

# AoM: Classificatore per la detection di attacchi di morphing

Alessandro Aquino, Alberto Montefusco e Simone Tartaglia

**Abstract.** Lo scopo del progetto è stato quello di sviluppare con successo soluzioni per la rilevazione degli attacchi di morphing (MAD) basate su dati sintetici. A tal fine, questo lavoro è stato sviluppato usando un dataset per la rilevazione degli attacchi di morphing basato su dati sintetici, chiamato Synthetic Morphing Attack Detection Development dataset (SMDD). Questo dataset viene utilizzato con successo per addestrare cinque modelli di base per la rilevazione degli attacchi di morphing. Inoltre, un aspetto fondamentale di questo lavoro è l'analisi dettagliata delle prestazioni ottenute dai vari modelli addestrati.

## 1 Introduzione

### 1.1 Problema

I sistemi di riconoscimento facciale (FR), nonostante la loro elevata precisione e accettabilità, sono vulnerabili a molteplici attacchi, uno dei quali è l'attacco di morphing del volto (MA). Gli attacchi di morphing analizzati dimostrano che un'immagine del volto può essere associata, sia automaticamente che da esperti umani, a più di una persona. Se tali attacchi prendessero di mira documenti di viaggio o di identità, ciò consentirebbe a più soggetti di essere verificati con un unico documento. Questo collegamento errato, tra un documento e un'identità, può portare ad attività illegali, tra cui tratta di esseri umani, immigrazione illegale e transazioni finanziarie discutibili.

Tali attacchi possono essere in parte riscontrati utilizzando soluzioni di rilevamento di attacchi al volto (MAD - Morphing Attack Detection). Solitamente, le soluzioni MAD richiedono un addestramento per differenziare due classi: morphing attack e immagini del volto autentiche (BF, bonafide). Questa formazione richiede dati contenenti campioni di queste classi da utilizzare ed eventualmente condividere per la ricerca e lo sviluppo di MAD da parte di diverse persone e istituzioni.

### 1.2 Workflow: Attack on Morphing (AoM)

Data la problematica degli attacchi di morphing, abbiamo deciso di sviluppare un classificatore capace di riconoscere diverse tipologie dei suddetti attacchi, basati su cinque tecniche differenti: OpenCV (OCV), FaceMorpher (FM), StyleGAN 2 (SG), WebMorpher (WM), e AMSL. Il Modello (MixNets) è stato, invece, addestrato su SMDD e validato su sottoinsiemi del test. Addestrata la MixNets e successivamente testata, i risultati ottenuti si sono discostati da quelli riportati dal paper, soprattutto l'APCER in funzione di diverse tolleranze del BPCER. Pertanto, abbiamo deciso di considerare, nel confronto con il paper, unicamente l'ERR, il quale si discosta di poco da quello previsto.

Supponiamo che la differenza ottenuta da alcune metriche sia dovuta alla presenza di funzioni di normalizzazione sui dati per calcolare i 'prediction scores'. Una volta replicata la sperimentazione proposta dal paper[1], abbiamo effettuato ulteriori verifiche. Nello specifico abbiamo confrontato la MixNets con l'approccio geometrico, basato sulla manipolazione della geometria dei volti. Questo confronto nasce con l'obiettivo di verificare quale dei due approcci si comporta meglio. Inoltre, il nostro obiettivo è stato anche quello di verificare se l'unione dei due approcci avrebbe prodotto delle metriche migliori. L'interesse risiede anche nel verificare se la MixNets è capace di migliorare le criticità dell'approccio geometrico nel riconoscere i morph sorridenti, poiché soffre dei cambiamenti di texture o dettagli più complessi, come il sorriso.

Il primo passo per permettere tale confronto è stato di estrarre le caratteristiche dal penultimo layer della rete (ossia prima della classificazione) ed utilizzare tali caratteristiche con gli stessi classificatori (Decision tree, Random Forest, GuassianDB) dell'approccio geometrico. Estratte le features, queste passano per la fase di pre-processing utilizzando la PCA. L'output prodotto viene dato in input ai classificatori per il test ottenendo i primi risultati. Questo processo è stato ripetuto sia per i test contenenti i sorrisi che no. Successivamente, si è passati al merge con i file .csv contenenti le features dei due approcci. I merge risultanti sono due: 'con smile' e 'senza'.

### 1.3 Risultati

I risultati sono stati presentati in base a diversi confronti: Paper - AoM, Approccio Geometrico & AoM (con 'smile'), Approccio Geometrico & AoM (senza 'smile'). In questo modo è stato reso il più intuitivo possibile quale modello è stato condizionato in meglio o in peggio. Nello specifico abbiamo confrontato EER, accuracy e diverse soglie di tolleranza (0.10%, 1%, 10% e 20%) di errori sulla classificazione di bonafide. Nel confronto con il paper in tutti e cinque i test, il paper si è comportato meglio.

