

# Internet of Things în energie: tehnologii, aplicații, provocări și tendințe viitoare

Eleonora TUDORA, Eugenia TÎRZIU, Maria GHEORGHE-MOISII

Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Informatică – ICI București  
eleonora.tudora@ici.ro, eugenia.tirziu@ici.ro, maria.moisii@ici.ro

**Rezumat:** Supus unei evoluții continue, sectorul energetic se află în pragul unei transformări ce va face trecerea de la un sistem tehnic, ierarhizat și planificat la un sistem inteligent și optimizat bazat pe tehnologii Internet of Things (IoT), care vor schimba fundamental acest sector. IoT a devenit una din tehnologiile cu evoluția cea mai rapidă. Lucrarea prezintă componente ale unui sistem IoT, tehnologii bazate pe IoT (tehnologii de comunicare, senzori și actuatori) care stau la baza transformării acestui sector și evoluția aplicațiilor IoT în energie (orașe inteligente, rețele inteligente, clădiri inteligente și transport inteligent). De asemenea, sunt prezentate provocări și tendințe ale evoluției viitoare (blockchain, Green IoT) spre care se îndreaptă sectorul energetic.

**Cuvinte cheie:** Internet of Things, energie, tehnologii IoT, aplicații IoT, blockchain, Green IoT.

## Internet of Things in energy: technologies, applications, challenges and future trends

**Abstract:** Undergoing a continuous evolution, the energy sector is on the threshold of a transformation that will make the transition from a technical, hierarchical and planned system to an intelligent and optimized system based on Internet of Things (IoT) technologies, which will fundamentally change this section. IoT has become one of the fastest evolving technologies. The paper presents components of an IoT system, IoT-based technologies (communication technologies, sensors and actuators) that underlie the transformation of this sector and the evolution of IoT applications in energy (smart cities, smart grids, smart buildings and smart transportation). It also presents challenges and trends of future evolution (blockchain, Green IoT) towards which the energy sector is going.

**Keywords:** Internet of Things, energy, IoT technologies, IoT applications, blockchain, Green IoT.

### 1. Introducere

În ultimul deceniu, IoT a câștigat o atenție semnificativă atât în mediul academic, cât și în industrie. Fiind o paradigmă în care obiectele și elementele unui sistem, care sunt echipate cu senzori, actuatori și procesoare, pot comunica între ele prin intermediul tehnologiilor și al protocoalelor pentru a oferi servicii semnificative. În sistemele IoT, senzorii sunt utilizați pentru a detecta și colecta date, iar prin gateway-uri rutează datele colectate către centrele de control sau cloud pentru stocare, procesare, analiză și luarea deciziilor ulterioare. După luarea deciziei, o comandă corespunzătoare este apoi trimisă înapoi actuatorului instalat pe sistem ca răspuns la datele detectate.

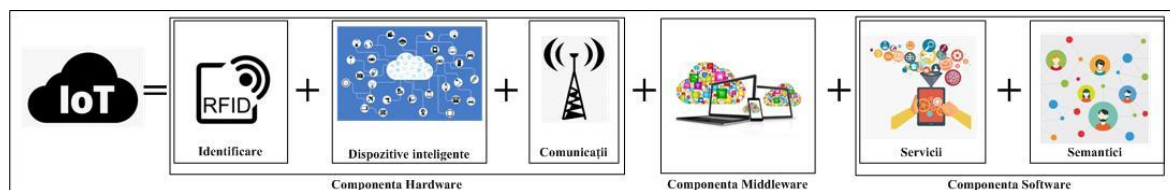
IoT poate fi definit ca o infrastructură de rețea globală, dinamică, cu capacități de auto-configurare și protocoale de comunicații interoperabile pentru obiecte fizice și virtuale, care au identități și atribute și sunt capabile să utilizeze interfețe inteligente. IoT creează un mediu inteligent folosind informațiile colectate pentru a face componentele infrastructurii critice mai conștiente, mai interactive și mai performante, oferind un mod eficient de comunicare între oameni și obiecte folosind orice tip de rețea sau serviciu.

Împreună cu tehnologia solară, eoliană și alte tehnologii, IoT joacă un rol important în evoluția continuă a sectorului energetic revoluționând aproape fiecare parte a industriei energetice, de la procesul de generare, la procesul de distribuție. Astfel, în următorii ani, sectorul energetic va deveni mai inteligent, mai eficient și mai fiabil și datorită IoT.

Lucrarea este structurată după cum urmează: secțiunile a doua și a treia descriu IoT și tehnologiile de comunicare, inclusiv senzori, actuatori, tehnologii și protocoale de comunicare, Fog și Cloud Computing. În secțiunea a patra sunt prezentate aplicațiile IoT în sectorul energetic, cum ar fi: orașe inteligente, rețele inteligente, clădiri inteligente, utilizarea inteligentă a energiei în industrie și transportul inteligent. Secțiunea a cincea analizează provocările implementării IoT în timp ce secțiunea a șasea descrie tendințele viitoare. Lucrarea se încheie cu secțiunea a șaptea în care sunt prezentate concluziile lucrării și Bibliografia.

## 2. Componente IoT

IoT se bazează pe integrarea mai multor tehnologii, cum ar fi tehnologiile de identificare, de detectare și de comunicare. La fel ca orice concept al sistemelor informaționale, IoT este compus din componente hardware, software și middleware. Componentele principale ale IoT sunt prezentate în Figura 1.



**Figura 1.** Componente IoT (adaptare după Tuysuz & Trestian, 2020)

*Componenta Hardware* este compusă din mai multe tipuri de componente fizice, cum ar fi senzori, actuatori și dispozitive nano-electronice. Hardware-ul IoT este destul de eterogen, deoarece există multe soluții specifice furnizorilor, cum ar fi: Arduino, RaspberryPI etc. (Aloi et al., 2017). Toate aceste dispozitive trebuie să fie bine organizate, amplasate în întreaga rețea și accesibile. Infrastructura IoT cea mai utilizată este compusă în principal din tehnologiile RFID, NFC și WSN.

*Componenta Middleware* este de fapt o interfață care facilitează interacțiunea dintre software și hardware. Este concepută pentru a reduce eterogenitatea software-ului și a hardware-ului. Aceasta constă dintr-o platformă comună pentru agregarea și filtrarea datelor și oferă controlul accesului la dispozitive pentru aplicații compatibile cu IoT. Middleware simplifică dezvoltarea și implementarea de noi servicii.

