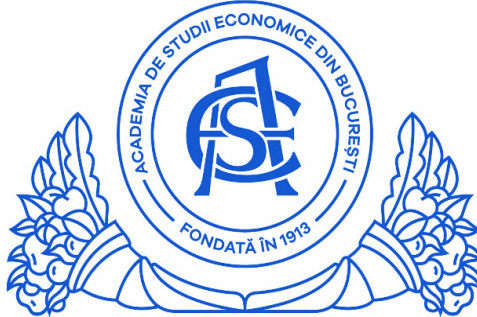


ACADEMIA DE STUDII ECONOMICE DIN BUCUREȘTI

Consiliul pentru Studii Universitare de Doctorat

Școala Doctorală de Informatică Economică



TEZĂ DE DOCTORAT

REZUMAT

Titlul tezei de doctorat:

**SOLUȚII INFORMATICE PENTRU DEZVOLTAREA
ORAȘELOR INTELIGENTE REZILIENTE**

Autor:

Denis-Cătălin G. ARGHIR

Conducător științific:

Prof. univ. dr. Adriana-Elena DÂRDALĂ

București, 2024

Cuprins

Cuvânt de mulțumire.....	5
Rezumat/ Synthesis	6
Listă abrevieri	11
Introducere.....	12
Capitolul 1: Contextul cercetării și importanța temei	13
1.1. Contextul cercetării	13
1.2. Motivația alegerii temei	26
1.3. Întrebări de cercetare, ipoteze și obiective	29
1.4. Structura tezei de doctorat.....	33
Capitolul 2: Tendințe de dezvoltare urbană și influența tehnologiilor emergente	35
2.1. Evoluția așezărilor urbane de-a lungul timpului	36
2.2. Stadiul cunoașterii sub aspect teoretico-metodologic	40
2.2.1. Cercetarea bibliometrică privind conceptele cheie	40
2.2.2. Identificarea factorilor perturbatori care pot influența reziliența urbană	50
2.2.3. Definirea, dimensiunile și caracteristicile unui oraș inteligent rezilient	54
2.3. Dinamica reinventării urbane: perspective internaționale și naționale.....	59
2.3.1. Coordonarea reinventării urbane în inițiative internaționale.....	59
2.3.2. Inițiative naționale care conduc spre dezvoltarea orașelor inteligente din România.....	62
2.4. Mijloace de evaluare a rezilienței urbane.....	70
2.4.1. Indicatori de evaluare a rezilienței urbane. Studiarea unor sisteme reprezentative.....	70
2.4.2. Analiza comparativă a sistemelor de indicatori ai rezilienței urbane	77
2.4.3. Limitări ale sistemelor de indicatori	80
2.5. Soluții <i>smart</i> inovative pentru dezvoltarea orașelor inteligente reziliente	81
2.5.1. Soluții utilizate la nivel internațional pentru reziliența urbană	81
2.5.2. Explorarea soluțiilor <i>smart</i> utilizate la nivel național pentru transformarea urbană.....	89
2.6. Concluzii și contribuții personale capitolul 2.....	95
Capitolul 3: Paradigme și instrumente informatice utilizate în contextul orașelor inteligente	97
3.1. Orașe conduse cu ajutorul datelor (<i>data-driven</i>).....	98
3.2. Surse de date urbane	100
3.2.1. Date oficiale de pe platforme digitale și baze de date guvernamentale	102
3.2.2. Date derivate externe fluxului tradițional al orașului.....	103
3.2.3. Tehnici de obținere a datelor	107
3.3. Gestionarea volumelor mari de date generate de orașe	109
3.3.1. Tipuri de date structurate, semi structurate, nestructurate în contextul <i>big data</i>	111
3.3.2. Preprocesarea datelor numerice și a celor text prin prelucrări specifice	111
3.3.3. Fluxuri de date	112
3.4. Prelucrarea și analiza datelor cu ajutorul inteligenței artificiale	113

