



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Informatica

**ELABORAZIONE DELL'IMMAGINE DEL PALMO
DELLA MANO PER IL RICONOSCIMENTO D'IDENTITÀ**

Laureando

Cristina Roman

Relatore

Prof. Carlo Ferrari

ANNO ACCADEMICO 2010/2011

Alla mia famiglia

Ad Anna, Priscilla e Silvia

Indice

Introduzione	1
Biometria e Sistemi Biometrici	3
1.1 Sistemi Biometrici	4
1.2 Tipi di Riconoscimento	6
1.3 Architettura del Sistema Biometrico	8
1.4 Grandezze Biometriche	9
1.5 Influenze sulle Caratteristiche Biometriche	13
1.6 Vantaggi e Svantaggi.....	15
1.7 Valutazione delle Prestazioni	16
Stato dell'arte sul riconoscimento del palmo della mano	21
2.1 Architettura di un Sistema basato sull'impronta del palmo	25
2.2 Acquisizione	25
2.3 Preprocessing.....	29
2.4 Estrazione delle caratteristiche	33
2.5 Matching.....	34
2.6 Palmprint Authentication 3D.....	36
Descrizione del sistema realizzato	39
3.1 Estrazione delle Features: Filtri di Gabor.....	41
3.2 Creazione del Database	48
3.3 Fase di matching.....	49
Analisi delle Prestazioni.....	53
4.1 Database: dimensione e tempo di creazione.....	53
4.2 Tempi di calcolo alla fase di confronto	56
4.3 Valutazione delle prestazioni: EER.....	58
4.4 Analisi dei risultati finali	74
Conclusioni	77
Bibliografia	81

Elenco delle figure

Fig. 1.1: Schema sistema di identificazione.....	7
Fig. 1.2: Schema sistema di verifica	7
Fig. 1.3: Fasi sistema biometrico	9
Fig. 1.4: Suddivisione del mercato biometrico.	10
Fig. 1.5: Proprietà dei sistemi biometrici	13
Fig. 1.6: Grafico delle influenze sulle grandezze biometriche	15
Fig. 1.7: Grafico FAR e FRR	18
Fig. 1.8: Curva ROC	19
Fig. 2.1: Caratteristiche distintive del palmo della mano.....	24
Fig. 2.2: Primo dispositivo di acquisizione realizzato all'università di Hong Kong	26
Fig. 2.3: Foto dispositivo di acquisizione dell'università di Hong Kong	26
Fig. 2.4: Schema del dispositivo di acquisizione e esempio di immagine acquisita.....	27
Fig. 2.5: Esempi di palmi contenuti nel database dell'IIT, Dehli	28
Fig. 2.6: Binarizzazione dell'immagine	31
Fig. 2.7: Estrazione del contorno	31
Fig. 2.8: Estrazione della ROI.....	32
Fig. 2.9: Risultato del preprocessing.....	32
Fig. 2.10: Schema del sistema di acquisizione dell'immagine 3D	36
Fig. 2.11: Schema sistema di autenticazione impronte 2D + 3D	37
Fig. 3.1: Suddivisione dell'immagine	40
Fig. 3.2: Operazioni svolte dal sistema biometrico.....	41
Fig. 3.3: Filtro di Gabor: parte reale e immaginaria 2D e 3D	42
Fig. 3.4: Risultato dopo il filtraggio alle 4 orientazioni sulle 3 scale sull'immagine 50x50 px	46
Fig. 3.5: Risultato dopo il filtraggio alle 4 orientazioni sulle 3 scale sull'immagine 150x150 px	47
Fig. 4.1: Grafico FAR, FRR e EER	59
Fig. 4.2: Pattern 1	60
Fig. 4.3: Pattern 2	60
Fig. 4.4: Pattern 3	60
Fig. 4.5: Pattern 4.....	61
Fig. 4.6: Pattern 5.....	61
Fig. 4.7 (a): Immagine intera.....	75
Fig. 4.7 (b): pattern 2 suddiviso in aree 50x100	75
Fig. 4.7 (c): pattern 2 suddiviso in aree 75x50.....	75
Fig. 4.7 (d): pattern 2 intero	75

Elenco delle Tabelle

Tab.1.1: Proprietà principali sistemi biometrici	12
Tab.1.2: Influenze sulle grandezze biometriche	14
Tab. 3 1: Parametri dei filtri di Gabor utilizzati.....	45
Tab. 4.1: Dimensione database templates	54
Tab. 4 2: Dimensione singolo template.....	54
Tab. 4.3: Tempo di creazione database	55
Tab. 4 4: Tempi di creazione template a un'orientazione.....	56
Tab. 4.5: Tempi di creazione template a quattro orientazioni	57
Tab. 4 6: Tempi di matching	57
Tab. 4.7: EER alla scala L1 con gestione della traslazione su due pixel	62
Tab. 4 8: Percentuali variazione immagine intera/altri sistemi su L1 a traslazione due pixel.....	62
Tab. 4.9: EER alla scala L2 con gestione della traslazione su due pixel	64
Tab. 4 10: Percentuali variazione immagine intera/altri sistemi su L2 a traslazione due pixel	65
Tab. 4 11: EER alla scala L3 con gestione della traslazione su due pixel	67
Tab. 4.12: Percentuali variazione immagine intera/altri sistemi su L1 a traslazione due pixel	67
Tab. 4 13: EER sistemi migliori alla traslazione di due pixel.....	68
Tab. 4.14: EER alla scala L1 con gestione della traslazione su sei pixel	69
Tab. 4 15: Percentuali variazione immagine intera/altri sistemi su L1 a traslazione sei pixel	69
Tab. 4 16: EER alla scala L2 con gestione della traslazione su sei pixel	71
Tab. 4.17: Percentuali variazione immagine intera/altri sistemi su L2 a traslazione sei pixel	71
Tab. 4 18: EER alla scala L3 con gestione della traslazione su sei pixel	73
Tab. 4.19: Percentuali variazione immagine intera/altri sistemi su L3 a traslazione sei pixel	74
Tab. 4 20: EER nelle diverse suddivisioni del pattern 2	76

Introduzione

Lo sviluppo tecnologico e la conseguente facilità di reperimento delle informazioni hanno portato alla necessità di realizzare dei nuovi sistemi per la tutela delle informazioni da utenti non autorizzati. L'esigenza di sicurezza ha portato quindi alla ricerca di elementi distintivi che siano difficilmente duplicati o smarriti, che consentano il riconoscimento dell'individuo.

Per questo motivo gli studi si sono concentrati sulle caratteristiche biometriche della persona, come parti del corpo o comportamenti, che possano essere utilizzati al fine del riconoscimento.

Un sistema biometrico può svolgere un'azione di verifica, cioè determinare se l'individuo è esattamente chi afferma di essere, o un'azione di identificazione, quindi determinare l'identità della persona mediante un confronto con dei dati precedentemente acquisiti. Questo sistema permette di confermare se un individuo è registrato in un database ed è quindi autorizzato ad accedere a determinate informazioni o semplicemente se è chi dichiara di essere.

Gli utilizzi più comuni di un sistema biometrico sono soprattutto:

- il controllo degli accessi a luoghi fisici quali edifici o laboratori oppure a informazioni riservate;
- determinare se una persona è inserita o meno all'interno di un database.

Tra le caratteristiche biometriche più utilizzate vi sono l'impronta digitale e il riconoscimento facciale, entrambi impiegati ampiamente sia in campo civile che governativo, l'iride, la voce, la mano (geometria e impronta), il modo di camminare o lo stile di battitura.

In questo lavoro di tesi è stato preso in considerazione il palmo della mano, eseguendo ricerche sullo stato dell'arte in campo biometrico di questa caratteristica, al fine di sviluppare un nuovo sistema per elaborare l'immagine per l'autenticazione o l'identificazione dell'individuo. Dal punto di vista del riconoscimento, lo studio dell'impronta del palmo è relativamente nuovo, se confrontato con l'impronta digitale o facciale, non per questo meno provvisto di requisiti distintivi importanti.

Il palmo della mano, infatti, è ricco di *features* interessanti quali linee principali, pieghe e tessiture che possono essere utilizzate per contraddistinguere un soggetto rispetto al resto della popolazione.

Nel primo capitolo viene presentata una panoramica sui sistemi biometrici in generale e sulle grandezze utilizzate, spiegandone proprietà e illustrandone vantaggi e svantaggi.

Nel secondo capitolo viene trattato nello specifico il riconoscimento basato sull'analisi del palmo della mano, descrivendo le varie fasi e soffermandosi sullo stato dell'arte e su eventuali sviluppi futuri.

Il capitolo seguente descrive il sistema realizzato, nelle varie fasi di sviluppo, dalla parte di creazione del database a quella di confronto, soffermandosi sulle varie scelte effettuate.

Nel capitolo quattro vengono inseriti ed analizzati i dati ottenuti confrontandoli con il sistema utilizzato in letteratura applicato al database utilizzato.

Infine vengono tratte le conclusioni del lavoro effettuato e le considerazioni su eventuali modifiche da apportare.

Capitolo 1

Biometria e Sistemi Biometrici

“ISO/IEC: Biometrics is the automated recognition of individuals based on their behavioral and biological characteristics”

"Biometria" è un termine generale usato per indicare il processo di identificazione o verifica dell'identità attraverso la misura di elementi distintivi biologici o del comportamento. Può descrivere sia una caratteristica sia un processo:

- come caratteristica descrive un comportamento o una particolarità biologica (anatomica o psicologica) che può essere utilizzata per un riconoscimento automatizzato;
- come processo invece indica i metodi automatizzati per il riconoscimento di persone basati su una o più caratteristiche fisiologiche o comportamentali degli individui.

Le tecnologie biometriche sono diventate il fondamento di un ampio insieme di strutture di verifica personale e di identificazione ad alta sicurezza perché permettono in modo sicuro di controllare l'accesso a informazioni riservate in ambito governativo, per transazioni online, ecc.

