



Corso di Laurea Triennale in Informatica

Accuratezza vs Consumo Energetico: Confronto tra Classical Machine Learning e Tiny Machine Learning

Prof. Fabio Palomba
Dott. Vincenzo De Martino

Marta Napolillo
Mat.: 0512109836



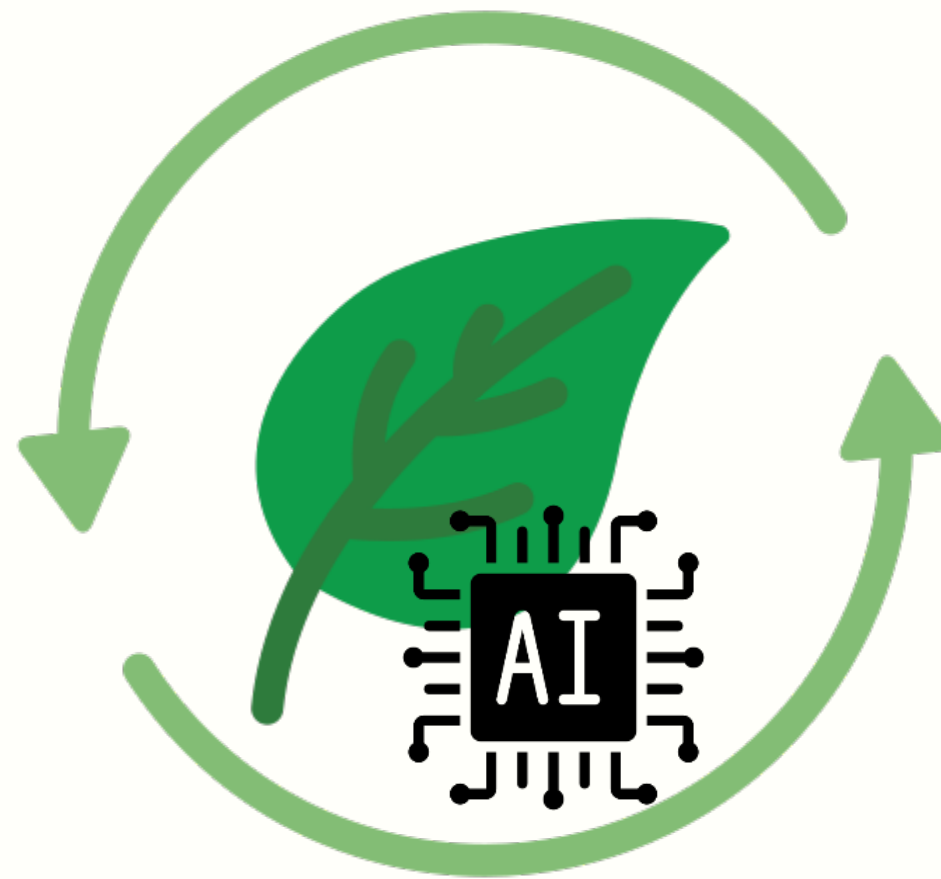
m.napolillo1@studenti.unisa.it



[@marta-napolillo](https://www.linkedin.com/in/@marta-napolillo)



