



Analiza și Prognoza Seriilor de Timp

Capitolul 10: Recapitulare Comprehensivă



Daniel Traian PELE

Academia de Studii Economice din Bucureşti

IDA Institute Digital Assets

Blockchain Research Center

AI4EFIN Artificial Intelligence for Energy Finance

Academia Română, Institutul de Prognoză Economică

MSCA Digital Finance

Obiective de învățare

La finalul acestui capitol, veți fi capabili să:

1. Aplicați fluxul complet de prognoză, de la date la evaluare
2. Selectați modelul potrivit în funcție de caracteristicile datelor
3. Evaluați acuratețea prognozelor folosind metri și validare încrucișată
4. Integrați cunoștințele din toate capitolele anterioare în practică



Cuprins

Fundamente

- Metodologia Prognozei
- Studiu de Caz 1: Volatilitatea Bitcoin (GARCH)
- Studiu de Caz 2: Ciclurile Petelor Solare (Fourier)

Aplicații

- Studiu de Caz 3: Șomajul (Prophet)
- Studiu de Caz 4: Analiză Multivariată (VAR)
- Sinteză și Ghid
- Quiz



Abordarea științifică a prognozei

Întrebarea de Cercetare

- Cum putem **evalua riguros** performanța prognozei evitând supraajustarea?

Problema Fundamentală

- Ajustarea în eșantion \neq Performanța în afara eșantionului
- Modelele pot “memora” datele de antrenament fără a învăța tipare
- Soluție:** Metodologia corectă train/validation/test

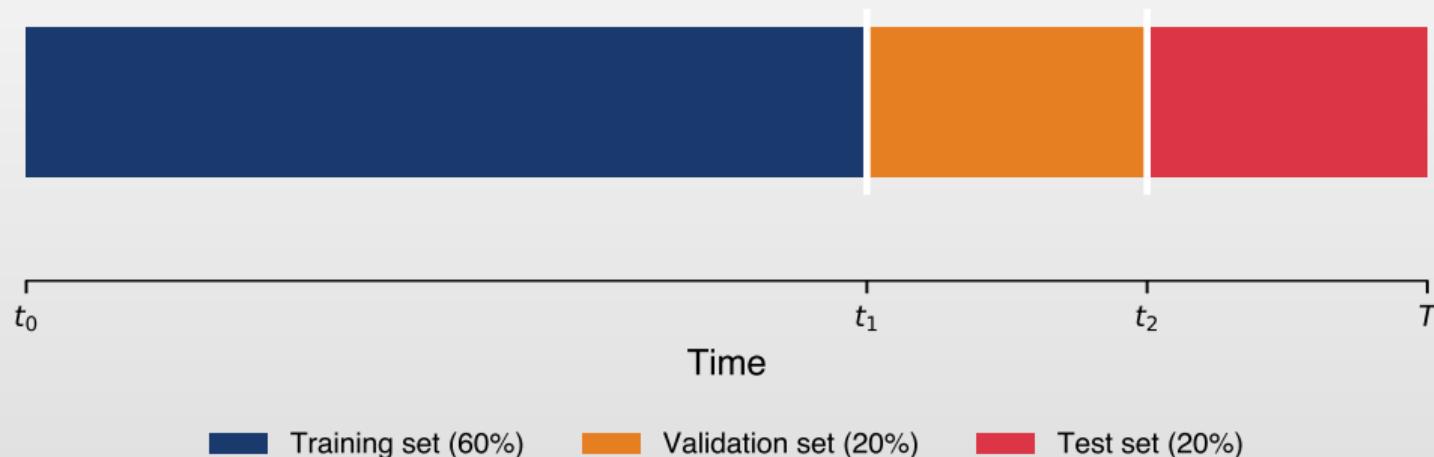
Principiu Cheie

- “Setul de test trebuie să rămână **neatins** până la evaluarea finală.”
- Practică standard în machine learning și econometrie



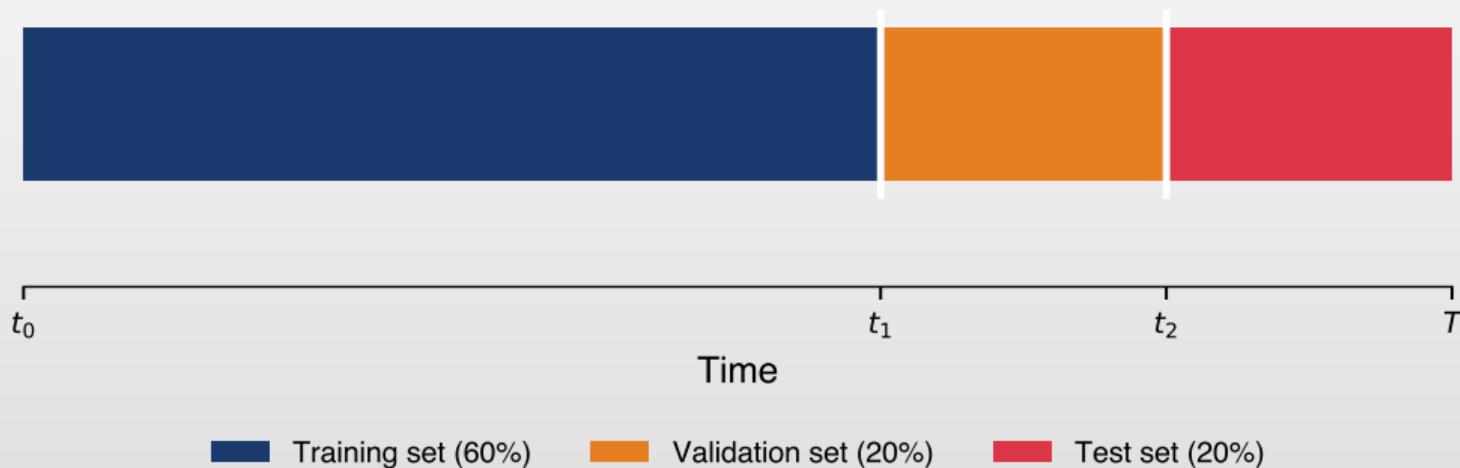
Cadrul Train/Validation/Test

Train / Validation / Test Split



Cadrul Train/Validation/Test

Train / Validation / Test Split



Q TSA_ch10_train_val_test_split



Metrici de evaluare

Definiție 1 (Metrici ale Erorii de Prognoză)

- **Date:** Fie y_t valorile reale, \hat{y}_t progozele

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_t (y_t - \hat{y}_t)^2}, \quad \text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_t |y_t - \hat{y}_t|, \quad \text{MAPE} = \frac{100\%}{n} \sum_t \left| \frac{y_t - \hat{y}_t}{y_t} \right|$$

Când să folosim

- **RMSE:** Penalizează erorile mari
- **MAE:** Robust la outlieri
- **MAPE:** Independent de scală (%)

Atenție

- MAPE nedefinit când $y_t = 0$
- Comparați pe **același** set test
- Raportați metrici **out-of-sample**



Bitcoin: definirea problemei

Întrebarea de Cercetare

- Putem prognoza **volatilitatea** Bitcoin folosind modele GARCH?

Caracteristicile Datelor

- Sursă: Yahoo Finance (BTC-USD)
- Perioadă: Ian 2019 – Ian 2025
- Frecvență: Zilnică
- Observații: ≈ 2.200 zile

Fapte stilizate

- Randamente: medie aproape zero
- Cozi groase (curtosis > 3)
- Clustering al volatilității

Insight Cheie

- Randamentele financiare sunt de obicei:
 - ▶ Impredictibile în medie
 - ▶ Predictibile în varianță
- ➔ Focus pe **prognoza volatilității**



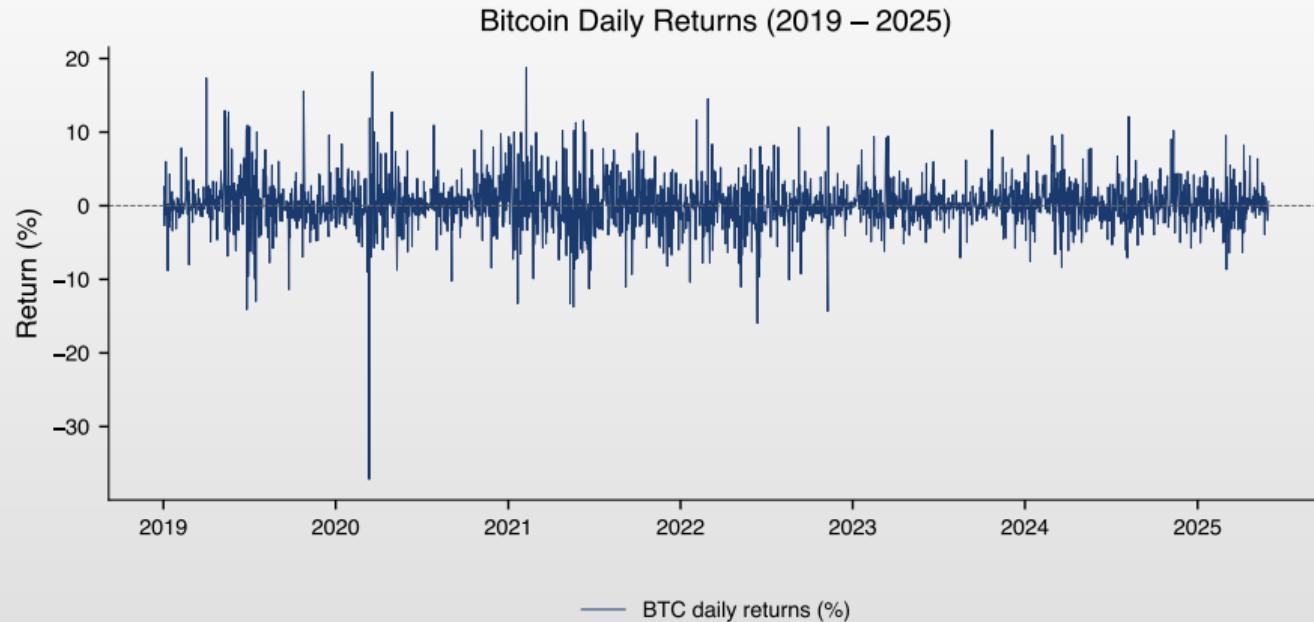
Bitcoin: volatility clustering

Observație

- Randamentele mari tind să urmeze randamente mari, cele mici urmează cele mici
- Aceasta este **volatility clustering** \succ fenomenul pe care GARCH îl captează



Bitcoin: volatility clustering



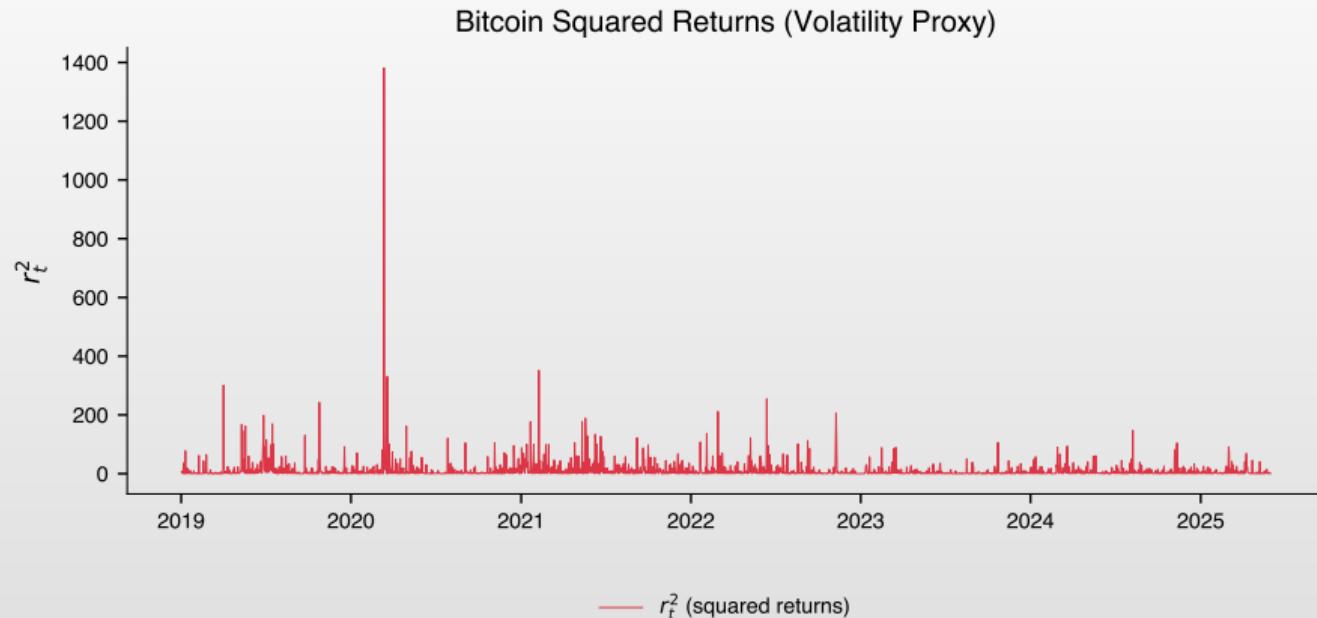
 TSA_ch10_btc_returns



Bitcoin: dovezi pentru GARCH



Bitcoin: dovezi pentru GARCH



TSA_ch10_btc_acf_squared



Specificarea modelului GARCH

Definiție 2 (Modelul GARCH(p,q))

- **Date:** Fie r_t randamentele. Modelul GARCH(p,q) este:

$$r_t = \mu + \varepsilon_t, \quad \varepsilon_t = \sigma_t z_t, \quad z_t \sim N(0, 1)$$

$$\sigma_t^2 = \omega + \sum_{i=1}^q \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^p \beta_j \sigma_{t-j}^2$$

- **Condiții:** $\omega > 0$, $\alpha_i \geq 0$, $\beta_j \geq 0$, și $\sum_{i=1}^q \alpha_i + \sum_{j=1}^p \beta_j < 1$

Variante de Model

- **GARCH(1,1):** Cel mai comun
- **GJR-GARCH:** Efect de levier
- **EGARCH:** Șouri asimetrice

Interpretare

- α : Impactul șourilor trecute
- β : Persistența volatilității
- $\alpha + \beta \approx 1$: Persistență înaltă



GARCH: Staționaritate și Varianță Necondiționată

Teoremă 1 (Staționaritatea în Covarianță a GARCH(1,1))

Dacă $\alpha_1 + \beta_1 < 1$, atunci $\{\varepsilon_t\}$ este staționar în covarianță cu:

$$\bar{\sigma}^2 = \mathbb{E}[\sigma_t^2] = \frac{\omega}{1 - \alpha_1 - \beta_1}$$