*Componenta Software* a IoT permite instrumente de procesare, stocare și monitorizare pentru analiza datelor. Abordarea arhitecturii orientate spre servicii (SOA) a fost adoptată pentru a construi arhitectura middleware pentru IoT, deoarece se concentrează pe servicii simple și bine definite. SOA permite încapsularea serviciilor pentru a ascunde detaliile implementărilor sau protocoalelor serviciilor. Prin urmare, aplicațiile pot utiliza obiecte eterogene ca servicii compatibile oferite de dispozitivele IoT. În acest context, nivelurile de date și semantici, prezintă o eterogenitate ridicată, incluzând multe tehnologii software de bază.

## 3. Tehnologii IoT

Integrarea senzorilor și a tehnologiilor de comunicare prin cablu/wireless întărește conceptul IoT și permite servicii suplimentare în aplicații extinse.

### 3.1. Senzori

Senzorii sunt o componentă cheie a IoT. Un senzor este un dispozitiv care are rolul de a detecta evenimente care au loc în mediul său și de a transforma aceste fenomene fizice în impulsuri electrice, care apoi pot fi interpretate într-un mod semnificativ. În general, utilizarea senzorilor îmbunătățește eficacitatea, funcționalitatea și joacă un rol important în succesul IoT (Newark Element, 2018).

În practică, în sectorul energetic, incluzând producția, transmisia și distribuția de energie, senzorii sunt folosiți pentru a crea economii atât de cost, cât și de energie. Senzorii permit un sistem inteligent de management al energiei, oferă optimizarea energiei în timp real și facilitează noi abordări pentru gestionarea sarcinii de energie. În cele ce urmează vom prezenta câteva exemple de senzori care se întâlnesc în sectorul energetic:

- **Senzorii de temperatură** sunt utilizați pentru a detecta fluctuațiile de încălzire și răcire ale unui sistem (ITFirms Co, 2018). În ceea ce privește consumul de energie, senzorii de temperatură sunt folosiți pentru a maximiza performanțele unui sistem atunci când temperatura se schimbă în timpul operațiunilor normale. De exemplu, în zonele rezidențiale, cel mai bun moment pentru pornirea sau oprirea sistemelor de ventilație și răcire este detectat de senzorii de temperatură. Astfel, energia poate fi gestionată corect pentru a fi economisită.
- **Senzorii de umiditate** sunt folosiți pentru a măsura umiditatea aerului. În sectorul energetic, aceștia sunt utilizați în producția de energie eoliană. Utilizarea senzorilor de umiditate pe turbinele eoliene este chiar vitală, dacă turbinele sunt amplasate în larg (datorită nivelului ridicat de umiditate din aer).
- **Senzorii de lumină** sunt utilizați pentru a măsura fluxul luminos și intensitatea luminii. În ceea ce privește consumul de energie, senzorii de lumină au mai multe utilizări atât pentru aplicațiile industriale, cât și pentru consumatorii casnici. Senzorii de lumină pot fi utilizați pentru a controla automat nivelurile de iluminare în interior și în exterior, pornind și oprind sau diminuând nivelurile de lumină, astfel încât acestea să poată fi reglate automat ca răspuns la schimbările de lumină ambientală. În acest mod, poate fi redusă energia necesară iluminării pentru mediile interioare (Motlagh et al., 2018).
- **Senzorii de infraroșu pasiv (Passive Infrared - PIR)** sunt utilizați pentru măsurarea radiației de lumină în infraroșu, emisă de obiectele din împrejurimile lor. Cu ajutorul acestor senzori poate fi detectată căldura corpului și implicit mișcarea în spațiile din interiorul clădirilor. Dacă nu este detectată nicio mișcare, atunci senzorul dezactivează funcția de iluminare. În acest mod, consumul de energie electrică al clădirilor este redus (Riyanto et al., 2018). În mod similar, acest lucru poate fi aplicat și pentru sistemele de aer condiționat.
- **Senzorii de proximitate** sunt senzori de zonă foarte apropiată și sunt utilizați pentru a detecta prezența obiectelor din apropiere fără niciun contact fizic. Un exemplu de aplicare a senzorilor de proximitate se regăsește în producția de energie eoliană. Acești senzori oferă longevitate și performanță fiabilă de detectare a poziției în turbine eoliene (Pepperl-Fuchs, 2019).

### 3.2. Actuatore

Actuatorele sunt dispozitive care transformă o anumită formă de energie în mișcare. Ele preiau intrarea electrică din sistemele de automatizare, transformă intrarea în acțiune și acționează asupra dispozitivelor și mașinilor din sistemele IoT (Kececi et al., 2019). Pe baza surselor de energie, dispozitivele de acționare sunt clasificate în următoarele tipuri:

- **Actuatorele pneumatice** folosesc aer comprimat pentru a genera mișcare și sunt utilizate pentru a controla procesele care necesită un răspuns rapid și precis.
- **Actuatorele hidraulice** utilizează lichidul pentru a genera mișcare. Actuatorele hidraulice constau din cilindru sau motor fluid care utilizează energie hidraulică pentru a asigura funcționarea mecanică. Aceste servomotoare sunt utilizate în controlul proceselor industriale în care sunt necesare viteze și forțe mari.
- **Actuatorele termice** utilizează o sursă de căldură pentru a genera acțiuni fizice, adică transformă energia termică în energie cinetică sau mișcare.

- **Actuatoarele electrice** aplică surse de energie externe, de exemplu, baterii pentru a genera mișcare. Actuatoarele electrice sunt dispozitive mecanice capabile să transforme electricitatea în energie cinetică, fie printr-o singură mișcare liniară, fie prin rotire.

### 3.3. Tehnologii de comunicare

În funcție de aplicație, cerințe de date și cerințe de securitate, sistemele IoT vor dicta alegerea unei tehnologii sau a unei combinații de tehnologii. Cele mai importante tehnologii de comunicare pentru IoT pot fi clasificate în: comunicare pe distanțe scurte și comunicare pe distanțe lungi.