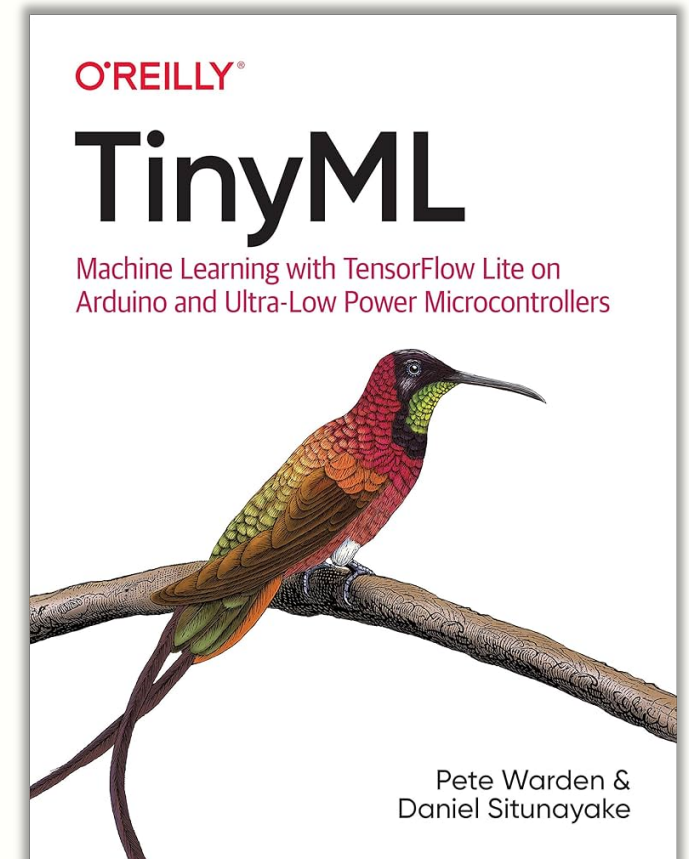
Green AI



”

Il Tiny ML è l'intersezione tra Machine Learning e dispositivi IoT, in assenza di un sistema operativo ricco di risorse e con un costo energetico inferiore a 1 mW.

”





Miglioramento della velocità di risposta e riduzione delle comunicazioni sulla rete



m.napolillo1@studenti.unisa.it



[@marta-napolillo](https://www.linkedin.com/in/@marta-napolillo)

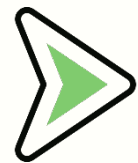
Accuratezza vs Consumo Energetico: Confronto tra
Classical Machine Learning e Tiny Machine Learning

Marta Napolillo

Università degli Studi di Salerno



Miglioramento della velocità di risposta e riduzione delle comunicazioni sulla rete



Riduzione dell'impatto ambientale causato dal Machine Learning



m.napolillo1@studenti.unisa.it



[@marta-napolillo](https://www.linkedin.com/in/@marta-napolillo)

Accuratezza vs Consumo Energetico: Confronto tra
Classical Machine Learning e Tiny Machine Learning

Marta Napolillo

Università degli Studi di Salerno

Vantaggi del Tiny ML



Miglioramento della velocità di risposta e riduzione delle comunicazioni sulla rete



