

Ευστάθεια ηλεκτρικού δικτύου με Έξυπνα Δίκτυα

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ PROJECT
ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ
ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

Ιάσοντας Καλαϊτζάκης



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE

Ανάλυση Προβλήματος



Ανάγκη εκτίμησης
ευστάθειας Ηλεκτρικού
δικτύου



Σύστημα αστέρα με
τέσσερις κόμβους -
Παραγωγός ενέργειας
βρίσκεται στο κέντρο



Classification με Support
Vector Machine και
Gradient Boosting

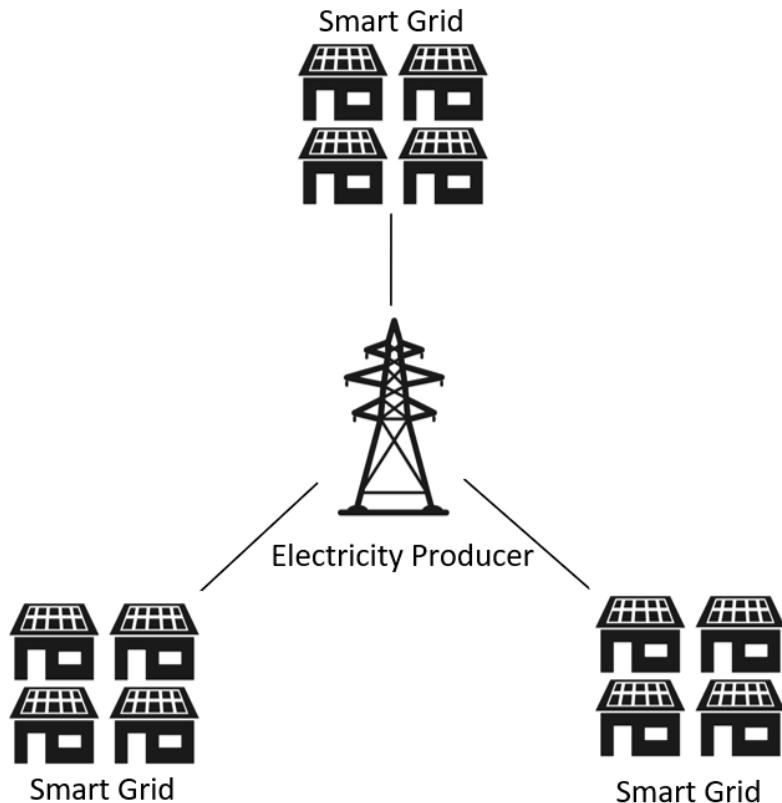


Dataset:
<https://www.kaggle.com/pcbreviglieri/smart-grid-stability>
and
<https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Electrical+Grid+Stability+Simulation+Data>
(Simulation data)



Related Publication:
<https://ieeexplore.ieee.org/document/8587498/>
V. Arzamasov, K. Böhm
and P. Jochem,
"Towards Concise
Models of Grid Stability"

Σύστημα αστέρα με τέσσερις κόμβους



Smart grid "Prosumers"

- Καταναλωτές που καταναλώνουν και παράγουν ενέργεια (αμφίδρομη ροή ενέργειας)

Παραγωγός ενέργειας

- Πάροχος ενέργειας του δικτύου (εργοστάσιο ενέργειας, ΑΠΕ κλπ)

Ευστάθεια ηλεκτρικού δικτύου

- Το ηλεκτρικό δίκτυο θεωρείται ασταθές αν η συχνότητα του δικτύου έχει απόκλιση πάνω από 0.5Hz από την ονομαστική

Δημιουργία του dataset

Χαρακτηριστική διαφορική εξίσωση:

$$\frac{d^2\theta_j}{dt^2} = P_j - a_j \frac{d\theta_j}{dt} + \sum_{k=1}^N K_{jk} \sin(\theta_k - \theta_j) - \frac{\gamma_j}{T_j} (\theta_j(t - \tau_j) - \theta_j(t - \tau_j - T_j))$$

όπου:

- ▶ $\theta_j \rightarrow$ γωνία του δρομέα της γεννήτριας (άμεση σχέση με συχνότητα)
- ▶ $P_j \rightarrow$ μηχανική ενέργεια που παράγεται/καταναλώνεται
- ▶ $\tau_j \rightarrow$ χρόνος απόκρισης στην προσαρμογή του συστήματος σε μία αλλαγή τιμής
- ▶ $\gamma_j \rightarrow$ ελαστικότητα της τιμής

Περιεχόμενα του dataset

Predictive Features:

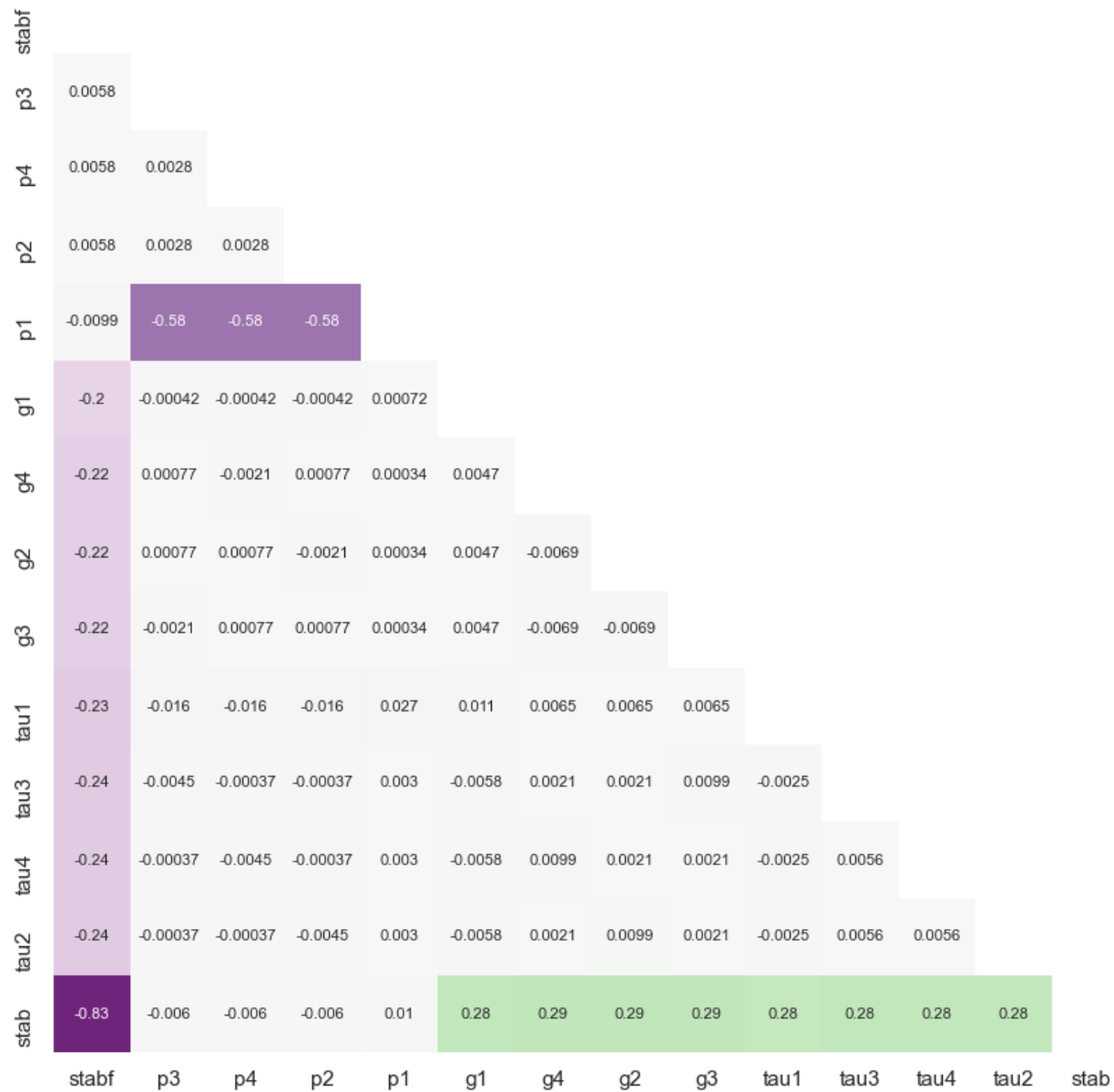
- ▶ $\tau[1-4]$: Χρόνος απόκρισης του παραγωγού και των καταναλωτών
- ▶ $p[1-4]$: Παραγωγή/κατανάλωση ισχύος από τον παραγωγό και τους καταναλωτές
- ▶ $\gamma[1-4]$: Ελαστικότητα της τιμής - Αν αλλάξει η τιμή, πόσο θα αλλάξει η ενέργεια που προσφέρεται/ζητείται από παραγωγό/καταναλωτές;