#### 3.3.1. Comunicare pe distanțe scurte

- **Bluetooth** - este o tehnologie de comunicare pe distanțe scurte integrată în majoritatea smartphone-urilor și a dispozitivelor mobile, ceea ce reprezintă un avantaj major pentru dispozitivele care se conectează la IoT prin intermediul unui smartphone.
- **RFID** - este o tehnologie de comunicare fără contact. Este folosită pentru identificarea și urmărirea trasabilității obiectelor. Aceasta tehnologie permite schimbul de date prin intermediul semnalelor radio pe distanțe mici. Sistemul bazat pe RFID se compune din etichete RFID, cititor RFID și antenă.
- **ZigBee** - este o tehnologie wireless care utilizează standardul 802.15.4 și operează în mai multe benzi de frecvențe libere, dintre care cea mai utilizată este banda de 2,4 GHz. O caracteristică importantă pe care o au modulele ZigBee și motivul pentru care au optat majoritatea producătorilor de IoT este aceea că modulele ZigBee au un consum redus de energie, putând astfel utiliza, pentru funcționare, o baterie (cele care nu sunt alimentate de la rețea) o perioadă foarte lungă de timp.
- **Z-Wave** - este o tehnologie de comunicare wireless cu putere redusă, care este concepută pentru automatizarea locuințelor și care a fost utilizată pentru comunicarea IoT, în special pentru case inteligente.
- **6LoWPAN** - permite o comunicare sigură de mică putere pentru senzorii și dispozitivele IoT de mici dimensiuni. Are un consum redus de energie, cu o lățime de bandă redusă.
- **WiFi (Wireless Fidelity)** - este o tehnologie wireless ce folosește *undele radio* în WLAN-uri pentru a transfera date. În zilele noastre, WiFi este cea mai răspândită tehnologie de transfer al datelor. Elementul de bază al rețelei este așa numitul punct de acces sau hotspot care trimite un semnal către un dispozitiv, iar acesta este capabil să îl recunoască și să îl proceseze.

#### 3.3.2. Comunicare pe distanțe lungi

Această categorie devine din ce în ce mai populară în comunitățile industriale și de cercetare datorită: puterii reduse, autonomiei pe termen lung și a costului redus. În această secțiune, vom prezenta pe scurt tehnologiile cele mai frecvent utilizate:

- **Narrowband IoT (NB-IoT)** - este o tehnologie de comunicare care acceptă un număr mare de dispozitive și servicii IoT cu o rată ridicată de date și cu o latență foarte mică. Datorită caracteristicilor de latență ale NB-IoT, această tehnologie este o soluție pentru rețelele inteligente de distribuție a energiei, prin furnizarea de comunicații cu preț redus pentru contoare inteligente. NB-IoT este un mod nou de a comunica cu obiecte care necesită cantități mici de date, pe perioade lungi de timp, în locații greu accesibile. Conectează simplu și eficient dispozitivele la rețelele mobile deja stabilite și procesează în mod sigur și fiabil cantități mici de date. Este cea mai promițătoare tehnologie de comunicare celulară wireless pentru 5G (3GPP, 2021).

- **Long Term Evolution for Machine (LTE-M)** - este o tehnologie care oferă comunicare sigură, acoperire întinsă și o capacitate ridicată a sistemului. De asemenea, LTE-M furnizează servicii cu o latență mai mică și un randament mai mare decât NB-IoT (Lauridsen et al., 2016). În plus, această tehnologie oferă alocarea de resurse de eficiență energetică pentru dispozitivele cu energie mică, făcând din aceasta o soluție potențială pentru contorul inteligent și comunicațiile cu rețea inteligentă (Deshpande & Rajesh, 2017).
- **Sigfox** - este o tehnologie care utilizează o bandă ultra îngustă, care permite dispozitivelor să comunice cu o putere redusă pentru activarea aplicațiilor IoT (Gomez et al., 2019). În sectorul energetic, progresele tehnologice prezintă Sigfox drept una dintre cele mai bune tehnologii cu consum redus de energie pentru contorizarea inteligentă, care permite servicii energetice în timp real pentru gospodării.
- **LoRaWAN** - este una dintre cele mai populare tehnologii IoT, proiectată pentru a furniza rețele WAN cu consum redus de energie și care susține rețele mari cu o multitudine de dispozitive. LoRaWAN este proiectat pentru a sprijini comunicarea bidirecțională sigură în IoT, M2M și aplicații urbane inteligente și industriale (LoRa Alliance, 2021).

### 3.3.3. Protocoale de comunicare IoT

Dispozitivele IoT comunică prin intermediul unui protocol de comunicare. Fiecare protocol din sistemul IoT asigură comunicarea de la un dispozitiv la altul, de la un dispozitiv la un gateway, de la un gateway la centrul de date sau de la un gateway la Cloud. Există o mulțime de protocoale disponibile pentru IoT, fiecare dintre acestea sunt pretabile unor anumite utilizări în funcție de: distanța de transmisie, frecvența, rata de transfer a datelor, precum și de consumul energetic.

În continuare sunt prezentate cele mai reprezentative protocoale IoT:

- **AMQP (Advanced Message Queuing Protocol)** - protocol „open standard”, definit pe paradigma publicare-abonare. Acest protocol este conceput pentru a permite interoperabilitatea între aplicații și sisteme diferite. Caracteristica de interoperabilitate a AMQP este importantă, deoarece permite ca diferite platforme, care sunt implementate în limbaje de programare diferite, să poată schimba mesaje.
- **CoAP (Constrained Application Protocol)** - protocol de comunicare la nivel de aplicație pentru dispozitivele inteligente care se conectează la Internet. CoAP este un protocol pentru dispozitivele restricționate, din punct de vedere al performanței și al sursei de energie, cum ar fi senzorii de putere redusă și actuatorii care să comunice interactiv prin Internet, pentru soluțiile IoT care necesită un model de comunicare bazat pe cerere-răspuns între dispozitive cu baterie, gateway-uri și servere (CoAP, 2016).
- **DDS (Data Distribution Service)** - protocol middleware și un standard API pentru conectivitate centrată pe date și care utilizează un model de interacțiune publicare-abonare. DDS este unic centrat pe date, fapt ce îl face ideal pentru IoT. Protocolul DDS controlează modul în care sunt partajate datele. Acesta poate gestiona dispozitive mici și conecta rețele mari de senzori de înaltă performanță. De asemenea, poate transmite și primi date din Cloud (DDS-Portal, 2021).
- **MQTT (Message Queue Telemetry Transport Protocol)** - protocol de mesagerie folosit pentru colectarea datelor măsurate de la senzori și transmiterea acestora către servere, ceea ce îl face potrivit pentru dispozitivele cu resurse limitate și pentru condițiile de conectivitate care nu sunt ideale, ca de exemplu: lățime de bandă mică și latență ridicată. Datorită simplității sale, este recomandat ca soluție de comunicare în IoT. MQTT este un protocol care asigură comunicarea între mai multe dispozitive folosind tehnologii diferite (Dumitrache & Sandu, 2020).
- **XMPP (Extensible Messaging and Presence Protocol)** - protocol „open standard” care permite utilizatorilor să trimită mesaje în timp real și aplicațiilor de mesagerie instantanee

să obțină caracteristicile de bază, inclusiv autentificarea, criptarea „end-to-end” și compatibilitatea cu alte protocoale (XMPP, 2020).