Riduzione dell'impatto ambientale causato dal Machine Learning



Riduzione dei costi di produzione



m.napolillo1@studenti.unisa.it

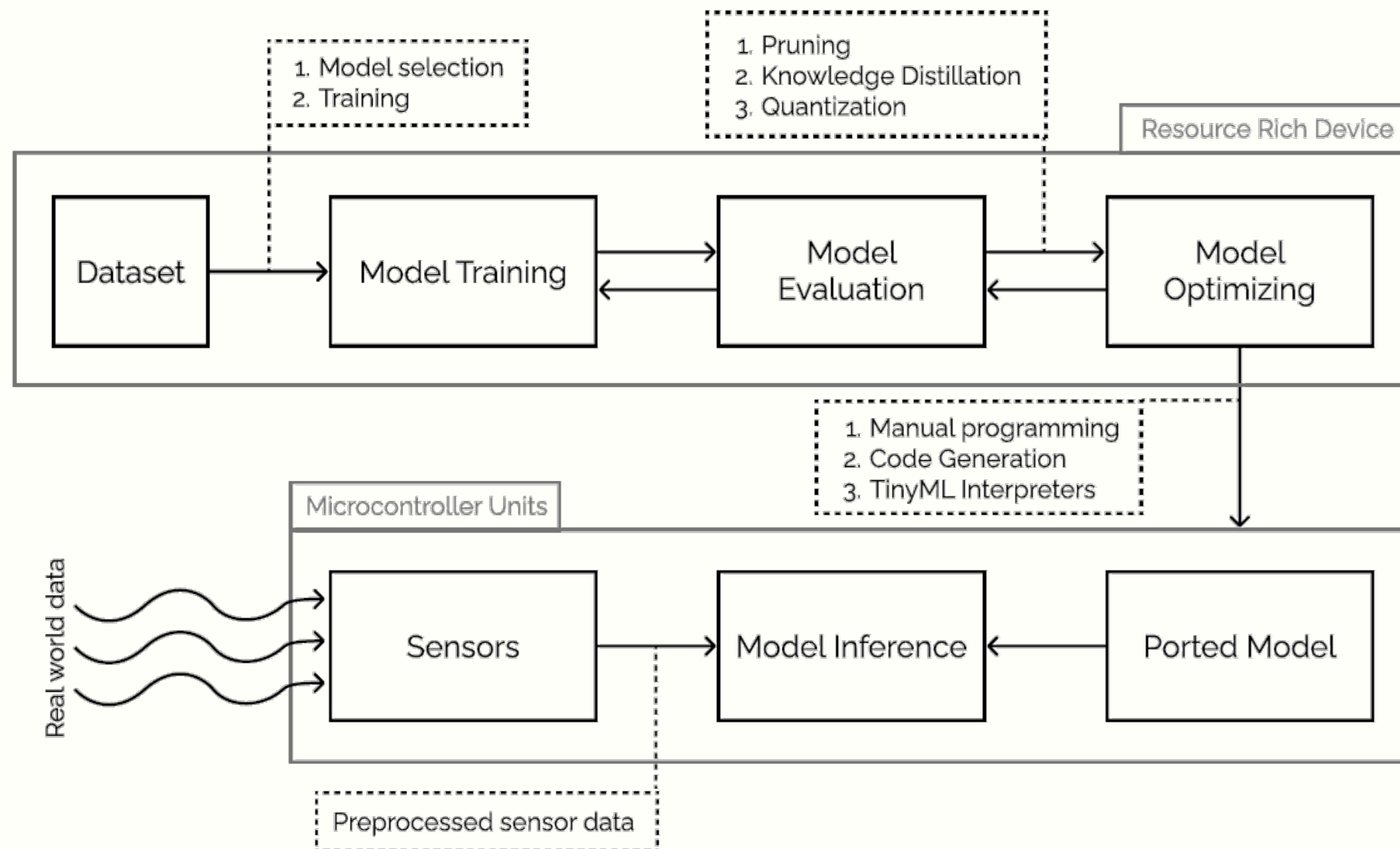


[@marta-napolillo](https://www.linkedin.com/in/marta-napolillo)