I seguenti risultati mostrano il confronto tra 'Approccio Geometrico - AoM - Approccio Geometrico & AoM' con smile:

1. **Accuracy** - i test amsl (97.76%), facemorpher (98.79%), OpenCV (98.79%), StyleGAN (98.56%) e Webmorph (98.72%) hanno prodotto valori più alti nel merge migliorando entrambi gli approcci;
2. **ERR** - i test: amsl (4.77%), facemorpher (3.92%), StyleGAN (4.06%) e Webmorph (3.97%) hanno prodotto metriche migliori nel merge;
3. **BPCER (%) @ APCER:**
  - (a) BPCER (0.1%) @ APCER: in tutti e cinque i test l'approccio geometrico ottiene la percentuale più bassa (50%).
  - (b) BPCER (1%) @ APCER: facemorpher (0.49%), OpenCV (0.49%), StyleGAN (2.94%) hanno prodotto metriche migliori in AoM, mentre, l'approccio geometrico si è comportato peggio.
  - (c) BPCER (10%) @ APCER: in tutti e cinque i test AoM si è comportato meglio rispetto all'A.G. e al merge.
  - (d) BPCER (20%) @ APCER: in tutti e cinque i test AoM si è comportato meglio rispetto all'A.G. e al merge.

I seguenti risultati mostrano il confronto tra 'Approccio Geometrico - AoM - Approccio Geometrico & AoM' senza smile:

1. **Accuracy** - i test amsl (95.76%), facemorpher (99.29%) e Webmorph (95.46%) hanno prodotto valori più alti nel merge migliorando entrambi gli approcci;
2. **ERR** - i test amsl (3.66%), facemorpher (0.39%), StyleGAN (3.43%) e Webmorph (3.80%) hanno prodotto metriche migliori nel merge;
3. **BPCER (%) @ APCER** - otteniamo dei miglioramenti dell'A.G. rispetto ai smile ma si mantengono le stesse differenze nelle metriche.
  - (a) BPCER (0.1%) @ APCER: in tutti e cinque i test l'approccio geometrico ottiene la percentuale più bassa (50%).
  - (b) BPCER (1%) @ APCER: amsl (0.49%), OpenCV (0.49%) e StyleGAN (2.94%) hanno portato metriche migliori in AoM, mentre l'A.G. si è comportato peggio.

(c) BPCER (10%) @ APCER: in tutti e cinque i test AoM si è comportato meglio rispetto all'A.G. e al merge.

(d) BPCER (20%) @ APCER: in tutti e cinque i test AoM si è comportato meglio rispetto all'A.G. e al merge.

Da questi risultati si può evincere che il merge dei due modelli, nella maggioranza dei test, ha ottenuto delle metriche migliori rispetto ai due modelli presi singolarmente.

## 2 Implementazione AoM

In questa sezione verrà descritto il workflow di AoM, il qual riproporrà la sperimentazione del paper "Privacy-friendly Synthetic Data for the Development of Face Morphing Attack Detectors"[1]. Verrà utilizzato il dataset proposto dal paper con la stessa suddivisione del train, validation e test. Riprodotta la sperimentazione ed ottenuti i risultati simili, siamo passati alla features extraction.

Questa fase è utile per permettere una classificazione mediante ulteriori algoritmi di Machine Learning (Decision Tree, Random Forest e GaussianNB). Prima di dare in input le caratteristiche ai classificatori abbiamo effettuato una fase di pre-processing sulle features (PCA). Ottenute le prime metriche, le abbiamo confrontate con quelle dell'approccio geometrico. Oltre a verificare quale delle due soluzioni possiede metriche migliori, abbiamo effettuato il merge delle features, verificando se uniti potessero migliorare. Il merge è stato fatto considerando due casi specifici: 'smile' e 'no smile'. Di seguito è riportata la sperimentazione completa.

### 2.1 Datasets: train, validation e test

Per il corretto training e successivo testing di AoM, è stato necessario effettuare un'adeguata suddivisione del dataset in tre diverse parti: un training set, un validation set, e un test set.

Per l'addestramento del modello, è stato utilizzato il dataset Synthetic Morphing Attack Detection Development dataset (SMDD). Si tratta di uno dei primi dataset pensati per la rilevazione di attacchi biometrici ad essere reso pubblicamente disponibile per fini di ricerca. Le immagini contenute in esso sono generate casualmente basandosi su una Gaussian noise  $Z$ , estraendole senza ripetizioni 500.000 volte da una distribuzione normale. Da ogni vettore, il generatore produce poi un campione di dati sintetici di volti, i quali sono stati poi suddivisi in un campione da 250.000 immagini destinate al training, e un campione contenente le restanti 250.000 immagini destinate invece al validation. Ogni coppia di immagini morphed è stata generata sfruttando l'algoritmo OpenCV/dlib [2], il quale ha dimostrato di essere uno dei generatori di MA migliori tra quelli attualmente disponibili [3].

