Aplicatie de evaluare

Securitatea Bazelor de Date

CareConnect

Autor: Murariu Andrei

Rezumat

Lucrarea prezintă un model de bază de date medicală securizată, CareConnect, proiectat în Oracle Database și organizat în jurul entităților pacient, personal medical, fișă medicală și departament. Securitatea datelor sensibile (CNP) este asigurată prin criptare cu pachetul `DBMS_CRYPTO` folosind algoritmul AES-256 în modul CBC și prin gestionarea cheilor într-un tabel dedicat, cu mecanisme de rotire și auditare. Controlul accesului este implementat prin Role-Based Access Control (RBAC), Virtual Private Database (VPD) cu securitate la nivel de rând și view-uri cu mascare de date, completate de auditare standard, trigger-i de auditare și Fine-Grained Auditing (FGA). Toate aceste mecanisme sunt integrate și demonstrate practic într-o aplicație CLI Python.

Cuprins

Capitolul 1

CareConnect

1.1 Prezentarea modelului proiectat

Arhiva repository: https://github.com/iamxorum/Master_Unibuc

Baza de date CareConnect este un sistem medical care gestionează informații despre pacienți, personalul medical și fișele medicale asociate. Modelul este proiectat pentru a demonstra mecanisme avansate de securitate în Oracle Database, respectând principiile de confidențialitate și integritate a datelor medicale sensibile.

Sistemul este structurat pe patru entități principale:

- **DEPARTAMENT** - reprezintă departamentele medicale ale instituției (ex: Cardiologie, Neurologie)
- **PERSONAL_MEDICAL** - angajații sistemului medical (medici, asistenți, personal de recepție, administratori)
- **PACIENT** - pacienții înregistrați în sistem
- **FISA_MEDICALA** - fișele medicale asociate pacienților, create de medici

1.1.1 Reguli de business

Modelul respectă următoarele reguli de business:

1. Fiecare pacient are un CNP unic, care este criptat în baza de date folosind AES-256
2. Fiecare fișă medicală este asociată unui pacient și unui medic responsabil
3. Fișele medicale au un nivel de confidențialitate (1, 2 sau 3) care determină accesul utilizatorilor
4. Personalul medical este organizat pe departamente și are un rol (MEDIC, ASISTENT, RECEPȚIE, ADMIN) cu un grad de acces corespunzător (1-4)

5. Fiecare membru al personalului medical are un cont Oracle Database asociat pentru autentificare

1.2 Diagrama conceptuală

Diagrama conceptuală a modelului este prezentată în Figura.

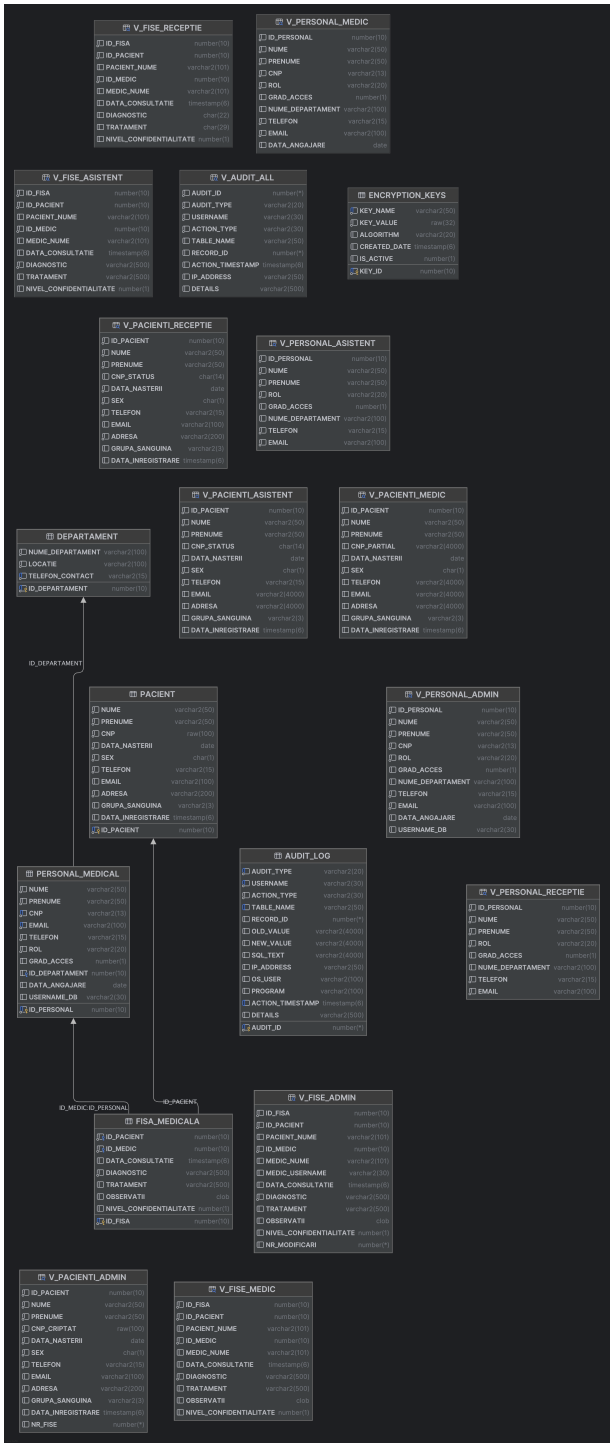


Figura 1.1: Diagrama CareConnect

Aceasta ilustrează entitățile principale și relațiile dintre ele:

- **DEPARTAMENT** $\leftrightarrow$ **PERSONAL_MEDICAL**: relație 1:N (un departament are mai mulți angajați)
- **PERSONAL_MEDICAL** $\leftrightarrow$ **FISA_MEDICALA**: relație 1:N (un medic poate crea mai multe fișe)
- **PACIENT** $\leftrightarrow$ **FISA_MEDICALA**: relație 1:N (un pacient poate avea mai multe fișe medicale)