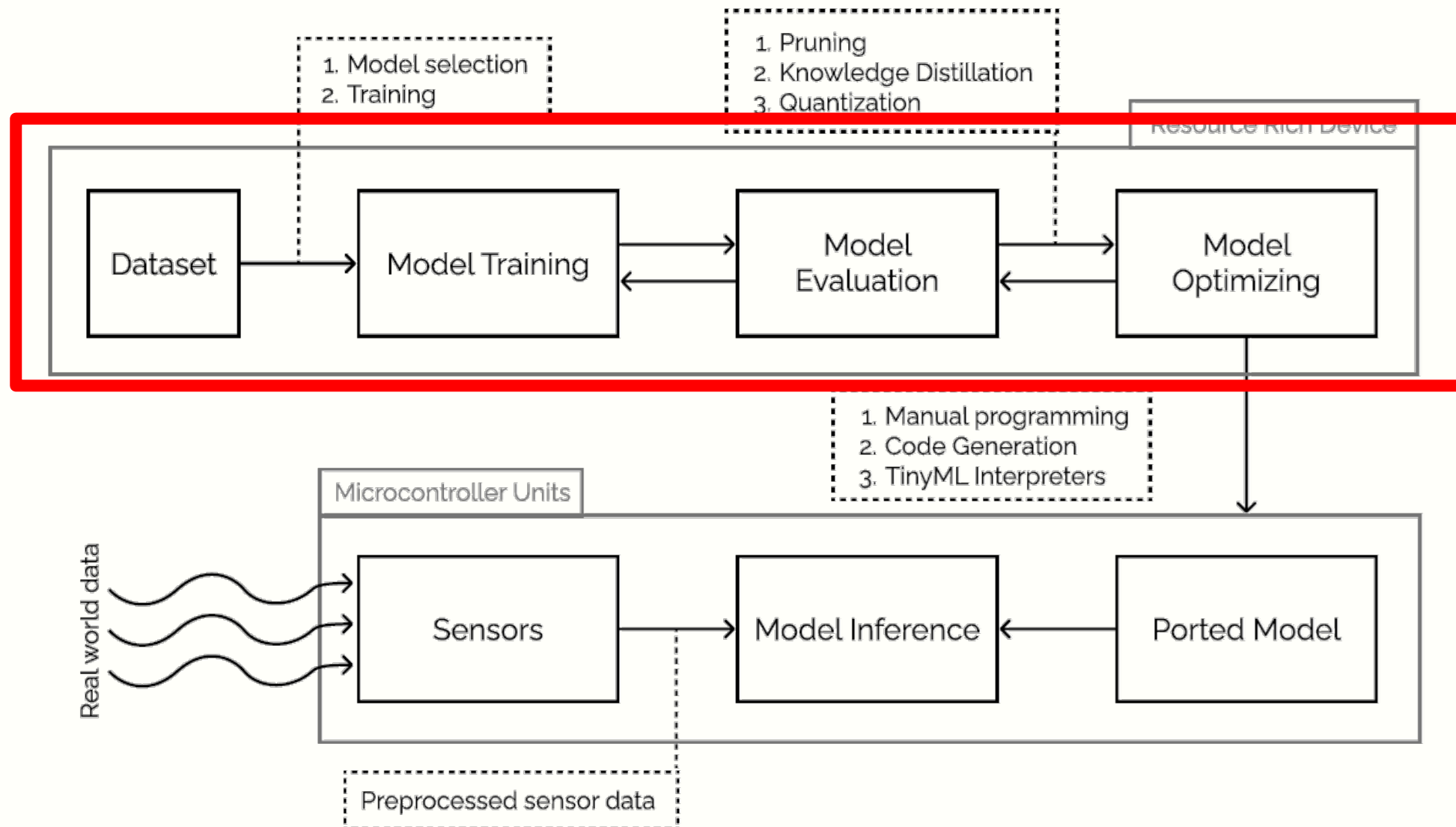
Accuratezza vs Consumo Energetico: Confronto tra
Classical Machine Learning e Tiny Machine Learning

Marta Napolillo


Università degli Studi di Salerno




V. Rajapakse, I. Karunanayake, and N. Ahmed, "Intelligence at the extreme edge: A survey on reformable tinyml," *ACM Computing Surveys*, vol. 55, no. 13s, pp. 1–30, 2023.



V. Rajapakse, I. Karunanayake, and N. Ahmed, "Intelligence at the extreme edge: A survey on reformable tinyml," *ACM Computing Surveys*, vol. 55, no. 13s, pp. 1–30, 2023.

 TensorFlow

 TensorFlow Lite

vs

 PyTorch

 PyTorch Mobile



RQ1

Quale dei due framework è più costoso dal punto di vista ambientale ed energetico in fase di training ed evaluation?



RQ2

Quale modello di Machine Learning ha caratteristiche di qualità migliori?



RQ3

Quale tecnica effettua un'ottimizzazione migliore dei modelli?



m.napolillo1@studenti.unisa.it



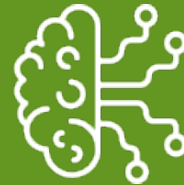
[@marta-napolillo](https://www.linkedin.com/in/marta-napolillo)

Accuratezza vs Consumo Energetico: Confronto tra
Classical Machine Learning e Tiny Machine Learning

Marta Napolillo

Università degli Studi di Salerno

CIFAR-10
SVHN



kaggle

CODE
CARBON





Quale dei due framework è più costoso dal punto di vista ambientale ed energetico in fase di training ed evaluation?

CIFAR-10

Framework	Fase	Durata	Emissioni di CO ₂	Consumo energetico
PyTorch	Training	28.69 min	24.85 g	54.91 Wh
	Evaluation	0.138 min	0.0312 g	0.19 Wh
TensorFlow	Training	22.63 min	15.28 g	43.75 Wh
	Evaluation	0.019 min	0.0107 g	0.0306 Wh



Quale dei due framework è più costoso dal punto di vista ambientale ed energetico in fase di training ed evaluation?