Le tecniche più utilizzate, che prendono in considerazione caratteristiche fisiologiche della persona, includono l'impronta digitale o del palmo della mano, la geometria della mano o delle dita, i tratti del viso, l'iride o la retina, mentre quelle che si riferiscono a comportamenti utilizzano lo stile di battitura dei tasti della tastiera, il modo di camminare di una persona oppure l'analisi vocale.

Usare la biometria per il riconoscimento di un individuo offre dei vantaggi rilevanti: una password può essere dimenticata, un documento o un tesserino magnetico possono essere persi o rubati mentre una caratteristica biometrica non può essere facilmente duplicata e i sistemi di autenticazione sono solitamente facili da usare, accurati, affidabili e veloci.

1.1 Sistemi Biometrici

Un sistema biometrico è un dispositivo automatico che consente il riconoscimento di una persona in base alle proprie caratteristiche biologiche. Spesso in letteratura questi sistemi sono suddivisi in:

- sistemi che utilizzano caratteristiche statiche (fisiologiche): quindi sfruttano le peculiarità fisiche dell'individuo quali: impronta digitale, mano, occhio, orecchio, volto, DNA;
- sistemi che utilizzano caratteristiche dinamiche (comportamentali) quali andatura, voce, stile di battitura;
- sistemi basati su caratteristiche chimico-fisiche quali odore e la presenza di virus o anticorpi.

Solitamente i sistemi che utilizzano grandezze statiche sono poco influenzati dallo scorrere del tempo, diversamente, quelli che utilizzano caratteristiche dinamiche, possono subire dei condizionamenti dall'individuo e quindi richiedono continui aggiornamenti.

Non vi è una tecnica di riconoscimento migliore delle altre, perché vi sono vari fattori che devono essere presi in considerazione come i rischi, i costi per implementazione e sviluppo, il luogo in cui questi strumenti devono essere utilizzati, il numero di utenti, la facilità di utilizzo.

Naturalmente anche i sistemi biometrici hanno dei punti deboli da tenere in considerazione, tra i principali vi sono:

1. la presentazione di una falsa caratteristica biometrica al sensore di acquisizione;
2. la ritrasmissione di un segnale biometrico immagazzinato in precedenza;
3. la sovrapposizione del processo di *feature extraction*: vengono riprodotti insieme di caratteristiche precedentemente selezionati dall'intruso;
4. la manomissione nella rappresentazione dei templates: le caratteristiche estratte dal segnale di input sono rimpiazzate con un diverso insieme;
5. la contraffazione del processo di confronto (*matching*) producendo dei punteggi preselezionati;
6. la manomissione dei *templates* immagazzinati;
7. attacco del canale tra i modelli immagazzinati nella base di dati e il confronto: quindi intercettazioni e modifiche dei dati trasmessi all'interno del canale;
8. la modifica della decisione finale: il valore del matching viene sovrascritto dall'intruso.

Tutti questi problemi possono avvenire in tutte le fasi del sistema di riconoscimento e possono attaccare il database. Molti di questi problemi sono dovuti alla sicurezza e possono essere risolti mediante comunicazioni cifrate oppure tenendo *matcher* e database in un posto sicuro.

I sistemi biometrici possono essere classificati, infine, in base alla loro modalità di lavoro:

- manifesto o nascosto (*overt/covert*): se l'utente è a conoscenza o meno dell'acquisizione dei dati, naturalmente si dovranno tener conto delle limitazioni date dalla privacy;
- *habituated/non-habituated*: dipende dalla frequenza con cui il sistema viene utilizzato, alta nel primo caso, bassa nel secondo;

- con o senza assistenza (attended/ non - attended): se l'utente viene aiutato durante le fasi del riconoscimento;
- condizioni standard o non-standard: se le condizioni del riconoscimento sono controllate, soggette a regole, come avviene nel primo caso, oppure no, come nel secondo;
- pubblico o privato: se gli utenti lavorano o meno per l'organizzazione che possiede il sistema;
- open/closed: dipende dalla proprietà dei dati utilizzati; nel primo caso è possibile lo scambio delle informazioni, nel secondo caso vengono usati dati di proprietà.

1.2 Tipi di Riconoscimento

I sistemi di riconoscimento dell'identità sono suddivisi in due categorie, in base all'operazione che svolgono:

- sistemi di identificazione: stabiliscono se il soggetto appartiene a una serie di individui noti, quindi vi è un confronto uno a molti.
- sistemi di autenticazione/verifica: che stabiliscono se un individuo è chi afferma di essere, quindi il confronto sarà uno a uno.

Entrambi utilizzano dei dati precedentemente registrati sui quali eseguono una o più operazioni di confronto. Parte molto importante di un sistema di riconoscimento è, infatti, l'*enrollment*, o registrazione dei dati all'interno del database.

Sistema di identificazione

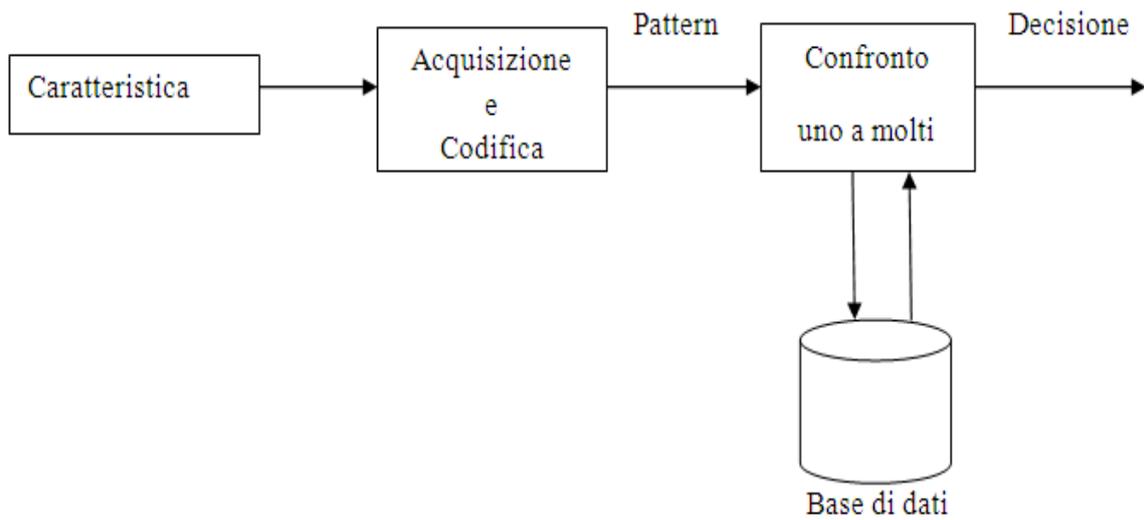


Fig. 1.1: Schema sistema di identificazione

Sistema di verifica

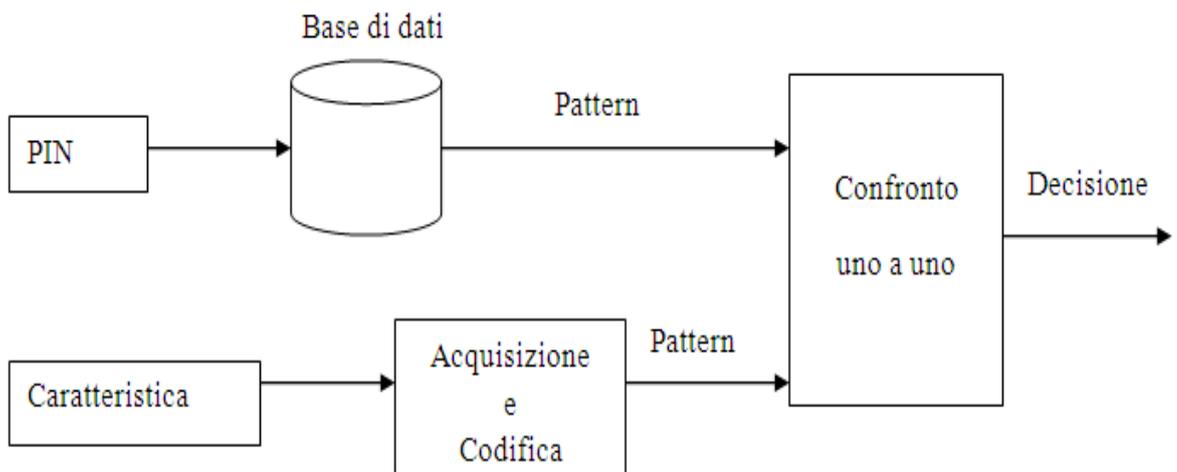


Fig. 1.2: Schema sistema di verifica

1.3 Architettura del Sistema Biometrico

Un sistema biometrico è costituito essenzialmente da:

- un dispositivo di input;
- un software, che si occupa di elaborare l'immagine o il segnale d'ingresso, estrarne le caratteristiche ed eseguire il confronto;
- un database contenente i modelli, chiamati più comunemente *templates*, dei dati su cui eseguire il confronto.

Ogni sistema di riconoscimento è suddiviso in quattro fasi principali:

- acquisizione dati: la digitalizzazione della caratteristica biometrica. I dati vengono ottenuti da un dispositivo di input come un sensore, uno scanner, una webcam oppure una fotocamera digitale;
- preprocessing: durante questa fase il dato di input (immagine o segnale) deve essere modificato al fine di poterne estrarre facilmente le caratteristiche distintive. Verranno qui eseguite tutte le operazioni per rendere i dati utili all'estrazione;
- estrazione delle caratteristiche: vengono estratti gli elementi distintivi, precedentemente scelti al fine del riconoscimento e creato un template che verrà memorizzato nel database.
- matching: viene eseguito il confronto tra il modello dato da una nuova acquisizione e i templates inseriti in precedenza nel database.