Riguardo al training e al validation, è stato utilizzato il dataset FRLL-Morphs [3]. Questo dataset è stato generato partendo dal dataset pubblicamente disponibile Face Research London Lab. Esso include cinque differenti metodi

di morphing, ossia OpenCV (OCV) [2], FaceMorpher (FM), StyleGAN (SG), WebMorpher (WM) e AMSL. Ognuno di essi ha generato esattamente 1222 immagini morphed, partendo da immagini frontali in alta risoluzione.

## 2.2 Modello MixNet

Per utilizzare SMDD ai fini del training del nostro MAD, abbiamo impiegato come backbone **MixNet-S** [4]. MixNet è, difatti, una famiglia di modelli basati su reti convoluzionali basata, a sua volta, sul modello MixConv. L'idea alla base di tale modello è quella di unire molteplici kernel, ognuno di dimensioni differenti, in un'unica operazione convoluzionale, così da ottenere facilmente diversi tipi di pattern dalle immagini ricevute in input. MixNet sfrutterà molteplici iterazioni del modello MixConv, ognuna di esse caratterizzata da una group size incrementale rispetto alla precedente. Esso è disponibile in tre versioni, ognuna caratterizzata da un'accuracy maggiore della precedente, ma al contempo più esose dal punto di vista computazionale: MixNet-S, MixNet-M e MixNet-L. A causa di esigenze tecniche, è stato necessario limitarsi all'utilizzo di MixNet-S.

```
1 class MixNet(nn.Module):
2     def forward(self, x):
3         x = self.features(x)
4         x=self.tail(x)
5         x=self.feautre_layer(x)
6
7         # adding the following classification
8         layer for morph attack detection
9         x = self.pool1(x)
10        x = x.view(x.size(0), -1)
11        x=self.features_norm(x)
12        x = self.linear2(x.view(x.shape[0], -1))
13
14        return x
```

## 2.3 Features extraction

Per quanto riguarda il processo di features extraction, dapprima andiamo a caricare il modello sfruttando le funzionalità messe a disposizione dalla libreria torch. Dopodiché, andiamo a rimuovere l'ultimo layer del classificatore, così da poter separare le caratteristiche. Quindi, definiamo la trasformazione da applicare ai dati ricevuti in input, ridimensionando l'immagine ricevuta ad una risoluzione di 224\*224 pixel, ed infine normalizzando il tutto. Ad ogni singola immagine verrà quindi applicata la trasformazione e, una ad una, verrà inviata in input al modello così da poter effettivamente estrarne le caratteristiche.

```
1 def feature_extraction(model, model_path,
2     path_dataset_csv):
3     # Load the pre-trained weights
4     model.load_state_dict(torch.load(model_path)
5     )
6
7     # Set the model to evaluation mode
8     model.eval()
9
10    # Remove the final classification layer
11    model = nn.Sequential(*list(model.children()
12    )[:-1])
```

```
11 # Define the transformation to be applied to
12 your input data
13 transform = transforms.Compose([
14     transforms.Resize((224, 224)),
15     transforms.ToTensor(),
16     transforms.Normalize(mean=[0.485, 0.456,
17     0.406], std=[0.229, 0.224, 0.225]),
18 ])
19
20 path_feature_out_csv = 'output/
21 feature_extraction/' + path_dataset_csv.
22 split('/')[2]
23 header = ['image_path', 'label']
24
25 with open(path_feature_out_csv, 'w', newline
26 ='') as features_csv:
27     writer = csv.writer(features_csv)
28     writer.writerow(header)
29
30 with open(path_dataset_csv, 'r') as file:
31     reader = csv.reader(file)
32     rows_origin = list(reader)
33
34     for row_origin in rows_origin[1:]:
35         path_image = row_origin[0]
36         input_data = Image.open(path_image)
37
38         # Apply the transformation to your
39         input data
40         input_data = transform(input_data)
41
42         # Add a batch dimension to the input
43         data
44         input_data = input_data.unsqueeze(0)
45
46         # Pass the input data through your
47         model to extract features
48         with torch.no_grad():
49             features = model(input_data)
50
51         data_row = [path_image, row_origin
52         [1]]
53
54         for feature in features:
55             prova = feature.numpy()
56
57             for elem in prova.flatten():
58                 data_row.append(elem)
59
60         with open(path_feature_out_csv, 'a',
61         newline='') as features_csv:
62             writer = csv.writer(features_csv)
63             writer.writerow(data_row)
```

## 2.4 Pre-processing: PCA

La PCA (Principal Component Analysis) è una tecnica di riduzione della dimensionalità utilizzata per estrarre le componenti principali da un insieme di dati. Nel contesto della libreria scikit-learn in Python, il costruttore `PCA()` accetta diversi parametri, tra cui `n_components` (trova il numero di componenti che offre la migliore spiegazione dei dati senza sovradattamento, quindi, l'algoritmo cerca di trovare il numero ottimale di componenti che rappresentino la varianza dei dati nel modo più accurato possibile senza aggiungere componenti ridondanti o inutili.) e `copy` (se creare una copia dei dati di input o modificarli direttamente). Se `copy=True` (valore predefinito), viene creata una copia dei dati per evitare modifiche indesiderate, altrimenti i dati originali vengono modificati direttamente.