Derivare

Luăm speranța ambelor părți ale ecuației varianței:

$$\mathbb{E}[\sigma_t^2] = \omega + \alpha_1 \mathbb{E}[\varepsilon_{t-1}^2] + \beta_1 \mathbb{E}[\sigma_{t-1}^2]$$

$$\bar{\sigma}^2 = \omega + (\alpha_1 + \beta_1) \bar{\sigma}^2 \quad (\text{staționaritate})$$

$$\bar{\sigma}^2 = \frac{\omega}{1 - \alpha_1 - \beta_1}$$

Bitcoin: împărțirea datelor și staționaritate

Împărțirea Datelor

| Set | Perioadă | N |
|-------------------|-------------------|-------|
| Antrenament (70%) | 2019-01 – 2023-03 | 1.543 |
| Validare (20%) | 2023-03 – 2024-06 | 441 |
| Test (10%) | 2024-06 – 2025-01 | 221 |
| Total | 2.205 | |

Teste de Staționaritate

| Serie | ADF | Rezultat |
|------------|------------|----------------|
| Prețuri | $p = 0.50$ | Non-staționară |
| Randamente | $p < 0.01$ | Staționară |

➤ Modelăm **randamente**, nu prețuri

De ce Contează Staționaritatea

- GARCH**: necesită input slab staționar
- Prețuri vs Randamente**: Prețurile urmează random walk, randamentele sunt staționare



Bitcoin: selectarea modelului pe setul de validare

Metodologie

- Estimăm fiecare model pe datele de antrenament, evaluăm pe setul de validare

| Model | AIC | BIC | Val MAE | Selectare |
|----------------|---------|---------|---------|-------------|
| GARCH(1,1) | 6.994,8 | 7.020,6 | 2,638 | Cel mai bun |
| GARCH(2,1) | 6.993,7 | 7.024,6 | 2,640 | |
| GJR-GARCH(1,1) | 6.983,7 | 7.014,6 | 2,669 | |
| EGARCH(1,1) | — | — | — | Eșuat* |

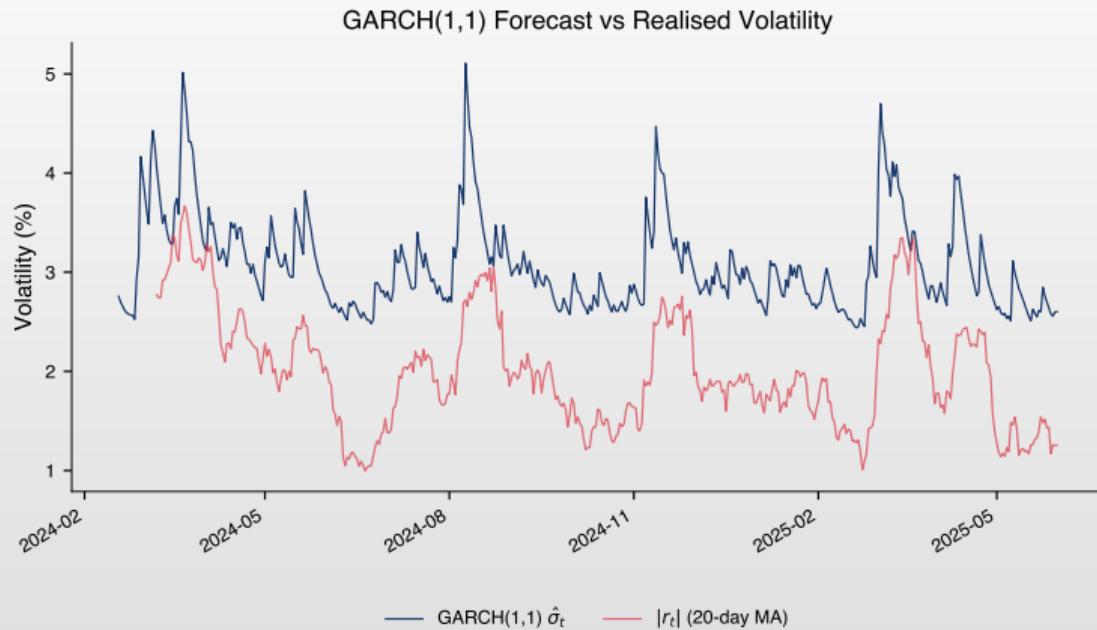
* Prognoze analitice indisponibile pentru $h > 1$

Rezultat

- GARCH(1,1)** selectat pe baza celui mai mic MAE de validare pentru prognozele de volatilitate



Bitcoin: evaluarea finală pe setul de test



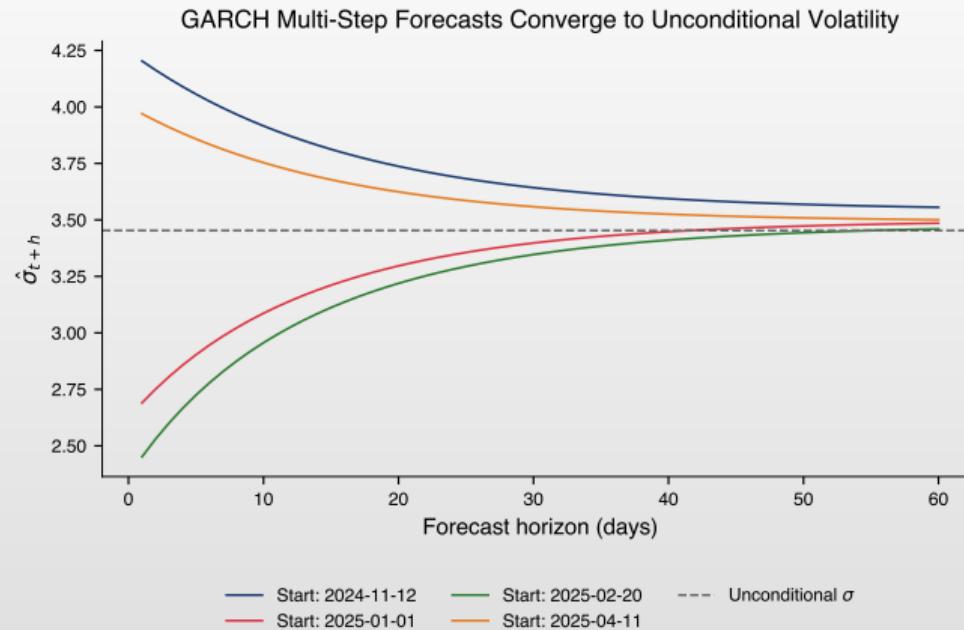
GARCH: prognozele multi-step converg

Insight Cheie

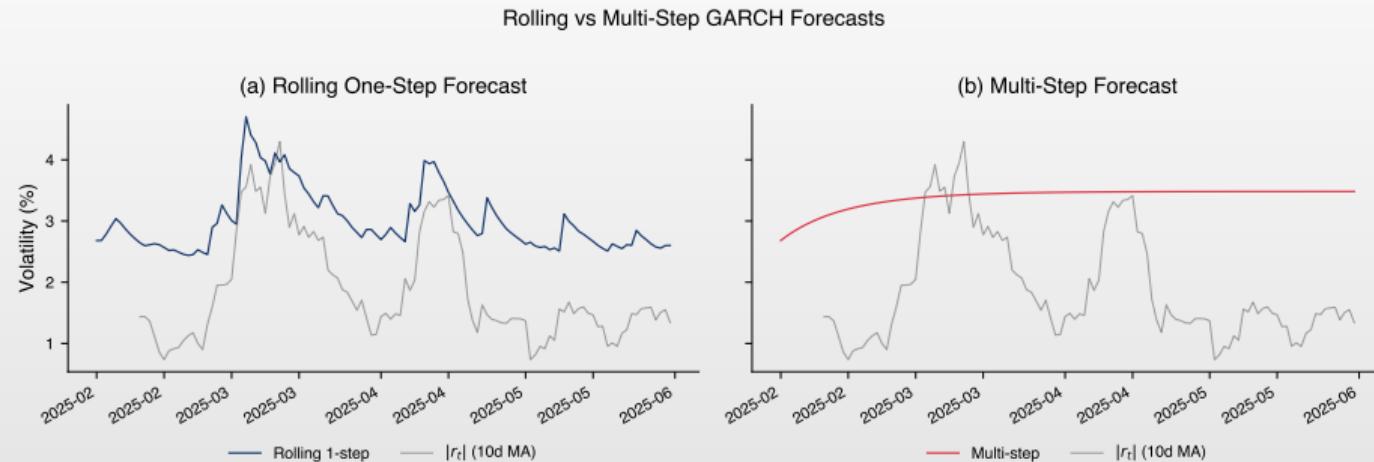
- Prognozele multi-step converg la $\bar{\sigma}^2 = \frac{\omega}{1-\alpha-\beta}$
- Soluția: prognoze rolling one-step-ahead



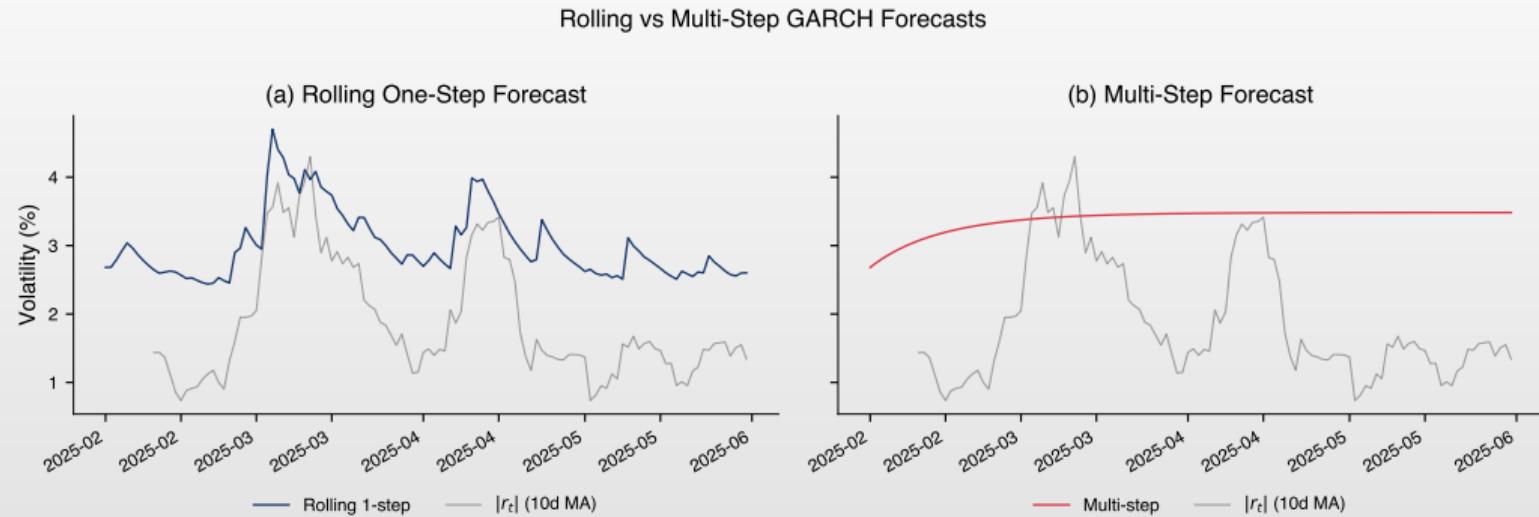
GARCH: prognozele multi-step converg



GARCH: soluția rolling one-step-ahead



GARCH: soluția rolling one-step-ahead



Q TSA_ch10_rolling_vs_multistep



Bitcoin: Concluzii cheie

Sumar

1. Rendamentele sunt staționare; prețurile nu
2. GARCH(1,1) depășește variantele mai complexe
3. Persistență înaltă ($\alpha + \beta = 0,93$)
4. Volatilitatea este predictibilă chiar când randamentele nu sunt

Implicații Practice

- Managementul riscului: VaR, Expected Shortfall
- Evaluarea opțiunilor necesită prognoze de volatilitate
- Optimizarea portofoliului cu risc variabil în timp

Limitări

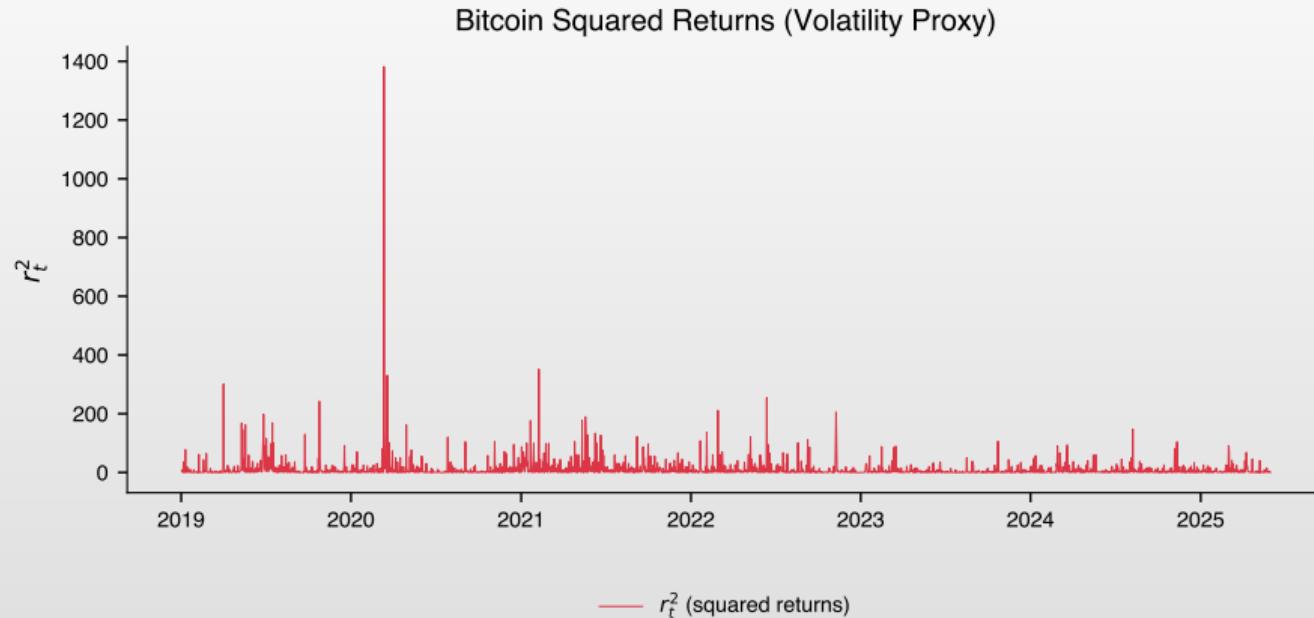
- GARCH presupune șocuri simetrice
- Nu captează salturi
- Distribuția normală poate fi restrictivă