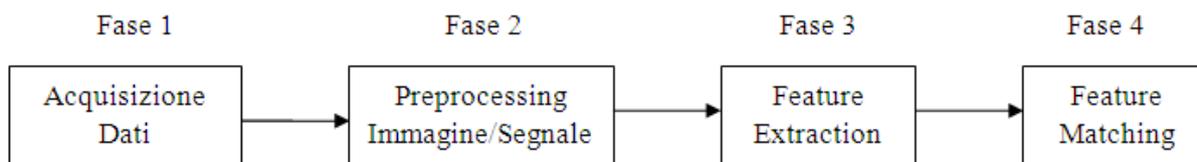


Fig. 1.3: Fasi sistema biometrico

1.4 Grandezze Biometriche

Vi sono vari sistemi in commercio e in fase di ricerca che utilizzano le più svariate grandezze biometriche, le più diffuse sono le seguenti:

- impronta digitale: vengono estratti le creste, i solchi e le minuzie (punti che identificano le biforcazioni o le terminazioni delle linee) presenti nell'epidermide delle dita;
- volto: viene misurata la distanza tra caratteristiche facciali, come occhi, naso, bocca;
- iride o retina: vengono estratti pattern dell'iride o della venatura della retina. Entrambi molto affidabili anche se l'acquisizione del dato potrebbe risultare invasiva per il soggetto che si presta all'analisi;
- mano: le caratteristiche utilizzate in questo caso sono la geometria, l'impronta del palmo e la venatura della mano;
- voce: viene studiato il tono o il timbro della voce;
- firma: vengono esaminati la pressione esercitata, la velocità di scrittura o l'angolo di inclinazione della penna;
- stile di battitura: viene analizzato il ritmo di pressione sui tasti;
- orecchio: ne viene misurata la dimensione;
- DNA: viene estratto il codice DNA dell'individuo;

- odore: ne viene studiata la composizione chimica.

Si stanno, inoltre, diffondendo i sistemi multimodali, cioè caratterizzati da un utilizzo contemporaneo di due o più *features* biometriche.

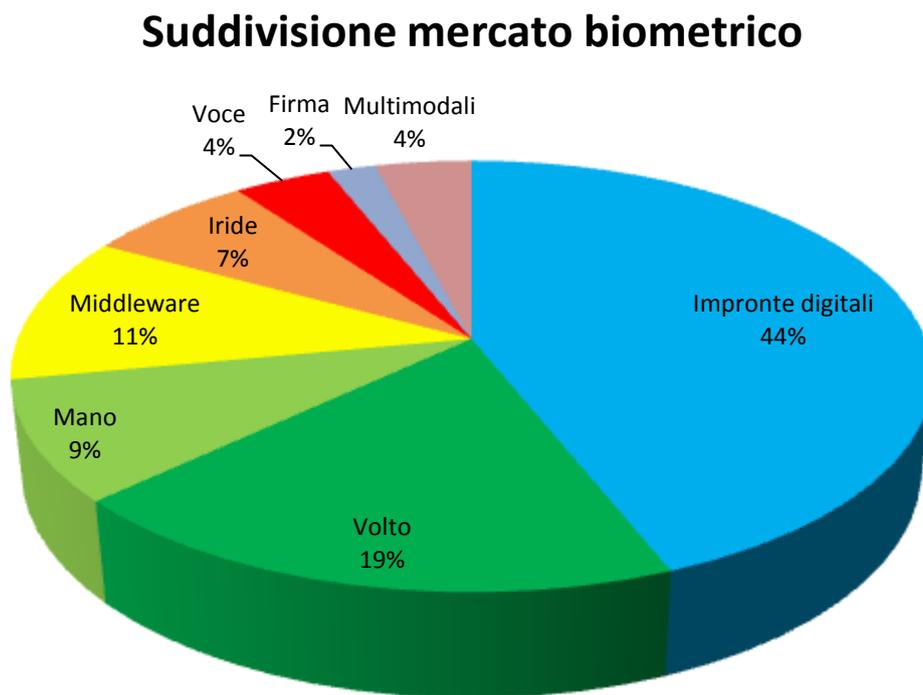


Fig. 1.4: Suddivisione del mercato biometrico. (realizzato da International Biometric Group) Con *middleware* s'intendono le architetture software/hardware alle tecnologie biometriche.

Le caratteristiche scelte per un sistema biometrico devono soddisfare le seguenti proprietà fondamentali:

- universalità: deve essere posseduta da tutti;
- unicità: deve essere diversa per ogni individuo (in generale non esistono due persone con le stesse caratteristiche);

- permanenza: deve essere il più possibile invariante nel tempo (questa proprietà deve essere adeguatamente gestita in sistemi che utilizzano grandezze dinamiche);
- collezionabilità: deve poter essere collezionabile e misurabile facilmente;
- prestazioni: deve permettere accuratezza, velocità e non essere di vaste dimensioni;
- accettabilità: deve poter essere collezionata facilmente senza che il processo sia troppo intrusivo per l'utente. Indica il grado di gradimento nell'utilizzo del sistema;
- robustezza: la tecnologia deve essere difficilmente ingannabile e la grandezza difficilmente riproducibile.

La scelta della caratteristica biometrica da utilizzare per il sistema che si vuole progettare/utilizzare, deve tener conto del grado con cui queste proprietà devono essere soddisfatte.

Non esiste, infatti, una grandezza nettamente migliore delle altre su tutte le proprietà citate in precedenza, ma si deve fare un compromesso tra i vari fattori, ad esempio se si vuole un sistema ad alte prestazioni si può scegliere l'iride, a scapito però dell'accettabilità (gradimento) da parte dell'utente che utilizzerà il sistema. Oppure se si vuole accentuare l'unicità, si può utilizzare il DNA, a scapito però di una difficoltà nel collezionare i campioni: è, infatti, molto laborioso raccogliere e determinare il DNA di tutti gli individui.

Nella tabella seguente (Tab. 1.1) si possono vedere i vari sistemi biometrici a confronto in base alle sette proprietà.

Sistema Biometrico	Universalità	Unicità	Permanenza	Collezionabilità	Prestazioni	Accettabilità	Robustezza
DNA	Alto	Alto	Alto	Basso	Alto	Basso	Basso
Orecchio	Medio	Medio	Alto	Medio	Medio	Alto	Medio
Volto	Alto	Basso	Medio	Alto	Basso	Alto	Alto
Termogramma facciale	Alto	Alto	Basso	Alto	Medio	Alto	Basso
Impronta digitale	Medio	Alto	Alto	Medio	Alto	Medio	Medio
Andatura	Medio	Basso	Basso	Alto	Basso	Alto	Medio
Geometria mano	Medio	Medio	Medio	Alto	Medio	Medio	Medio
Venatura mano	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Basso
Iride	Alto	Alto	Alto	Medio	Alto	Basso	Basso
Stile di battitura	Basso	Basso	Basso	Medio	Basso	Medio	Medio
Odore	Alto	Alto	Alto	Basso	Basso	Medio	Basso
Impronta del palmo	Medio	Alto	Alto	Medio	Alto	Medio	Medio
Retina	Alto	Alto	Medio	Basso	Alto	Basso	Basso
Firma	Basso	Basso	Basso	Alto	Basso	Alto	Alto
Voce	Medio	Basso	Basso	Medio	Basso	Alto	Alto

Tab. 1.1: Proprietà principali sistemi biometrici

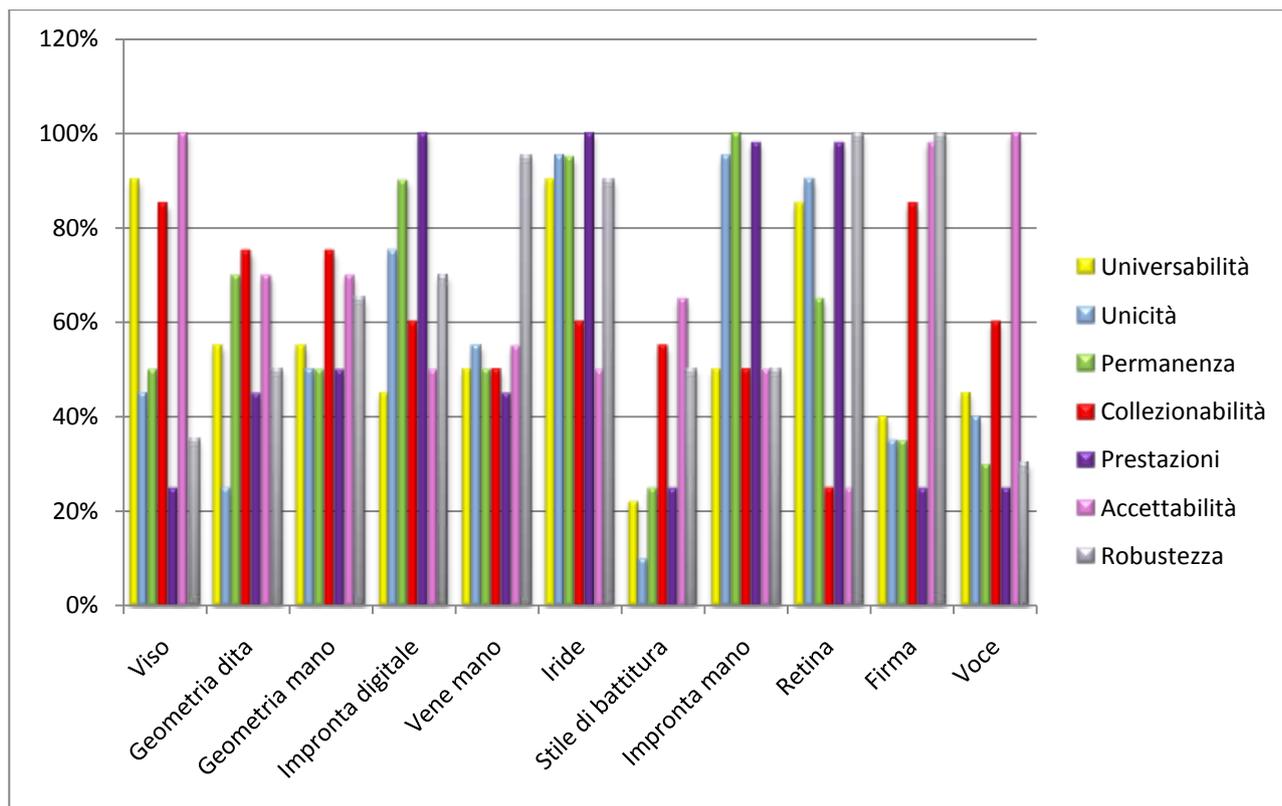


Fig. 1.5: Proprietà dei sistemi biometrici

1.5 Influenze sulle Caratteristiche Biometriche

Le grandezze biometriche non sono totalmente indipendenti da fattori esterni, infatti, possono essere influenzate da:

- genetica (genotypic): tratti che sono definiti nel patrimonio genetico e che non cambiano nel tempo, può dare problemi di false accettazioni in persone che condividono tratti molto simili (come gemelli omozigoti nel riconoscimento del volto);
- casualità (randotypic): variazioni indipendenti dalla genetica, che avvengono, di solito, nelle prime fasi dello sviluppo embrionale;
- comportamento: sono quei tratti che un soggetto sviluppa attraverso allenamento o operazioni ripetitive (caratteristiche più facili da imitare come la camminata o lo stile di battitura).

Sistema Biometrico	Genotypic	Randotypic	Behavioral
DNA	Medio	Medio	Basso
Orecchio	Medio	Medio	Basso
Volto	Medio	Medio	Medio
Termogramma facciale	Basso	Medio	Medio
Impronta digitale	Basso	Medio/Alto	Basso
Andatura	Medio	Basso	Alto
Geometria mano	Basso	Medio/Alto	Basso
Venatura mano	Medio	Medio	Basso
Iride	Basso	Alto	Basso
Stile di battitura	Basso	Basso	Alto
Odore	Medio	Basso	Medio
Impronta del palmo	Basso	Medio/Alto	Basso
Retina	Basso	Alto	Basso
Firma	Basso	Basso	Alto
Voce	Medio	Medio	Medio

Tab. 1.2: Influenze sulle grandezze biometriche

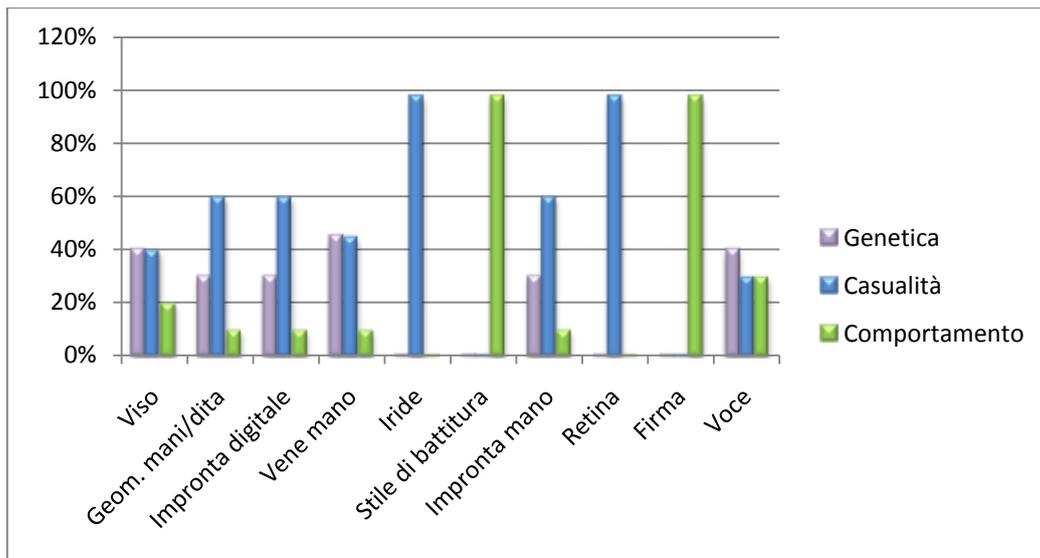


Fig. 1.6: Grafico delle influenze sulle grandezze biometriche

1.6 Vantaggi e Svantaggi

Come accennato in precedenza, l'utilizzo della biometria può portare dei vantaggi nell'autenticazione quali:

- l'assenza smarrimenti, alterazioni o dimenticanze come nel caso di badge o di password (questo avviene spesso nelle password di dimensioni elevate utilizzate per una maggiore sicurezza);
- la difficoltà di duplicazione: un dato biometrico è difficilmente copiabile o rubabile;
- la garanzia della presenza fisica dell'individuo: la caratteristica biometrica non può essere prestata;
- l'identificazione biometrica può fornire informazioni molto accurate, se utilizzata nel giusto modo;
- i metodi automatici di identificazione possono essere utilizzati molto velocemente e con il minimo addestramento;

Vi sono però degli svantaggi da tenere in considerazione se si vuole utilizzare questo tipo di sistemi:

- le impronte di persone che lavorano in industrie chimiche possono essere state alterate e quindi non è possibile utilizzare alcuni sistemi di autenticazione come quelli basati su impronta digitale;
- la voce di una persona si modifica con l'età o a seguito di una malattia, inoltre se ci si trova in un ambiente ricco di rumore esterno un sistema per il riconoscimento vocale potrebbe non lavorare correttamente;
- in persone malate di diabete gli occhi si modificano portando delle differenze;
- i sistemi biometrici sono molte volte troppo costosi;
- la tutela della privacy. La legge 675/96 porta una serie di problemi nello sviluppo di sistemi di riconoscimento. La diffusione di sistemi di controllo su dati biometrici solleva il problema di una discriminazione "genetica". Un altro problema può essere dovuto al fatto che alcune caratteristiche non sono distintive unicamente per un soggetto, ma anche per la famiglia (ad esempio il DNA porta dei dati simili per famigliari), invadendo la privacy anche di altre persone.
- l'utilizzo di grandi banche dati potrebbe comportare a dover aumentare ulteriormente la sicurezza per non rischiare il furto di identità, molto più grave del furto di una password o di un badge.

1.7 Valutazione delle Prestazioni

La valutazione delle prestazioni di un sistema biometrico avviene essenzialmente attraverso la misura della velocità e dell'accuratezza dello stesso.

Con velocità s'intende il tempo che impiega il sistema a fornire una risposta quindi, i tempi di acquisizione, creazione del template (che comprende il preprocessing e l'estrazione delle

features) e di matching. Un sistema di riconoscimento deve poter restituire una risposta in un tempo adeguato.

In termini di accuratezza i fenomeni che possono avvenire in un sistema di riconoscimento sono:

- presenza di false accettazioni (falsi positivi): dare l'autorizzazione ad aree riservate a chi non ne ha diritto. È un problema di sicurezza;
- presenza di falsi rifiuti (falsi negativi): non dare l'autorizzazione a chi ne ha il diritto. In questo caso l'utente può riprovare ad accedere ripresentando la caratteristica biometrica. Non è un problema di sicurezza.

La valutazione delle prestazioni nell'ambito dell'affidabilità viene eseguita attraverso una serie di parametri che si occupano di calcolare la percentuale in cui questi errori avvengono. Le misure sono le seguenti:

- FAR (False Acceptance Rate) alcune volte chiamato FMR (False Match Rate) e indica il numero di false accettazioni all'interno di un sistema. Più un sistema ha un numero di falsi positivi vicino allo zero ($FAR = 0$) e più il sistema risulta preciso e sicuro. Dato N , il numero di individui testati:

$$FAR = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N FAR(n)$$

dove, per ogni utente si calcola:

$$FAR(n) = \frac{\text{numero falsi positivi}}{\text{numero tentativi sistema}}$$

- FRR (False Rejection Rate): percentuale di verifica dei falsi rifiuti. Non rappresenta un problema di sicurezza in quanto non si occupa di accessi non autorizzati. . Come nel caso precedente, dato N il numero di individui testati:

$$FRR = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N FRR(n)$$

dove, per l'n-esimo utente si ha:

$$FRR(n) = \frac{\text{numero falsi negativi}}{\text{numero tentativi sistema}}$$

- EER (Equal Error Rate): questo valore indica la percentuale in cui $FRR = FAR$. Più basso risulta questo valore e più il sistema risulta preciso. E' anche definito CER (Crossover Error Rate).

FAR e FRR sono correlati tra loro in quanto la crescita di uno comporta la diminuzione dell'altro.

Agendo sulla soglia di tolleranza del sistema si può diminuire la probabilità di falsi rifiuti, a scapito di una diminuzione della sicurezza, oppure diminuire le false accettazioni con conseguente aumento dei falsi negativi.

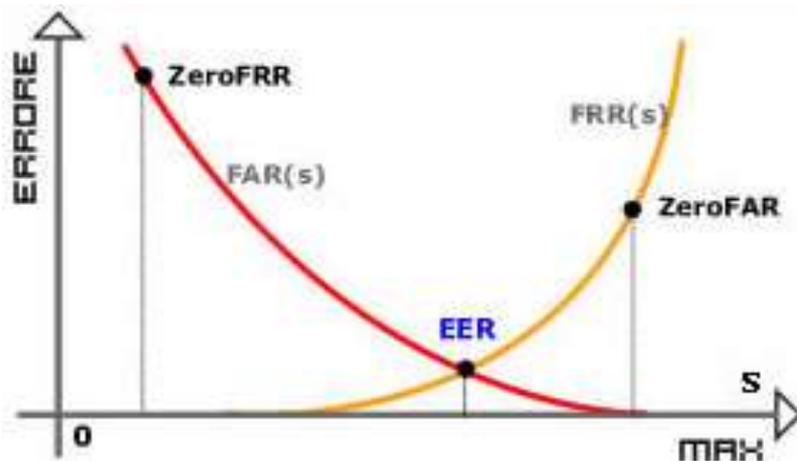


Fig. 1.7: Grafico FAR e FRR

Il punto t^* corrisponde all'EER. Per avere una maggiore garanzia di affidabilità, la tolleranza viene scelta solitamente inferiore a t^* .