SVHN

Framework	Fase	Durata	Emissioni di CO ₂	Consumo energetico
PyTorch	Training	187.190 min	72.29 g	253.19 Wh
	Evaluation	0.138 min	0.0542 g	0.19 Wh
TensorFlow	Training	91.654 min	57.62 g	127.31 Wh
	Evaluation	0.053 min	0.0353 g	0.0781 Wh



Quale dei due framework è più costoso dal punto di vista ambientale ed energetico in fase di training ed evaluation?



Sia in fase di training sia in fase di evaluation,
il framework più costoso è PyTorch.





Quale modello di Machine Learning ha caratteristiche di qualità migliori?

Architettura	Framework	Accuracy	Precision	Recall	F1-score	Dimensione
CIFAR-10	<i>PyTorch</i>	84.29%	84.56%	84.29%	84.24%	23.41 MB
	<i>TensorFlow</i>	80.89%	81.32%	80.89%	80.79%	70.29 MB
SVHN	<i>PyTorch</i>	87.03%	85.45%	84.08%	83.04%	2.21 MB
	<i>TensorFlow</i>	95.97%	95.49%	95.68%	95.57%	6.72 MB



Quale modello di Machine Learning ha caratteristiche di qualità migliori?



Anche se tutti i modelli hanno buone caratteristiche di qualità, considerando l'impatto ambientale si ritiene preferibile utilizzare il framework TensorFlow.





Quale tecnica effettua un'ottimizzazione migliore dei modelli?

CIFAR-10 – PyTorch Mobile

Quantizzazione	Accuracy	Precision	Recall	F1-score	Dimensione
Modello iniziale	84.29%	84.56%	84.29%	84.24%	23.41 MB
Statica	26.03%	32.49%	26.03%	25.33%	5.87 MB
Dinamica	84.25%	84.54%	84.25%	84.21%	9.24 MB



Quale tecnica effettua un'ottimizzazione migliore dei modelli?

CIFAR-10 – TensorFlow Lite

Quantizzazione	Accuracy	Precision	Recall	F1-score	Dimensione
Modello iniziale	80.89%	81.32%	80.89%	80.79%	70.29 MB
Dynamic Range	80.41%	80.82%	80.41%	80.39%	5.88 MB
Full Integer	48.58%	56.52%	48.58%	48.17%	5.89 MB
Float16	80.48%	80.84%	80.48%	80.45%	11.71 MB



Quale tecnica effettua un'ottimizzazione migliore dei modelli?

SVHN – PyTorch Mobile

Quantizzazione	Accuracy	Precision	Recall	F1-score	Dimensione
Modello iniziale	87.03%	85.45%	84.08%	83.04%	2.21 MB
Statica	14.83%	58.59%	16.98%	14.02%	0.58 MB
Dinamica	87.03%	85.45%	84.08%	83.04%	1.43 MB



Quale tecnica effettua un'ottimizzazione migliore dei modelli?

SVHN – TensorFlow Lite

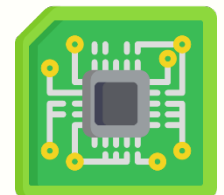
Quantizzazione	Accuracy	Precision	Recall	F1-score	Dimensione
Modello iniziale	95.97%	95.49%	95.68%	95.57%	6.72 MB
Dynamic Range	95.93%	95.47%	95.63%	95.53%	0.57 MB
Full Integer	6.7%	0.67%	10%	1.26%	0.57 MB
Float16	95.97%	95.49%	95.68%	95.57%	1.11 MB



Quale tecnica effettua un'ottimizzazione migliore dei modelli?



La Float16 Quantization di TensorFlow è la migliore per ridurre le dimensioni dei modelli, poiché consente di mantenere un buon livello di accuracy.



m.napolillo1@studenti.unisa.it



[@marta-napolillo](https://www.linkedin.com/in/marta-napolillo)

Accuratezza vs Consumo Energetico: Confronto tra
Classical Machine Learning e Tiny Machine Learning

Marta Napolillo

Università degli Studi di Salerno



Utilizzare altre tecniche per riduzione della dimensione dei modelli



Misurare direttamente il consumo energetico sui microcontrollori.