Extensiile

- Inovații Student-t
- Volatilitate realizată
- Modele HAR



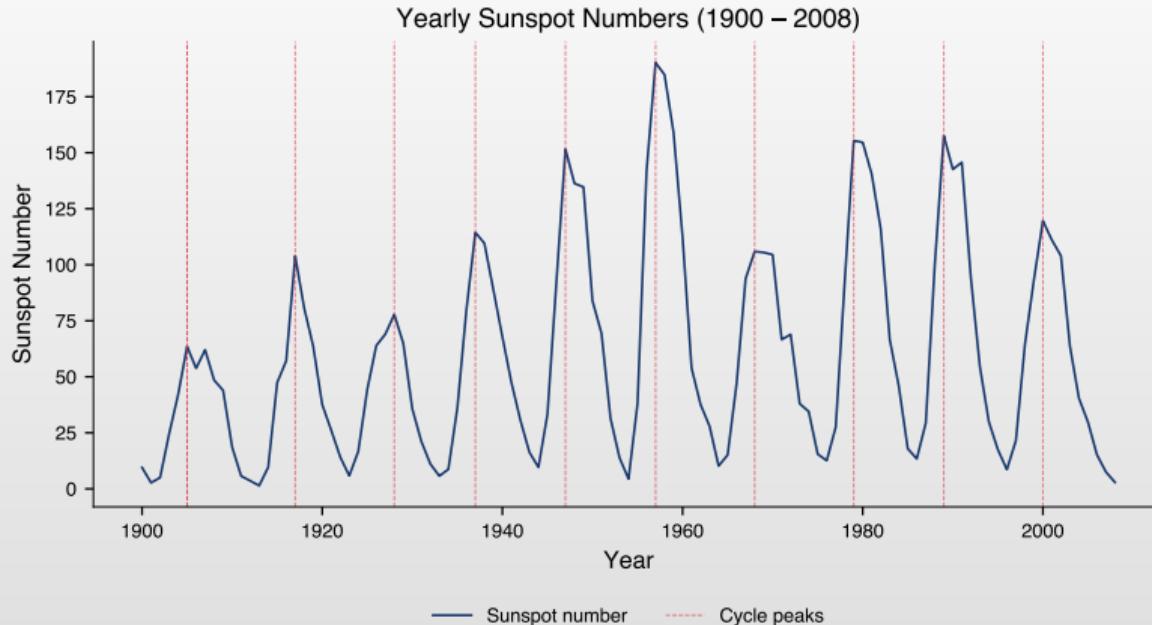
Bitcoin: Fapte stilizate GARCH



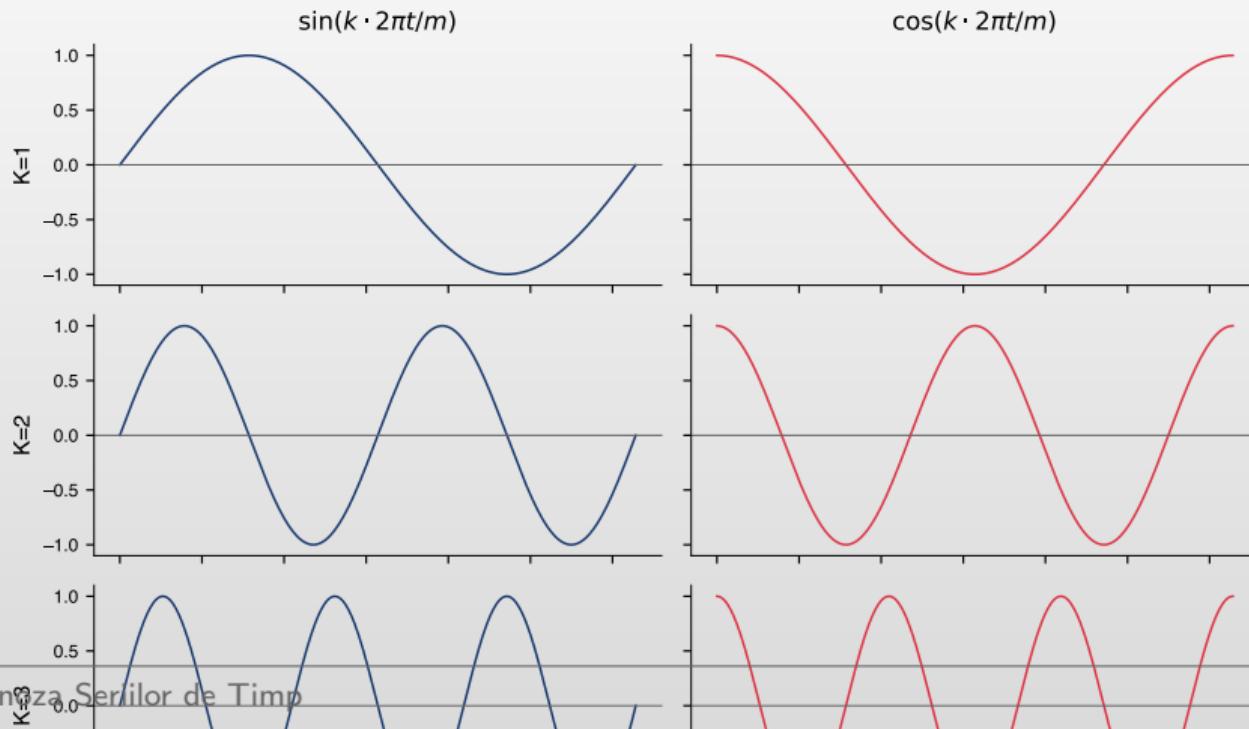
Pete solare: ciclul solar de 11 ani



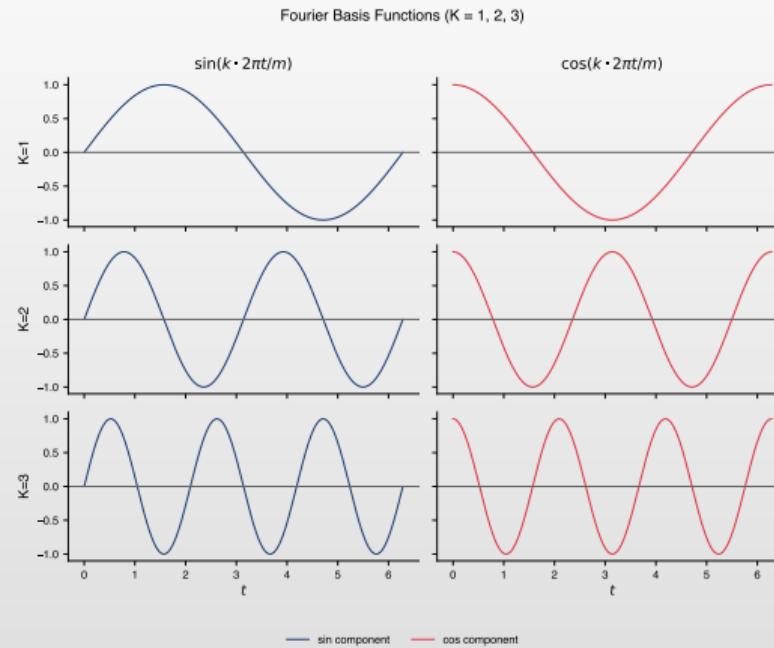
Pete solare: ciclul solar de 11 ani



Termeni Fourier pentru sezonalitate

Fourier Basis Functions ($K = 1, 2, 3$)

Termeni Fourier pentru sezonalitate



Pete solare: selectarea modelului

Metodologie

- **Comparatie:** $K = 1, 2, 3, 4$ armonici Fourier pe setul de validare

Împărțirea Datelor

| Set | Perioadă | N |
|-------------------|------------|----|
| Antrenament (70%) | 1900–1975 | 76 |
| Validare (20%) | 1976–1997 | 22 |
| Test (10%) | 1998–2008 | 11 |
| Total | 109 | |

Comparatie Modele

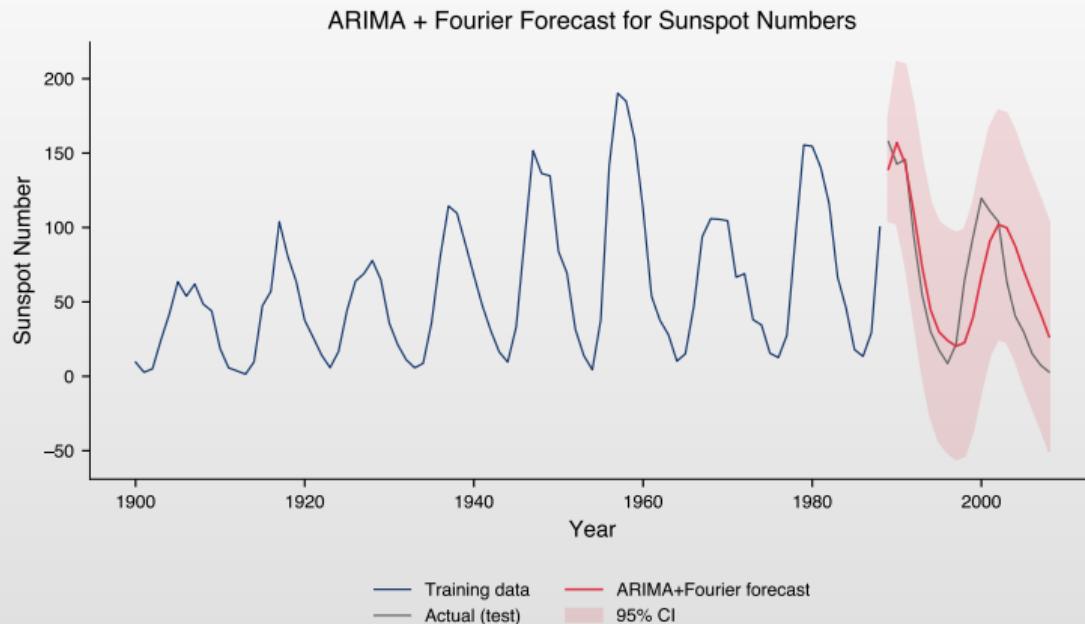
| K | AIC | Val RMSE | |
|---|-------|--------------|-------------|
| 1 | 665,9 | 87,15 | |
| 2 | 668,0 | 86,92 | |
| 3 | 671,8 | 86,81 | Cel mai bun |
| 4 | 674,5 | 87,93 | |

Rezultat

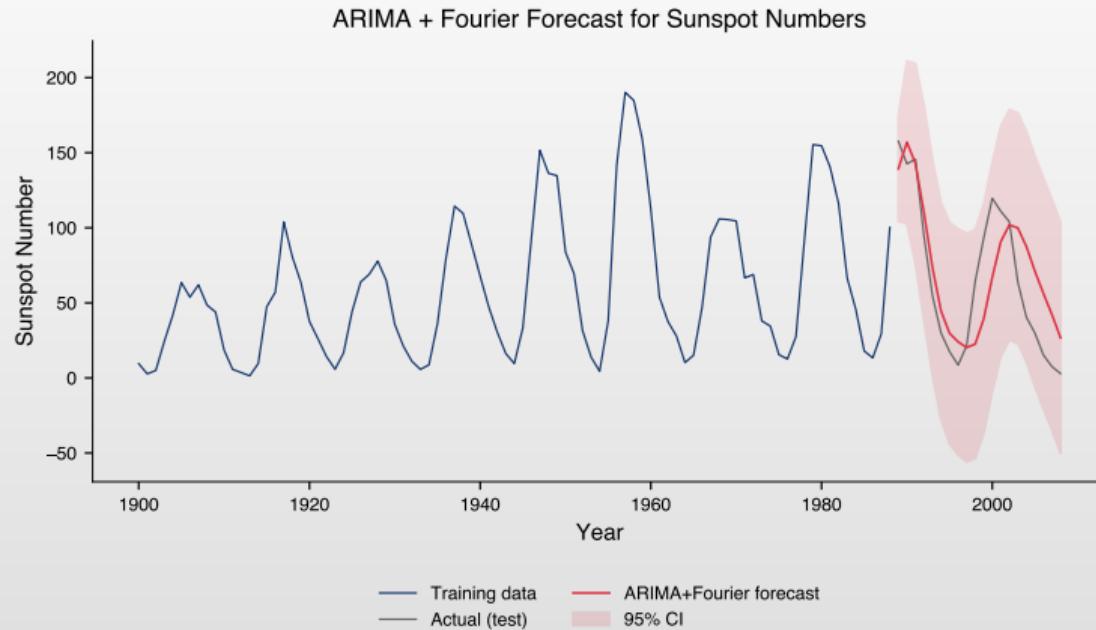
- $K = 3$ armonici Fourier selectate (6 parametri pentru ciclul de 11 ani)



Pete solare: rezultate prognoză



Pete solare: rezultate prognoză



Pete solare: concluzii cheie

Când să Folosiți Termeni Fourier

- Perioada sezonieră s este **lungă** (ex: 11 ani, 52 săptămâni)
- SARIMA ar necesita prea multe lag-uri sezoniere
- Tiparul este **neted și periodic**
- Trebuie captureate cicluri multiple

Fourier vs SARIMA

| | Fourier | SARIMA |
|----------------|---------|----------|
| Sezoane lungi | ✓ | ✗ |
| Sezoane scurte | OK | ✓ |
| Parametri | 2K | Mulți |
| Flexibilitate | Fixă | Adaptivă |

Alegerea lui K

- Strategie:** Începeți cu $K = 1$, creșteți progresiv
 - ▶ Opriți când eroarea de validare nu mai scade
 - ▶ K prea mare = supraajustare