1.3 Schemele relaționale

Schema relațională a bazei de date este următoarea:

DEPARTAMENT

PERSONAL_MEDICAL
- FK: id_departament $\rightarrow$ DEPARTAMENT(id_departament)
- Constraint: rol $\in$ {'MEDIC', 'ASISTENT', 'ADMIN', 'RECEPTIE'}
- Constraint: grad_acces $\in$ {0, 1, 2, 3, 4}

PACIENT
- Constraint: sex $\in$ {'M', 'F'}
- Constraint: grupa_sanguina $\in$ {'A+', 'A-', 'B+', 'B-', 'AB+', 'AB-', 'O+', 'O-'}
- Notă: cnp este de tip RAW(100) - stocat criptat

FISA_MEDICALA
- FK: id_pacient $\rightarrow$ PACIENT(id_pacient)
- FK: id_medic $\rightarrow$ PERSONAL_MEDICAL(id_personal)
- Constraint: nivel_confidentialitate $\in$ {1, 2, 3}

ENCRYPTION_KEYS
- Tabel auxiliar pentru stocarea cheilor de criptare AES-256

1.4 Crearea tabelelor

Scriptul de creare a tabelelor este disponibil în fișierul.

```
CREATE TABLE careconnect.departament (
    id_departament NUMBER(10) PRIMARY KEY,
    nume_departament VARCHAR2(100) NOT NULL,
    locatie VARCHAR2(100) NOT NULL,
    telefon_contact VARCHAR2(15) NOT NULL UNIQUE
);

CREATE TABLE careconnect.personal_medical (
    id_personal NUMBER(10) PRIMARY KEY,
    nume VARCHAR2(50) NOT NULL,
    prenume VARCHAR2(50) NOT NULL,
    cnp VARCHAR2(13) NOT NULL UNIQUE,
    email VARCHAR2(100) NOT NULL UNIQUE,
    telefon VARCHAR2(15) NOT NULL,
    rol VARCHAR2(20) NOT NULL CHECK (rol IN ('MEDIC', 'ASISTENT', 'ADMIN', 'RECEPTIE')),
    grad_acces NUMBER(1) DEFAULT 1 CHECK (grad_acces IN (0, 1, 2, 3, 4)),
    id_departament NUMBER(10) REFERENCES careconnect.departament(id_departament),
    data_angajare DATE DEFAULT SYSDATE,
    username_db VARCHAR2(30)
);

CREATE TABLE careconnect.pacient (
    id_pacient NUMBER(10) PRIMARY KEY,
    nume VARCHAR2(50) NOT NULL,
    prenume VARCHAR2(50) NOT NULL,
    cnp RAW(100) NOT NULL,
    data_nasterii DATE NOT NULL,
    sex CHAR(1) NOT NULL CHECK (sex IN ('M', 'F')),
    telefon VARCHAR2(15) NOT NULL,
    email VARCHAR2(100),
    adresa VARCHAR2(200) NOT NULL,
    grupa_sanguina VARCHAR2(3) CHECK (grupa_sanguina IN ('A+', 'A-', 'B+', 'B-', 'AB+', 'AB-', 'O+', 'O-')),
    data_inregistrare TIMESTAMP DEFAULT SYSTIMESTAMP
);

CREATE TABLE careconnect.fisa_medicala (
    id_fisa NUMBER(10) PRIMARY KEY,
    id_pacient NUMBER(10) NOT NULL REFERENCES careconnect.pacient(id_pacient),
    id_medic NUMBER(10) NOT NULL REFERENCES careconnect.personal_medical(id_personal),
    data_consultatie TIMESTAMP DEFAULT SYSTIMESTAMP,
    diagnostic VARCHAR2(500) NOT NULL,
    tratament VARCHAR2(500),
    observatii CLOB,
    nivel_confidentialitate NUMBER(1) DEFAULT 1 CHECK (nivel_confidentialitate IN (1, 2, 3))
);

CREATE SEQUENCE careconnect.seq_departament START WITH 1 INCREMENT BY 1;
CREATE SEQUENCE careconnect.seq_personal START WITH 1 INCREMENT BY 1;
CREATE SEQUENCE careconnect.seq_pacient START WITH 1 INCREMENT BY 1;
CREATE SEQUENCE careconnect.seq_fisa START WITH 1 INCREMENT BY 1;

CREATE TABLE careconnect.encryption_keys (
    key_id          NUMBER(10) PRIMARY KEY,
    key_name        VARCHAR2(50) NOT NULL UNIQUE,
    key_value       RAW(32) NOT NULL,
    algorithm       VARCHAR2(20) DEFAULT 'AES256',
    created_date    TIMESTAMP DEFAULT SYSTIMESTAMP,
    is_active       NUMBER(1) DEFAULT 1
);
```

Figura 1.2: Schema CareConnect

Structura cheilor primare și a relațiilor este următoarea:

- **Chei primare**: id_departament, id_personal, id_pacient, id_fisa, key_id
- **Secvențe**: seq_departament, seq_personal, seq_pacient, seq_fisa
- **Relații**:
  - PERSONAL_MEDICAL.id_departament → DEPARTAMENT.id_departament
  - FISA_MEDICALA.id_pacient → PACIENT.id_pacient
  - FISA_MEDICALA.id_medic → PERSONAL_MEDICAL.id_personal

1.5 Reguli de securitate

Fiecare personal_medical are propriul user in Database creat cu privilegiile acordate ulterior pe baza gradului/rolului de acces dat la creare; pentru demo avem 4 înregistrari, 1 pentru fiecare rol și mai jos se poate observa existența lor ca useri in baza de date; adăugarea unor noi membrii în personalul medical creează un alt user respectiv in baza de date (se poate observa și în audit log).