### 3.4. Edge, Fog și Cloud Computing

Pentru a gestiona cantități mari de date generate de contoare inteligente, precum și de alte componente ale rețelei, pot fi utilizate serviciile furnizate de infrastructurile Cloud. Astfel de servicii furnizate de infrastructurile Cloud pentru utilizatorii de rețele inteligente, includ: furnizarea unui spațiu de stocare, gestionarea resurselor de energie și o centrală virtuală.

Datorită latenței reduse și a distribuției geografice și, adesea, a dispozitivelor IoT, trebuie luată în considerare o întârziere atunci când dispozitivele IoT trebuie să trimită date pentru a fi procesate într-un centru de date Cloud. În unele cazuri de utilizare, această întârziere nu poate fi tolerată, de exemplu în aplicații în care sunt necesare analize de streaming în timp real.

Pentru a soluționa această problemă, Edge și Fog Computing pot fi adăugate ca straturi intermediare între IoT și Cloud. Cu toate acestea, Fog Computing sau Edge Computing se ocupă de IoT într-o manieră distribuită, în raport cu modelul de Cloud Computing Centralizat. Edge și Fog Computing își propun să reducă latența și să îmbunătățească utilizarea lățimii de bandă.

## 4. Aplicații IoT în energie

Astăzi, sectorul energetic depinde în mare măsură de combustibilii fosili, constituind un procent semnificativ din energia finală la nivel global. Extracția și arderea excesivă a combustibililor fosili are efecte negative asupra mediului, sănătății și economiei din cauza poluării aerului și a schimbărilor climatice. Eficiența energetică, adică consumul mic de energie pentru furnizarea aceluiași serviciu și utilizarea de surse regenerabile de energie sunt două alternative principale pentru a diminua impactul advers al utilizării combustibililor fosili (Connolly et al., 2016).

IoT poate juca un rol crucial în reducerea pierderilor de energie și reducerea emisiilor de CO<sub>2</sub>. Un sistem de gestionare a energiei bazat pe IoT poate monitoriza consumul de energie în timp real și poate crește nivelul de conștientizare cu privire la performanța energetică (Tan et al., 2017).

În Figura 2 sunt prezentate exemple de aplicații IoT în energie.

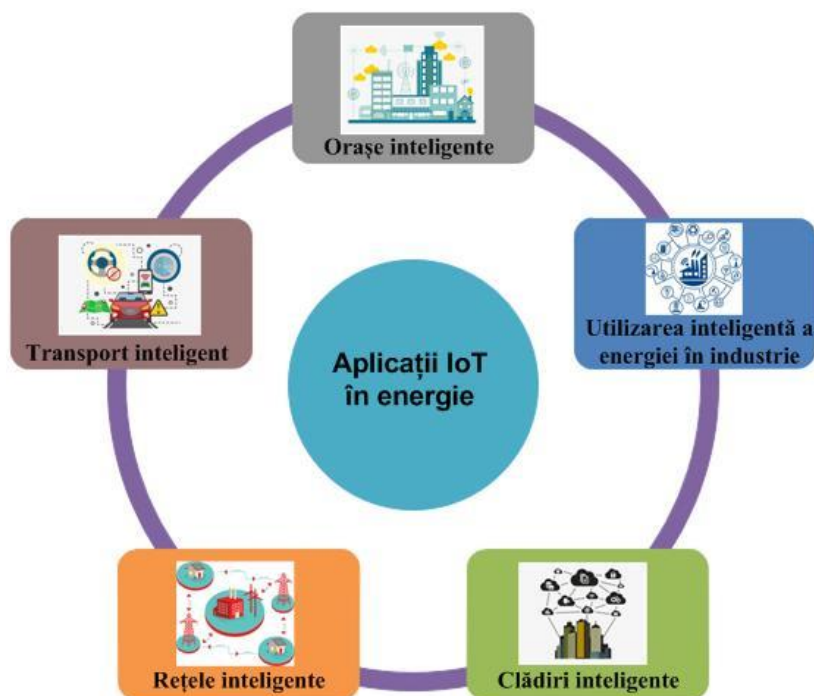


Figura 2. Aplicațiile IoT în energie (cercetare proprie)

## 4.1. Orașe inteligente

Într-un oraș inteligent, diferite procese, cum ar fi: transmiterea și comunicarea informațiilor, identificarea inteligentă, determinarea locației, urmărirea, monitorizarea, controlul poluării și gestionarea identității pot fi gestionate perfect cu ajutorul tehnologiei IoT (Mohanty, 2016). Tehnologiile IoT pot ajuta la monitorizarea fiecărui obiect dintr-un oraș. Clădirile, infrastructura urbană, transportul, rețelele energetice și utilitățile ar putea fi conectate la senzori. Aceste conexiuni pot asigura un oraș inteligent eficient din punct de vedere energetic prin monitorizarea constantă a datelor colectate de la senzori. De exemplu, prin monitorizarea vehiculelor prin intermediul IoT, luminile stradale pot fi controlate pentru o utilizare optimă a energiei. În plus, autoritățile pot avea acces la informațiile colectate și pot lua decizii mai informate cu privire la opțiunile de transport și la cererea lor de energie.

## 4.2. Rețele inteligente

Rețelele inteligente sunt rețele moderne care utilizează IoT pentru a controla și optimiza generarea de energie, rețelele de transport și distribuție și utilizarea energiei la consumatorul final. Prin conectarea contoarelor inteligente, o rețea inteligentă dezvoltă un flux multidirecțional de informații, care poate fi utilizat pentru o gestionare optimă a sistemului și o distribuție eficientă a energiei. Aplicarea rețelei inteligente poate fi evidențiată în diferite subsectoare ale sistemului energetic individual (generarea de energie, clădiri sau transport) sau împreună.

