

Offline Signature Verification System

Il progetto realizzato consiste in un sistema in grado di verificare l'autenticità di firme autografe. Si è utilizzato un approccio di tipo offline, acquisendo un set di firme di riferimento, un set di firme di test e verificandone successivamente la corrispondenza. L'obiettivo prefissato è confermare o rigettare l'identità rivendicata da un soggetto, basandosi sul dato biometrico da lui fornito.

In tal caso, si parla di tratto biometrico comportamentale, in quanto fondato sulla misura di specifiche azioni eseguite dall'utente e apprese nel corso del tempo, fondendo fisiologia, abitudine, contesto e capacità cognitiva. La firma autografa è il mezzo abitualmente usato per identificare gli individui in operazioni quotidiane, che spaziano dalla sottoscrizione di documenti all'autorizzazione di transazioni bancarie. Si tratta di uno strumento ampiamente utilizzato grazie all'elevata accettabilità da parte dell'utente finale. L'ampia diffusione non deve tuttavia nascondere la natura complessa di un dato biometrico, dipendente da condizioni fisiche e psicologiche dello scrivente e sottoposto ad una personalizzazione che si protrae nel tempo.

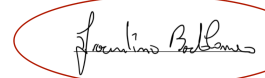
In fase di progettazione, ci si è occupati innanzitutto del processo attraverso cui l'utente sottopone il campione biometrico al sistema. L'operazione è stata eseguita in uno scenario controllato, avvalendosi di un supporto digitale. Nello specifico, sono stati utilizzati iPad da 10" ed Apple Pencil per consentire una registrazione fedele della calligrafia dell'utente. La firma è stata acquisita al termine del processo di scrittura, in modalità offline.

Per acquisire le firme di riferimento si è predisposto un modulo in formato PDF, in grado di accogliere 5 campioni autentici per ciascun utente. Analogo processo è stato eseguito per l'acquisizione dei campioni di test: si è realizzato un modulo su cui apporre 6 firme, delle quali 3 eseguite dal legittimo autore e 3 contraffatte. Queste ultime sono state realizzate da diversi "impostori", tentando di imitare nel modo più accurato possibile i campioni autentici. Non sono stati posti limiti di tempo nella realizzazione, consentendo eventualmente di ricominciare o cancellare specifici tratti della copia realizzata.

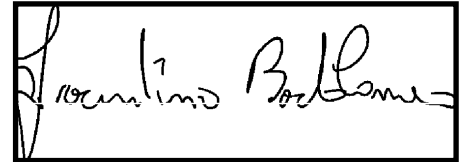
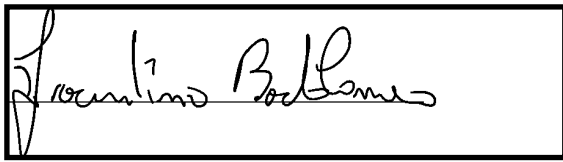
Fase successiva è stata la vera e propria acquisizione dei campioni da parte del sistema. In primis, si è eseguita la conversione dei moduli PDF debitamente firmati in file di tipo immagine. Avendo sviluppato il sistema in linguaggio Java, l'operazione è stata eseguita mediante libreria Apache PDFBox, impostando un numero di punti per pollice pari a 300, al fin di garantire una resa ottimale delle immagini.

Si è quindi ricercato l'oggetto di interesse all'interno della scena. Come da consuetudine, le diverse firme sono state apposte nell'area destra della pagina, separate tra loro da sezioni testuali. Per consentirne il ritrovamento si è utilizzata la libreria Java Marvin, che mette a disposizione strumenti di image processing. Lo specifico metodo utilizzato prende il nome di `findTextRegions()` e consente di individuare aree di testo, stampato o manoscritto, all'interno di un'immagine. Più precisamente, l'algoritmo rileva regioni con una specifica frequenza di variazione del contrasto lungo l'asse orizzontale. I segmenti che presentano tale pattern vengono raggruppati tra loro per definire un'area di testo. Oltre all'immagine da elaborare, l'algoritmo richiede in input l'ampiezza massima degli spazi e delle singole componenti testuali, la lunghezza minima del testo complessivo e la soglia di grigio usata nella ricerca del pattern. Poiché in alcuni casi viene rilevato testo stampato o dei falsi positivi, sono state definite ulteriori condizioni che garantissero il ritrovamento delle sole firme. In particolare, si è stabilita un'altezza minima per le componenti testuali e un'ascissa di partenza diversa da zero, in modo da limitare la ricerca alla sola area destra dell'immagine.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