Utilizzare altre metriche per sottolineare il vantaggio computazionale prodotto dai modelli di Tiny ML.



Confrontare i risultati prodotti in ambiti differenti dalla classificazione di immagini.



m.napolillo1@studenti.unisa.it



[@marta-napolillo](https://www.linkedin.com/in/marta-napolillo)

Accuratezza vs Consumo Energetico: Confronto tra
Classical Machine Learning e Tiny Machine Learning

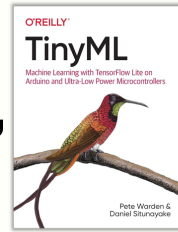
Marta Napolillo

Università degli Studi di Salerno

Introduzione e Background

sesa^{lab}
SOFTWARE ENGINEERING
SALERNO

” Il Tiny ML è l'intersezione tra Machine Learning e dispositivi IoT, in assenza di un sistema operativo ricco di risorse e con un costo energetico inferiore a 1 mW. ”

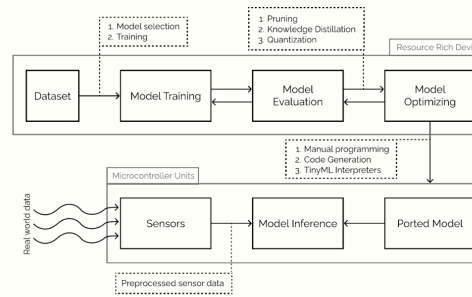


m.napolillo1@studenti.unisa.it
@marta-napolillo

Accuratezza vs Consumo Energetico: Confronto tra
Classical Machine Learning e Tiny Machine Learning
Marta Napolillo
Università degli Studi di Salerno

Metodologia

sesa^{lab}
SOFTWARE ENGINEERING
SALERNO



V. Rajapakse, I. Karunanayake, and N. Ahmed, "Intelligence at the extreme edge: A survey on reformable tinyml," *ACM Computing Surveys*, vol. 55, no. 13s, pp. 1–30, 2023.

m.napolillo1@studenti.unisa.it
@marta-napolillo

Accuratezza vs Consumo Energetico: Confronto tra
Classical Machine Learning e Tiny Machine Learning
Marta Napolillo
Università degli Studi di Salerno

Risultati

sesa^{lab}
SOFTWARE ENGINEERING
SALERNO



Quale dei due framework è più costoso dal punto di vista ambientale ed energetico in fase di training ed evaluation?



Sia in fase di training sia in fase di evaluation, il framework più costoso è PyTorch.



m.napolillo1@studenti.unisa.it
@marta-napolillo

Accuratezza vs Consumo Energetico: Confronto tra
Classical Machine Learning e Tiny Machine Learning
Marta Napolillo
Università degli Studi di Salerno

Conclusioni

sesa^{lab}
SOFTWARE ENGINEERING
SALERNO



Si potrebbero utilizzare altre tecniche per riduzione della dimensione dei modelli



Si potrebbe misurare direttamente il consumo energetico sui microcontrollori.



Si potrebbero utilizzare altre metriche per sottolineare il vantaggio computazionale prodotto dai modelli di Tiny ML.



Si potrebbero confrontare i risultati prodotti in ambiti differenti dalla classificazione di immagini.

m.napolillo1@studenti.unisa.it
@marta-napolillo

Accuratezza vs Consumo Energetico: Confronto tra
Classical Machine Learning e Tiny Machine Learning
Marta Napolillo
Università degli Studi di Salerno

Accuratezza vs Consumo Energetico: Confronto tra Classical Machine Learning e Tiny Machine Learning



Grazie!



Questa tesi ha contribuito a piantare un albero in Ghana.



Marta Napolillo

m.napolillo1@studenti.unisa.it
[@marta-napolillo](https://www.linkedin.com/in/marta-napolillo)