Nel nostro caso:

- **n\_components**: è impostato a 'mle' quindi cerca di trovare il punto in cui l'aggiunta di componenti non apporta un miglioramento significativo nella spiegazione dei dati.
- **copy**: nel nostro caso è True.

```
1 from sklearn.decomposition import PCA
2 pca = PCA(n_components='mle', copy=True)
3 pca_values = pca.fit_transform(x)
```

## 2.5 Modelli di machine learning

Per i Classificatori la parte di train viene generata per ogni tipo di attacco dato che vengono validati sulla parte di test. La fase di test viene effettuata su ogni tipo di attacco di morph. I tre classificatori vengono forniti sempre dalla libreria scikit-learn e prendono in input l'output della PCA e la mappa dei valori (label).

```
1 from sklearn.tree import DecisionTreeClassifier
2 from sklearn.ensemble import
3   RandomForestClassifier
4 from sklearn.naive_bayes import GaussianNB
5
6 # select the GaussianNB algorithm
7 model = GaussianNB()
8 model.fit(X_train_sel, y)
9
10 # select the RabdomForest algorithm
11 model = GaussianNB()
12 model.fit(pca_values, y)
13
14 # select the DecisionTree algorithm
15 model = DecisionTreeClassifier()
16 model.fit(X_train_sel, y)
```

## 2.6 Visualizzazione delle metriche

Per quanto concerne la visualizzazione delle metriche, le prestazioni di AoM sono valutate in base all'Attack Presentation Classification Error Rate (APCER), ovvero la proporzione di immagini morphed classificate come bonafide, e il Bonafide Presentation Classification Error Rate (BPCER) che, inversamente, indica le immagini bonafide classificate come morphed. Per avere una visione dell'insieme quanto più completa, andiamo ad evidenziare l'APCER quando la BPCER raggiunge tre differenti valori (0.1%, 1.0%, 10% e 20%). Viene riportato anche l'Equal Error Rate (EER), ovvero la soglia in cui BPCER e APCER sono equivalenti.

La funzione utilizzata è la `get_bpcer_op`: calcola la differenza tra i valori di BPCER dati e lo specifico operating point ('op'):

```
1 temp = abs(bpcer - op)
```

Trova il valore più piccolo (e il corrispondente indice) che contiene l'array 'temp', che rappresenta il valore BPCER più vicino all'operating point:

```
1 min_val = np.min(temp)
2 index = np.where(temp == min_val)[0][-1]
```

Infine, dalla funzione siamo interessati al valore APCER corrispondente a quell'indice ('apcer[index]').

```
1 return index, apcer[index], threshold[index]
```

Per quanto riguarda la stampa dell'Equal Error Rate (EER) la funziond di interesse è la `get_eer_threshold`, la quale calcola la la differenza tra TPR (True Positive Rate) e FPR (False Positive Rate) sottraendo 1.0. Questo calcolo è finalizzato a trovare il punto in cui la differenza tra TPR e FPR è più vicina a zero, poiché l'EER è il punto in cui TPR e FPR si incontrano. In seguito, trova l'indice corrispondente al valore minimo della differenza tra TPR e FPR ottenendo il valore FPR corrispondente, che rappresenterà l'EER.

```
1 differ_tpr_fpr_1=tpr+fpr-1.0
2 index = np.nanargmin(np.abs(differ_tpr_fpr_1))
3 eer = fpr[index]
4
5 return eer, index, threshold[index]
```

Per calcolare l'accuratezza, abbiamo usato la funzione `accuracy_score` di scikit-learn, la quale calcola l'accuratezza del modello di classificazione misurando la percentuale di previsioni corrette rispetto alle etichette corrette dei dati di test.

## 3 Analisi dei risultati

In questa sezione andremo a mostrare e a discutere dei risultati ottenuti dai diversi modelli stabilendo quale caso ha prodotto metriche migliori. Non verranno trattati tutti i risultati ottenuti ma solo quelli utili al confronto. Per una visione completa andare al GitHub del progetto.

### 3.1 Confronto AoM - paper

#### 3.1.1 EER

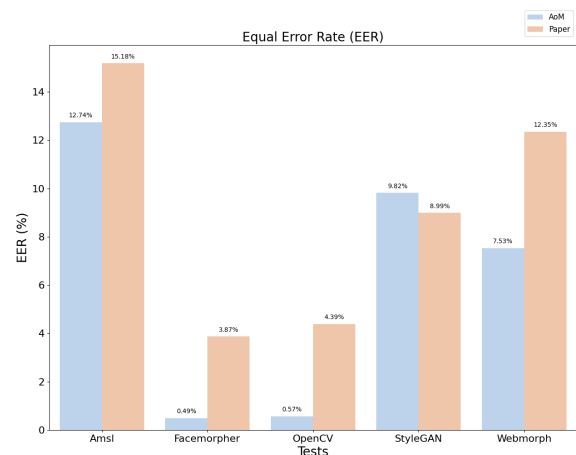


Figure 1. Confronto ERR

Da questo grafico si evince che in media l'EER del paper è più basso rispetto a quello di AoM.