3.4.1. Tehnici de tip <i>machine learning</i> – învățare automată	114
3.4.2. Modele de învățare supervizată.....	115
3.4.3. Modele de învățare nesupervizată.....	122
3.5. Concluzii și contribuții personale capitolul 3.....	124
Capitolul 4: Cercetare aplicativă privind dezvoltarea orașelor inteligente reziliente	125
4.1. Dezvoltarea unei arhitecturi informatice bazată pe micro servicii în contextul orașelor inteligente	126
4.2. Dezvoltarea modulelor de procesare a datelor din surse oficiale	130
4.2.1. Identificarea surselor de date primare pentru constituirea setului de indicatori.....	132
4.2.2. Dezvoltarea unui modul informatic pentru achiziția de date din multiple surse primare.....	134
4.2.3. Integrarea datelor și construirea indicatorilor pentru evaluarea rezilienței orașelor din România.	140
4.2.4. Utilizarea analizei componentelor principale pentru agregarea indicatorilor și construirea unor valori compozit	158
4.2.5. Ierarhizarea orașelor în funcție de scorurile obținute prin aplicarea indicatorilor proprii.....	166
4.3. Componente informatice de achiziție, procesare și analiza a datelor provenite din surse alternative în contextul orașelor inteligente reziliente	168
4.3.1. Modulul de colectare și integrare a datelor din API-urile rețelelor de socializare	169
4.3.2. Preprocesarea avansată a datelor de pe rețele de socializare.....	174
4.3.3. Gruparea datelor și analiza emoțiilor din social media	176
4.3.4. Dezvoltarea arhitecturii modelelor predictive de clasificare pentru date de pe rețele sociale	179
4.3.5. Modulul de achiziție și integrare a datelor de la rețele de senzori și surse de date privind mobilitatea cetățenilor.....	183
4.3.6. Dezvoltarea arhitecturii modelelor de regresie pentru datele de la rețele de senzori și mobilitate	188
4.4. Integrarea soluțiilor informatice în studii de caz aplicative	190
4.4.1. Explorarea datelor de pe rețele sociale privind impactul imediat al pandemiei asupra comportamentului de consum	190
4.4.2. Explorarea mesajelor preetichetate privind impactul șocurilor și stresorilor asupra dinamicii urbane.....	198
4.4.3. Explorarea impactului mobilității și a datelor meteorologice asupra calității aerului.....	208
4.5. Concluzii și contribuții personale capitolul 4.....	218
Concluzii, contribuții și limitări ale cercetării.....	220
Diseminarea rezultatelor	224
Referințe bibliografice	228
Listă tabele	242
Listă figuri.....	243
Listă secvențe de cod	245
Listă ecuații.....	245
Anexe	246

Rezumatul tezei de doctorat

Scop: Cercetarea doctorală s-a conturat într-o succesiune de trei etape distincte, concentrându-se asupra investigației și dezvoltării unor noi perspective legate de tematica de interes, care reprezintă un subiect de relevanță în discursul academic și aflat în agenda publică la nivel global, european, cât și la nivelul României, mai precis *studierea tematicii orașelor inteligente reziliente*. Prin intermediul unei abordări riguroase și sistematice, bazate pe teoretizări fundamentate, analize empirice și studii experimentale s-au creionat bazele unei înțelegeri aprofundate a problematicii examinate. Această investigație academică nu doar că aduce în discuție aspecte neexplorate anterior, dar și oferă contribuții la progresul cunoașterii în domeniu.

Afirmarea problemei: În ultimii ani a existat o creștere semnificativă a preocupării publice cu privire la mobilitatea masivă, exodul rural, inegalitatea socială, siguranța publică, schimbările climatice, poluarea mediului, accesul la servicii publice etc. Integrarea digitalizării, inovării tehnologice, inteligenței artificiale (AI), guvernarea electronică, promovarea energiilor regenerabile, dezvoltarea urbană sustenabilă, conectivitatea la internet de mare viteză, automatizarea sarcinilor zilnice, partajarea datelor în *cloud-uri* guvernamentale au apărut ca elemente care remodelează peisajul vieții moderne, făcându-se trecerea de la orașele tradiționale către cele inteligente. Pe măsură ce orașele evoluează în centre dinamice de conectivitate și inovare, integrarea senzorilor, a rețelelor fără fir și a procesării automate a datelor devine o forță transformatoare care poate îmbunătăți diferite aspecte ale vieții cetățenilor. În contextul evenimentelor globale recente, cea mai semnificativă fiind criza de sănătate COVID-19, s-a subliniat rolul critic al tehnologiilor moderne și în scopul consolidării rezilienței orașelor. Adoptarea tehnologiilor inteligente a devenit vitală pentru reevaluarea și optimizarea strategiilor de management urban. Reziliența și receptivitatea orașelor în situații de criză sunt direct influențate de capacitatea lor de a valorifica tehnologiile emergente pentru a răspunde rapid diferitelor provocări – șocuri și stresuri de cauză naturală sau antropică.

Abordarea metodologică: Studiarea orașelor inteligente, în cadrul cercetării, a început prin realizarea unei analize exploratorii a evoluției în timp a orașelor, de la cele mai rudimentare forme urbanistice și până la dezvoltările contemporane, care au condus la nevoia apariției conceptului de oraș inteligent rezilient. În continuare, s-a efectuat o evaluare riguroasă a literaturii de specialitate din baze de date științifice pentru fundamentarea cercetării, prin realizarea unei serii de analize bibliometrice pentru a evalua autorii și lucrările care au adoptat conceptul de reziliență în context urban pentru a surprinde nișe și direcții care nu au fost explorate suficient, precum și studiarea unor cadre, strategii și proiecte care stau la baza dezvoltării urbane. Următorul pas a constat în