ZeroFRR e ZeroFAR indicano rispettivamente i punti in cui FRR vale zero su FAR (t) e vice versa.

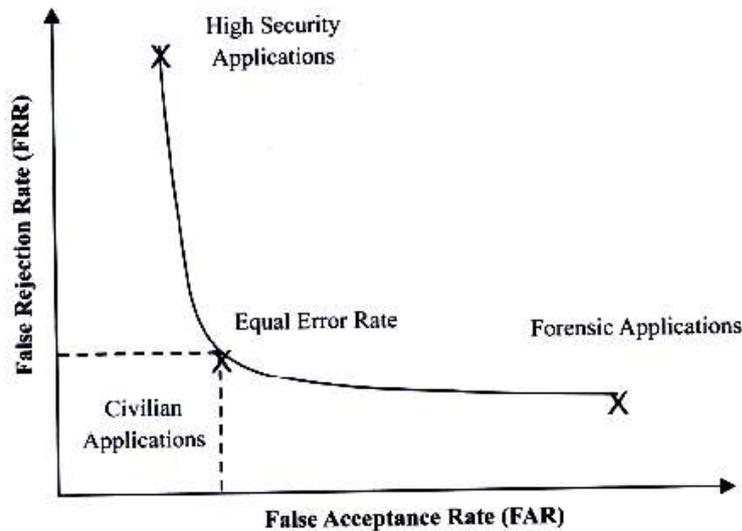


Fig. 1.8: Curva ROC

Un sistema biometrico può lavorare a diversi livelli di sicurezza (alto, medio, basso), indicati nel diagramma ROC (Receiver Operating Characteristics) in Fig. 1.8, una curva in cui vengono mostrati FAR (ascissa) e FRR (ordinata) al valore di soglia T .

Come si può vedere dal grafico, le applicazioni ad alta sicurezza richiedono un FAR molto basso (vicino allo zero), a scapito di qualche rifiuto di persone autorizzate.

In campo forense si cerca più facilmente il riconoscimento, trovandosi di fronte il più delle volte a impronte parziali.

Un altro fattore che può influire nelle prestazioni è la dimensione del sistema in termini di byte. Può risultare rilevante se il supporto al sistema ha una memoria ridotta.

Capitolo 2

Stato dell'arte sul riconoscimento del palmo della mano

La caratteristica biometrica scelta per questo lavoro di tesi è l'impronta del palmo della mano.

Questo tipo di riconoscimento è simile a quello più famoso dell'impronta digitale difatti, anche in questo caso, sono spesso analizzate le linee in rilievo, dette creste e valli, presenti nella parte di epidermide presa in considerazione combinandone il flusso, le caratteristiche e la struttura.

Questa grandezza biometrica, inoltre, possiede molte proprietà, unicità e permanenza nel tempo tra tutte, che ne hanno permesso l'utilizzo per più di un secolo come sicuro metodo di riconoscimento.

Il primo sistema nel quale è stata utilizzata l'impronta di una mano per scopi di autenticazione è stato realizzato nel 1858 da Sir William Hershel, che lavorava per Civil Service of India: egli registrò per ogni impiegato l'impronta della mano dietro il contratto di lavoro in modo da poterli distinguere il giorno della paga.

I primi risultati nel campo dell'autenticazione sono stati portati a termine nel 1994 sia da una compagnia ungherese sia da ricercatori statunitensi che, su suggerimento di questi ultimi, si incontrarono poi nel 1995 all'International Association for Identification Conference. E' stato

successivamente costruito un sistema di identificazione basato su impronta digitale e del palmo della mano dalla compagnia statunitense nel 1997.

Anche l'ente investigativo federale americano (FBI) ha richiesto un sistema integrato per questo tipo di riconoscimento poiché è stato dimostrato che oltre il 30% delle impronte lasciate sulla scena del crimine appartengono a palmi e non a impronte digitali.

Al momento il più grande database di *palmprint* disponibile appartiene all'Australia, con 5,9 milioni d'impronte.

Le caratteristiche che rendono il palmo della mano un'ottima grandezza biometrica ai fini del riconoscimento sono:

- la facilità di acquisizione, difatti è necessario solamente uno scanner o una macchina fotografica digitale;
- la bassa risoluzione dell'immagine. Non occorre, infatti, un'alta risoluzione, come ad esempio nel caso dell'iride, per estrarre le informazioni necessarie;
- l'accuratezza elevata e tempi di elaborazione ridotti;
- l'area superiore rispetto alle impronte digitali che permette di estrarre un maggior numero di caratteristiche distintive;
- l'elevata unicità e invarianza temporale, infatti, le informazioni non si modificano nel tempo ad eccezione della dimensione;
- la bassa intrusione durante la fase di acquisizione. Rispetto ai dispositivi basati sull'analisi dell'iride, altra caratteristica molto sfruttata nei sistemi di riconoscimento, la strumentazione è sicuramente meno dispendiosa e sicuramente meno intrusiva;
- la grande quantità di informazioni utilizzabili al fine del reperimento (come si può vedere in Fig. 2.1). Il palmo contiene delle caratteristiche stabili e distintive meno soggette all'invecchiamento come accade al viso, inoltre ne presenta un numero superiore rispetto all'impronta digitale. Tra le più importanti vi sono:

- le creste e le valli (*ridges*) presenti anche nell'impronta digitale;
- le pieghe della pelle (*wrinkles*) e le linee principali (le tre linee più marcate che percorrono il palmo della mano), che sono reperibili anche con una scansione a bassa risoluzione;
- i *datum points* cioè i punti d'intersezione tra le linee principali e il bordo della mano;
- le caratteristiche dei *delta points* cioè i punti centrali della regione delta della mano (la parte compresa tra le linee principali e le dita).
- la geometria del palmo e quindi la larghezza, lunghezza e area della zona interessata.

Data la grande quantità di caratteristiche estraibili dal palmo della mano si può costruire un sistema biometrico accurato combinando tra loro più caratteristiche.

Sono, inoltre, stati svolti in questi ultimi anni degli studi per verificare se l'età dell'individuo potesse influire sulle grandezze scelte per l'identificazione. Nel caso dell'impronta del palmo della mano è stato riscontrato che il riconoscimento di persone adulte (di età superiore ai diciannove anni) risulta migliore. Il problema principale è dato dal fatto che il sistema è sensibile all'uniformità dei bordi dell'impronta e per quanto riguarda immagini di piccola dimensione, queste devono essere modificate nella scala e ad una specifica risoluzione per essere confrontate, causando dei problemi, appunto, di *smoother edges*.

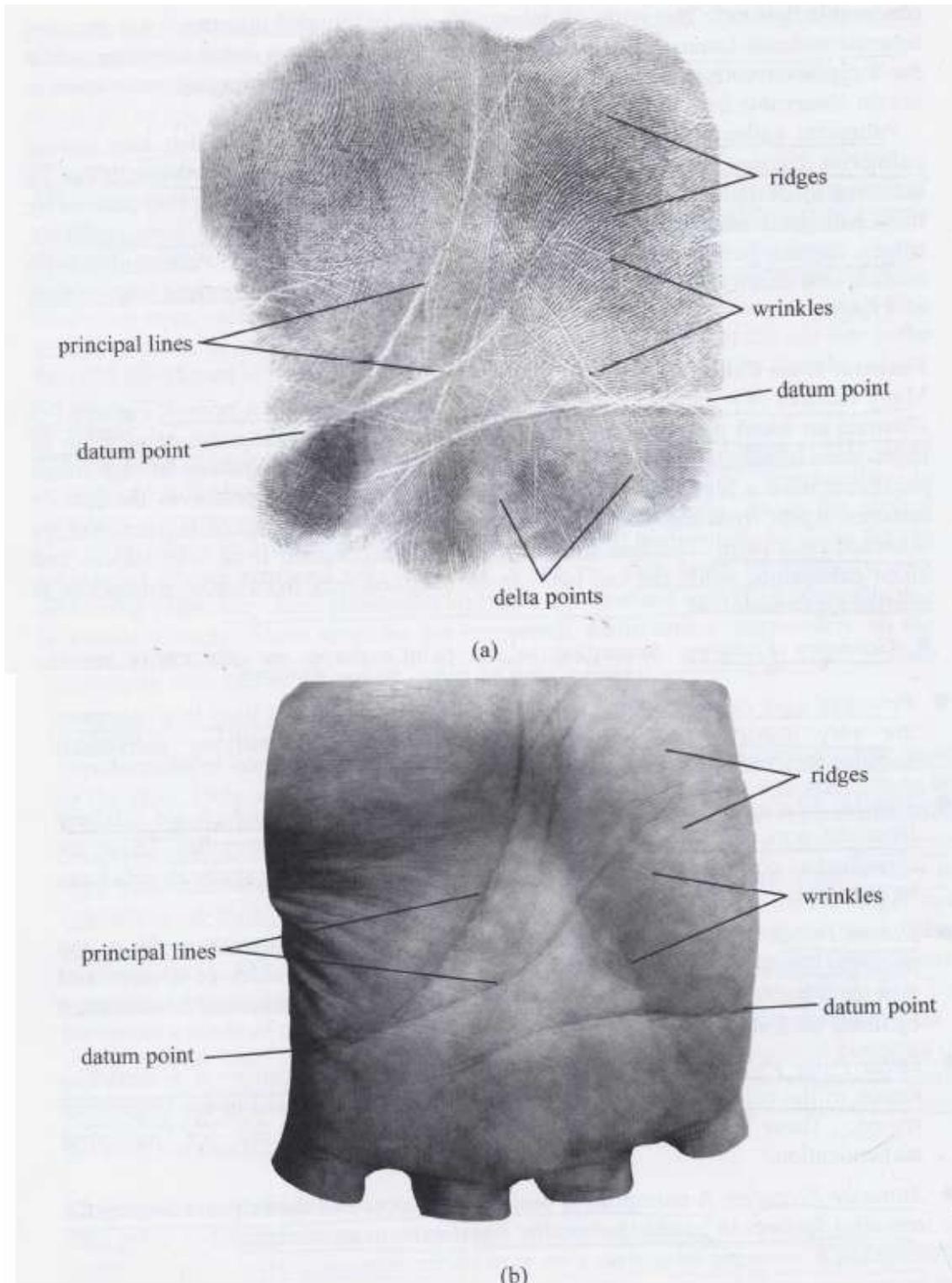


Fig. 2.1: Caratteristiche distintive del palmo della mano

2.1 Architettura di un Sistema basato sull'impronta del palmo

Come ogni altro sistema di riconoscimento biometrico, anche quello basato sull'analisi del palmo è suddiviso in quattro fasi principali:

- **acquisizione:** i dati sono ottenuti da un dispositivo di input. Nel caso in esame può essere utilizzato uno scanner (anche a bassa risoluzione), una webcam oppure una fotocamera digitale.
- **preprocessing:** durante questa fase l'immagine ottenuta deve essere modificata al fine di poterne estrarre facilmente le caratteristiche distintive. In questa fase verranno, quindi, eseguite le operazioni di segmentazione dell'immagine, filtraggio del rumore, normalizzazione su scala e un'eventuale gestione dei fenomeni di rotazione e traslazione mediante l'utilizzo di un sistema di coordinate;
- **estrazione delle caratteristiche:** in questa fase vengono estratte le caratteristiche distintive attraverso un metodo statistico, una trasformata oppure attraverso il filtraggio dell'immagine;
- **matching:** viene eseguito il confronto tra il modello ottenuto dall'elaborazione dell'immagine palmo della persona da identificare e i template del database.

2.2 Acquisizione

L'acquisizione è la fase iniziale del processo d'identificazione.

Vi sono due metodi di acquisizione:

- **offline:** l'impronta è inizialmente collezionata in un foglio mediante inchiostro, poi digitalizzata mediante una scannerizzazione e, infine, immagazzinata in un dispositivo di memorizzazione;
- **online:** viene direttamente utilizzato uno scanner o una fotocamera per ottenere l'immagine. Oggi è il metodo maggiormente utilizzato.

Uno dei primi dispositivi di acquisizione per il palmo fu realizzato all'Hong Kong Polytechnic University utilizzando una scatola di plastica, una sorgente di luce, uno specchio e una fotocamera CCD (Charge-Couple Device).

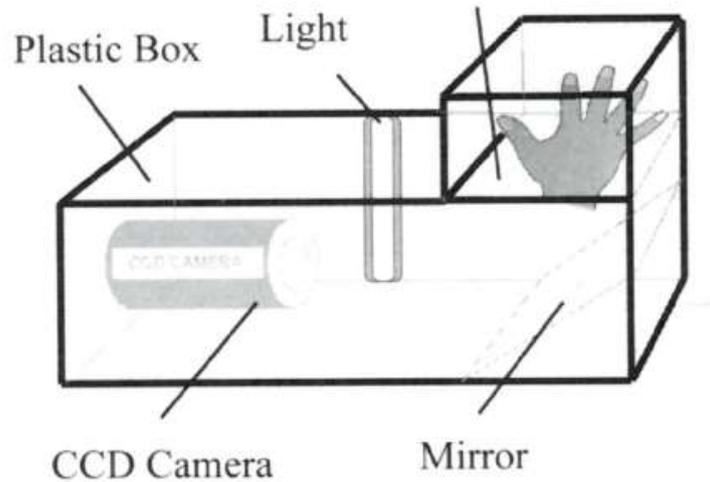


Fig. 2.2: Primo dispositivo di acquisizione realizzato all'università di Hong Kong

Questo sistema, però, causava un problema di ombre date dallo specchio.

La versione finale è quella in Fig.2.3-2.4, nella quale è stato appunto eliminato lo specchio, sono stati aggiunti dei pioli al fine di impedire fenomeni di rotazione o traslazione dell'immagine ed è stata modificata la fonte luminosa.



Fig. 2.3 Foto dispositivo di acquisizione dell'università di Hong Kong

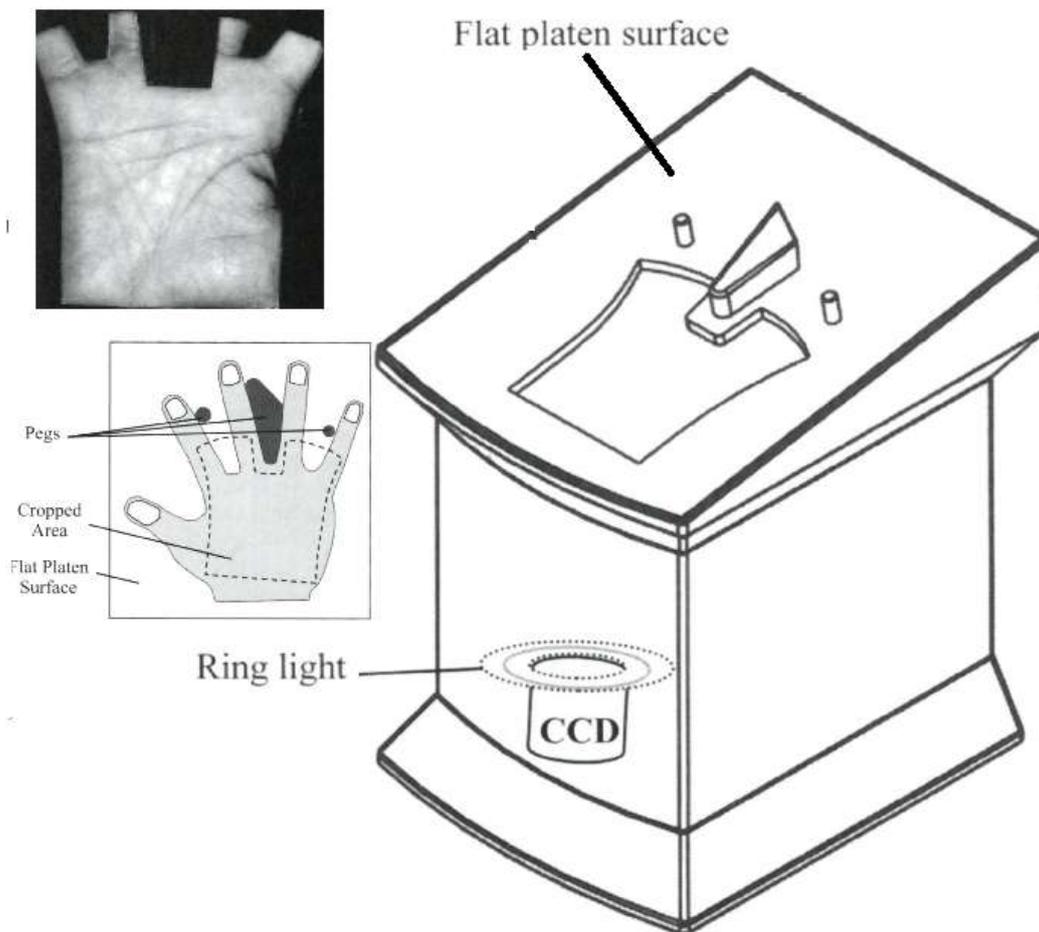


Fig. 2.4: Schema del dispositivo di acquisizione e esempio di immagine acquisita

Per la sperimentazione di questa tesi è stato utilizzato un database di proprietà dell'Indian Institute of Technology of Dehli, India, (IITD) disponibile online per scopi di ricerca (IIT Delhi Touchless Palmprint Database version 1.0).

Questo database è composto da immagini di impronte di palmi collezionate da studenti e staff dell'IITD ed è stato acquisito tra gennaio 2006 e luglio 2007 dal laboratorio di ricerca utilizzando una fotocamera digitale CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor). Le immagini acquisite sono state poi salvate in formato bitmap. Il database contiene immagini di palmi sinistri e destri di più di 230 soggetti di età tra i quattordici e i cinquantasei anni che hanno volontariamente contribuito a lasciare almeno cinque immagini per ognuna delle mani.