Aplicații

- Domenii:** Cicluri climatice, cicluri de afaceri, fenomene astronomice



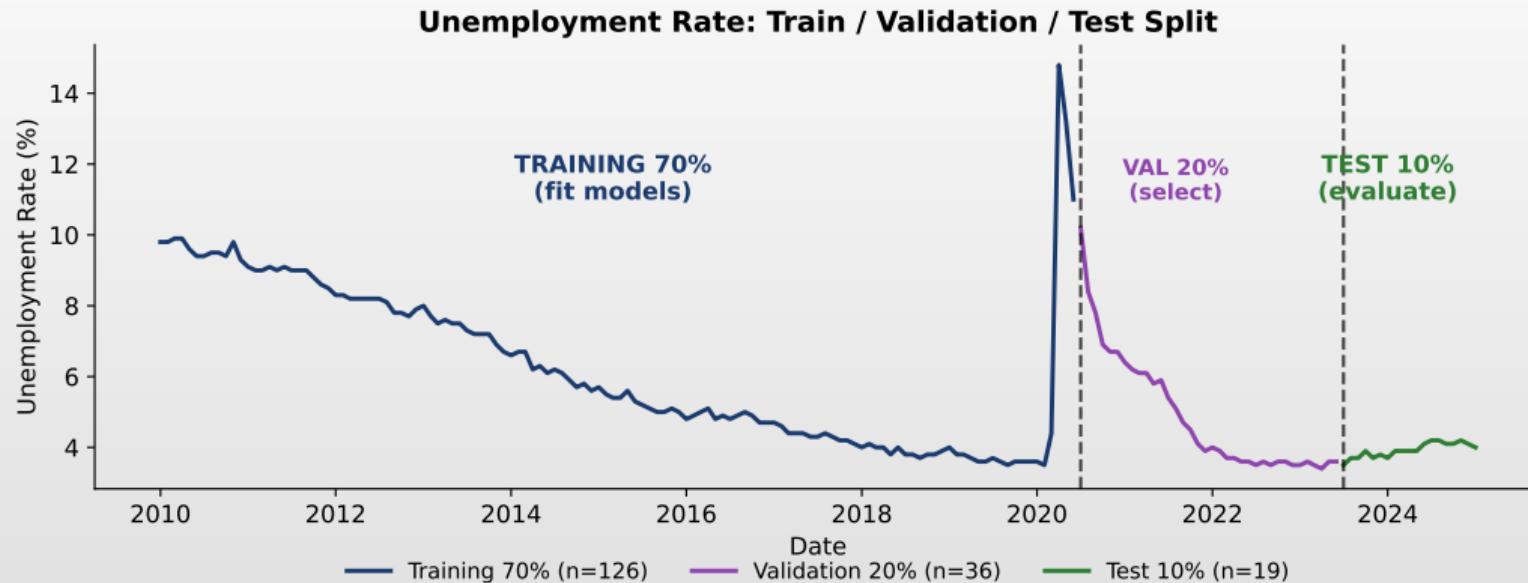
Şomajul: Train / Validation / Test Split

Metodologie

- Training** (70%): Estimare modele
- Validare** (20%): Selectie model
- Test** (10%): Evaluare finală



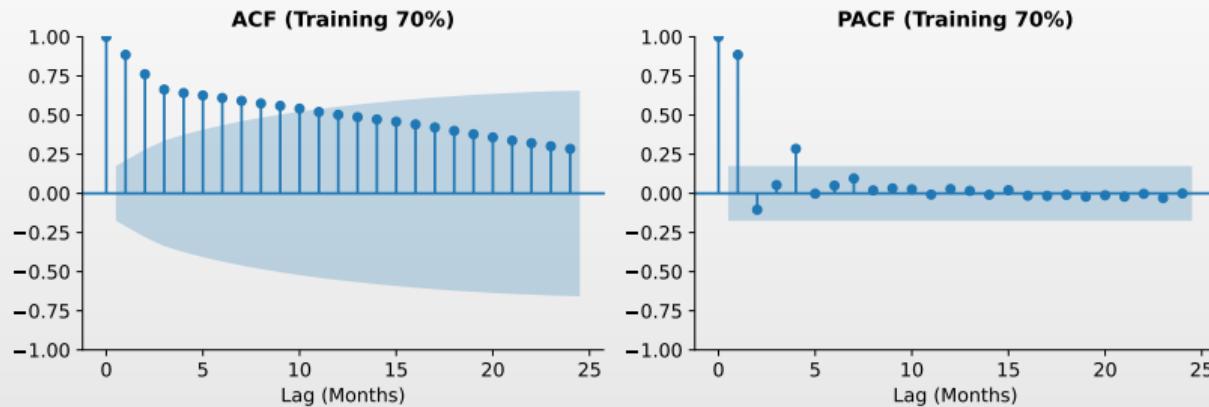
Şomajul: Train / Validation / Test Split



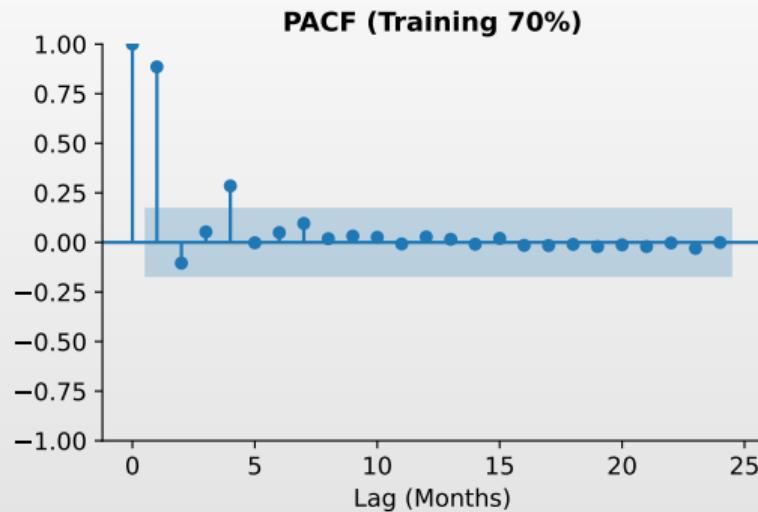
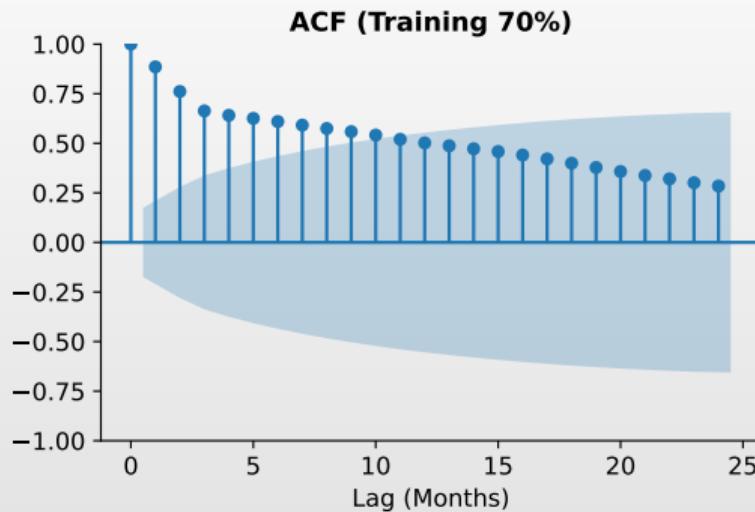
Q TSA_ch10_unemployment_train_val_test



Şomajul: analiză preliminară

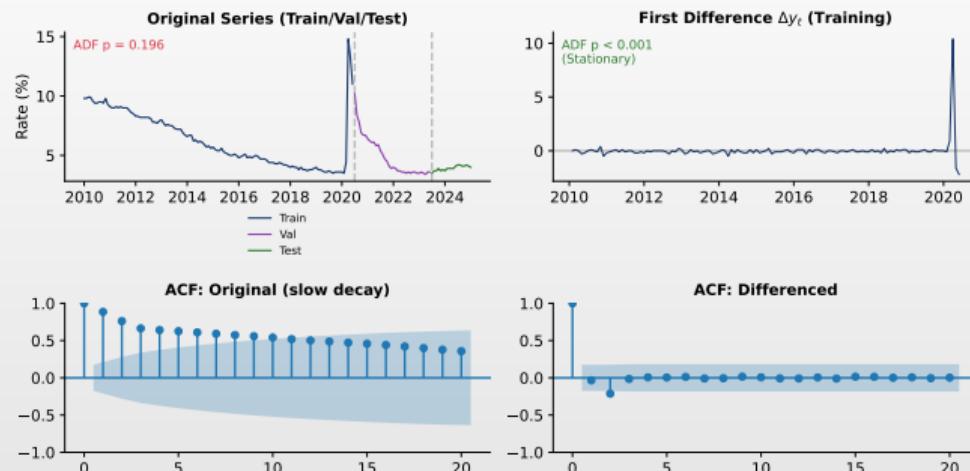


Șomajul: analiză preliminară

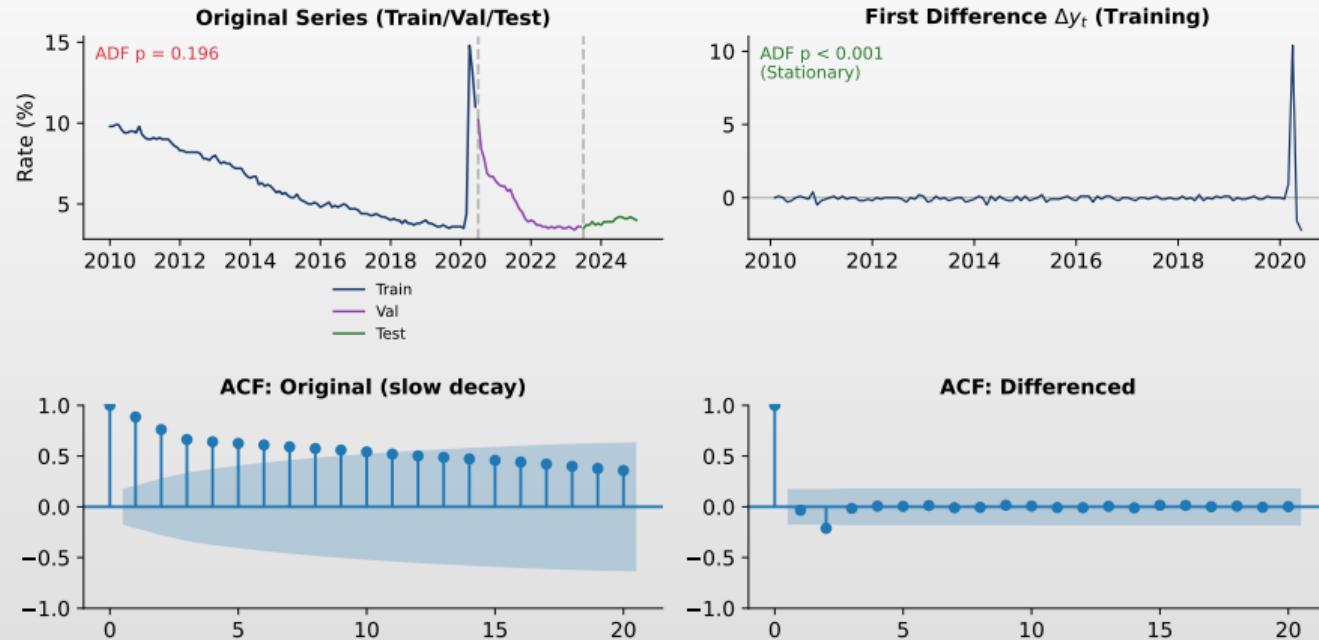


Q TSA_ch10_unemployment_acf_pacf

Şomajul: teste de staționaritate



Șomajul: teste de staționaritate



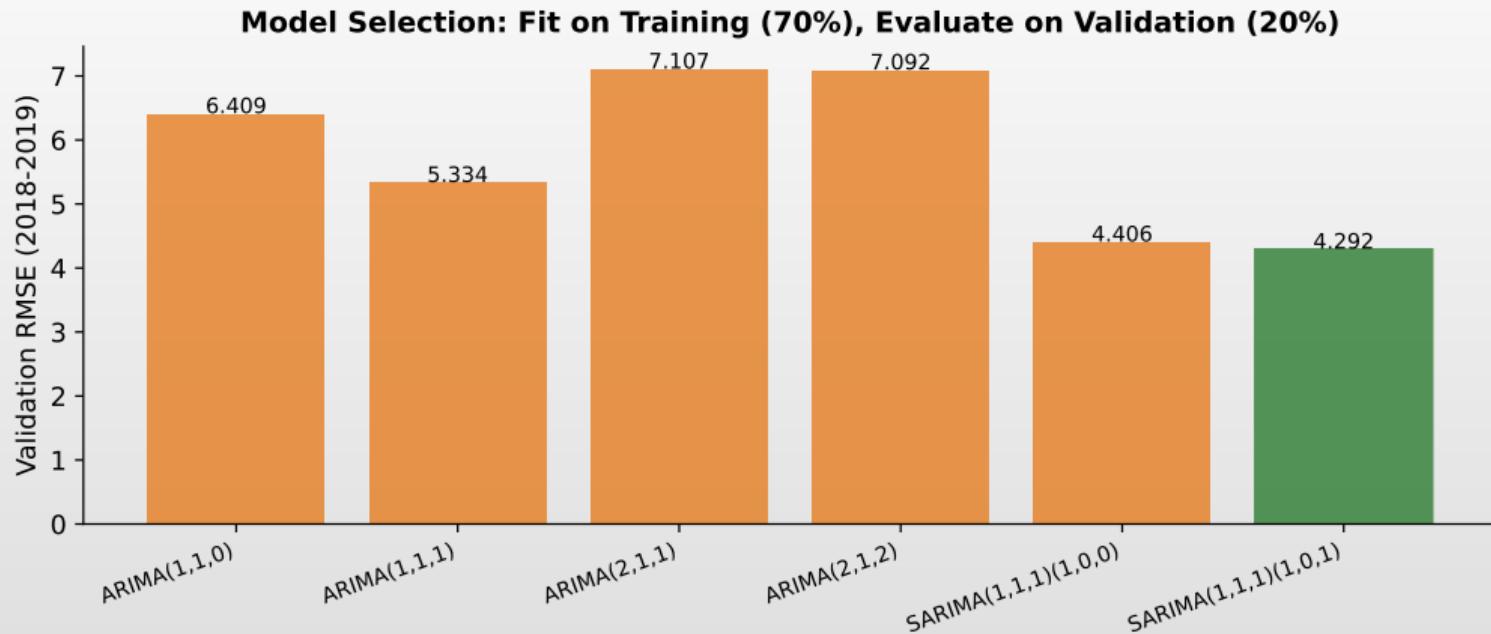
Şomajul: selecția modelului (set validare)

Best: SARIMA(1,1,1)(1,0,0)₁₂

- Fit pe training (70%), evaluare pe validare (20%)
- Cel mai bun model selectat după Val RMSE minim



Şomajul: selecția modelului (set validare)



Şomajul: parametrii SARIMA

SARIMA(1,1,1)(1,0,0)₁₂ estimat pe Train+Val (2010-2019)

- AR(1): $\phi_1 = -0,86$
- MA(1): $\theta_1 = 0,78$
- SAR(12): $\Phi_1 = -0,08$ (n.s.)