IoT poate fi aplicat în microgriduri izolate, mai ales când energia este necesară în fiecare moment, fără excepție. În astfel de sisteme, toate dispozitivele conectate la rețea pot interacționa între ele. De asemenea, datele despre cererea de energie a oricărui dispozitiv sunt accesibile. Această interacțiune poate asigura gestionarea perfectă a distribuției energiei ori de câte ori și oriunde este nevoie. În ceea ce privește impactul colaborativ al rețelelor inteligente, așa cum se arată în Figura 3, într-un oraș inteligent echipat cu rețele inteligente bazate pe IoT, diferite părți ale orașului pot fi conectate între ele (Hossain et al., 2016).



**Figura 3.** Rețele inteligente bazate pe IoT într-un oraș inteligent (adaptare după Hossein Motlagh et al., 2020)

## 4.3. Clădiri inteligente

Consumul de energie din orașe poate fi împărțit în mai multe părți: clădiri rezidențiale (casnice), comerciale (servicii), inclusiv magazine, birouri, școli și transport. Consumul casnic de energie din sectorul rezidențial include iluminat, echipamente (aparate), apă caldă menajeră, gătit, refrigerare, încălzire, ventilație și aer condiționat (HVAC). Consumul de energie HVAC reprezintă de obicei jumătate din consumul de energie din clădiri. Prin urmare, gestionarea consumului de

energie din clădiri este important pentru reducerea acestuia. Odată cu dezvoltarea tehnologiei în industrie, dispozitivele IoT pot juca un rol important pentru a controla pierderile de energie din clădirile inteligente.

De asemenea, IoT poate fi aplicat pentru a gestiona pierderile de energie ale sistemelor de iluminat. De exemplu, prin aplicarea sistemelor de iluminat bazate pe IoT, clienții vor fi alertați atunci când consumul de energie depășește nivelul standard. Mai mult, printr-o analiză eficientă a datelor în timp real, sarcina de vârf va fi mutată la nivel de vârf scăzut. Acest lucru aduce o contribuție semnificativă la utilizarea optimă a energiei electrice (Arasteh et al., 2016) și la reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră. Folosind IoT, răspunsul la cererea de energie va fi mai agil și mai flexibil, iar monitorizarea și gestionarea cererii vor deveni mai eficiente.

#### 4.4. Utilizarea inteligentă a energiei în Industrie

IoT poate fi utilizat pentru a proiecta un sistem complet conectat și flexibil în industrie, pentru a reduce consumul de energie, optimizând în același timp producția de energie. Astfel, folosirea unui sistem agil și flexibil în fabricile inteligente ajută la recunoașterea defecțiunilor în timp real, mai degrabă decât recunoașterea acestora prin monitorizarea produselor la sfârșitul liniei de producție.

În ceea ce privește procesele de monitorizare în timpul producției, IoT joacă un rol important. Dispozitivele gateway, serverele web și platformele Cloud, care sunt accesibile cu dispozitive mobile inteligente, pot fi exemple de echipamente de monitorizare. Mai mult, pentru a utiliza IoT mai eficient, prin instalarea senzorilor pe fiecare componentă a unui site industrial, pot fi detectate componentele care consumă mai multă energie decât nivelul lor de energie nominală. Astfel, fiecare componentă poate fi gestionată cu ușurință, defecțiunile componentelor pot fi remediate și consumul de energie al fiecărei componente poate fi optimizat. Acest lucru are ca rezultat eminent reducerea pierderilor de energie din fabricile inteligente.

Sistemele bazate pe IoT pot oferi un sistem inteligent pentru colaborarea dintre clienți, producători și companii. Prin urmare, un produs va fi fabricat direct în conformitate cu comanda clienților. Astfel, vor fi fabricate și stocate doar produsele conforme, ceea ce îmbunătățește gestionarea consumului de energie și eficiența producției (Lee & Zhang, 2016).

#### 4.5. Transport inteligent

Una dintre cauzele majore de poluare a aerului și a pierderilor de energie în marile orașe este utilizarea excesivă a vehiculelor private în locul transportului public. Spre deosebire de un sistem de transport tradițional în care fiecare sistem funcționează independent, aplicarea tehnologiilor IoT în transport, așa-numitul „transport inteligent”, oferă un sistem de management global. De asemenea, procesarea datelor în timp real joacă un rol semnificativ în gestionarea traficului. Toate componentele sistemului de transport pot fi interconectate, iar datele lor pot fi procesate împreună. Controlul aglomerărilor și sistemele de parcare inteligente, care utilizează hărți online sunt câteva aplicații ale transportului inteligent. Utilizarea transportului inteligent permite pasagerilor să aleagă o opțiune de economisire a costurilor, pe o distanță mai mică și pe cea mai rapidă rută, ceea ce economisește o cantitate semnificativă de timp și energie (Mohanty, 2016). Astfel, aceștia vor putea să își determine ora de sosire și să își gestioneze programul mai eficient. Prin urmare, timpul călătoriilor în oraș va fi micșorat, iar pierderile de energie vor fi reduse semnificativ. Acest lucru poate reduce remarcabil emisiile de CO<sub>2</sub> și alte gaze poluante din aer provenite din transport (Ejaz et al., 2017).

### 5. Provocări în aplicarea IoT

Integrarea IoT în energie se referă la instalarea de dispozitive inteligente pentru a procesa informațiile și a simplifica operațiunile. Aceasta presupune o abordare în mai multe etape: de la configurarea senzorilor, colectarea datelor, prelucrarea prealabilă a datelor, procesarea, testarea și



gestionarea riscului de securitate cibernetică, până la abordarea noilor politici de reglementare (Neagu et al., 2017).

În timp ce unii consumatori folosesc deja dispozitive inteligente, cum ar fi: trackere de activitate, termostate inteligente și drone, IoT în industrie necesită îndeplinirea unor condiții suplimentare înainte ca acesta să fie utilizat pe scară largă. Fiabilitatea este una dintre ele. Un eșec de conectivitate poate avea consecințe grave.

**Interoperabilitate.** Întrucât nu există încă standardizare în ceea ce privește IoT, soluțiile prezentate în literatura de specialitate se concentrează pe propriile modele. Cu toate acestea, cantitatea mare de eterogenitate în domeniul fizic, de rețea și de aplicație a acestor soluții are ca rezultat diferite propuneri arhitecturale, care implică diferite componente și protocoale. Acest lucru duce în cele din urmă la o interoperabilitate limitată între soluțiile propuse. Noile arhitecturi bazate pe IoT sunt încă în fază de propunere, deși dezvoltarea rapidă și echilibrată a IoT și optimizarea eficienței energetice vor fi afectate negativ. În acest context, soluțiile Green IoT orientate către interoperabilitate pe mai multe straturi sunt o provocare, înainte ca orice proiect de standardizare să fie lansat.