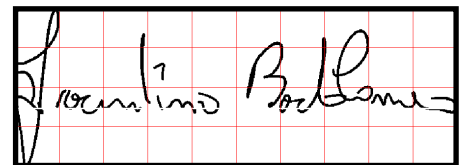


Nella fase seguente di preprocessing il campione è stato gestito ai fini delle successive elaborazioni. In particolare, sono state filtrate le informazioni appartenenti alla scena, rimuovendo la linea di base utilizzata per l'apposizione della firma e i margini residui. Il dato risultante è stato quindi normalizzato ad una lunghezza fissa di 900px per consentire il confronto tra campioni differenti. Infine, l'immagine è stata convertita dal modello RGB al modello binario.

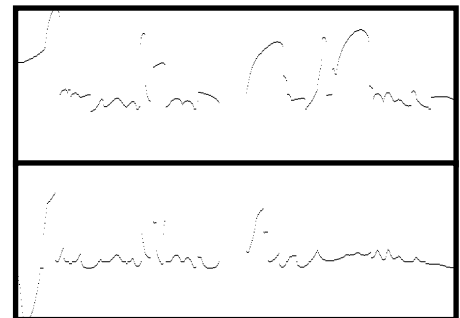


Cruciale risulta essere la fase di feature extraction, ossia il processo di estrazione delle caratteristiche distintive del dato biometrico. Sono state utilizzate feature di tipo parametrico e ci si è attenuti al principio per cui una feature universalmente applicabile non è efficace, in quanto firme di autori differenti contengono un numero ristretto di caratteristiche comuni. Si è dunque optato per una combinazione di approcci differenti: grid based, contour based, a livello di singoli pixel e SURF.

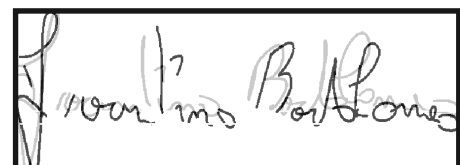
Relativamente al primo di essi, ciascun campione è stato esaminato utilizzando una griglia regolare di dimensioni 4x10. È stato calcolato il rapporto, in termini percentuali, tra il numero di pixel neri e il numero di pixel bianchi di ciascuna cella, ottenendo come risultato un vettore di interi.



In secondo luogo sono stati esaminati i contorni di ciascuna firma. Si sono cioè calcolate le ordinate relative al bordo superiore e al bordo inferiore di ciascun campione. Anche in tal caso è stato ottenuto come risultato un vettore di interi.

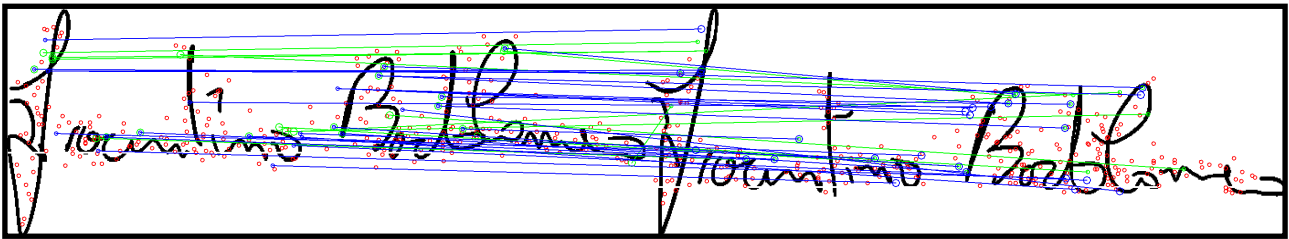


La terza analisi è stata eseguita a livello di singoli pixel. Le immagini sono state ridimensionate per garantire sia eguale ampiezza che altezza. Successivamente sono state sovrapposte per individuare il numero di punti corrispondenti tra di esse. In tal caso, il risultato ottenuto è un valore intero rappresentante il conteggio delle corrispondenze.



