbgUC5saQAJHfFNQNe61xgVBjjEvxHqJA5hBwxoC3OAQAvD_Bw, accesată în 20.07.2024.
https://formbasedcodes.org/codes/cincinnati-form-based-code/, accesată în 22.03.2023.
https://formbasedcodes.org/definition/, accesată în 22.02.2023.
https://www.autodesk.com/products/autocad/overview?term=1-YEAR&tab=subscription, accesat în 15.05.2023.
https://www.youtube.com/watch?v=B3hXx3LLq4&ab_channel=ALLPLANEnglish, accesat în 15.05.2023.
https://lumion.com/, accesat în 17.05.2023.
https://www.youtube.com/watch?v=2p7IFFVumxM&ab_channel=URBANIFICARCHITECTURE, accesat în 17.05.2023.
https://web.stanford.edu/group/spatialhistory/nolli/index.html, accesată în 13.01.2023.
https://beta.getlayer.xyz/cluj/, accesat în 22.02.2023.
https://pug-bucuresti.uauim.ro/despre, accesat în 25.07.2024.
https://www.qgis.org/en/site/, accesat în 17.05.2023.
https://www.esri.com/en-us/arcgis/about-arcgis/overview, accesat în 15.05.2023.
https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-urban/overview, accesat în 15.05.2023.
https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-urban/overview, accesat în 15.05.2023.
https://modelur.com/features/, accesat în 15.05.2023.
https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-cityengine/overview, accesat în 15.05.2023.
https://3dcityplanner.com/, accesat în 15.05.2023.
https://testfit.io/testfit-for-urban-planning, accesat în 15.05.2023.
https://www.envi-met.com/, accesat în 15.05.2023.
https://modelur.com/features/, accesat în 15.05.2023.

https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-cityengine/overview, accesat în 15.05.2023.
https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-cityengine/overview, accesat în 15.05.2023.
https://3dcityplanner.com/, accesat în 15.05.2023.
https://www.youtube.com/watch?v=0lksmhE4E48&feature=youtu.be&ab_channel=3DCityplanner-StrateGisGroep, accesat în 15.05.2023.
https://testfit.io/, accesat în 18.05.2023.
https://www.envi-met.com/, accesat în 18.05.2023.
https://www.skytopia.com/project/fractal/2mandelbulb.html, accesat în 25-10-2022.
https://www.forbes.com/sites/andyrobertson/2014/09/10/sim-city-buildit-announced-for-android-and-ios/?sh=8e0e54812334, accesată în 28.05.2023.
https://www.archdaily.com/989548/what-is-urban-gamification, accesată în 28.05.2023.
https://www.nyc.gov/site/planning/data-maps/open-data/dwn-nyc-3d-model-download.page, accesat în 26.05.2023.
https://www.sla.gov.sg/geospatial/gw/virtual-singapore/, accesat în 27.05.2023.
https://www.augmentedurbans.eu/portfolio_page/helsinki/, accesat în 27.05.2023.
https://urban-xr.com/, accesată în 28.05.2023.
https://www.abiresearch.com/market-research/product/1033835-digital-twins-smart-cities-and-urban-model, accesată în 13.05.2023.
https://www.smartcitiesdive.com/news/are-digital-twins-the-future-of-urban-planning/609232/, accesată în 25.05.2023.
https://dfrc.kr/lbasense-technology/, accesată în 25.05.2023.
https://edition.cnn.com/2023/01/31/world/digital-twin-cities-tnf-spc-intl, accesată în 22.05.2023.
https://365xr.blog/an-introduction-to-the-microsoft-azure-digital-twin-service/, accesată în 26.05.2023.
https://ftp-dev.3dcityplanner.com/tool/#18/51.899172/4.475269/, accesată în 26.05.2023.
https://ftp-dev.3dcityplanner.com/tool/#18/51.899172/4.475269/, accesată în 26.05.2023.
https://www.digitalurbantwins.com/, accesată în 15.05.2023.
https://www.sla.gov.sg/geospatial/gw/virtual-singapore, accesată în 27.05.2023.
https://boston.maps.arcgis.com/apps/webappviewer3d/index.html?id=cf3415dea19d480caa71eb5dbdce185f, accesată în 27.05.2023.
https://connected-environments.org/portfolio/vilo-platform/, accesată în 27.05.2023.
https://www.digitalurbantwins.com/pilsen-twin, accesată în 27.05.2023.
https://3d.stzh.ch/appl/3d/zuerichvirtuell/, accesată în 27.05.2023.
https://legislatie.just.ro/Public/DetaliiDocument/176682, accesată în 06.06.2023.
https://pug-bucuresti.uauim.ro/despre, accesată în 03.10.2023.
https://lumeageospatiala.ro/acasa-lgs-2023/, accesată în 03.10.2023.
https://legislatie.just.ro/Public/DetaliiDocument/255096, accesată în 06.06.2023.
http://sgglegis.gov.ro/legislativ/docs/2022/11/_0n1p98wvfxmskrt375c.pdf, accesată în 06.06.2023.
https://www.ancpi.ro/, accesat în 06.06.2023.
http://geoportal.gov.ro/arcgis/apps/sites/#/inspire/, accesată în 06.06.2023.
https://ateliermacpopescu.wixsite.com/uauim, accesat în 06.06.2023.
https://www.uauim.ro/cercetare/ffcsu-2021/vrtransform/, accesat în 08.06.2023.