**Complexitate și scalabilitate.** Soluțiile bazate pe IoT au permis "obiectelor" să aibă capacități de comunicare, provocând o creștere a complexității. În acest context, simplificarea proiectării și implementării IoT este o provocare, având în vedere și eficiența energetică. În mod similar, scalabilitatea devine o altă problemă, deoarece vor exista multe obiecte, staționare sau mobile, conectate la rețea (rețele).

**Gestionarea energiei.** În ceea ce privește eficiența energetică în IoT, gestionarea energiei este o provocare, deoarece dispozitivele IoT nu își pot genera întotdeauna propria energie sau nu sunt întotdeauna aproape de sursele de energie. Majoritatea dispozitivelor IoT necesită energie pentru colectarea, monitorizarea și analiza datelor. Consumul de energie al obiectelor dintr-o rețea depinde de o serie de factori, cum ar fi frecvența cu care aceste obiecte vor rămâne pornite și în ce ordine/interval vor trimite/primi date. Pe scurt, cu un management adecvat al energiei care ia în considerare nu numai obiectul în sine, ci și întreaga rețea, durata de viață a obiectelor poate fi extinsă.

**Soluții Middleware.** Nivelul software în IoT prezintă o eterogenitate ridicată. Prin urmare, integrarea obiectelor / dispozitivelor cu software-ul, cum ar fi aplicațiile și serviciile web, necesită dezvoltarea de numeroase soluții middleware. Cu toate acestea, dezvoltarea de aplicații, în care datele eterogene legate de IoT sunt îmbinate cu datele tradiționale, este o provocare pentru o varietate de industrii. Eterogenitatea ridicată a nivelurilor hardware și software, având în vedere și eficiența energetică, face și mai dificilă prezentarea de soluții middleware interoperabile centrate pe IoT.

**Analize Big Data.** Obținerea de informații valoroase din volumul mare de date colectate de obiectele IoT prin intermediul diverselor rețele și tehnologii de comunicare, necesită abilități solide de analiză a acestor date, care ar putea fi o provocare pentru utilizatorii finali. Având în vedere magnitudinea energiei necesare datorită cantității mari de putere a procesorului și a utilizării memoriei în timpul analizei mari de date, analiza datelor „verzi” centrate pe IoT este de așteptat să fie și mai dificilă. În consecință, industriilor li se cere să exploateze strategii ecologice care să le permită să se ocupe de problemele legate de consumul ridicat de energie din generarea, colectarea, transmiterea, stocarea de date de dimensiuni mari pentru a evita ineficiențele energetice și a resurselor (Wu et al., 2016).

**Securitatea.** Utilizarea IoT și integrarea tehnologiilor de comunicare în sistemele energetice sporește amenințările și atacurile ciberneticе atât la informațiile utilizatorilor, cât și la sistemele energetice de la producție, transmisie și distribuție până la consum (Polyner & Sherratt, 2018). Aceste amenințări definesc provocarea de securitate în sectorul energetic. Mai mult, sistemele energetice bazate pe IoT sunt amplasate pe scară largă în zone geografice extinse din sectorul energetic și astfel, pot fi supuse unui risc mai mare de atac cibernetic. Pentru a depăși provocarea, se poate introduce o schemă de criptare pentru a asigura informațiile despre energie din atacurile ciberneticе (Song et al., 2017). În plus, sunt recomandate sistemele distribuite de control care

permit controlul la diferite nivele de sistem IoT diferit sunt sugerate pentru a reduce riscul atacurilor cibernetice și a crește securitatea sistemului.

**Standarde IoT.** IoT utilizează o varietate de tehnologii cu standarde diferite pentru a se conecta de la un singur dispozitiv la un număr mare de dispozitive. Multitudinea de dispozitive IoT care utilizează diferite standarde formează o nouă provocare (Meddeb, 2016). În sistemele compatibile cu IoT, există două tipuri de standarde: standarde de agregare a datelor, care includ protocoale de rețea, de comunicare, precum și standarde de reglementare, care se referă la securitatea și confidențialitatea datelor.

## 6. Tendințe viitoare

Aplicarea IoT în sectorul energetic pentru furnizarea de soluții eficiente are multe avantaje. Totuși, pentru implementarea IoT în domeniul energiei, sunt necesare soluții noi și tendințe pentru a îmbunătăți performanța IoT, precum și pentru a depăși provocările asociate. În continuare, vom prezenta tehnologia Blockchain și Green-IoT, ca două propuneri care pot ajuta la abordarea unora dintre provocările prezentate anterior.

### 6.1. Blockchain și IoT

Tehnologia blockchain completează sistemele IoT cu interoperabilitate, confidențialitate și securitate îmbunătățită. Mai mult, blockchain poate îmbunătăți fiabilitatea și scalabilitatea sistemelor IoT (Reyna et al., 2018).

Domeniul energetic este propice pentru aplicarea blockchain din perspectiva următoarelor considerente:

*Iminența schimbărilor climatice.* Aceasta a condus la necesitatea adoptării surselor regenerabile de energie ducând la dezvoltarea tehnologiilor: microeolienele și panourile fotovoltaice, ale căror costuri se află într-o continuă diminuare. Scalabilitatea și modularitatea acestor tehnologii permit oportunități de dezvoltare a unui nou segment în cadrul sectorului energetic, *prosumerii*. Acest segment reprezintă un hibrid între consumatorii casnici și producătorii de energie.

Prin urmare prosumerii sunt promotorii care reprezintă atât o oportunitate cât și o provocare pentru actualul sector energetic, creând dificultăți în ceea ce privește echilibrarea tehnică a rețelei. Tranzacționând energia produsă cu ajutorul tehnologiei blockchain, prosumerii pot deveni pionii principali în sectorul energetic al viitorului.

*Numeroși intermediari pe linia de distribuție.* Pentru un sistem energetic eficient, este necesar să ai două tipuri de actori: producători și consumatori. Actualmente, valoarea energiei produse se împarte la un număr mare de entități, care pot fi diminuate sau chiar înlăturate prin implementarea unui rețele de prosumeri bazată pe blockchain.