Dependent Variables:

- ▶ $stabf$: Το μέγιστο πραγματικό μέρος ρίζας της διαφορικής εξίσωσης (θετικό πραγματικό μέρος σημαίνει γραμμικά ασταθές σύστημα)
- ▶ $stab$: Binary μεταβλητή (0, 1) ανάλογα με το πρόσημο της $stabf$

Παράδειγμα του dataset

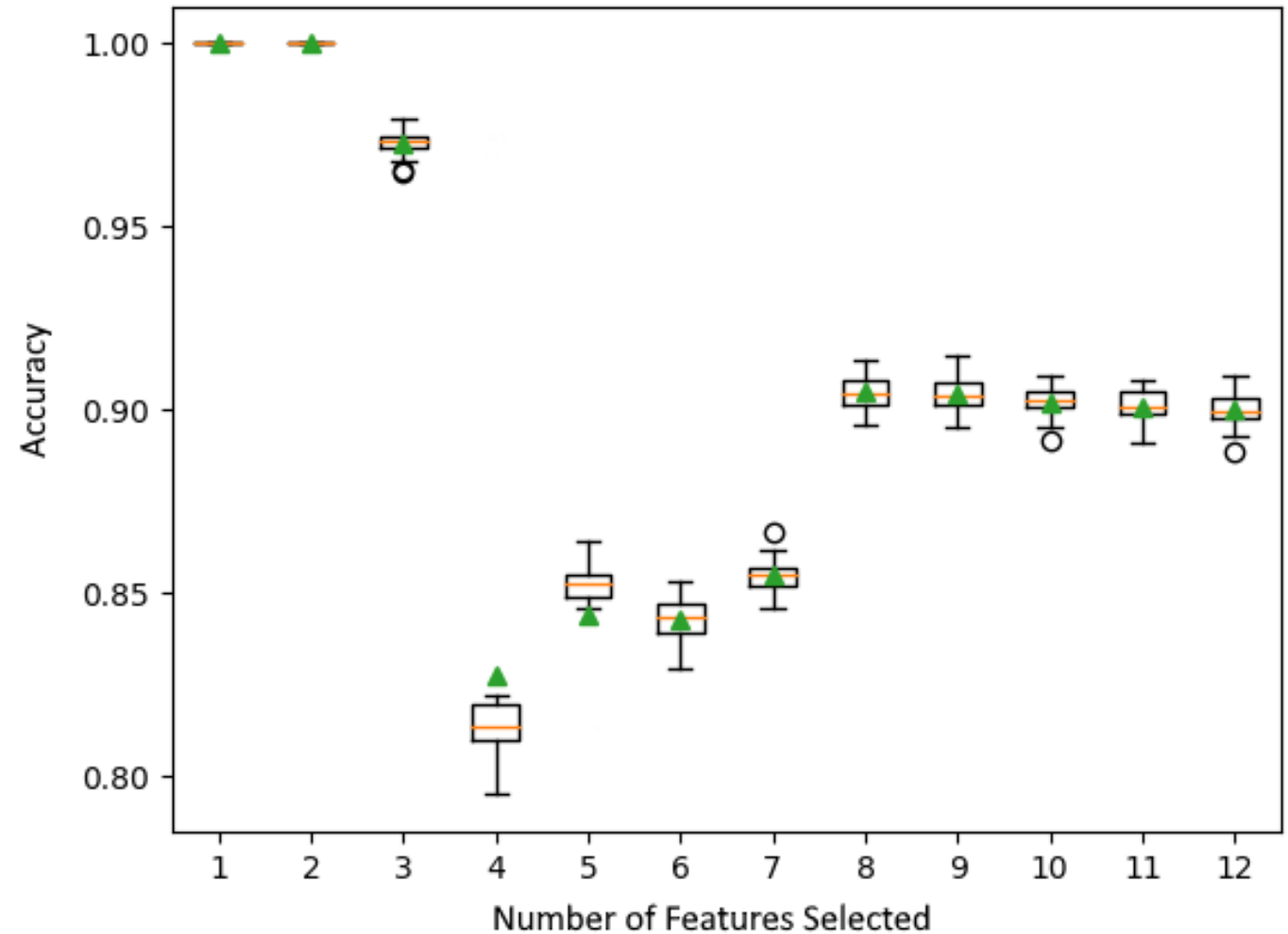
Predictive Features													Dependent Variables	
Samples	τ_1 (s)	τ_2 (s)	τ_3 (s)	τ_4 (s)	p1 (kW)	p2 (kW)	p3 (kW)	p4 (kW)	γ_1	γ_2	γ_3	γ_4	stabf	stab
	2.95906	3.079885	8.381025	9.780754	3.763085	-0.7826	-1.25739	-1.72309	0.650456	0.859578	0.887445	0.958034	0.055347	0 (unstable)
	9.304097	4.902524	3.047541	1.369357	5.067812	-1.94006	-1.87274	-1.25501	0.413441	0.862414	0.562139	0.78176	-0.00596	1 (stable)
	8.971707	8.848428	3.046479	1.214518	3.405158	-1.20746	-1.27721	-0.92049	0.163041	0.766689	0.839444	0.109853	0.003471	0 (unstable)
	6.999209	9.109247	3.784066	4.267788	4.429669	-1.85714	-0.6704	-1.90213	0.261793	0.07793	0.542884	0.469931	-0.01738	1 (stable)