Infine, si è utilizzato un algoritmo Speeded Up Robust Feature per rilevare key point, invarianti a cambiamenti di scala, rotazione e luminosità. Tale algoritmo, parzialmente ispirato a SIFT (Scale Invariant Feature Transform), si presenta più performante e robusto rispetto al predecessore. SURF può essere impiegato per localizzare e riconoscere oggetti o per estrarre punti di interesse. In questa circostanza è stata adottata la variante

“upright”, che si rivela più adatta per immagini allineate lungo l’asse orizzontale. L’algoritmo prevede diverse fasi. In primis, vengono rilevati i punti di interesse all’interno della scena. Successivamente, per ciascuno di essi, viene generato un descrittore invariante alle possibili trasformazioni visive. Infine, comparando i descrittori ricavati da immagini diverse è possibile individuare coppie di punti corrispondenti. In fase realizzativa, è stata usata l’implementazione messa a disposizione dalla libreria JOpenSurf, per individuare il numero di punti corrispondenti tra due diversi campioni.



Il confronto è avvenuto utilizzando una strategia di wholistic matching: ogni firma di test è stata cioè confrontata con ciascuna firma di riferimento, considerata nel suo insieme, per valutarne il grado di similarità. Questo è stato rappresentato mediante uno score: per le feature vettoriali si è utilizzata la similarità del coseno che permette di generare uno score numerico da due vettori di uguale lunghezza; negli approcci pixel level e SURF lo score è stato definito attraverso il conteggio dei punti corrispondenti.

Naturalmente, per valutare l’autenticità di un campione è necessario definire un valore soglia che rappresenti il grado di similarità richiesto per un esito positivo del test. Questo è stato calcolato misurando la variabilità intra-classe, ovvero la dissimilarità dei campioni appartenenti ad uno stesso individuo. Più precisamente, si è confrontata una specifica firma di riferimento con ogni altra: lo score medio ottenuto è stato utilizzato come soglia associata al campione. Tale strategia, attribuendo una soglia differente a ciascuna firma di riferimento, evita che un singolo campione anomalo mini l’integrità del sistema.

In un primo momento, ciascuna feature è stata esaminata indipendentemente dalle altre, confrontando il campione da testare con ciascun campione autentico. Se il test ha esito positivo nella metà dei casi o più, il campione testato viene giudicato autentico per la feature in questione. In caso contrario viene etichettato come contraffatto.

Al termine, viene formulata una decisione definitiva che prenda in esame la totalità delle feature: il campione viene definito autentico se e solo se giudicato tale per la maggioranza delle caratteristiche esaminate.

Per valutarne le performance, il sistema è stato testato esaminando le firme di 8 diversi utenti, di età compresa tra i 18 e i 54 anni. Per ciascun utente sono state acquisite, oltre alle 5 firme di riferimento, 6 firme di test, 3 delle quali autentiche e 3 contraffatte, per un totale di 48 firme testate.

Benché si dimostri problematico tradurre in una procedura algoritmica i diversi aspetti presi in esame da un esperto forense, il sistema presenta una significativa capacità di discernere firme autentiche e non, raggiungendo un'accuratezza complessiva del 96% sui test eseguiti. Il False Rejection Rate, ossia il tasso d'errore con cui un campione autentico viene rifiutato dal sistema, è pari al 4%. Valore analogo si è ottenuto per il False Acceptance Rate, cioè il tasso d'errore con cui un campione contraffatto viene accettato dal sistema. Si tratta naturalmente di risultati parziali in virtù del numero limitato di utenti testati e delle diverse capacità degli "impostori" nel simulare le firme di riferimento.

<i>Classified as -></i>	Genuine	Forgery
Genuine	23	1
Forgery	1	23

I risultati consentono di mostrare come le performance delle diverse feature, prese singolarmente, risultino nettamente peggiori rispetto alla loro combinazione. Una verifica basata su singoli criteri presenterebbe un FRR medio del 24% e un FAR medio del 13%, ribadendo l'importanza di esaminare caratteristiche differenti in un task di signature verification.

Criterion	FRR	FAR
Black-White Ratio	25%	21%
Upper Contour	29%	4%
Lower Controur	17%	17%
Overlap Matching Points	25%	4%
Surf Matching Points	25%	17%