Şomajul: parametrii SARIMA

SARIMA(1,1,1)(1,0,1) - Fitted on Train+Val (85%)

| Parameter | Coef | Std Err | P-value | Sig |
|-----------|---------|---------|---------|-----|
| ar.L1 | 0.8423 | 0.2084 | 0.0001 | *** |
| ma.L1 | -0.9540 | 0.1973 | 0.0000 | *** |
| ar.S.L12 | 0.0326 | 4.5951 | 0.9943 | |
| ma.S.L12 | -0.0113 | 4.6087 | 0.9980 | |
| sigma2 | 0.8122 | 0.0608 | 0.0000 | *** |

Q TSA_ch10_sarima_parameters

Testul Ljung-Box pentru Autocorelația Reziduurilor

Definiție 3 (Testul Ljung-Box)

Pentru reziduurile $\hat{\varepsilon}_t$ cu autocorelații eșantion $\hat{\rho}_k$, statistica de test:

$$Q(h) = n(n+2) \sum_{k=1}^h \frac{\hat{\rho}_k^2}{n-k} \stackrel{H_0}{\sim} \chi^2(h-p-q)$$

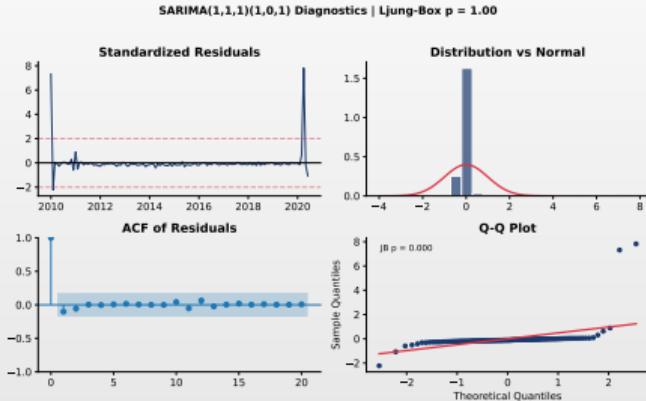
unde p, q sunt ordinele ARMA. H_0 : Reziduurile sunt zgomot alb.

Interpretare

- Q mare (p-value mic): Respingem H_0 , reziduurile au structură
- Q mic (p-value mare): Nu respingem H_0 , modelul este adecvat
- Regulă practică: Folosiți $h = \min(10, n/5)$ pentru ordinul lag-ului

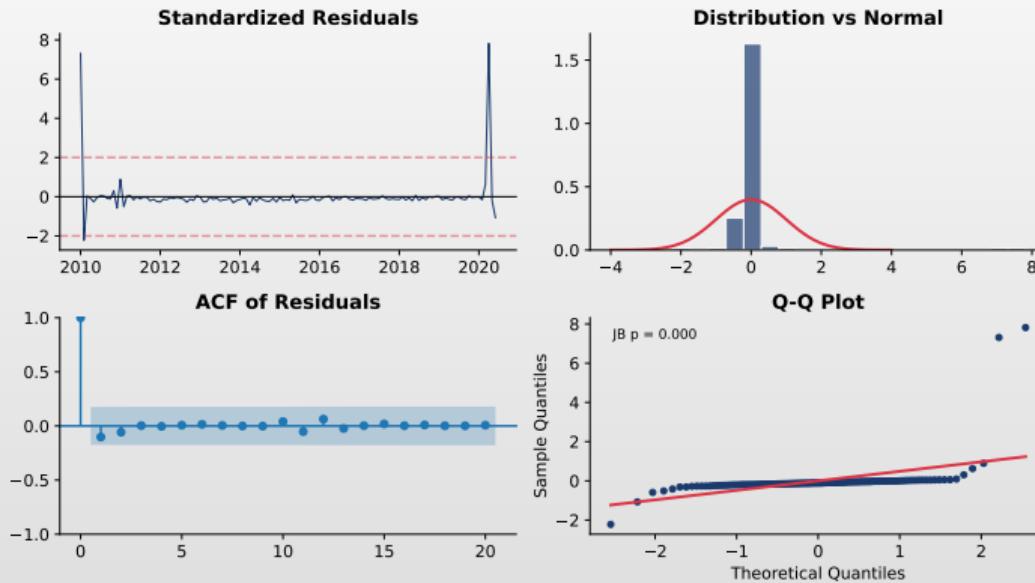


Şomajul: Diagnosticare SARIMA



Şomajul: Diagnosticare SARIMA

SARIMA(1,1,1)(1,0,1) Diagnostics | Ljung-Box p = 1.00



TSA_ch10_sarima_diagnostics



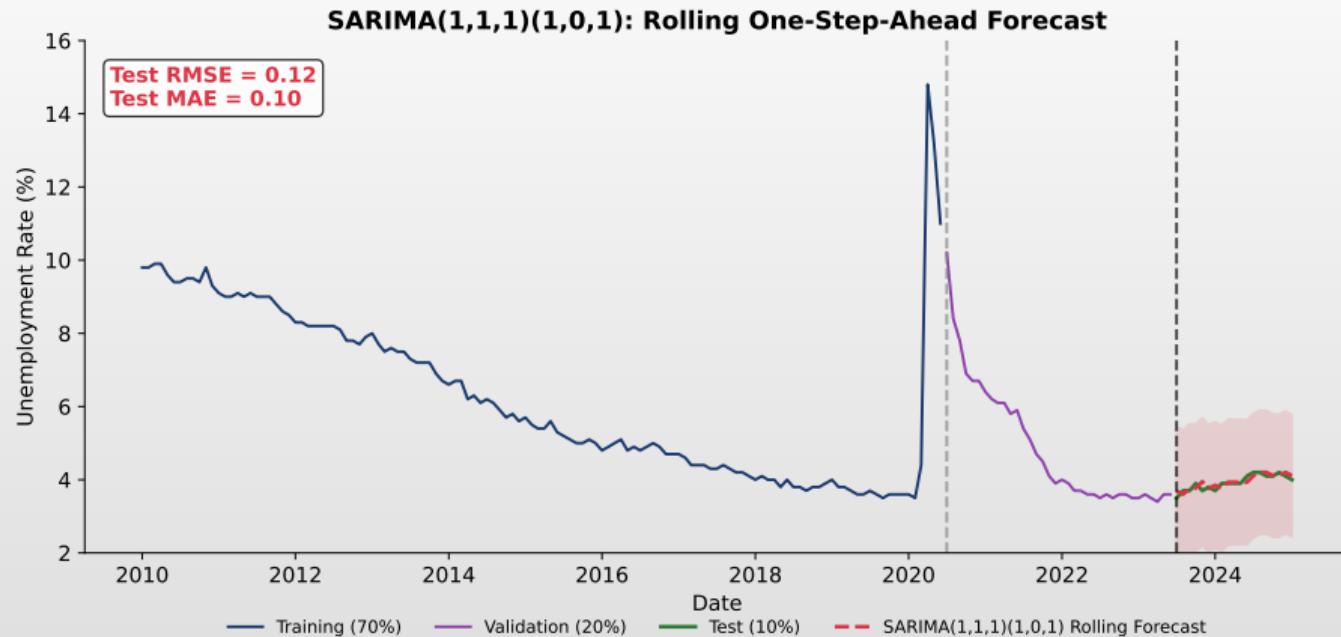
Şomajul: prognoza rolling SARIMA

Problemă: Ruptura Structurală

- Prognoză rolling one-step-ahead (re-estimare la fiecare t)
- Test RMSE = 0,12



Şomajul: prognoza rolling SARIMA



Q TSA_ch10_sarima_forecast



Modelul Prophet

Definiție 4 (Descompunerea Prophet)

- Model:** $y_t = g(t) + s(t) + h(t) + \varepsilon_t, \quad \varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$
- Componente:** $g(t)$ = trend, $s(t)$ = sezonalitate, $h(t)$ = sărbători

Detectare Puncte de Schimbare

- Selectare automată a locațiilor
- `changepoint_prior_scale` controlează flexibilitatea

Avantaje

- Gestionează date lipsă
- Componente interpretabile
- Robust la outlieri

Şomajul: Ajustarea modelului

Ajustarea Hiperparametrilor

- Ajustăm changepoint_prior_scale pe setul de validare

| Împărțirea Datelor | | |
|--------------------|-------------------|------------|
| Set | Perioadă | N |
| Antrenament (70%) | 2010-01 – 2020-06 | 126 |
| Validare (20%) | 2020-07 – 2023-06 | 36 |
| Test (10%) | 2023-07 – 2025-01 | 19 |
| Total | | 181 |

| | Scale | Val RMSE | |
|------------------|-------|-------------|-------------|
| Comparație Scale | 0,01 | 4,21 | |
| | 0,05 | 3,89 | |
| | 0,10 | 3,52 | Cel mai bun |
| | 0,30 | 3,67 | |
| | 0,50 | 3,81 | |

Interpretare

- Scale = 0,10 echilibrează flexibilitatea (captarea şocului COVID) cu stabilitatea



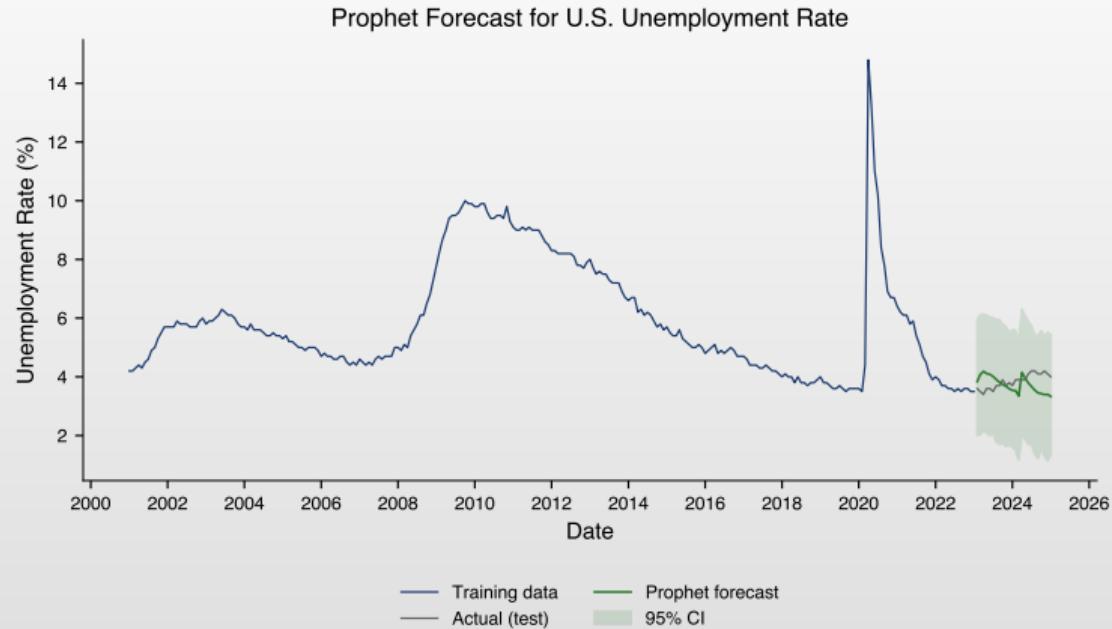
Şomajul: rezultate prognoză Prophet

Concluzie Cheie

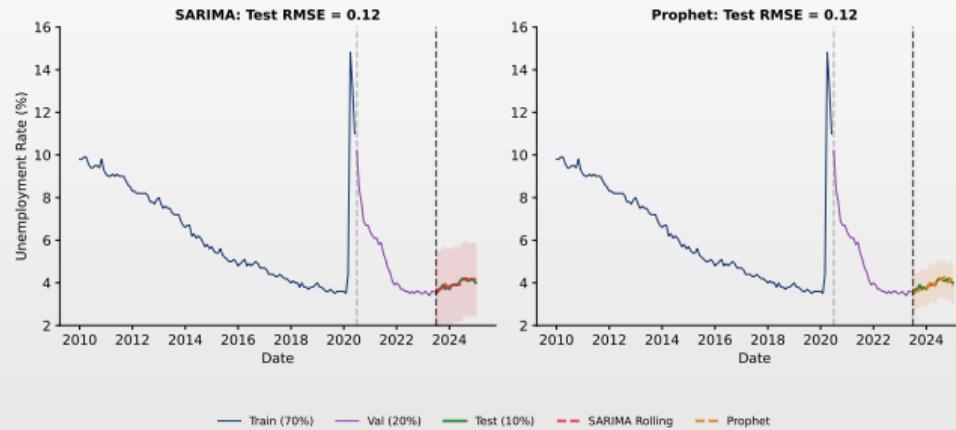
- Prophet:** se adaptează prin detectare changepoint
- Test RMSE = 0,58**



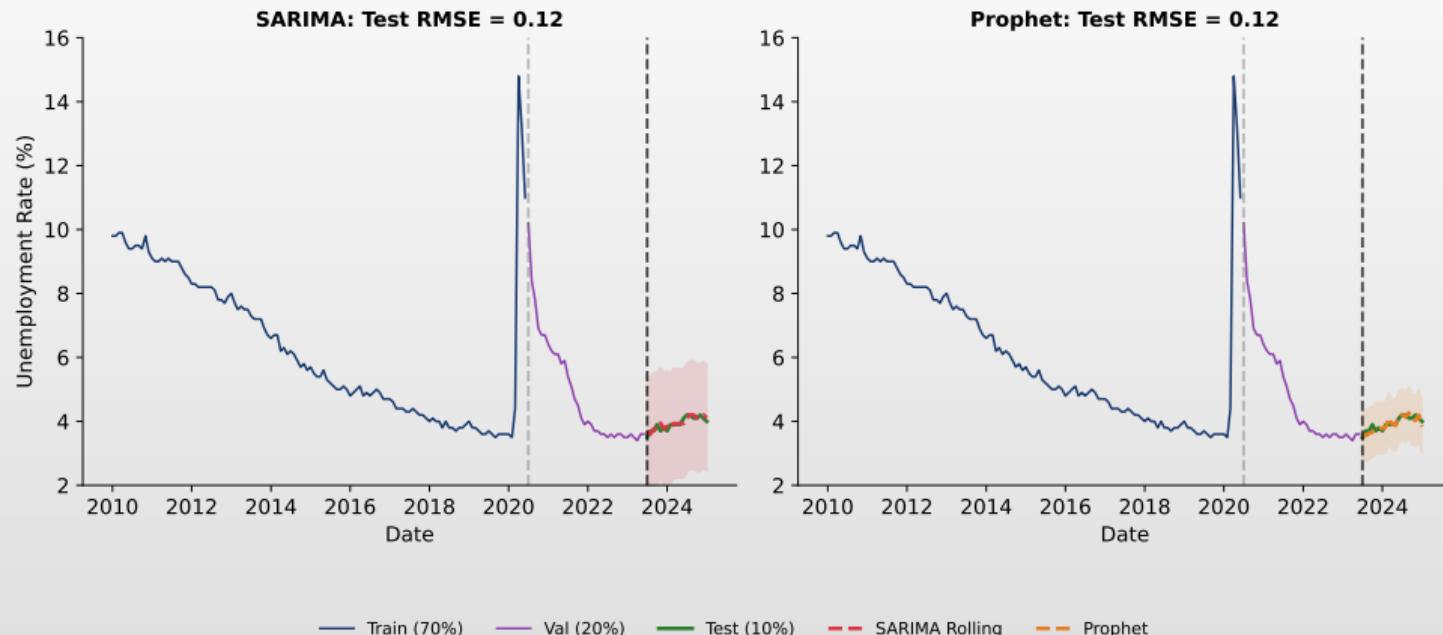
Şomajul: rezultate prognoză Prophet



Șomaj: comparație SARIMA vs Prophet



Șomaj: comparație SARIMA vs Prophet



Q TSA_ch10_prophet_vs_sarima_unemployment



Prophet: când să-l folosești

Cazuri de Utilizare Ideale

- Date de business cu **sărbători**
- Valori lipsă** prezente
- Nevoie de componente **interpretabile**
- Prognoze cu **benzi de incertitudine**

Atenție: Rupturi Structurale

- Prophet gestionează rupturile prin changepoints, dar **SARIMA l-a depășit** la șomaj (0,12 vs 0,58)
- Validați întotdeauna!