Ανάλυση Συσχέτισης

Recursive Feature Elimination

τ_1 , Επιλέγεται, Rank: 1
 τ_2 , Επιλέγεται, Rank: 2
 τ_3 , Επιλέγεται, Rank: 3
 τ_4 , Επιλέγεται, Rank: 4
 ρ_1 , Αφαιρείται, Rank: 8
 ρ_2 , Αφαιρείται, Rank: 10
 ρ_3 , Αφαιρείται, Rank: 9
 ρ_4 , Αφαιρείται, Rank: 11
 γ_1 , Επιλέγεται, Rank: 1
 γ_2 , Επιλέγεται, Rank: 6
 γ_3 , Επιλέγεται, Rank: 5
 γ_4 , Επιλέγεται, Rank: 7



SVM Classification – Επιλογή Kernel

Linear Kernel: $K(x, x_i) = \text{sum}(x * x_i)$

Accuracy: 81%

Polynomial Kernel: $K(x, x_i) = 1 + \text{sum}(x * x_i)^d, d = 3$

Accuracy: 96%

Radial Basis Function Kernel: $K(x, x_i) = e^{-\text{gamma} * \text{sum}(x - x_i)^2}$

Accuracy: 94%

Αποτελέσματα και Confusion Matrix - SVM

Accuracy: 96%

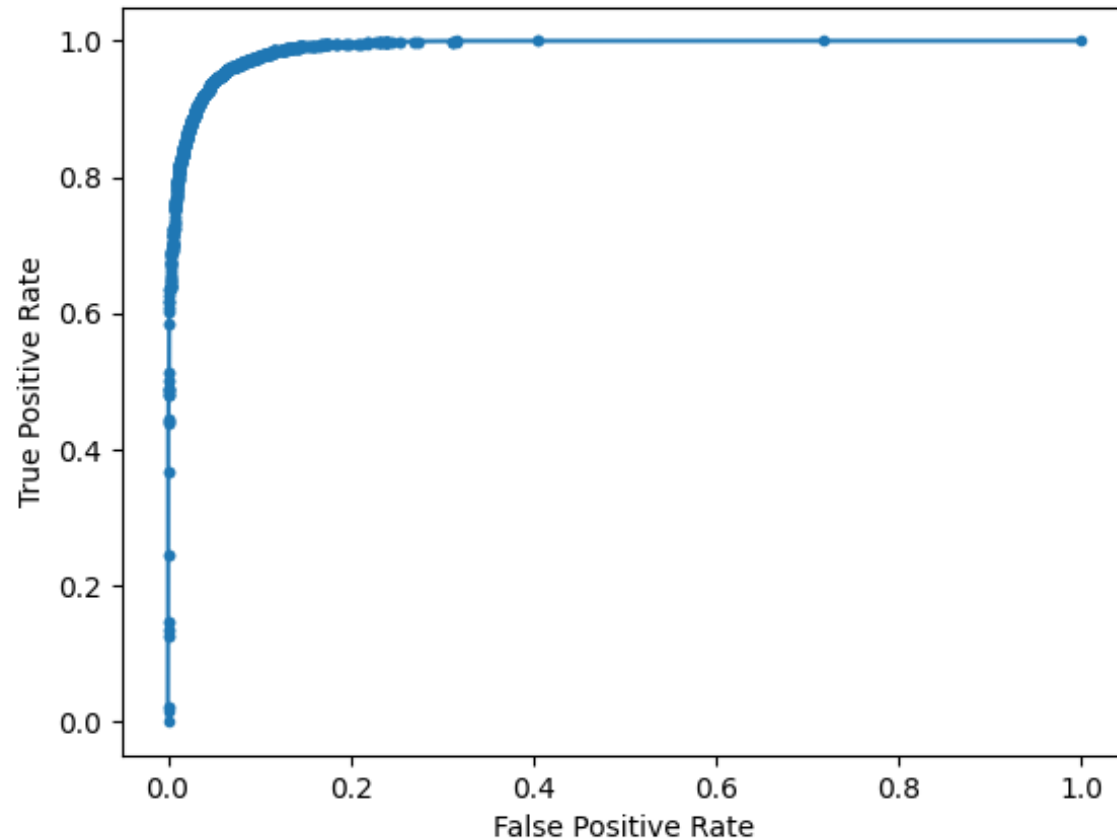
Precision: 92%

Recall: 93%

Sensitivity: 93%

Specificity: 95%

	Predicted Negative (unstable)	Predicted Positive (stable)
Actual Negative (unstable)	10938	519
Actual Positive (stable)	456	6087

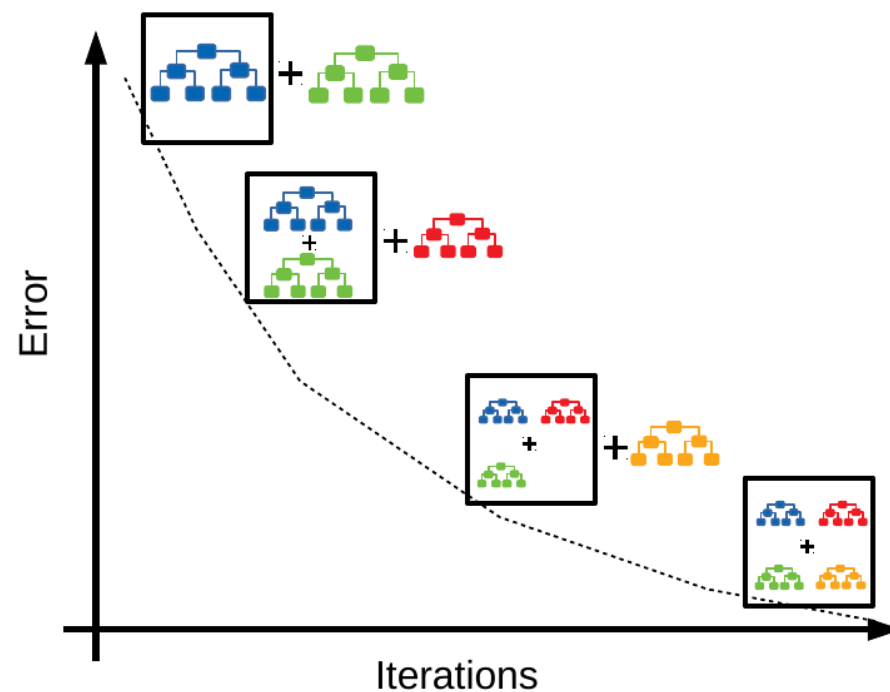


Receiver Operating Characteristic (ROC) καμπύλη – SVM classifier

Area under Curve of ROC: 98%

Extreme Gradient Boosting (XGB) classification

- ▶ Ensemble algorithm
- ▶ Ξεχωριστοί ταξινομητές: Decision trees
- ▶ Boosting: Οι αδύναμοι ταξινομητές μαθαίνουν από τα λάθη των προηγούμενων