### 3.2 Confronto AoM - Approccio Geometrico

I seguenti risultati verranno rappresentati come comparazione tra Approccio Geometrico - AoM - Approccio Geometrico & AoM. In modo tale da rendere il più intuitivo possibile quale modello è stato condizionato in meglio o in peggio.

#### 3.2.1 Smile

In questa sezione si andranno a mostrare i confronti considerando anche le immagini con persone sorridenti, ossia dove l'approccio geometrico soffre maggiormente.

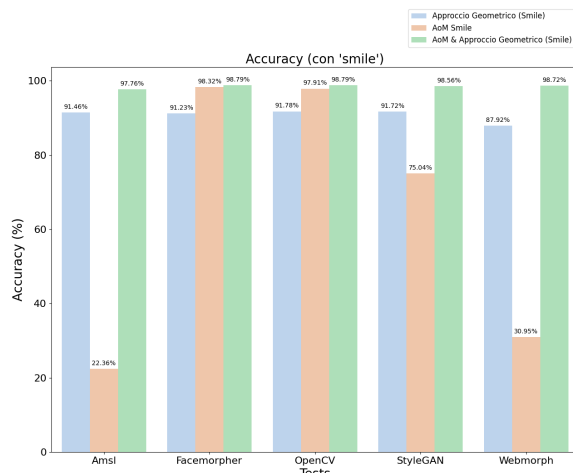


Figure 2. Confronto accuracy AoM - AG

**Accuracy.** In questo grafico vengono riportate le accuracy per ogni test che si è comportato meglio con un dato train (il train migliore è stato facemorpher oppure amsl, mentre StyleGAN di poco rispetto agli altri). Consapevoli del fatto che il dato delle accuracy non è indice di qualità, la scelta è stata ponderata anche sul f1-score della macro avg. Si può notare che il merge dei due approcci è migliore rispetto agli approcci presi singolarmente.

**Accuracy generali AoM.** Di seguito vengono mostrate le accuracy di AoM per ogni classificatore evidenziando quali test hanno portato le metriche migliori.

Smile			
Test	DecisionTreeClassifier()	RandomForestClassifier()	GaussianNB()
AMSL	16,90%	11,43%	22,36%
FaceMorpher	93,27%	96,84%	98,32%
OpenCV	90,37%	93,02%	97,91%
StyleGAN	65,64%	62,27%	75,04%
WebMorph	22,39%	16,21%	30,95%
MEDIA	57,71%	55,95%	64,92%

Figure 3. Accuracy AoM smile

Not Smile			
Test	DecisionTreeClassifier()	RandomForestClassifier()	GaussianNB()
AMSL	13,90%	7,60%	17,52%
FaceMorpher	92,22%	95,39%	95,54%
OpenCV	87,30%	90,53%	93,76%
StyleGAN	63,44%	60,05%	70,17%
WebMorph	16,48%	9,83%	24,04%
MEDIA	54,67%	63,95%	60,21%

Figure 4. Accuracy AoM no smile

**Matrice di confusione.** Di seguito vengono mostrate le matrici di confusione di AoM per ogni classificatore evidenziando quali test hanno portato le metriche migliori.

Smile						
Confusion Matrix	DecisionTreeClassifier()		RandomForestClassifier()		GaussianNB()	
AMSL	195	9	204	0	204	0
	1968	207	2107	68	1847	328
FaceMorpher	195	9	204	0	204	0
	77	1145	45	1177	24	1198
OpenCV	195	9	204	0	204	0
	129	1100	100	1129	30	1199
StyleGAN	195	9	198	6	204	0
	481	741	532	690	356	866
WebMorph	195	9	204	0	204	0
	1097	124	1194	27	984	237

Figure 5. Confusion Matrix AoM smile

Not Smile						
Confusion Matrix	DecisionTreeClassifier()		RandomForestClassifier()		GaussianNB()	
AMSL	96	6	100	2	102	0
	1973	202	2102	73	1878	297
FaceMorpher	96	6	100	2	102	0
	97	1125	59	1163	59	1163
OpenCV	96	6	100	2	102	0
	163	1066	124	1105	83	1146
StyleGAN	96	6	100	2	102	0
	478	744	527	695	395	827
WebMorph	96	6	102	0	102	0
	1099	122	1193	28	1005	216

Figure 6. Confusion Matrix AoM no smile

**Accuracy generali Merge.** Di seguito vengono mostrate le accuracy del modello mergiato per ogni classificatore evidenziando quali test hanno portato le metriche migliori.