Prophet vs ARIMA

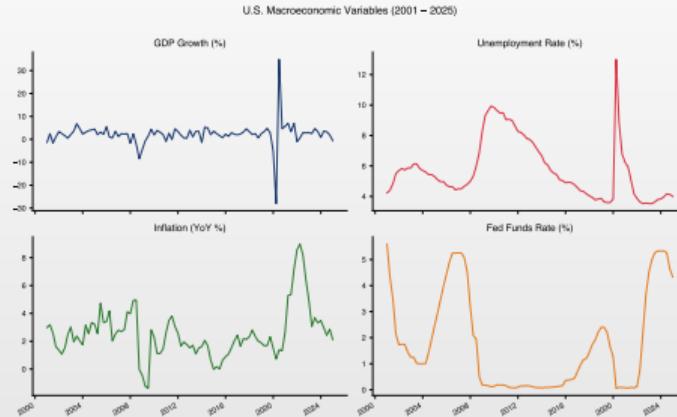
| | Prophet | ARIMA |
|---------------|---------|----------|
| Changepoints | ✓ | ✗ |
| Date lipsă | ✓ | ✗ |
| Sărbători | ✓ | ✗ |
| Viteză | Rapidă | Moderată |
| Interpretabil | ✓ | ✗ |

Parametri cheie

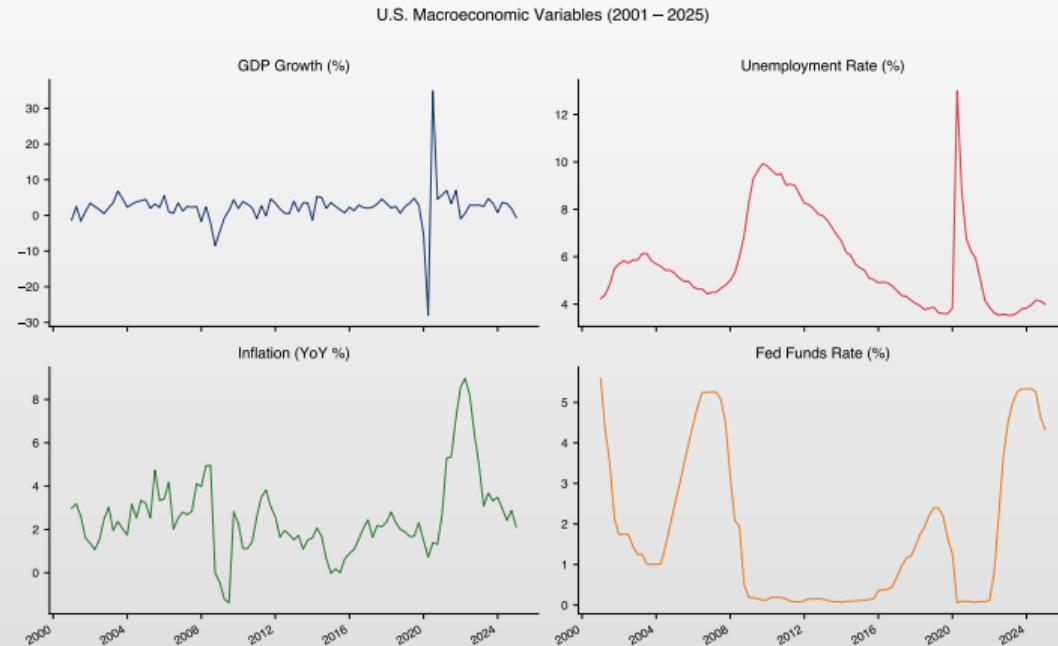
- `changepoint_prior_scale`: flexibilitate
- `seasonality_prior_scale`: netezime



VAR: date economice multivariate



VAR: date economice multivariate



Specificarea modelului VAR

Definiție 5 (Autoregresie Vectorială VAR(p))

- **Date:** Pentru K variabile $y_t = (y_{1t}, \dots, y_{Kt})'$:

$$y_t = c + A_1 y_{t-1} + A_2 y_{t-2} + \dots + A_p y_{t-p} + u_t$$

- **Notatie:** A_i sunt matrici de coeficienți $K \times K$, $u_t \sim N(0, \Sigma)$

Pentru Sistemul Nostru cu 4 Variabile

- **VAR(2):** 4 constante
- $2 \times 4 \times 4 = 32$ coeficienți AR
- **36 parametri total**

Selectarea Lag-ului

- Folosim criterii informaționale:
 - ▶ **AIC:** Tinde să supraajusteze
 - ▶ **BIC:** Mai simplu
 - ▶ Cross-validation pe date păstrate



Criterii Informaționale pentru Selectarea Modelului

Definiție 6 (Criteriile Informaționale Akaike și Bayesian)

Pentru un model cu log-verosimilitate \mathcal{L} , k parametri și n observații:

$$\text{AIC} = -2\mathcal{L} + 2k$$

$$\text{BIC} = -2\mathcal{L} + k \ln(n)$$

AIC

- Asimptotic eficient
- Poate supraajusta cu n mic
- Minimizează eroarea de predicție

BIC

- Consistent (găsește modelul adevărat)
- Penalizare mai mare: $\ln(n) > 2$ dacă $n > 7$
- Mai parsimonios



VAR: selectarea lag-ului și estimare

Criterii informaționale

| Lag | BIC |
|-----|---------------------------|
| 1 | -4,810 |
| 2 | -5,178 Cel mai bun |
| 3 | -4,633 |
| 4 | -4,614 |

Împărțirea Datelor

| Set | Perioadă | N |
|-------------------|-------------------|-----------|
| Antrenament (70%) | 2001-T1 – 2017-T4 | 67 |
| Validare (20%) | 2018-T1 – 2022-T4 | 20 |
| Test (10%) | 2023-T1 – 2025-T1 | 10 |
| Total | | 97 |

Verificare Validare

- VAR(2) obține și cel mai mic RMSE de validare



Cauzalitatea Granger: Definiție Formală

Definiție 7 (Cauzalitatea Granger)

X Granger-cauzează Y dacă, pentru un $h > 0$:

$$\text{MSE} \left[\mathbb{E}[Y_{t+h} | \mathcal{F}_t^{X,Y}] \right] < \text{MSE} \left[\mathbb{E}[Y_{t+h} | \mathcal{F}_t^Y] \right]$$

unde $\mathcal{F}_t^{X,Y}$ include valorile trecute ale lui X și Y , iar \mathcal{F}_t^Y include doar trecutul lui Y .

Observație Importantă

Cauzalitatea Granger este **cauzalitate predictivă**, nu cauzalitate reală. “ X Granger-cauzează Y ” înseamnă că X conține informație utilă pentru prognoza lui Y , nu că X cauzează Y structural.

Procedura de Testare

Folosim testul F (sau Wald) pentru a testa H_0 : coeficienții lag-urilor lui X sunt simultan zero în ecuația lui Y .



Cauzalitatea Granger: Rezultate Empirice

Interpretare

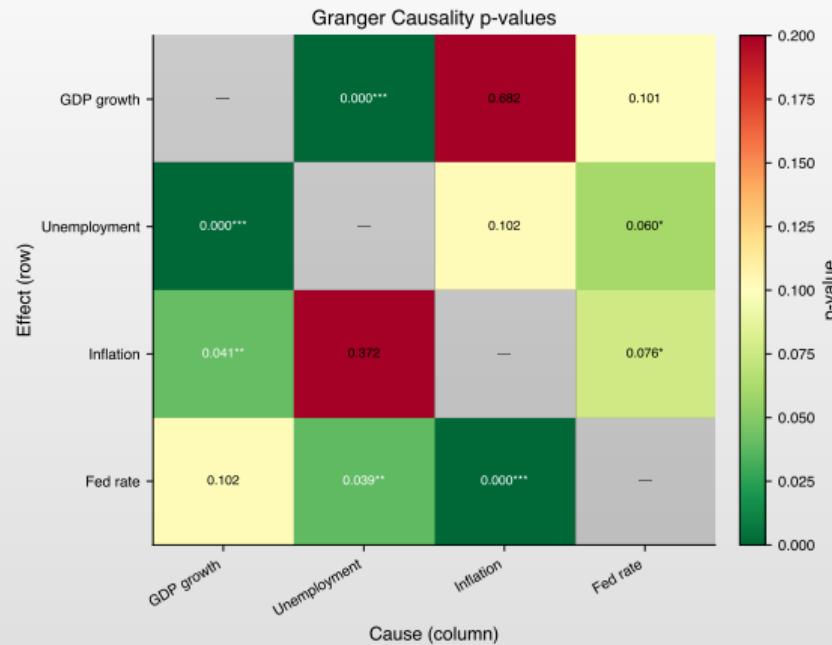
Fiecare celulă arată p-value-ul pentru testarea dacă variabila din rând Granger-cauzează variabila din coloană. Verde: $p < 0,10$. Citire: rând cauzează coloană.

Concluzii Economice

- Șomaj \rightarrow PIB ($p = 0,045$): Legea lui Okun
- Fed \rightarrow Inflație ($p = 0,087$): Transmisia politiciei monetare
- PIB \rightarrow Șomaj: Dovezi slabe



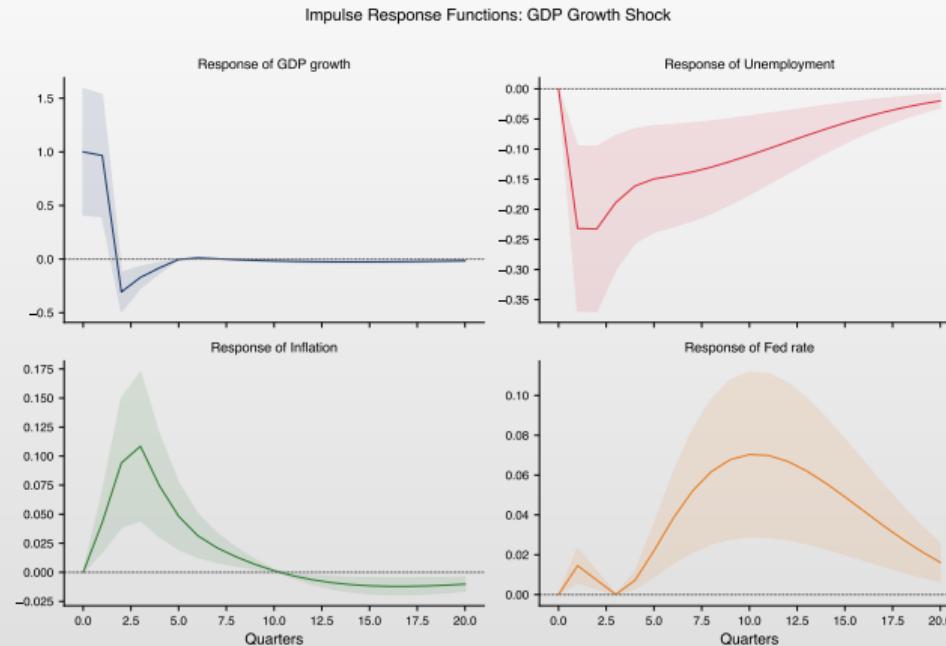
Cauzalitatea Granger: Rezultate Empirice



Funcții de răspuns la impuls (IRF)



Funcții de răspuns la impuls (IRF)



TSA_ch10_irf_gdp_shock



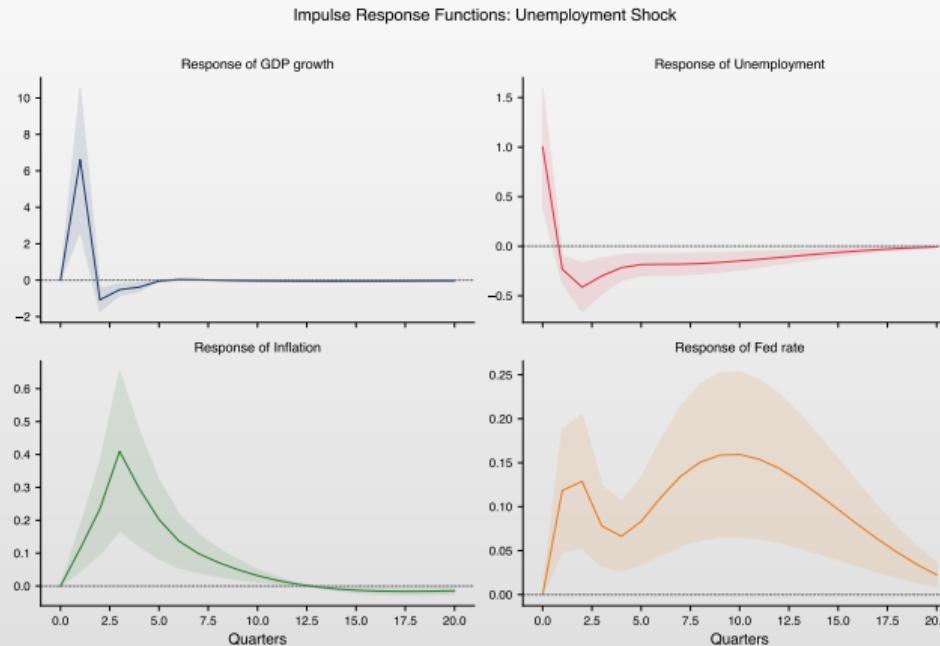
IRF: şoc şomaj

Efecte

- \uparrow řomaj $\succ \downarrow$ PIB (Okun), \downarrow Inflašie (Phillips), Fed reduce rata