Αποτελέσματα και Confusion Matrix - XGB

Accuracy: 98%

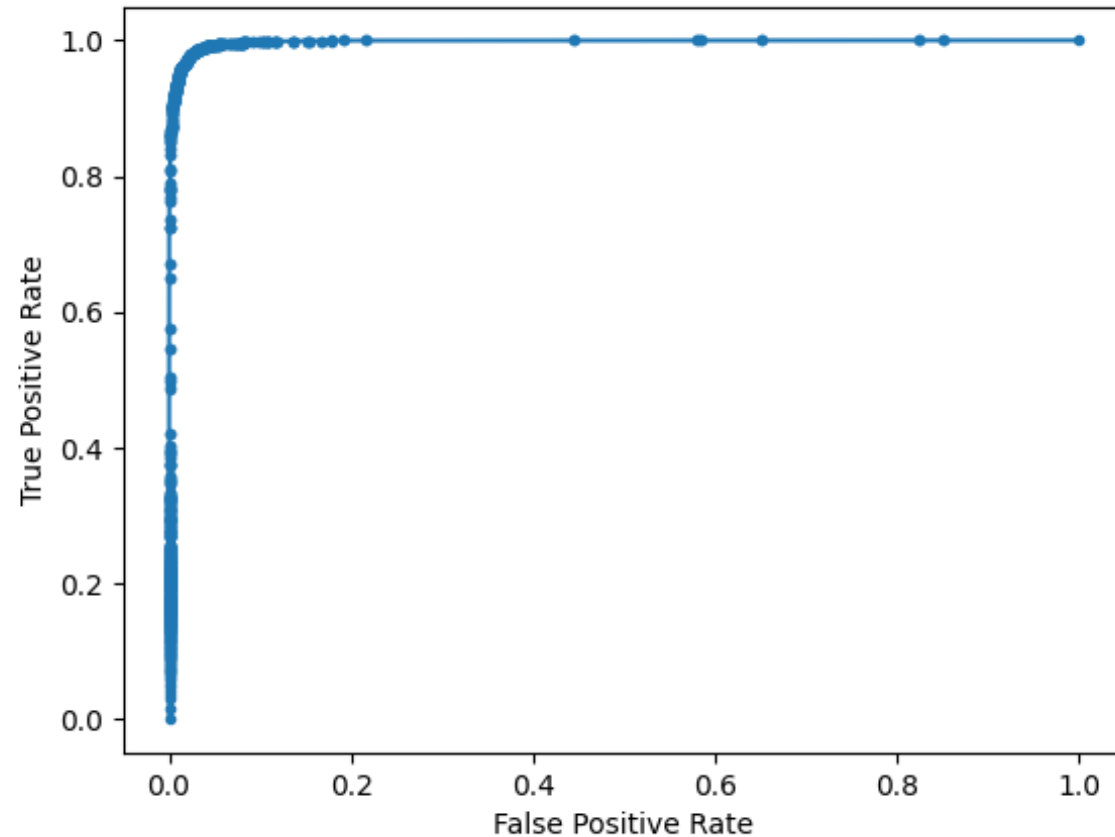
Precision: 97%

Recall: 96%

Sensitivity: 96%

Specificity: 99%

	Predicted Negative (unstable)	Predicted Positive (stable)
Actual Negative (unstable)	11317	168
Actual Positive (stable)	255	6260



Receiver
Operating
Characteristic
(ROC) καμπύλη
– XGB classifier

Area under Curve of ROC: 99.8%

Ευχαριστώ για την
προσοχή σας