*Maturizarea tehnologiilor care permit realizarea de microgriduri.* Această evoluție permite un control mai eficient asupra energiei electrice, ce devine un bun stocabil, controlabil, fungibil și ușor cuantificabil; calități esențiale pentru orice resursă ce se pretează tranzacționării automate prin contracte inteligente.

### 6.2. Green IoT (G-IoT)

În ultimii ani, dezvoltarea continuă a IoT a generat un volum enorm de date între dispozitivele interconectate, ceea ce a necesitat o cantitate masivă de energie. Astfel, Green-IoT are în vedere reducerea consumului de energie al dispozitivelor IoT, precum și asigurarea unui mediu sigur (Arshad et al., 2017).

Pentru a implementa G-IoT, ar trebui implementate o serie de soluții, cum ar fi: utilizarea Green RFID tags, Green Wireless Sensor Networks (WSN), Green Data Centers, Green Cloud Computing.

IoT va deveni G-IoT numai dacă se obțin realizări ecologice semnificative în WSN și RFID. Noile modele și materialele utilizate pentru producerea senzorilor din WSN, precum și a etichetelor RFID, fac ca acestea să fie mai ecologice decât oricând.

Green Data Center este un centru de date ecologic/sustenabil care utilizează tehnologii eficiente din punct de vedere energetic. Nu conține sisteme învechite (cum ar fi servere inactive sau subutilizate) și utilizează tehnologii noi și eficiente.

Green Cloud Computing este prevăzut pentru a realiza nu numai procesarea și utilizarea eficientă a infrastructurii de calcul, ci și minimizarea consumului de energie.

În continuare, sunt enumerate principalele tendințe pentru realizarea viziunii G-IoT (Maksimovic, 2017): implementarea proiectării ecologice și aplicarea produselor bio în procesele de fabricație a componentelor G-IoT; reducerea consumului de energie și a costurilor de proiectare și producere de componente G-IoT eficiente din punct de vedere energetic; utilizarea surselor regenerabile de energie verde, cum ar fi solare, eoliene, de apă, oxigen, geotermale, surse de biogaz; trimiterea datelor numai atunci când este necesar; includerea problemelor de securitate în infrastructura de detectare, rețeaua de comunicații, nivelul aplicației și în ansamblul arhitecturii G-IoT.

## 7. Concluzii

Sistemele energetice se află în pragul unei noi ere de tranziție. Lucrarea scoate în evidență stadiul actual al transformării sectorului energetic, care este în deplin proces de transformare.

Implementarea pe scară largă a surselor de energie regenerabilă în sistemele energetice distribuite și necesitatea unei utilizări eficiente a energiei, necesită abordări integrate la nivel de sistem pentru a minimiza impactul socio-economic și de mediu al sistemelor energetice. În acest sens, tehnologiile emergente, ca de exemplu IoT, stau la baza acestei schimbări, transformând sistemul energetic într-un sistem descentralizat, inteligent și optimizat.

Tehnologia blockchain vine în maturizarea sistemelor IoT cu interoperabilitate sporită, confidențialitate și securitate îmbunătățită. Mai mult, blockchain poate îmbunătăți fiabilitatea și scalabilitatea sistemelor IoT.

Prin implementarea G-IoT se urmărește economisirea energiei. G-IoT facilitează reducerea consumului de energie al dispozitivelor IoT și asigurarea unui mediu sigur printr-o funcționare inteligentă a dispozitivelor și diminuarea risipei de energie.

## BIBLIOGRAFIE

1. 3GPP (2021). Available online: [https://www.3gpp.org/news-events/1785-nb\\_iiot\\_complete](https://www.3gpp.org/news-events/1785-nb_iiot_complete).
2. Aloj G., Caliciuri G., Fortino G., Gravina R., Pace P., Russo W., Savaglio C. (2017). *Enabling IoT interoperability through opportunistic smartphone-based mobile gateways*. J. Netw. Comput. Appl., 81, 74-84.
3. Arasteh, H., Hosseinneshad, V., Loia, V., Tommasetti, A., Troisi, O., Shafie-khah, M. & Siano, P (2016). *IoT-based smart cities: A survey*. In Proceedings of the 2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), Florence, Italy (pp. 1–6).
4. Arshad, R., Zahoor, S., Shah, M. A., Wahid, A. and Yu, H. (2017). *Green IoT: An Investigation on Energy Saving Practices for 2020 and Beyond*. In IEEE Access, 5, 15667-15681.
5. CoAP (2016). Available online: <https://coap.technology>.