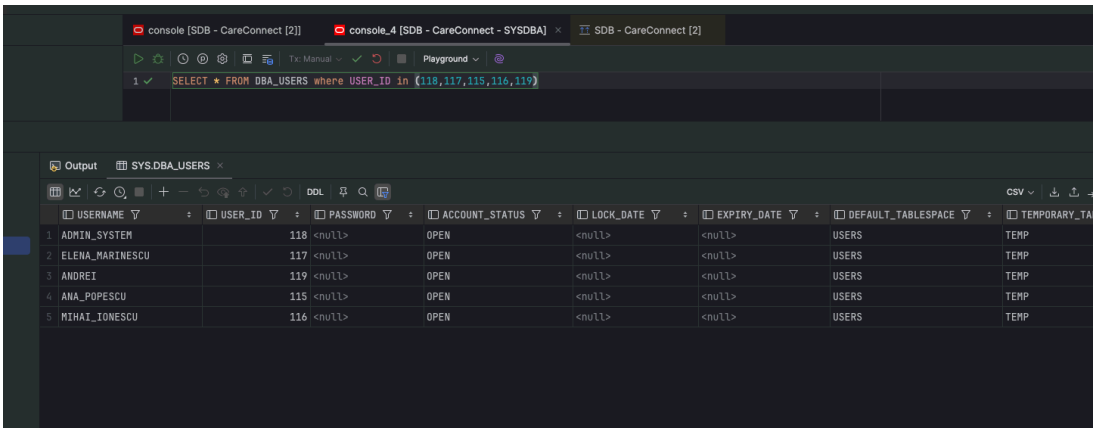


Figura 1.3: DB Users

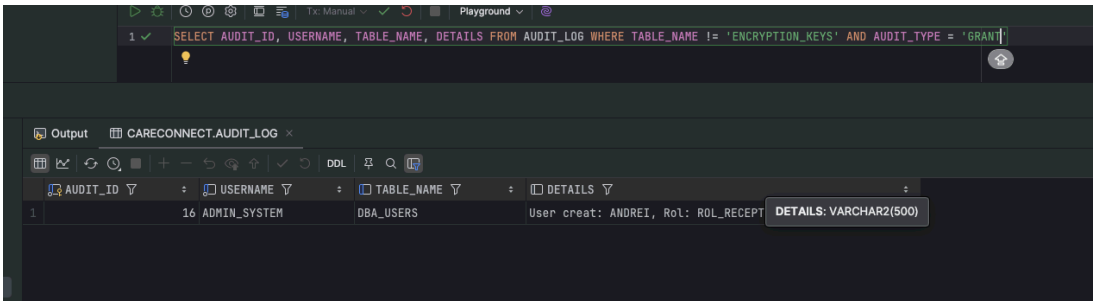


Figura 1.4: DB Users Audit

1.5.1 Controlul accesului

1. **Role-Based Access Control (RBAC)**: Sistemul definește patru roluri ierarhice:
   - `ROL_RECEPTIE` (grad_acces=1): poate înregistra pacienți noi, citește date limitate
   - `ROL_ASISTENT` (grad_acces=2): moștenește privilegiile recepției, poate citi fișe medicale cu nivel ≤ 2
   - `ROL_MEDIC` (grad_acces=3): moștenește privilegiile asistentului, poate crea/-modifica fișe medicale, poate decripta CNP
   - `ROL_ADMIN` (grad_acces=4): acces complet, poate gestiona personalul, roti chei de criptare, accesează audit logs
2. **Virtual Private Database (VPD)**: Implementat prin Row-Level Security (RLS) pentru filtrarea automată a fișelor medicale pe baza nivelului de confidențialitate și gradului de acces al utilizatorului
3. **Views cu mascare**: Fiecare rol are view-uri dedicate care maschează datele sensibile (CNP, email, telefon, adresă) conform nivelului de acces

Mai jos se pot oberva exemple de acces diferite bazate pe fiecare rol/grad de acces:

Figura 1.5: Fisa medical - acces grad 1

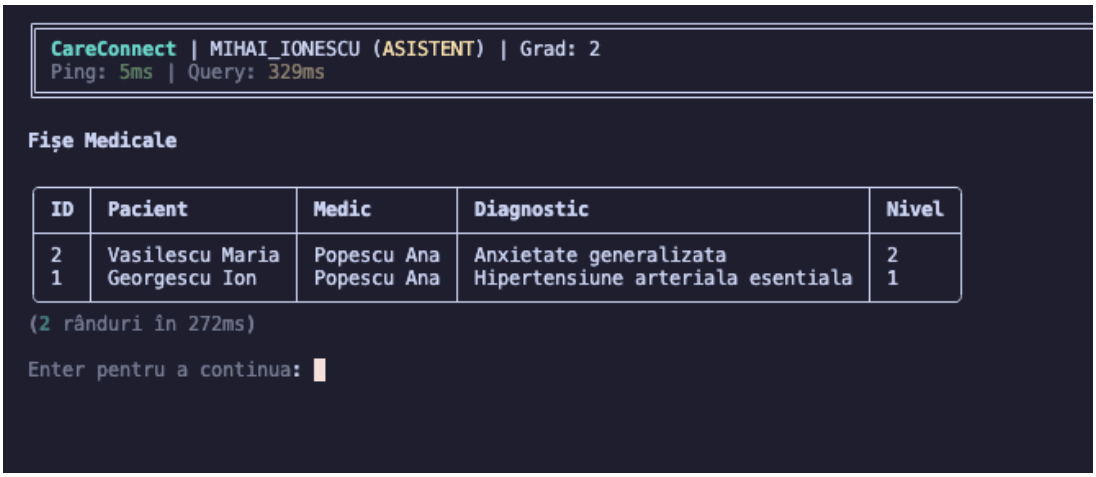


Figura 1.6: Fisa medical - acces grad 2

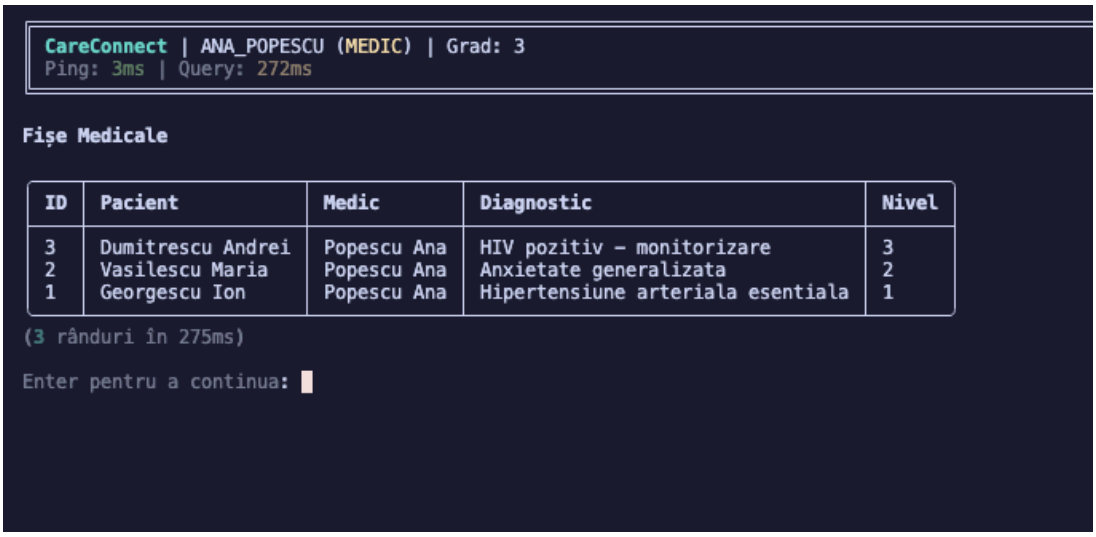


Figura 1.7: Fisa medical - acces grad 3

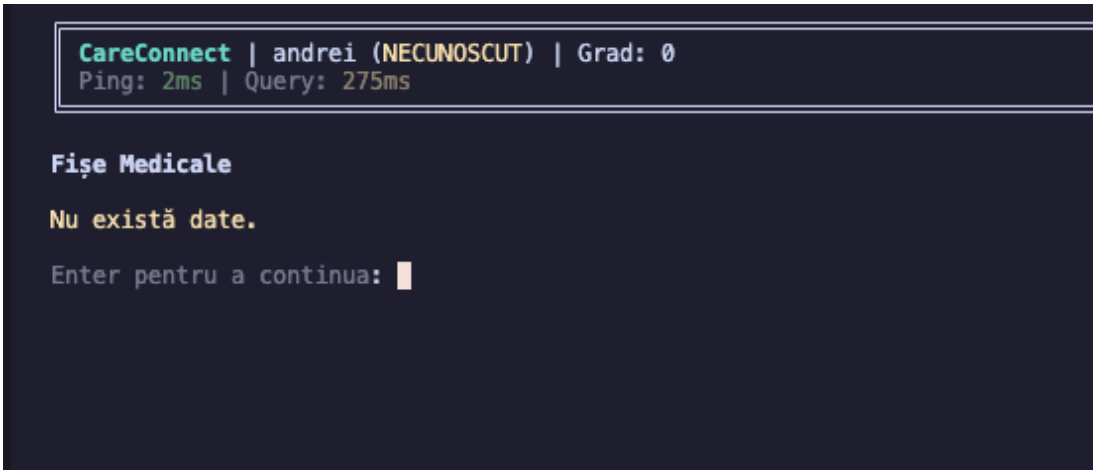


Figura 1.8: Fisa medical - acces grad 0

1.5.2 Criptarea datelor

1. **Criptare CNP**: CNP-ul pacienților este criptat folosind DBMS_CRYPTO cu algoritmul AES-256 în modul CBC

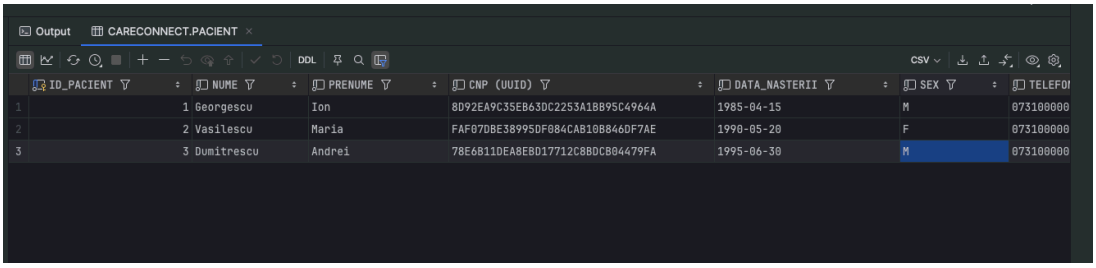


Figura 1.9: CNP Criptat

2. **Stocare chei**: Cheile de criptare sunt stocate într-un tabel separat (ENCRYPTION_KEYS) cu acces restricționat

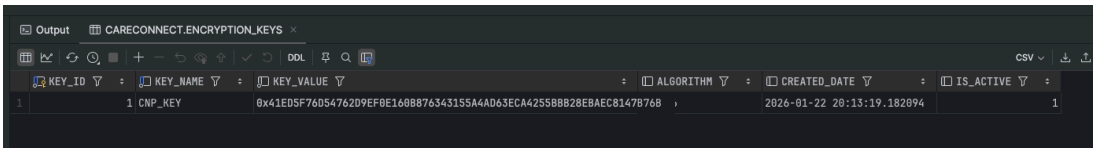


Figura 1.10: Chei de criptare AES256-CBC

3. **Rotire chei**: Procedură implementată pentru rotirea periodică a cheilor de criptare