REZUMAT

Lucrarea de cercetare intitulată ***VRbanism: o nouă paradigmă în domeniul urbanismului bazată pe integrarea tehnologiilor avansate*** explorează intersecția dintre urbanism și tehnologie, subliniind importanța acestei relații în contextul urbanizării și digitalizării accelerate. Motivația studiului derivă din necesitatea stringentă a integrării soluțiilor tehnologice în planificarea și proiectarea urbană pentru a răspunde provocărilor contemporane. Cercetarea își propune să investigheze impactul mediului digital asupra formei urbane și a procesului de modelare urbană, concentrându-se pe tehnologii avansate precum realitatea virtuală (VR) și geamănul digital (Digital Twin).

Cercetarea este structurată în opt capitole, fiecare abordând aspecte esențiale ale studiului propus. În primele capitole, sunt prezentate strategia de cercetare, metodele utilizate și cadrul teoretic care fundamentează analiza, incluzând cercetarea teoretică și studiile de caz relevante. Acestea oferă un cadru riguros pentru înțelegerea modului în care tehnologiile avansate influențează forma urbană tradițională și contemporană, precum și procesul de proiectare urbană.

Un accent deosebit este pus pe tranziția de la forma urbană tradițională la cea inteligentă, analizând instrumente digitale precum CAD, BIM și GIS, care facilitează această transformare. În plus, lucrarea explorează evoluția formei urbane în contextul realității virtuale și extinse (VR și XR), detaliind impactul acestor tehnologii asupra urbanismului modern. Conceptul de Digital Twin este discutat în profunzime, fiind prezentate exemple concrete de implementare în orașe precum Singapore, Helsinki și Londra, demonstrând beneficiile și limitările acestei tehnologii în contextul urban.

Paradigma VRbanism este introdusă ca o nouă paradigmă în proiectarea urbană, utilizând VR pentru a crea și gestiona forma urbană virtuală. Această abordare propune o metodă de proiectare urbană inteligentă care depășește metodele tradiționale și are potențialul de a fi implementată și în România, deși sunt necesare eforturi continue pentru adaptarea infrastructurii și extinderea utilizării tehnologiei.

Concluziile lucrării validează ipotezele formulate și subliniază contribuțiile originale ale cercetării, recunoscând și limitările întâmpinate, cum ar fi necesitatea adaptării la avansul rapid al tehnologiei. De asemenea, sunt sugerate direcții viitoare de cercetare, incluzând evaluarea impactului social și economic al tehnologiilor avansate și aprofundarea rolului inteligenței artificiale în urbanism. În fina, este exprimată intenția de a continua studiul într-o direcție aplicată, colaborând cu administrațiile publice din România pentru a dezvolta noi instrumente de digitalizare a urbanismului în România.

SUMMARY

The research paper entitled ***VRbanism: A New Paradigm in Urbanism Based on the Integration of Advanced Technologies*** explores the intersection between urbanism and technology, highlighting the importance of this relationship in the context of accelerated urbanization and digitalization. The study is motivated by the urgent need to integrate technological solutions into urban planning and design practices to address contemporary challenges. The research aims to investigate the impact of the digital environment on urban form and the urban modeling process, focusing on advanced technologies such as Virtual Reality (VR) and the Digital Twin.

The paper is structured into eight chapters, each addressing essential aspects of the proposed topic. The first chapters present the research strategy, the methods used, and the theoretical framework underpinning the analysis, including theoretical research and relevant case studies. These provide a rigorous framework for understanding how advanced technologies influence both traditional and contemporary urban form, as well as the urban design process.

An emphasis is placed on the transition from traditional to smart urban form, analyzing digital tools such as CAD, BIM, and GIS that facilitate this transformation. Additionally, the paper explores the evolution of urban form in the context of Virtual and Extended Reality (VR and XR), detailing the impact of these technologies on modern urbanism. The concept of the Digital Twin is discussed in depth, with concrete examples of implementation in cities like Singapore, Helsinki, and London, demonstrating the benefits and limitations of this technology in the urban context.

The VRbanism paradigm is introduced as a new paradigm in urban design, utilizing VR to create and manage the virtual urban form. This approach proposes an intelligent urban design method that surpasses traditional methods and has the potential to be implemented in Romania, although continuous efforts are required to adapt infrastructure and expand the use of technology.

The conclusions of the paper validate the formulated hypotheses and highlight the original contributions of the research, also acknowledging the encountered limitations, such as the need to adapt to the rapid pace of technological advancement. Future research directions are suggested, including the evaluation of the social and economic impact of advanced technologies and further exploration of the role of artificial intelligence in urbanism. Finally, there is an expressed intention to continue the study in an applied direction, collaborating with public administrations in Romania to develop new tools for the digitalization of urbanism in the country.