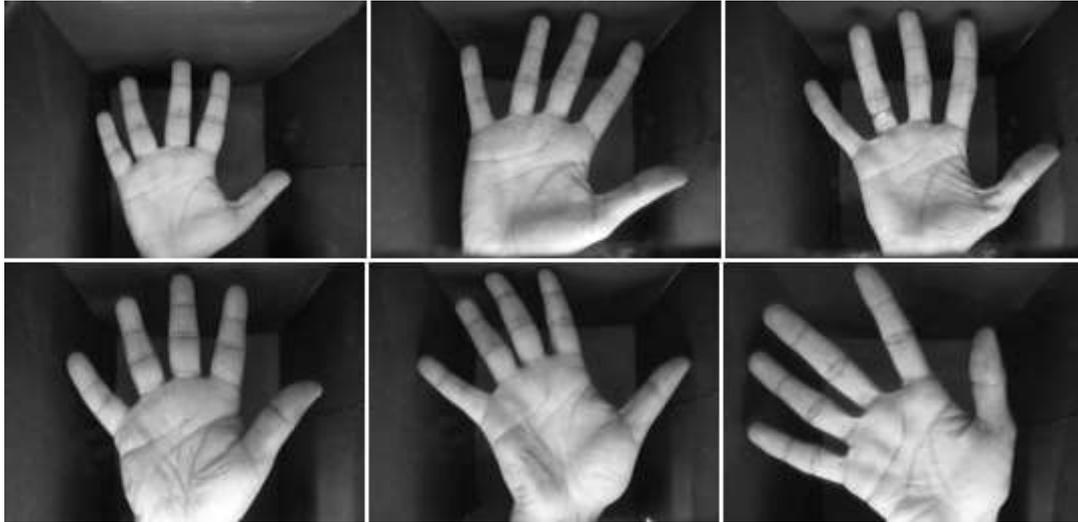


Fig. 2.5: Esempi di palmi contenuti nel database dell' IIT, Delhi

Si tratta d'immagini *touchless* (o *contactless*) quindi senza contatto tra la persona e il dispositivo di acquisizione. Vi è una richiesta sempre maggiore da parte dell'utente di sistemi di riconoscimento che siano il meno possibile invasivi e soprattutto igienici. Infatti, in aree pubbliche quali soprattutto le strutture ospedaliere, nelle quali l'igiene è di massima importanza, l'utilizzo di strumentazione in cui l'utente non debba entrare a contatto con superfici precedentemente toccate da altre persone è fondamentale. Questo problema si manifesta soprattutto in aree geografiche a maggior rischio di epidemie o comunque di malattie infettive.

Altre complicazioni risolvibili utilizzando un metodo di acquisizione senza contatto sono la contaminazione del sistema dovuto, ad esempio, a sporco oppure l'utilizzo illegale dell'impronta del palmo che può rimanere nella superficie. Infine, in nazioni molto conservatrici alcuni soggetti potrebbero non voler appoggiare la mano in un sensore utilizzato da tutti (persone di diversa condizione sociale, razza o sesso).

Le problematiche alle quali si va incontro utilizzando un sistema touchless sono comunque molteplici:

1. la distanza tra il sensore e la mano: può variare notevolmente poiché non vi è nessuna superficie di appoggio. Se la mano è troppo distante possono perdersi delle caratteristiche distintive, viceversa se la mano è troppo vicina possono non venir visualizzate delle parti dell'area che risultano importanti;

2. la posizione e la rotazione della mano: nel caso di strumenti “con contatto” spesso vi sono dei *peg* (pioli), posti soprattutto tra le dita, che permettono di acquisire immagini nella stessa posizione/rotazione. Questo non avviene in immagini touchless che devono essere rese rotazione e traslazione invarianti. Questo problema si cercherà di risolverlo soprattutto nella fase di preprocessing;
3. l'illuminazione: una cattiva illuminazione può compromettere la risoluzione dell'immagine, causando ad esempio problemi nella segmentazione (nell'estrazione della soglia per la binarizzazione) e quindi un conseguente problema nel riconoscimento. Come il problema precedente anche questo deve essere gestito nella fase di preprocessing;
4. la chiusura o l'apertura delle dita: se vengono tenute troppo serrate tra loro, possono crearsi nel palmo delle pieghe non permanenti che possono contribuire a un abbassamento delle prestazioni del sistema. Inoltre questo fattore sarà molto importante nella fase di preprocessing perché il sistema di coordinate viene costruito partendo dai punti critici che si trovano appunto tra le dita.

2.3 Preprocessing

Il preprocessing è la fase di elaborazione dell'immagine o del segnale allo scopo di migliorare il successivo lavoro di estrazione delle caratteristiche. E' qui che avvengono le operazioni di correzione delle distorsioni e l'impostazione di tutte le impronte sotto lo stesso sistema di coordinate, in modo da poterne estrarre la stessa identica porzione. Questo è molto importante, per evitare dei problemi molto comuni che possono falsare la misurazione, soprattutto nell'utilizzo d'immagini *contactless*:

- la rotazione dell'immagine a destra o sinistra;
- traslazione dell'immagine nelle varie direzioni;
- la scala dell'immagine.

Questi fattori devono essere assolutamente trattati in fase di preprocessing o al più nelle successive fasi del sistema, ad esempio mediante un'adeguata formula di matching.

Nel caso in esame l'area da analizzare e quindi da estrarre è la parte centrale del palmo, chiamata anche regione d'interesse (ROI - *region of interest*).

Il primo passo in questa fase è la segmentazione quindi ottenere il valore di soglia che permette di binarizzare l'immagine per estrarne i contorni.

Ottenuta la soglia T, saranno impostati a zero i pixel dell'immagine con intensità inferiore a T e a uno i rimanenti:

$$I_{new}[x, y] \begin{cases} 0 & \text{se } I[x, y] < T \\ 1 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

I problemi che si possono riscontrare sono appunto la scelta della soglia, uno sfondo a intensità variabile e l'incapacità di segmentare oggetti non uniformi.

Il passo successivo è lo *smoothing* (levigatura) attraverso un filtro gaussiano, al fine di diminuire il rumore e, conseguentemente, le imperfezioni. Il contorno della mano sarà reso il più possibile continuo per poi estrarre i bordi attraverso un opportuno algoritmo.

L'operazione di smoothing è la seguente:

$$I_{smoothing}[x, y] = I_{new}[x, y] * G[x, y]$$

con G filtro gaussiano della forma:

$$G[x, y] = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$



Fig. 2.6: Binarizzazione dell'immagine

A questo punto si applica un algoritmo di estrazione dei bordi dell'immagine:

Vi sono diversi algoritmi in letteratura utili a questo scopo. Tra i più famosi l'algoritmo di *edge detection* di Canny, ideato nel 1986 appunto da John F. Canny.



Fig. 2.7: Estrazione del contorno

L'operazione successiva è il calcolo dei punti critici, cioè dei punti che si trovano tra le dita e soprattutto i due tra indice e medio e tra anulare e mignolo. Si ottiene uno dei due assi cartesiani unendo tra loro questi due punti mentre, per identificare l'origine, si traccia la perpendicolare all'asse appena creato passante per il punto critico tra medio e anulare.

Una volta tracciato il sistema di coordinate si può decidere la grandezza dell'immagine della parte centrale che si vuole estrarre.

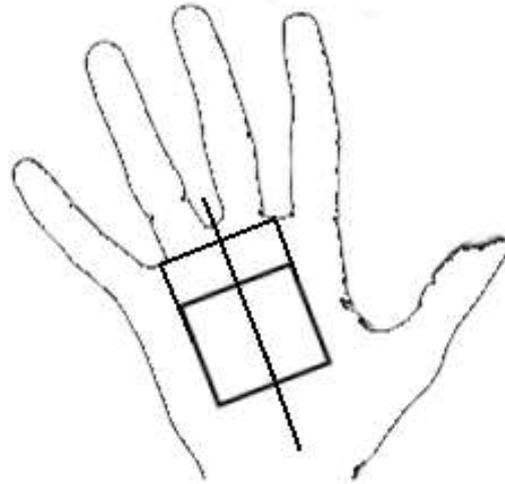


Fig. 2.8: Estrazione della ROI

In alcuni casi viene estratto anche il punto critico tra il pollice e l'indice per determinare anche la parte inferiore dell'area da estrarre.

Infine l'immagine deve essere normalizzata per risolvere i problemi legati alla scala e permettere poi un adeguato confronto.

Questo metodo di segmentazione dell'immagine, con l'utilizzo dei punti critici, permette di rendere il sistema meno influenzato dal fenomeno della rotazione. Non risolve però il problema dato dalle traslazioni.

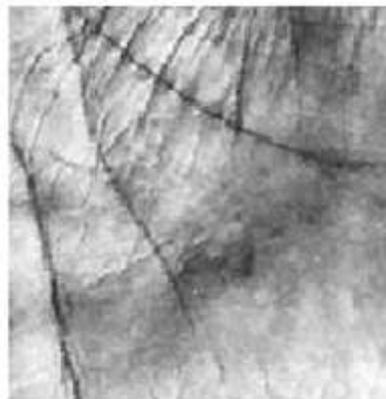


Fig. 2.9: Risultato del preprocessing, ROI di 150x150 pixel

2.4 Estrazione delle caratteristiche

In letteratura vi sono diverse tecniche *feature extraction* applicate al palmo della mano, le più utilizzate sono le seguenti:

- metodi statistici:
 - PCA Principal Component Analysis: l'applicazione di un metodo statistico sull'analisi delle componenti principali. I primi campioni rilevati sono utilizzati per creare un sistema di coordinate basato sulla varianza degli elementi stessi. Come risultato si ottengono delle approssimazioni dei campioni iniziali contenenti la parte più rilevante delle informazioni;
 - ICA (o fastICA) Independent Component Analysis: cioè l'analisi delle componenti indipendenti. Un altro metodo statistico che suddivide il segnale negli elementi che lo generano. Questo però è possibile solo se i segnali originali sono diversi tra loro e non gaussiani. Come nel caso precedente si otterrà un'approssimazione delle componenti iniziali, riducendo dimensioni e riportando solo le parti più rilevanti;

- metodi algebrici:
 - LDA Linear Discriminant Analysis, l'analisi discriminante lineare, suddivide i campioni in varie classi di appartenenza (a priori o in base ai primi campioni analizzati);
 - Fisherpalms: proietta l'immagine del palmo della mano in uno spazio dimensionale a bassa risoluzione.

- analisi mediante trasformate:
 - wavelet: il segnale viene rappresentato mediante l'utilizzo di una forma d'onda oscillatoria (localizzato sia in tempo sia in frequenza);
 - trasformata di Fourier: il segnale viene convertito dal dominio spaziale nel dominio della frequenza (localizzata solo nel dominio della frequenza);

- Estrazione delle linee, tessitura:

- filtro di Gabor: utilizzando immagini a bassa risoluzione, mediante filtri di Gabor 2D vengono estratte le caratteristiche riguardanti l'informazioni delle texture dell'impronta (localizzato sia in tempo che in frequenza);
- LBP (Local Binary Pattern) Multiscala Gerarchico, un operatore di texture in scala di grigi che caratterizza la struttura locale spaziale della tessitura dell'immagine. Dato un pixel centrale dell'immagine, viene calcolato un pattern code per effettuare il confronto con i suoi vicini. Le prestazioni di un singolo LBP sono limitate, per questo viene utilizzato il multiscala e la multi risoluzione (si possono rappresentare più caratteristiche dell'immagine sotto differenti settaggi);
- Estrazione delle linee principali.