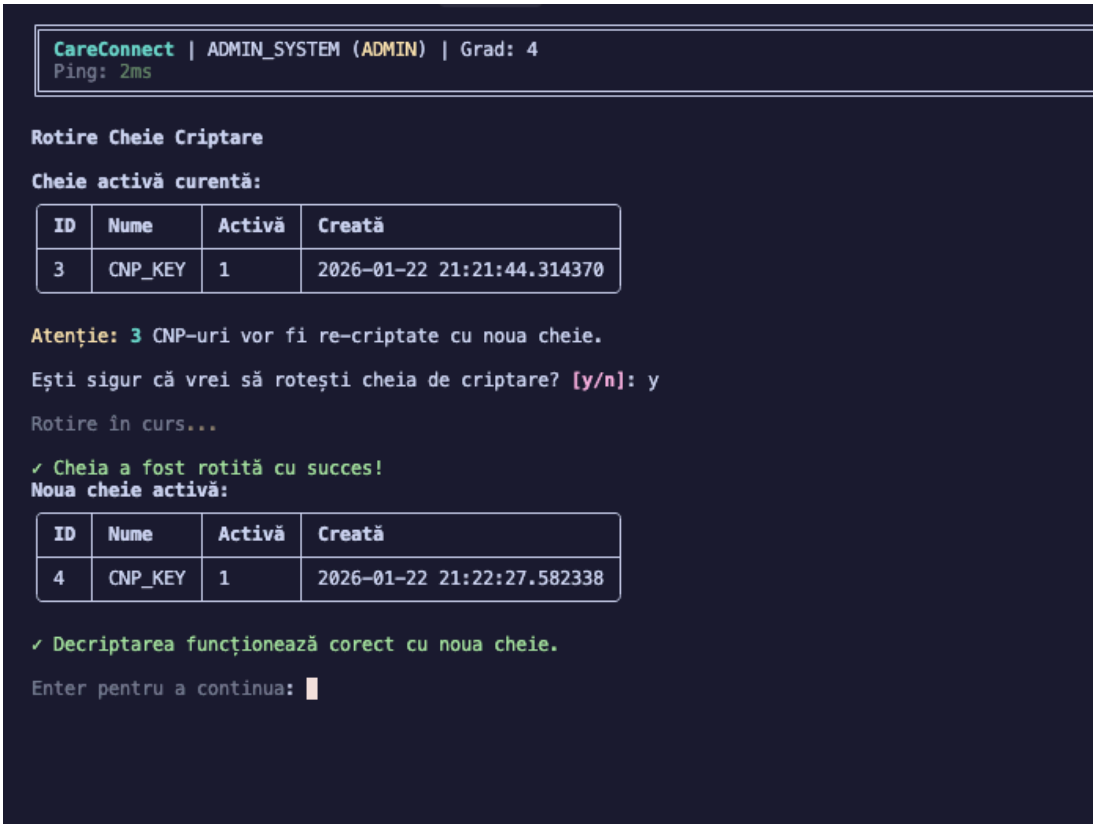


Figura 1.11: Rotire chei de criptare

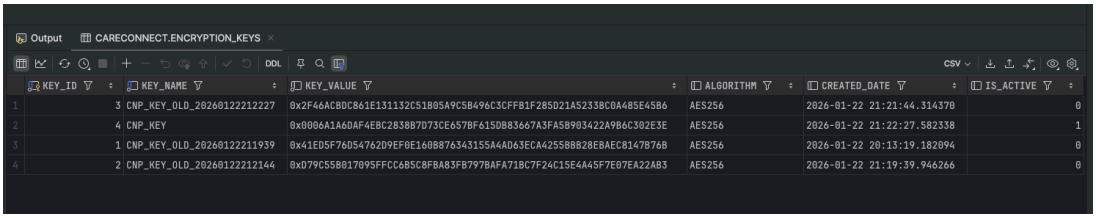


Figura 1.12: Lista chei

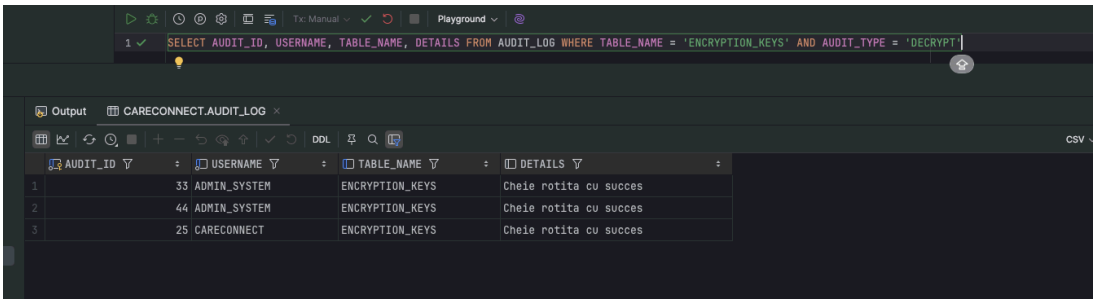


Figura 1.13: Audit Rotire chei

4. **Audit decriptări**: Toate decriptările CNP-ului sunt înregistrate în audit log