Smile			
Test	DecisionTreeClassifier()	RandomForestClassifier()	GaussianNB()
AMSL	19,46%	16,56%	97,76%
FaceMorpher	96,45%	97,89%	98,79%
OpenCV	92,77%	95,87%	98,79%
StyleGAN	70,02%	71,53%	98,56%
WebMorph	23,89%	20,26%	98,72%
MEDIA	60,52%	60,42%	98,52%

Figure 7. Accuracy merge smile



	Not Smile		
Test	DecisionTreeClassifier()	RandomForestClassifier()	GaussianNB()
AMSL	20,49%	17,76%	95,76%
FaceMorpher	97,44%	99,29%	98,72%
OpenCV	92,23%	96,38%	97,51%
StyleGAN	67,67%	69,34%	96,15%
WebMorph	19,12%	13,76%	95,46%
MEDIA	59,39%	59,31%	96,72%

**Figure 8.** Accuracy merge no smile

**Matrice di confusione.** Di seguito vengono mostrate le matrici di confusione degli approcci mergiati, per ogni classificatore, evidenziando quali test hanno portato le metriche migliori.

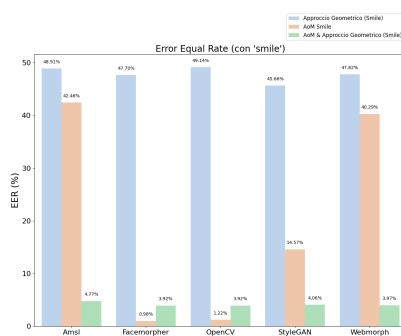
	Smile					
Confusion Matrix	DecisionTreeClassifier()		RandomForestClassifier()		GaussianNB()	
AMSL	199	5	190	14	188	16
	1829	244	1886	187	35	2038
FaceMorpher	199	5	190	14	188	16
	42	1078	29	1091	0	1120
OpenCV	199	5	190	14	188	16
	92	1027	1042	1077	0	1119
StyleGAN	186	18	190	14	188	16
	379	741	363	757	3	1117
WebMorph	186	18	190	14	188	16
	989	130	1041	78	1	1118

**Figure 9.** Confusion Matrix merge smile

	Not Smile					
Confusion Matrix	DecisionTreeClassifier()		RandomForestClassifier()		GaussianNB()	
AMSL	94	8	96	6	99	3
	892	138	925	105	45	985
FaceMorpher	98	4	102	0	99	3
	25	1005	8	1022	14	1200
OpenCV	98	4	102	0	99	3
	84	946	41	989	30	1191
StyleGAN	94	8	96	6	99	3
	420	802	400	822	48	1174
WebMorph	94	8	96	6	99	3
	1062	159	1135	86	57	1164

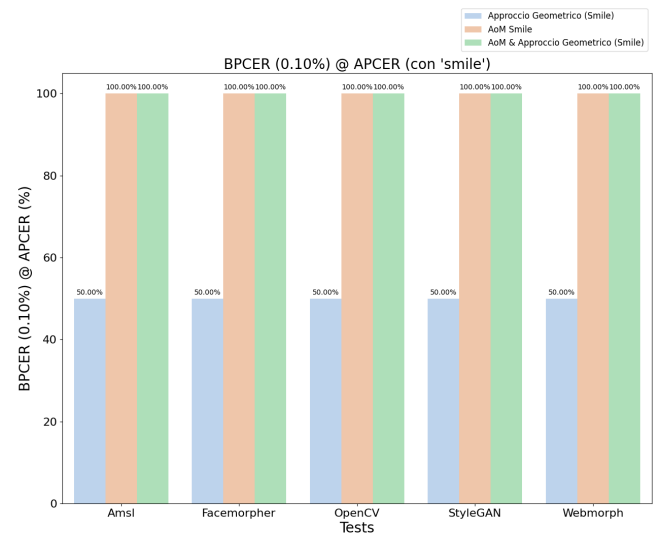
**Figure 10.** Confusion Matrix merge no smile

**EER.** In questo grafico si evince un'analogia da quanto riportato dall'accuracy dato che il merge mostra ancora dei miglioramenti rispetto ai due approcci (tranne per facemorpher e opencv), soprattutto di quello geometrico.



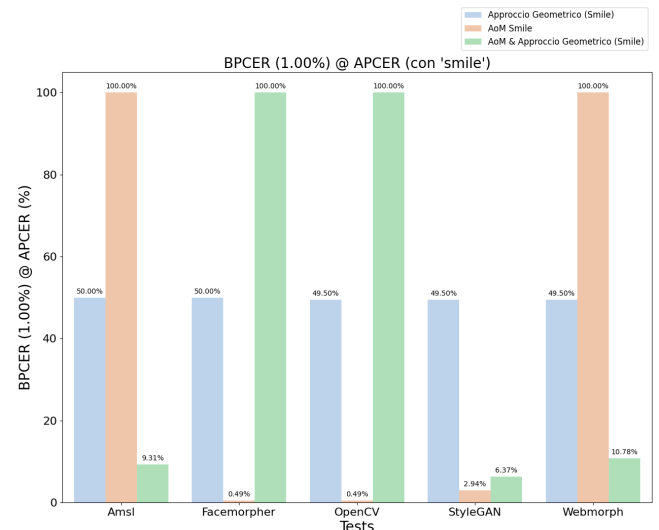
**Figure 11.** Confronto ERR AoM-AG

**BPCER (%) @ APCER.** Con una soglia di tolleranza così bassa solo l'approccio geometrico risulta prevalere rispetto al merge e all'AoM.