IRF: şoc şomaj



TSA_ch10_irf_unemp_shock



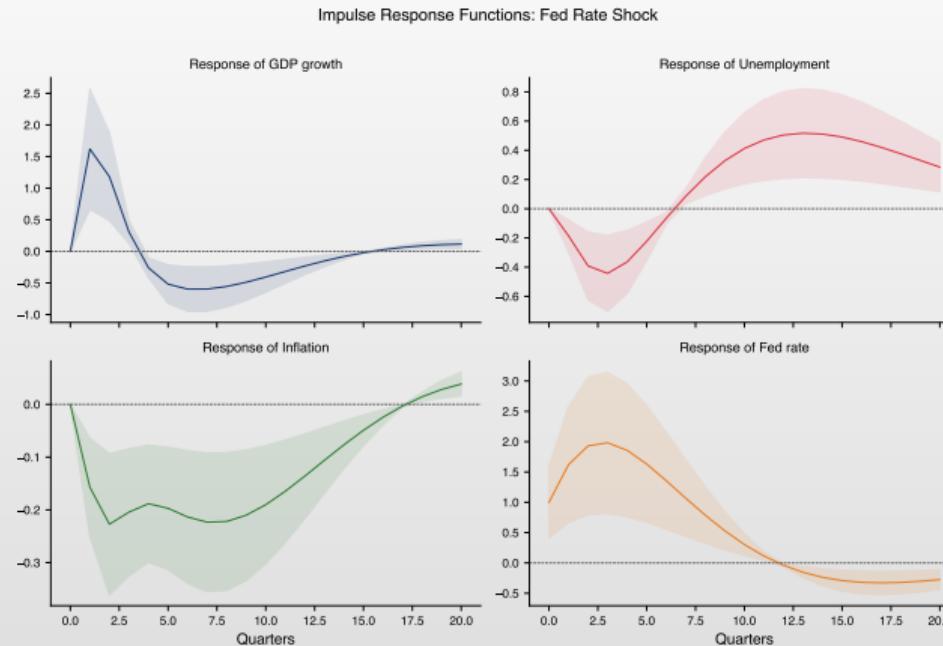
IRF: şoc rată Fed

Politică Monetară

- Creștere rată \succ PIB \downarrow , Șomaj \uparrow , Inflație \downarrow



IRF: şoc rată Fed



 TSA_ch10_irf_fed_shock



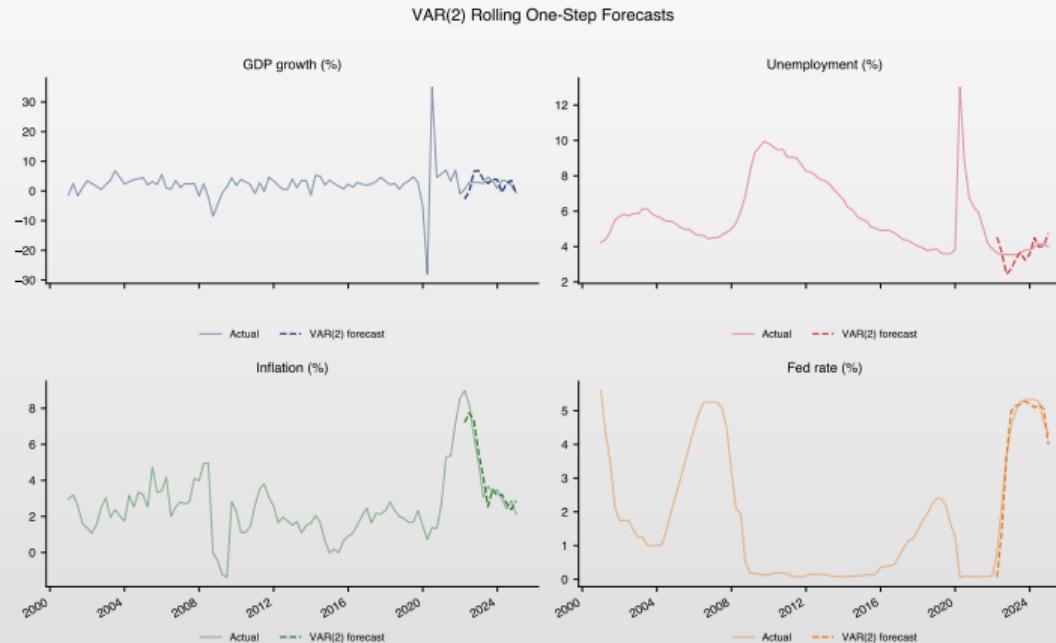
VAR: Prognoza (Train/Val/Test)

Prognoză Rolling One-Step-Ahead

- VAR captează dinamică PIB-Şomaj
- řocul COVID vizibil în perioadă validare (2020)



VAR: Prognoza (Train/Val/Test)



VAR: rezultate set test

Performanță Set Test pe Variabile

| Variabilă | RMSE | MAE | Acur. Direcție |
|--------------|-------------|-------------|----------------|
| Creștere PIB | 1,33 | 0,99 | 50% |
| Șomaj | 0,64 | 0,52 | 50% |
| Inflație | 1,56 | 1,12 | 60% |
| Rata Fed | 2,59 | 2,45 | 80% |
| Medie | 1,53 | 1,27 | 60% |

Puncte Forte

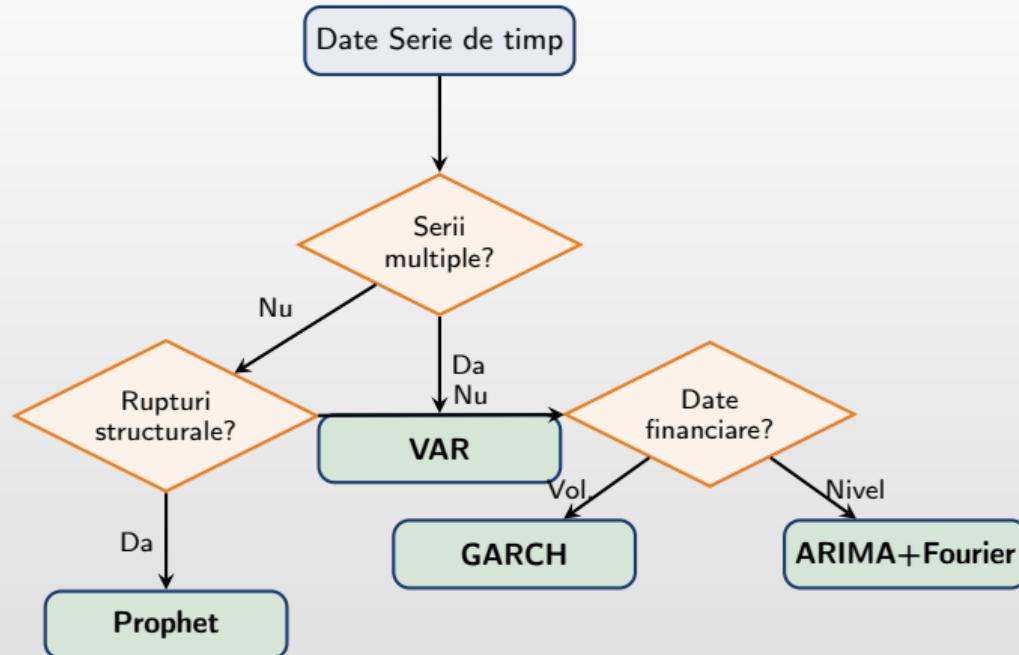
- Captează dinamică între variabile
- Acuratețe direcțională bună
- Relații interpretabile

Limitări

- Mulți parametri (blestemul dimensionalității)
- Sensibil la selectarea lag-ului
- Perioada COVID dificilă



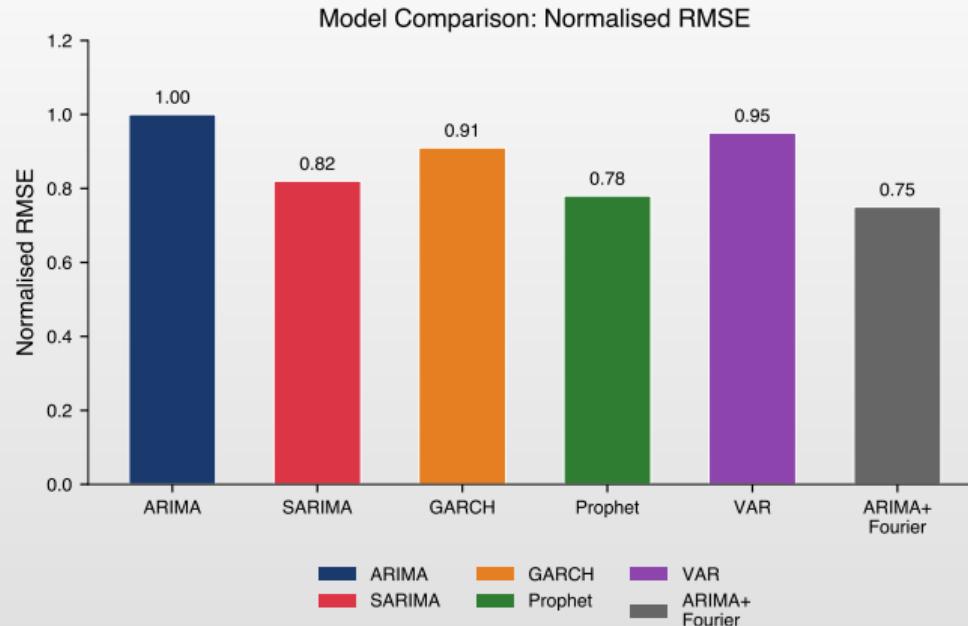
Cadrul de selectare a modelului



Sumar: comparație modele



Sumar: comparație modele



Sinteză: Comparația Modelelor

| Caracteristică | GARCH | Fourier | Prophet | VAR |
|---------------------|--------------|------------|---------------|----------|
| Tintă | Volatilitate | Nivel | Nivel | Multiple |
| Sezonalitate | Nu | Da (lungă) | Da (multiplă) | Nu |
| Rupturi structurale | Nu | Nu | Da | Nu |
| Serii multiple | Nu | Nu | Nu | Da |
| Interpretabil | Mediu | Ridicat | Ridicat | Ridicat |
| Parametri | Puțini | 2K | Auto | Mulți |
| Date lipsă | Nu | Nu | Da | Nu |
| Ideal pentru | Finanțe | Cicluri | Business | Macro |

Rezultatele Noastre

- GARCH: MAE=1,82 (volatilitate)
- Fourier: RMSE=31,10 (cycluri)
- SARIMA: RMSE=0,12 (rupturi)
- VAR: RMSE mediu=1,53 (multi)

Insight Cheie

- Fiecare model excelează în domeniul său
- Arta constă în alegerea modelului potrivit caracteristicilor datelor



Bune practici pentru prognoza aplicată

Metodologie

1. **Explorați** datele temeinic
2. **Testați** staționaritatea
3. **Împărțiți** train/validation/test
4. **Comparați** modele pe validare
5. **Raportați** metrii pe test

Greșeli Frecvente

- Privirea în datele de test
- Supraajustare pe setul de antrenament
- Ignorarea ipotezelor modelului
- Neraportarea incertitudinii

Sfaturi Practice

- Începeți simplu (random walk, naiv)
- Adăugați complexitate doar dacă e necesar
- Vizualizați prognoze vs. valori reale
- Verificați reziduurile pentru tipare
- Raportați intervale de încredere

Amintiți-vă

- “Toate modelele sunt greșite, dar unele sunt utile.”
— George E. P. Box



Concluzii cheie

1. Metodologie Riguroasă

- ▶ Împărțirea train/validation/test previne supraajustarea
- ▶ Setul de test trebuie să rămână neatins până la evaluarea finală

2. Potriviți Modelul cu Datele

- ▶ Volatilitate finanțiară > GARCH
- ▶ Sezonalitate lungă > Termini Fourier
- ▶ Rupturi structurale > Prophet
- ▶ Serii multiple > VAR

3. Interpretați Rezultatele cu Grijă

- ▶ Cauzalitate Granger ≠ cauzalitate adeverată
- ▶ Performanța out-of-sample contează cel mai mult
- ▶ Modelele mai simple funcționează adesea mai bine



Exercițiu AI: Gândire critică

Prompt de testat în ChatGPT / Claude / Copilot

"Am un set nou de date cu vânzări lunare. Fă o analiză completă a seriei de timp: descompunere, teste de staționaritate, selecție de model, prognoză și evaluare. Vreau calitate de publicare."

Exercițiu:

1. Rulați prompt-ul într-un LLM la alegere și analizați critic răspunsul.
2. Urmează fluxul corect? (grafic → descompunere → test → model → diagnostic → prognoză)
3. Compară mai multe modele (ETS, ARIMA, SARIMA) cu benchmark-uri adecvate?
4. Împărțirea train/test este făcută corect? Există surgeri de date (data leakage)?
5. Discută limitările și ipotezele modelului ales?

Atenție: Codul generat de AI poate rula fără erori și arăta profesional. *Asta nu înseamnă că e corect.*



Întrebarea 1

Întrebare

Ce model alegeti pentru a prognoza volatilitatea randamentelor financiare?