identificarea și urmărirea unor sisteme de metrici de măsurare și evaluare a rezilienței și inteligenței orașelor, utile pentru măsurarea progresului și eficacității intervențiilor în direcția transformării orașelor în entități mai adaptate provocărilor contemporane. Această abordare se încadrează în preocupările actuale de a crea copii în oglindă ale sistemelor urbane, cunoscute sub numele de *digital twin* / replici digitale. Aceste copii digitale permit monitorizarea și analiza în timp real a infrastructurilor urbane, facilitând gestionarea mai bună a resurselor și serviciilor. De asemenea, ele oferă posibilitatea de a simula scenarii pentru a anticipa și preveni problemele, optimizând operațiunile și interdependențele infrastructurilor. Planificarea urbană este astfel îmbunătățită prin integrarea datelor precise și actualizate, contribuind la creșterea rezilienței orașelor. În paralel s-au investigat și anumite soluții informatice relevante, abordate în diverse lucrări sau aplicate în orașe din diferite țări, deoarece tehnologiile digitale joacă un rol central în facilitarea acestui proces de transformare urbană. În urma analizării acestor sisteme, s-a concluzionat nevoia dezvoltării unui set propriu de indicatori de evaluare a orașelor din România. Această abordare empirică și personalizată a urmat o metodologie multidimensională, prin aplicarea analizei componentelor principale pentru determinarea unei modalități obiective de atribuire a ponderilor în construirea unor indicatori agregați și utilizarea unor reprezentări de tip tablou de bord pentru compararea interactivă a zonelor urbane.

Identificarea unor surse de date viabile, expuse în mod deschis a fost una provocatoare, întrucât nu există o platformă centralizată care să expună public acest tip de date. Pentru facilitarea automatizării procesului de achiziție a datelor, s-a creat un *framework* de lucru bazat pe *web scraping*. Datele extrase au fost stocate într-o bază de date Mongo DB, apoi supuse diverselor analize.

Rezultate: Prin căutări realizate pe baza unor cuvinte cheie relevante au fost identificate multiple lucrări științifice, care prin rafinări au evidențiat pe cele cu un conținut demn de a fi luat în seamă. Acestea au fundamentat înțelegerea mai clară a subiectului și au condus la aprofundarea stadiului actual al cunoașterii. Au fost cercetate surse de date deschise istorice, pentru perioada de timp recentă - care cuprind perioada dinaintea izbucnirii pandemiei globale, diminuarea vârfului pandemiei și până după momentul declarării încetării urgenței medicale, disponibile la diverse instituții naționale, în vederea dezvoltării propriului sistem de indicatori care să se potrivească scopului cercetării. Au fost formate 4 mari dimensiuni care acoperă planul social, economic și de bunăstare a cetățenilor; infrastructura, utilitățile publice și tehnologice; guvernarea, industria și siguranța, precum și clima, mediul și zona verde. La rândul lor, aceste dimensiuni cuprind sub-indicatori care au relevat multiple aspecte urbane. De asemenea, au fost concepute module informatice pentru colectarea automată a datelor, automatizând extragerea datelor, inclusiv din surse care nu le expun într-un format disponibil pentru preluare, pentru care s-a utilizat *web*

scraping, dar și mini-roboți software UiPath Studio. Pentru că indicatorii oferă o imagine de ansamblu a situației de la un anumit moment de timp, din trecut, cel mai adesea cu frecvențe lunare/semestriale sau anuale, cercetarea a avut în vedere găsirea unor soluții alternative, pentru înțelegerea în timp real a situației la nivel de oraș, prin conceperea unor măsurători *proxy*, preluând date din surse neconvenționale, dar recunoscute de lumea academică. Prin proceduri informatizate, acestea au fost analizate în detaliu și folosite pentru natura lor predictivă și prescriptivă, oferind o mai bună informare pe orizonturi determinate de timp, în care prezența efectelor șocurilor sau stresorilor au afectat diverse aspecte ale orașelor. Au fost construite modele de analiză a datelor prin aplicarea de algoritmi de învățare automată supervizată și nesupervizată pe date din surse istorice și *streaming* în timp real, optimizate continuu pentru a îmbunătăți performanțele și acuratețea predicțiilor. Cele mai remarcabile rezultate reieșite din aplicarea pe zonele urbane din România (325 de orașe mici, medii, mari) au fost evidențiate în urma unor exerciții experimentale efectuate folosind date de pe rețele de socializare, de la rețele de senzori care expun date legate de calitatea aerului, senzori de monitorizare a indicatorilor meteorologici și date privind mobilitatea cetățenilor, obținând o imagine de moment care a surprins efectele pe care le-au produs orașelor diverse evenimente cu factor declanșator cu impact rapid.

Validarea pe parcurs a elementelor descoperite în urma cercetării s-a realizat prin diseminarea rezultatelor în cadrul unor manifestări științifice interne și internaționale, prezentări realizate în cadrul seminarelor de specialitate, cât și prin articole peer-review indexate în Web of Science, Scopus și alte baze de date internaționale.

Cuvinte cheie: oraș inteligent rezilient, metrici evaluare, replici digitale, inteligență artificială, învățarea automată, procesarea limbajului natural.