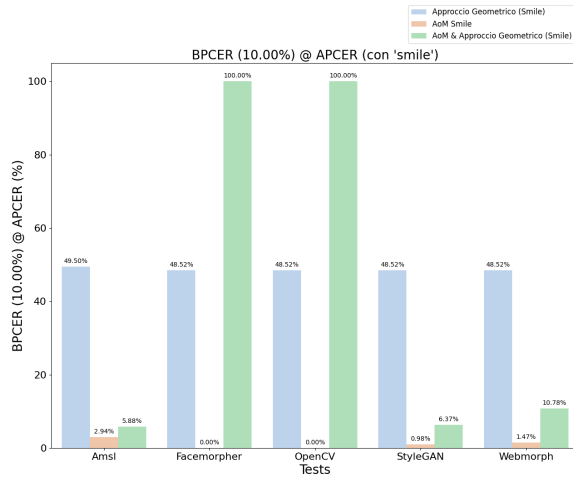


**Figure 12.** Soglia di tolleranza al 0,10% di errori sulla classificazione di bonafide

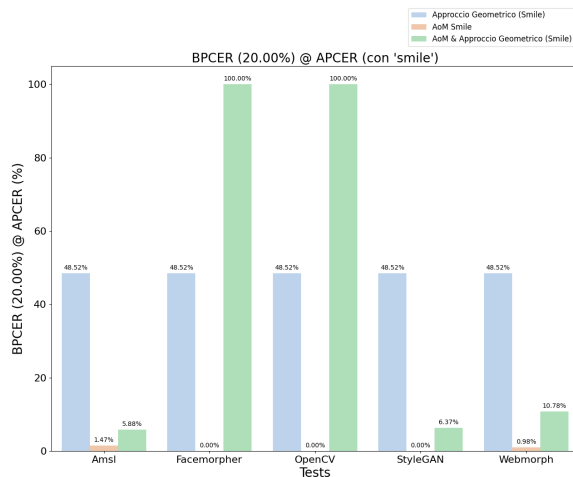
Con una tolleranza maggiore, AoM prevale (facemorpher, opencv e stylegan) per 1%, per 10% e 20% consideriamo anche amsl e webmorph.



**Figure 13.** Soglia di tolleranza all'1% di errori sulla classificazione di bonafide



**Figure 14.** Soglia di tolleranza al 10% di errori sulla classificazione di bonafide

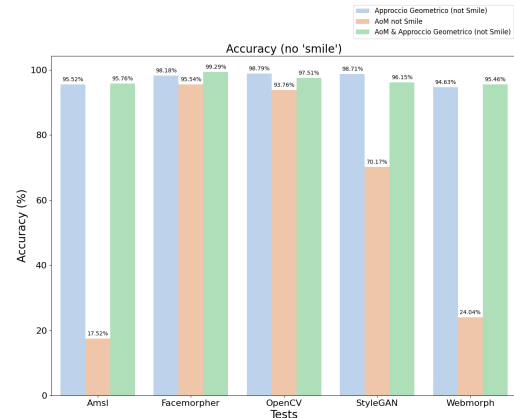


**Figure 15.** Soglia di tolleranza al 20% di errori sulla classificazione di bonafide

### 3.2.2 No Smile

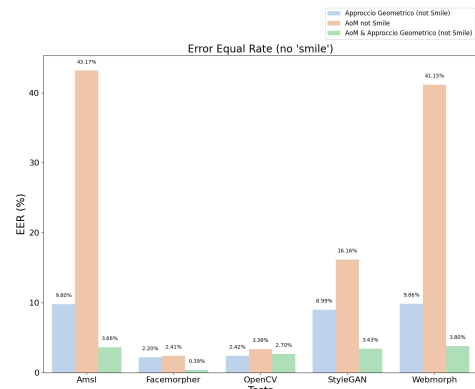
In questa sezione si mostreremo i confronti fatti senza considerare le immagini con persone sorridenti.

**Accuracy.** In questo grafico vengono riportate le accuracy per ogni test che si è comportato meglio con un dato train (il train migliore è stato facemorpher, mentre amsl è ottimo di poco rispetto gli altri). Si può notare che il merge dei due approcci si è comportato, in media, meglio rispetto gli approcci presi singolarmente, migliorandoli entrambi. L'aspetto discordante compare in OpenCV e StyleGAN. Un altro aspetto interessante è come l'approccio geometrico in mancanza di immagini smile sia migliorato.