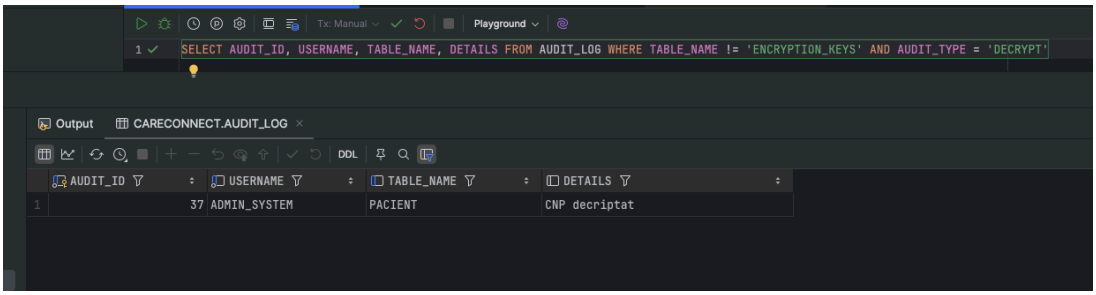
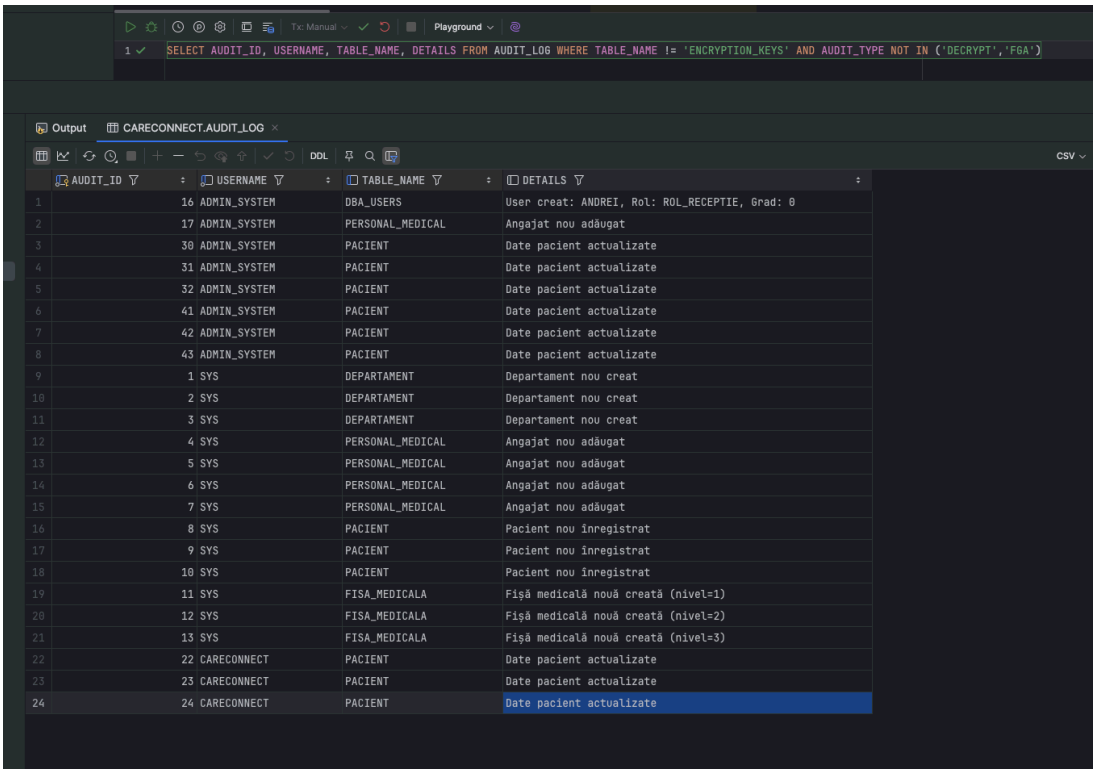


Figura 1.14: Audit decriptare CNP

1.5.3 Auditarea

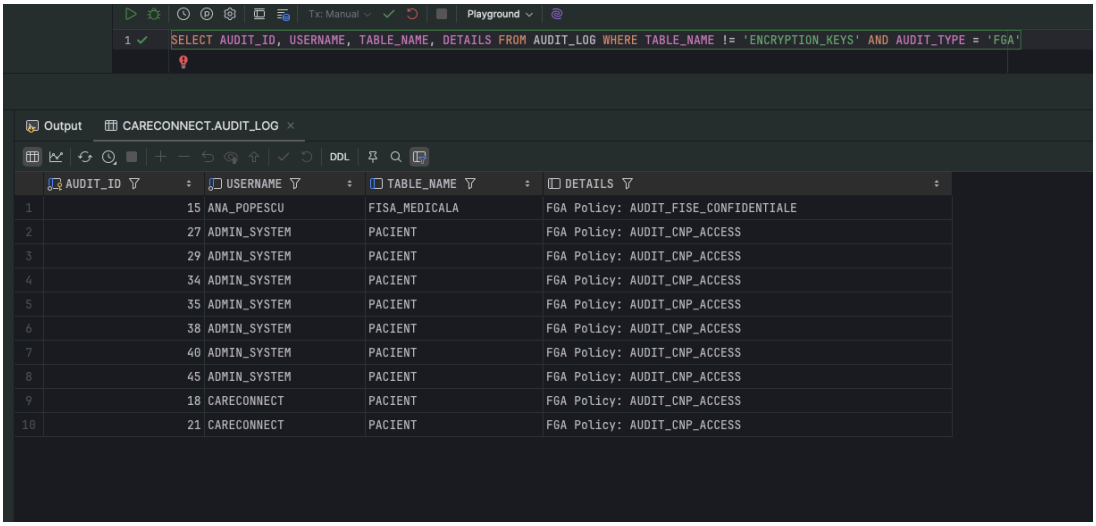
1. **Trigger-i de auditare**: Implementați pentru înregistrarea modificărilor (INSERT/UPDATE/DELETE) pe tabelele principale cu capturarea valorilor vechi și noi