6. Connolly, D., Lund, H. & Mathiesen, B. (2016). *Smart Energy Europe: The technical and economic impact of one potential 100% renewable energy scenario for the European Union*. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 60, 1634–1653.
7. DDS – Portal (2021). Available online: <https://www.dds-foundation.org/>.
8. Deshpande, K.V. & Rajesh, A. (2017). *Investigation on imcp based clustering in lte-m communication for smart metering applications*. *Eng. Sci. Technol. Int. J.*, 20, 944–955.
9. Dumitrache, M., Sandu, I. E. (2020). *Securitatea rețelelor și sisteme de comunicații în medii Smart*. *Revista Română de Informatică și Automatică (Romanian Journal of Information Technology and Automatic Control)*, 30(1), 61-70.
10. Ejaz, W., Naeem, M., Shahid, A., Anpalagan, A. & Jo, M. (2017). *Efficient energy management for the internet of things in smart cities*. *IEEE Commun. Mag.*, 55, 84–91.
11. Gomez, C., Veras, J.C., Vidal, R., Casals, L. & Paradells, J. (2019). *A Sigfox energy consumption model*. *Sensors*, 19, 681.
12. Hossain, M., Madloul, N., Rahim, N., Selvaraj, J., Pandey, A. & Khan, A.F. (2016). *Role of smart grid in renewable energy: An overview*. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 60, 1168–1184.
13. Hossein Motlagh, N., Mohammadrezaei, M., Hunt, J. & Zakeri B. (2020). *Internet of Things (IoT) and the Energy Sector*. *Energies* 2020, 13(2), 494.
14. ITFirms Co. (2018). *8 Types of Sensors that Coalesce Perfectly with an IoT App*. Available online: <https://www.itfirms.co/8-types-of-sensors-that-coalesce-perfectly-with-an-iot-app/>.
15. Kececi, E.F. (2019). *Actuators*. In *Mechatronic Components*; Kececi, E.F., Ed.; Butterworth-Heinemann: Oxford, UK, Chapter 11 (pp. 145–154).
16. Lauridsen, M., Kovacs, I.Z., Mogensen, P., Sorensen, M. & Holst, S. (2016). *Coverage and Capacity Analysis of LTE-M and NB-IoT in a Rural Area*. In *Proceedings of the 2016 IEEE 84th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall)*, Montreal, QC, Canada, 1–5.
17. Lee, C. & Zhang, S. (2016). *Development of an Industrial Internet of Things Suite for Smart Factory towards Re-industrialization in Hong Kong*. In *Proceedings of the 6th International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation*, Manchester, UK.
18. LoRa Alliance (2021). Available online: <https://lora-alliance.org/>.
19. Maksimovic, M. (2017). *The Role of Green Internet of Things (G-IoT) and Big Data in Making Cities Smarter, Safer and More Sustainable*. *International Journal of Computing and Digital Systems*, 6(4), 175-184.
20. Meddeb, A. (2016). *Internet of things standards: Who stands out from the crowd?* *IEEE Commun. Mag.*, 54, 40–47.
21. Mohanty, S.P. (2016). *Everything you wanted to know about smart cities: The Internet of things is the backbone*. *IEEE Consum. Electron. Mag.*, 5, 60–70.
22. Motlagh, N.H., Khajavi, S.H., Jaribion, A. & Holmstrom, J. (2018). *An IoT-based automation system for older homes: A use case for lighting system*. In *Proceedings of the 2018 IEEE 11th Conference on Service-Oriented Computing and Applications (SOCA)*, Paris, France, 1–6.
23. Neagu G., Vrejoiu M. H., Preda Ș. A., Stanciu A. (2017). *Platforme IoT – Soluții actuale și tendințe de evoluție*. *Revista Română de Informatică și Automatică (Romanian Journal of Information Technology and Automatic Control)*, vol. 27(3), 5-18.
24. Newark Element (2018). *Smart Sensor Technology for the IoT*. Available online: <https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/features/articles/33212>.
25. Pepperl-Fuchs (2019). *Sensors for Wind Energy Applications*. Available online: <https://www.pepperl-fuchs.com/global/en/15351.htm>.

26. Poyner, I. & Sherratt, R.S. (2018). *Privacy and security of consumer IoT devices for the pervasive monitoring of vulnerable people*. In Proceedings of the Living in the Internet of Things: Cybersecurity of the IoT—2018, London, UK, 1–5.
27. Reyna, A., Martin, C., Chen, J., Soler, E. & Daz, M. (2018). *On blockchain and its integration with IoT. Challenges and opportunities*. Future Generation Computer Systems, 88, 173 – 190.
28. Riyanto, I., Margatama, L., Hakim, H. & Hindarto, D. (2018). *Motion Sensor Application on Building Lighting Installation for Energy Saving and Carbon Reduction Joint Crediting Mechanism*. Appl. Syst. Innov., 1, 23.
29. Song, T., Li, R., Mei, B., Yu, J., Xing, X. & Cheng, X. (2017). *A privacy preserving communication protocol for IoT applications in smart homes*. IEEE Internet Things J., 4, 1844–1852.
30. Tan, Y.S., Ng, Y.T. & Low, J.S.C. (2017). *Internet-of-things enabled real-time monitoring of energy efficiency on manufacturing shop floors*. Procedia CIRP, 61, 376–381.
31. Tuysuz, M. F. & Trestian R. (2020). *From serendipity to sustainable green IoT: Technical, industrial and political perspective*. Computer Networks, 182(2020), 107469.
32. Wu, J., Guo, S., Li, J. & Zeng, D. (2016). *Big data meet green challenges: Big data toward green applications*. IEEE Syst. J. 10 (3), 888–900.
33. XMPP (2020). Available online: <http://xmpp.org/>.



**Eleonora TUDORA** este cercetător științific gradul III în Departamentul „Sisteme și Aplicații pentru Societate” din cadrul Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare în Informatică – ICI București. A absolvit Facultatea de Energetică din cadrul Universității Politehnica din București. Principalele domenii de interes pentru activitatea de cercetare includ: energie, schimbări climatice, eficiență energetică și energii regenerabile, agricultură, e-Health, dezvoltarea de sisteme informatice, utilizarea Big Data în guvernare, utilizarea TIC în sănătate.

**Eleonora TUDORA** is a third degree scientific researcher in the "Systems and Applications for Society" Department of National Institute for Research and Development in Informatics – ICI Bucharest. She graduated the Faculty of Energetics of the University Politehnica of Bucharest. The main areas of interest for the research activity include: energy, climate change, energy efficiency and renewable energies, agriculture, e-Health, the development of information systems, the use of Big Data in governance, the use of ICT in health.



**Eugenia TÎRZIU** este cercetător științific în Departamentul „Sisteme și Aplicații pentru Societate” din cadrul Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare în Informatică – ICI București. A absolvit Facultatea de Automatică și Calculatoare din cadrul Universității Politehnica din București. Principalele domenii de interes pentru activitatea de cercetare sunt: Inteligență Artificială, e-Learning, e-Health, tehnologii mobile, testare și evaluare de software și sisteme informatice.

**Eugenia TÎRZIU** is a scientific researcher in the "Systems and Applications for Society" Department of National Institute for Research and Development in Informatics – ICI Bucharest. She graduated the University Politehnica of Bucharest – Faculty of Automatic Control and Computer Science. Her research interests include: Artificial Intelligence, e-Learning, e-Health, mobile technologies, testing and evaluating software and information systems.



**Maria GHEORGHE-MOISII** este cercetător științific în Departamentul „Sisteme și Aplicații pentru Societate” din cadrul Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare în Informatică – ICI București. A obținut diploma de Master în „Management organizațional și resurse umane” la Universitatea "Spiru Haret" din București în anul 2009. Principalele domenii de interes pentru activitatea de cercetare includ: e-Guvernare, e-Health, evaluarea utilizabilității și a accesibilității, tehnologii mobile, testare și evaluare software și sisteme informatice.

**Maria GHEORGHE-MOISII** is a third degree scientific researcher in the "Systems and Applications for Society" Department of National Institute for Research and Development in Informatics – ICI Bucharest. She received a Master degree in "Organizational management and human resources" from 'Spiru Haret' University of Bucharest in 2009. The main areas of interest for research include: e-Government, e-Health, usability and accessibility evaluation, mobile technologies, testing and evaluating software and information systems.