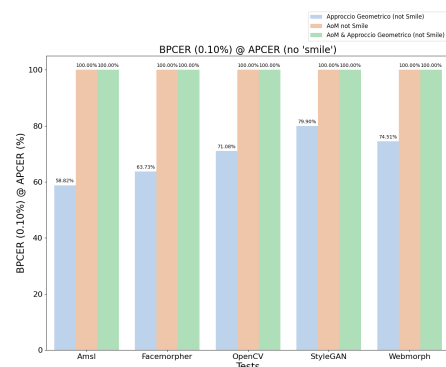
**Figure 16.** Confronto accuracy AoM-AG

**EER.** In questo grafico si evince un'analogia da quanto riportato dall'accuracy; questo perchè il merge mostra ancora dei miglioramenti rispetto ai due approcci, soprattutto di AoM.

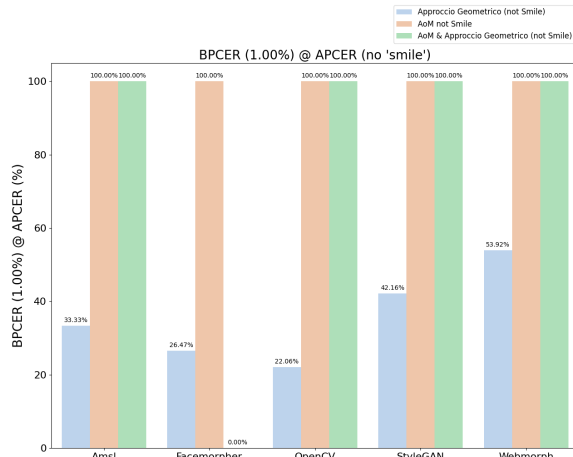


**Figure 17.** Confronto ERR AoM-AG

**BPCER (%) @ APCER.** Con una soglia di tolleranza così bassa (0,10% e 1%) solo l'approccio geometrico risulta prevalere rispetto al merge e ad AoM.

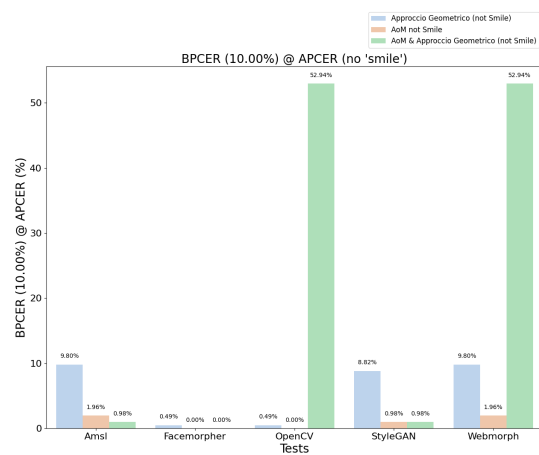


**Figure 18.** Soglia di tolleranza al 0,10% di errori sulla classificazione di bonafide

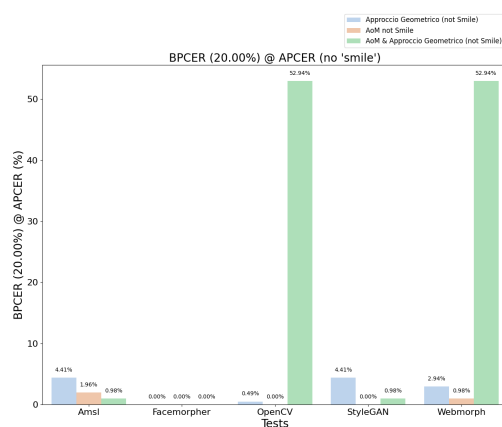


**Figure 19.** Soglia di tolleranza al 1% di errori sulla classificazione di bonafide

Con una tolleranza maggiore, il merge prevale andando a migliorare entrambi gli approcci, sia per il 10% che per il 20%. Si presentano delle anomalie nei casi di OpenCV e WebMorph.



**Figure 20.** Soglia di tolleranza al 10% di errori sulla classificazione di bonafide



**Figure 21.** Soglia di tolleranza al 20% di errori sulla classificazione di bonafide

## 4 Data availability

Codice\_Workflow:<https://github.com/Alberto-00/Differential-MAD>

Paper:[openaccess.thecvf.com](https://openaccess.thecvf.com)

Github\_paper:<https://github.com/naserdamer/SMDD-Synthetic-Face-Morphing-Attack-Detection-Development-dataset/tree/main>

Datasets: <https://drive.google.com/drive/folders>

## References

- [1] N. Damer, C.A.F. López, M. Fang, N. Spiller, M.V. Pham, F. Boutros, *Privacy-friendly synthetic data for the development of face morphing attack detectors*, in *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (2022), pp. 1606–1617
- [2] S. Mallick, *LearnOpenCV 1* (2016)
- [3] E. Sarkar, P. Korshunov, L. Colbois, S. Marcel, arXiv preprint arXiv:2012.05344 (2020)
- [4] M. Tan, Q.V. Le, *CoRR* (2019), 1907.09595