	AUDIT_ID	USERNAME	TABLE_NAME	DETAILS
1	16	ADMIN_SYSTEM	DBA_USERS	User creat: ANDREI, Rol: ROL_RECEPTIE, Grad: 0
2	17	ADMIN_SYSTEM	PERSONAL_MEDICAL	Angajat nou adăugat
3	30	ADMIN_SYSTEM	PACIENT	Date pacient actualizate
4	31	ADMIN_SYSTEM	PACIENT	Date pacient actualizate
5	32	ADMIN_SYSTEM	PACIENT	Date pacient actualizate
6	41	ADMIN_SYSTEM	PACIENT	Date pacient actualizate
7	42	ADMIN_SYSTEM	PACIENT	Date pacient actualizate
8	43	ADMIN_SYSTEM	PACIENT	Date pacient actualizate
9	1	SYS	DEPARTAMENT	Departament nou creat
10	2	SYS	DEPARTAMENT	Departament nou creat
11	3	SYS	DEPARTAMENT	Departament nou creat
12	4	SYS	PERSONAL_MEDICAL	Angajat nou adăugat
13	5	SYS	PERSONAL_MEDICAL	Angajat nou adăugat
14	6	SYS	PERSONAL_MEDICAL	Angajat nou adăugat
15	7	SYS	PERSONAL_MEDICAL	Angajat nou adăugat
16	8	SYS	PACIENT	Pacient nou înregistrat
17	9	SYS	PACIENT	Pacient nou înregistrat
18	10	SYS	PACIENT	Pacient nou înregistrat
19	11	SYS	FISA_MEDICALA	Fișă medicală nouă creată (nivel=1)
20	12	SYS	FISA_MEDICALA	Fișă medicală nouă creată (nivel=2)
21	13	SYS	FISA_MEDICALA	Fișă medicală nouă creată (nivel=3)
22	22	CARECONNECT	PACIENT	Date pacient actualizate
23	23	CARECONNECT	PACIENT	Date pacient actualizate
24	24	CARECONNECT	PACIENT	Date pacient actualizate

Figura 1.15: Audit prin triggers

2. **Fine-Grained Auditing (FGA)**: Politici configurate pentru auditarea accesărilor la coloane sensibile (CNP, chei de criptare, fișe cu nivel confidențialitate 3)



	AUDIT_ID	USERNAME	TABLE_NAME	DETAILS
1	15	ANA_POPESCU	FISA_MEDICALA	FGA Policy: AUDIT_FISE_CONFIDENTIALE
2	27	ADMIN_SYSTEM	PACIENT	FGA Policy: AUDIT_CNP_ACCESS
3	29	ADMIN_SYSTEM	PACIENT	FGA Policy: AUDIT_CNP_ACCESS
4	34	ADMIN_SYSTEM	PACIENT	FGA Policy: AUDIT_CNP_ACCESS
5	35	ADMIN_SYSTEM	PACIENT	FGA Policy: AUDIT_CNP_ACCESS
6	38	ADMIN_SYSTEM	PACIENT	FGA Policy: AUDIT_CNP_ACCESS
7	40	ADMIN_SYSTEM	PACIENT	FGA Policy: AUDIT_CNP_ACCESS
8	45	ADMIN_SYSTEM	PACIENT	FGA Policy: AUDIT_CNP_ACCESS
9	18	CARECONNECT	PACIENT	FGA Policy: AUDIT_CNP_ACCESS
10	21	CARECONNECT	PACIENT	FGA Policy: AUDIT_CNP_ACCESS

Figura 1.16: Audit FGA

In aplicația CLI, doar cine are gradul 4 poate avea acces la audit logs:

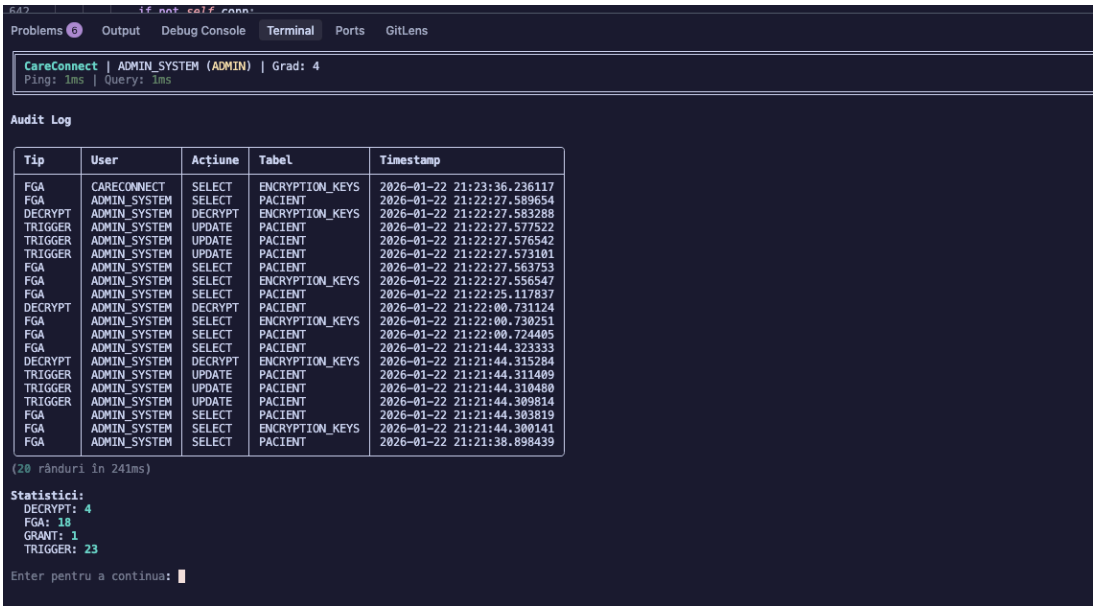


Figura 1.17: Audit - grad 4

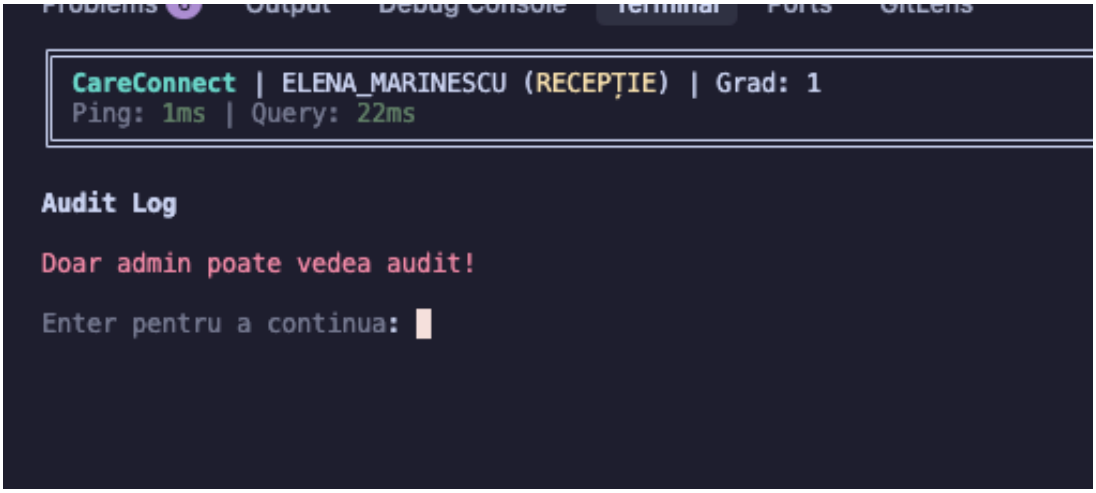


Figura 1.18: Audit - grad < 4

1.5.4 Prevenirea atacurilor

1. **SQL Injection**: Toate operațiile sunt realizate prin proceduri și funcții PL/SQL cu parametri bind, eliminând construirea dinamică de query-uri

2. **Application Context**: Context Oracle pentru stocarea gradului de acces în sesiune, setat automat la login

3. **Profiluri utilizatori**: Configurate pentru limitarea resurselor (CPU, sesiuni, timp idle) și gestionarea parolelor

1.5.5 Mascarea datelor

1. **Funcții de mascare**: Implementate pentru telefon, email, adresă și CNP (mascare parțială sau totală)

2. **Views per rol**: Fiecare rol are view-uri dedicate care aplică mascarea corespunzătoare nivelului de acces

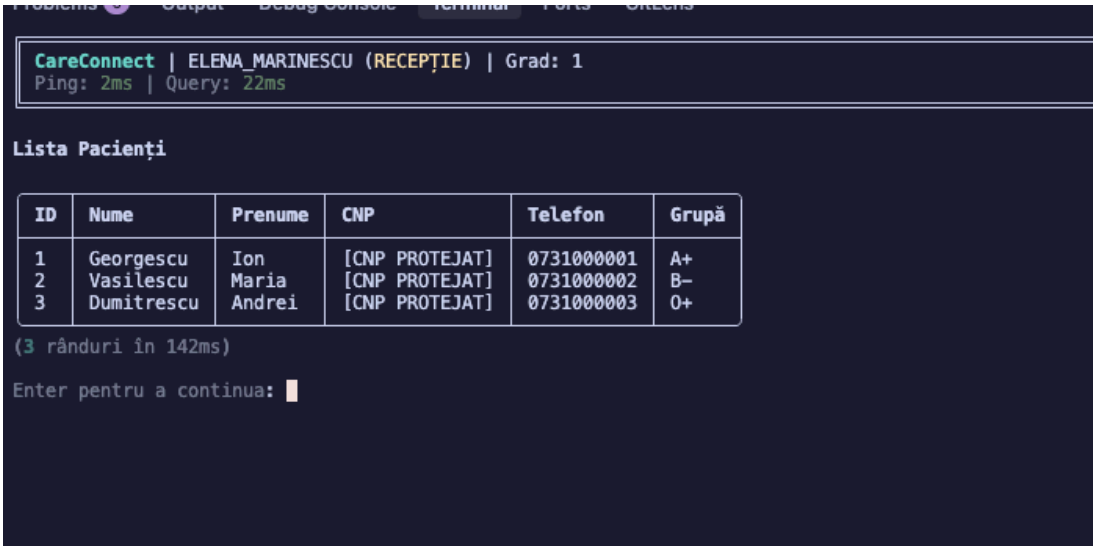


Figura 1.19: View pacienti - grad 1

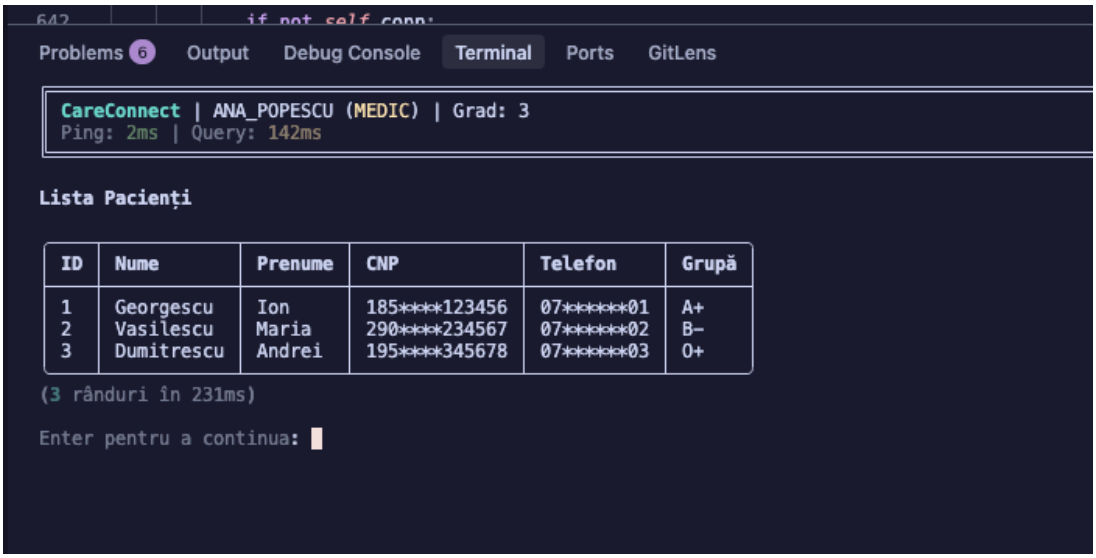


Figura 1.20: View pacienti - grad 3

3. **Decriptare condiționată**: Doar medicii și adminii pot decripta CNP-ul complet.

Figura 1.21: Decriptare CNP