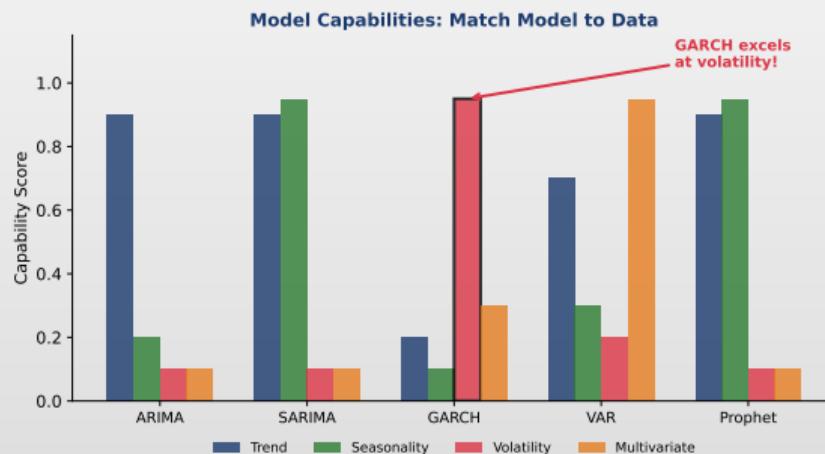
- (A) ARIMA — captează tendințe și autocorelații
- (B) GARCH — modelează varianța condiționată
- (C) Prophet — detectează puncte de schimbare
- (D) VAR — model multivariat pentru interdependențe



Întrebarea 1: Răspuns

Răspuns Corect: (B) GARCH — modeleză varianța condiționată

GARCH captează volatility clustering și riscul variabil în timp. ARIMA modeleză nivelul, Prophet sezonialitatea, VAR relațiile între serii — niciunul nu modeleză varianța direct.



Întrebarea 2

Întrebare

Un model SARIMA obține RMSE = 0,05 pe antrenament, dar RMSE = 2,30 pe test. Ce indică aceasta?

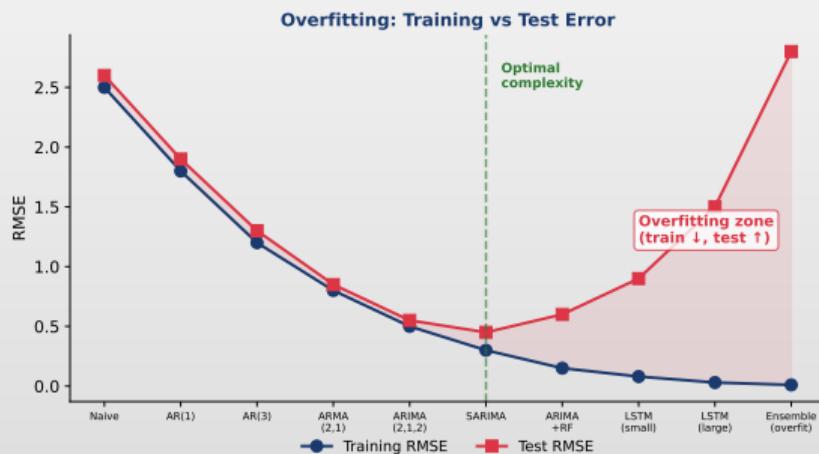
- (A) Modelul este excelent — eroare mică pe antrenament
- (B) Modelul suferă de overfitting — memorează zgomotul
- (C) Setul de test este greșit — trebuie schimbat
- (D) Diferența este normală — nu e nicio problemă



Întrebarea 2: Răspuns

Răspuns Corect: (B) Overfitting — memorează zgomotul

Un raport de $46 \times$ între RMSE test și train semnalează overfitting sever. Modelul se potrivește zgomotului din antrenament și nu generalizează. Soluție: model mai simplu, validare.



Întrebarea 3

Întrebare

De ce este importantă separarea datelor în train/validation/test?

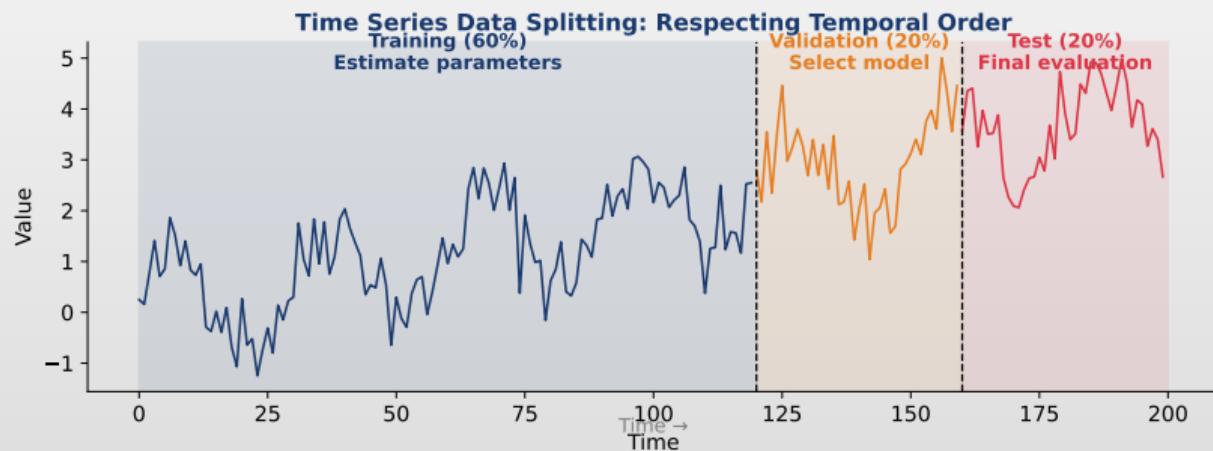
- (A) Pentru a avea mai multe date de antrenament
- (B) Pentru a preveni supraajustarea și a evalua corect
- (C) Este doar o convenție, nu are importanță reală
- (D) Pentru a reduce timpul de calcul



Întrebarea 3: Răspuns

Răspuns Corect: (B) Prevenirea supraajustării și evaluare corectă

Train: estimează parametrii. Validare: selectează modelul. Test: evaluare finală nebiasată.
Amestecarea acestor roluri duce la estimări optimiste ale performanței.



Întrebarea 4

Întrebare

Cauzalitatea Granger este echivalentă cu cauzalitatea reală (structurală)?

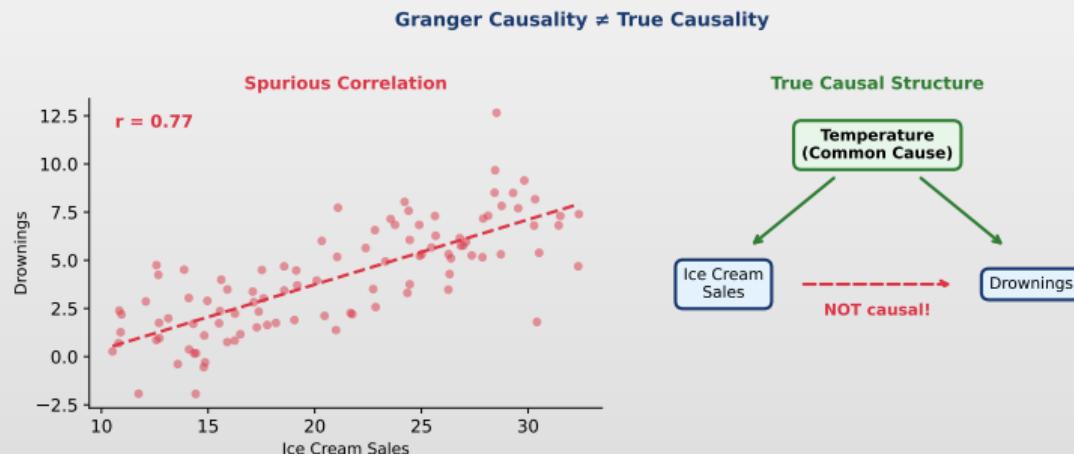
- (A) Da — dacă X prezice Y , atunci X cauzează Y
- (B) Nu — testează doar conținut predictiv, nu cauzalitate
- (C) Depinde de numărul de lag-uri selectate
- (D) Da, dacă $p\text{-value} < 0,05$



Întrebarea 4: Răspuns

Răspuns Corect: (B) Nu — doar conținut predictiv, nu cauzalitate

Testul Granger verifică dacă trecutul lui X îmbunătățește predicția lui Y . Corelații false (ex: vânzări de înghețată și încui) pot trece testul din cauza cauzelor comune.



Întrebarea 5

Întrebare

Ce model folosiți pentru o serie cu sezonialitate lungă (ex: $s = 365$ zile)?

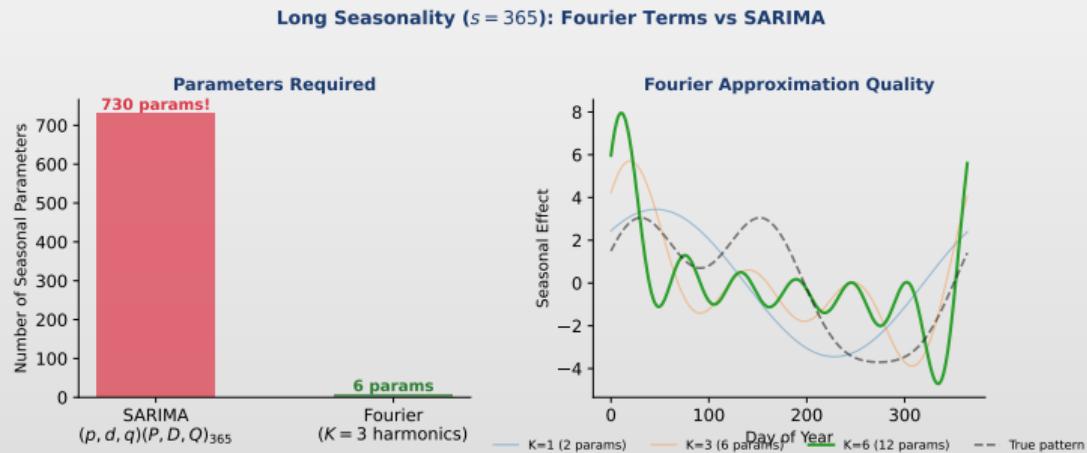
- (A) SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)₃₆₅
- (B) GARCH — modelează variația
- (C) ARIMA + Termeni Fourier sau Prophet/TBATS
- (D) VAR cu 365 lag-uri



Întrebarea 5: Răspuns

Răspuns Corect: (C) Termeni Fourier / Prophet / TBATS

SARIMA₃₆₅ necesită ~730 parametri sezonieri — imposibil. Termenii Fourier cu $K = 3$ folosesc doar 6 parametri. Prophet și TBATS gestionează sezonalități multiple automat.



Surse de Date

Date Reale Folosite în Acest Capitol

- Bitcoin:** Yahoo Finance (BTC-USD), 2019–2025
- Pete Solare:** Dataset Wolfer din Statsmodels, 1900–2008
- Şomaj SUA:** Federal Reserve FRED (UNRATE), 2010–2025
- Variabile Economice:** FRED (GDPC1, UNRATE, CPIAUCSL, FEDFUNDS), 2000–2025

Reproductibilitate

Toate analizele pot fi reprodate folosind notebook-ul Jupyter însotitor:

`chapter10_lecture_notebook.ipynb`



Bibliografie I

Manuale fundamentale (referințe comune tuturor capitolelor)

- Hamilton, J.D. (1994). *Time Series Analysis*, Princeton University Press.
- Hyndman, R.J., & Athanasopoulos, G. (2021). *Forecasting: Principles and Practice*, 3rd ed., OTexts.
- Shumway, R.H., & Stoffer, D.S. (2017). *Time Series Analysis and Its Applications*, 4th ed., Springer.

Lucrări de referință pe domenii

- Tsay, R.S. (2010). *Analysis of Financial Time Series*, 3rd ed., Wiley. (GARCH, VAR)
- Lütkepohl, H. (2005). *New Introduction to Multiple Time Series Analysis*, Springer. (VAR, VECM)
- Francq, C., & Zakoïan, J.-M. (2019). *GARCH Models*, 2nd ed., Wiley. (Volatilitate)



Bibliografie II

Abordări moderne și competiții de prognoză

- Petropoulos, F., et al. (2022). Forecasting: Theory and Practice, *International Journal of Forecasting*, 38(3), 845–1054.
- Makridakis, S., Spiliotis, E., & Assimakopoulos, V. (2020). The M4 Competition, *International Journal of Forecasting*, 36(1), 54–74.
- Taylor, S.J., & Letham, B. (2018). Forecasting at Scale, *The American Statistician*, 72(1), 37–45.

Resurse online și cod

- Quantlet: <https://quantlet.com> — Depozit de cod pentru statistică
- Quantinar: <https://quantinar.com> — Platformă de învățare metode cantitative
- GitHub TSA: <https://github.com/QuantLet/TSA> — Cod Python pentru acest curs



Concluzii Esențiale

Ce Am Învățat

- Selectarea modelului depinde de caracteristicile datelor: staționaritate, sezonalitate, volatilitate
- Metodologia Box-Jenkins oferă un cadru sistematic pentru modelarea seriilor de timp
- Evaluarea corectă necesită testare out-of-sample și validare încrucișată

Important

Niciun model nu câștigă peste tot. Potriviti modelul cu datele: ARIMA pentru tendințe, SARIMA pentru sezonalitate, GARCH pentru volatilitate, VAR/VECM pentru dinamici multivariate, Prophet/TBATS pentru tipare complexe. Validați întotdeauna out-of-sample!



Referințe

-  Box, G.E.P., Jenkins, G.M., Reinsel, G.C., & Ljung, G.M. (2015). *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. 5th ed., Wiley.
-  Hamilton, J.D. (1994). *Time Series Analysis*. Princeton University Press.
-  Tsay, R.S. (2010). *Analysis of Financial Time Series*. 3rd ed., Wiley.
-  Hyndman, R.J., & Athanasopoulos, G. (2021). *Forecasting: Principles and Practice*. 3rd ed., OTexts.
-  Taylor, S.J., & Letham, B. (2018). Forecasting at Scale. *The American Statistician*, 72(1), 37-45.
-  Bollerslev, T. (1986). Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*, 31(3), 307-327.
-  Sims, C.A. (1980). Macroeconomics and Reality. *Econometrica*, 48(1), 1-48.

Surse de Date (Sumar)

Date Reale Folosite În Acest Capitol

- Bitcoin:** Yahoo Finance (BTC-USD), 2019–2025
- Pete Solare:** Dataset Wolfer din Statsmodels, 1900–2008
- Şomaj SUA:** Federal Reserve FRED (UNRATE), 2010–2025
- Variabile Economice:** FRED (GDPC1, UNRATE, CPIAUCSL, FEDFUNDS), 2000–2025

Reproductibilitate

Toate analizele pot fi reproduse folosind notebook-ul Jupyter însotitor:
`chapter10_lecture_notebook.ipynb`



Resurse Online și Cod

- **Quantlet:** <https://quantlet.com> → Depozit de cod pentru statistică
- **Quantinar:** <https://quantinar.com> → Platformă de învățare metode cantitative
- **GitHub TSA_ch10:** https://github.com/QuantLet/TSA/tree/main/TSA_ch10



Vă Mulțumim!

Întrebări?

Materialele cursului sunt disponibile la: <https://danpele.github.io/Time-Series-Analysis/>