2.5 Matching

L'algoritmo di matching determina la similarità tra due campioni, il primo acquisito come dato di input mentre il secondo preso da un database precedentemente memorizzato.

Le formule di matching maggiormente utilizzate sono le seguenti:

- Distanza di Hamming: esegue lo XOR su ogni elemento delle due matrici binarie, la codifica dell'immagine di input e i dati del template precedentemente inserito nel database. La formula è la seguente:

$$D_0 = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (P(i, j) \otimes P(i, j))}{N^2}$$

dove le P e Q rappresentano le due impronte da confrontare, N^2 è la dimensione delle matrici. La distanza di Hamming di fronte ad un matching perfetto è uguale a zero. Questa formula però non tiene in considerazione l'effetto della traslazione.

Per far fronte a questo problema viene utilizzata una formula modificata, che cerca di attenuare questo fenomeno. La formula è la seguente:

$$D_{\min} = \min_{|s| < S, |t| < T} \frac{\sum_{i=\max(1, 1+s)}^{\min(N, N+s)} \sum_{j=\max(1, 1+t)}^{\min(N, N+t)} (P(i + s, j + t) \otimes Q(i, j))}{H(s)H(t)}$$

dove, in questo caso, $S = 2$ e $T = 2$ si occupano di controllare appunto l'intervallo di traslazione della caratteristica nella fase di matching, mentre con H s'intende:

$$H(s) = \min(N, N + s) - \max(1, 1 + s)$$

- Distanza Euclidea Normalizzata: viene calcolata mediante la seguente formula:

$$d(\vec{x}, \vec{y}) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(x_i - y_i)^2}{\sigma_i^2}},$$

in cui σ_i^2 è la varianza di x_i all'interno dell'insieme di dati.

- Coefficiente di correlazione di Pearson: determina la similarità tra due immagini d'impronte. Questo coefficiente è ampiamente utilizzato nel confronto tra vettori. Siano x e y i due componenti per i quali si vuole calcolare il grado di similarità. per coppie (x_i, y_i) , $i = 1, \dots, n$, il coefficiente di correlazione r è dato da:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

dove \bar{x} è la media del vettore x e \bar{y} è la media del vettore y . Questo coefficiente giace nell'intervallo chiuso tra -1 e 1, dove con 1 la serie è identica, con 0 sono completamente indipendenti e -1 sono perfetti opposti.

- Matching pixel - to - area, utilizzato solitamente nel matching di linee principali. Il punteggio di matching è determinato nel modo seguente:

$$s(A, B) = \frac{(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A(i, j) \cap \bar{B}(i, j))}{N_A},$$

$$s(B, A) = \frac{(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n B(i, j) \cap \bar{A}(i, j))}{N_B}$$

$$S(A, B) = S(B, A) = \text{Max}(s(A, B), s(B, A))$$

supponendo che A sia l'immagine del database e B l'immagine acquisita mentre $m \times n$ la dimensione di A x B.

A e B sono entrambe binarie e il valore della linea principale è 1.

$S(A, B)$ è contenuto nell'intervallo $[0, 1]$ con 1 corrisponde il matching perfetto.

2.6 Palmprint Authentication 3D

L'ultima frontiera nel campo del "Palmprint recognition" è il riconoscimento su immagini tridimensionali, unendo le caratteristiche delle linee principali e orientazioni.

Sebbene il palmo della mano contenga caratteristiche uniche e stabili che permettano di ottenere un'alta accuratezza con le immagini a due dimensioni, queste possono più facilmente venir contraffatte e inoltre molte caratteristiche 3D vengono perse nella fase di rappresentazione dell'immagine.

Per far fronte a questi problemi viene utilizzato un nuovo sistema di acquisizione in cui una sorgente luminosa proietta alcune bande di luce nella superficie dell'oggetto attraverso un proiettore LCD. La luce riflessa è catturata da una macchina fotografica CCD e viene collezionata una serie di immagini che sarà poi elaborata al fine di estrarne le informazioni di profondità della superficie 3D.

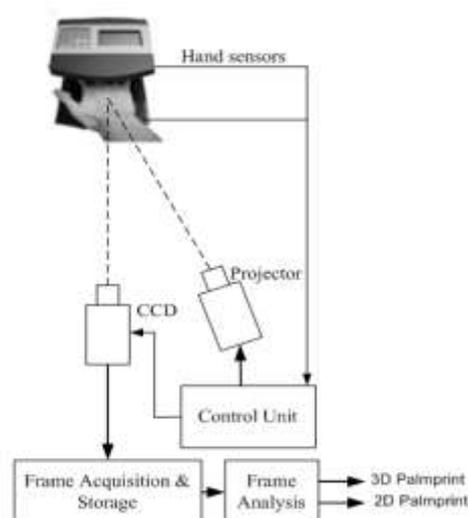


Fig. 2.10 Schema del sistema di acquisizione dell'immagine 3D

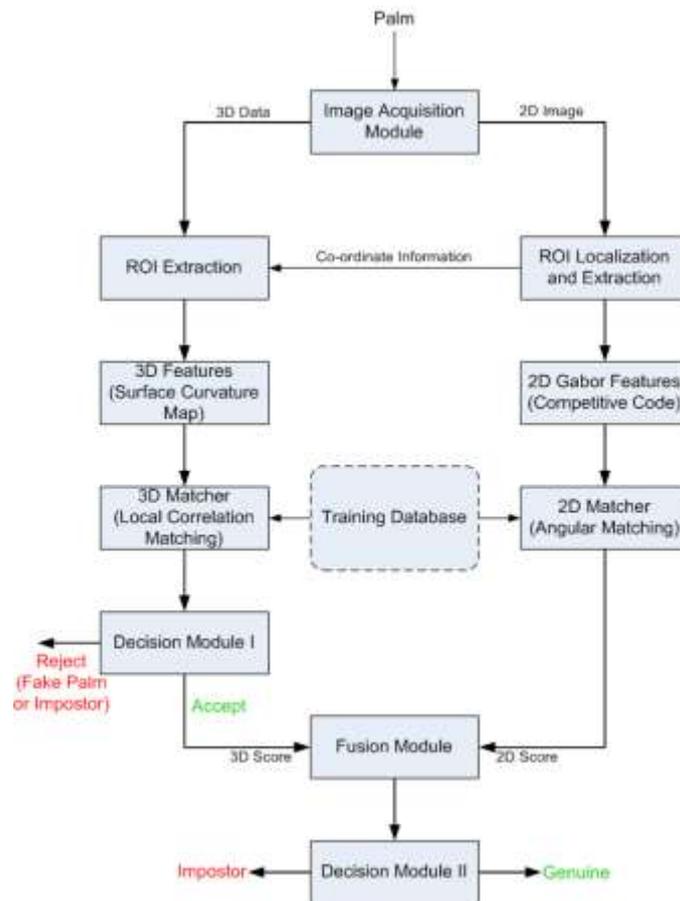


Fig. 2.11 : Schema sistema di autenticazione impronte 2D+3D

Le tecniche di palmprint recognition su immagini 3D ottengono sia un alto *recognition rate* che la capacità di ottenere un'alta anti-contraffazione. In futuro sono previste delle più avanzate estrazioni di caratteristiche e tecniche di matching per aumentare le prestazioni di riconoscimento.

Capitolo 3

Descrizione del sistema realizzato

In questo progetto, l'immagine, estratta e normalizzata, della parte centrale del palmo viene suddivisa in aree non sovrapposte prima della fase di estrazione delle caratteristiche.

Tra queste parti dell'immagine ne verranno scelte solamente alcune da elaborare e confrontare con i template presenti nel database.

Gli obiettivi proposti sono:

- utilizzare solo alcune parti della regione d'interesse per la fase di confronto con i template del database, rendendo più veloce il sistema;
- controllare se vi sono delle parti dell'immagine che hanno delle prestazioni migliori, attraverso la scelta delle aree da analizzare;
- confrontare le prestazioni in termini di tempo di calcolo, accuratezza e memoria utilizzata di questo sistema con quelle del sistema che utilizza l'immagine intera, senza suddivisioni (come in letteratura).

Lo scopo finale dell'operazione è verificare se le parti dell'immagine sono tutte necessarie al fine del riconoscimento e se l'utilizzo di solo una porzione di loro possa portare a delle variazioni significative al sistema.

Saranno controllati i falsi positivi e i falsi negativi al fine di verificare che la scelta effettuata non provochi un calo notevole dell'accuratezza.

L'università di Hong Kong assieme al database fornisce già le immagini segmentate. Queste sono delle immagini 150x150 pixel, in cui ogni centimetro corrisponde a 32 pixel.

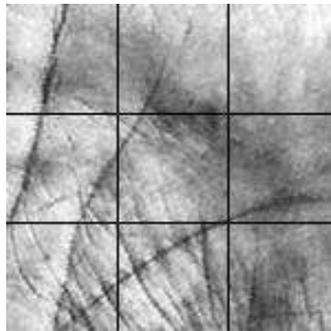


Fig. 3.1: Suddivisione dell'immagine

Al fine di effettuare queste analisi è stato realizzato un sistema di verifica dell'identità in linguaggio java sul quale sono stati eseguiti i controlli.

Il sistema è suddiviso in due parti:

- La fase di creazione dei template da inserire nel database;
- La fase di matching e quindi il confronto tra l'immagine d'ingresso e le immagini del database.

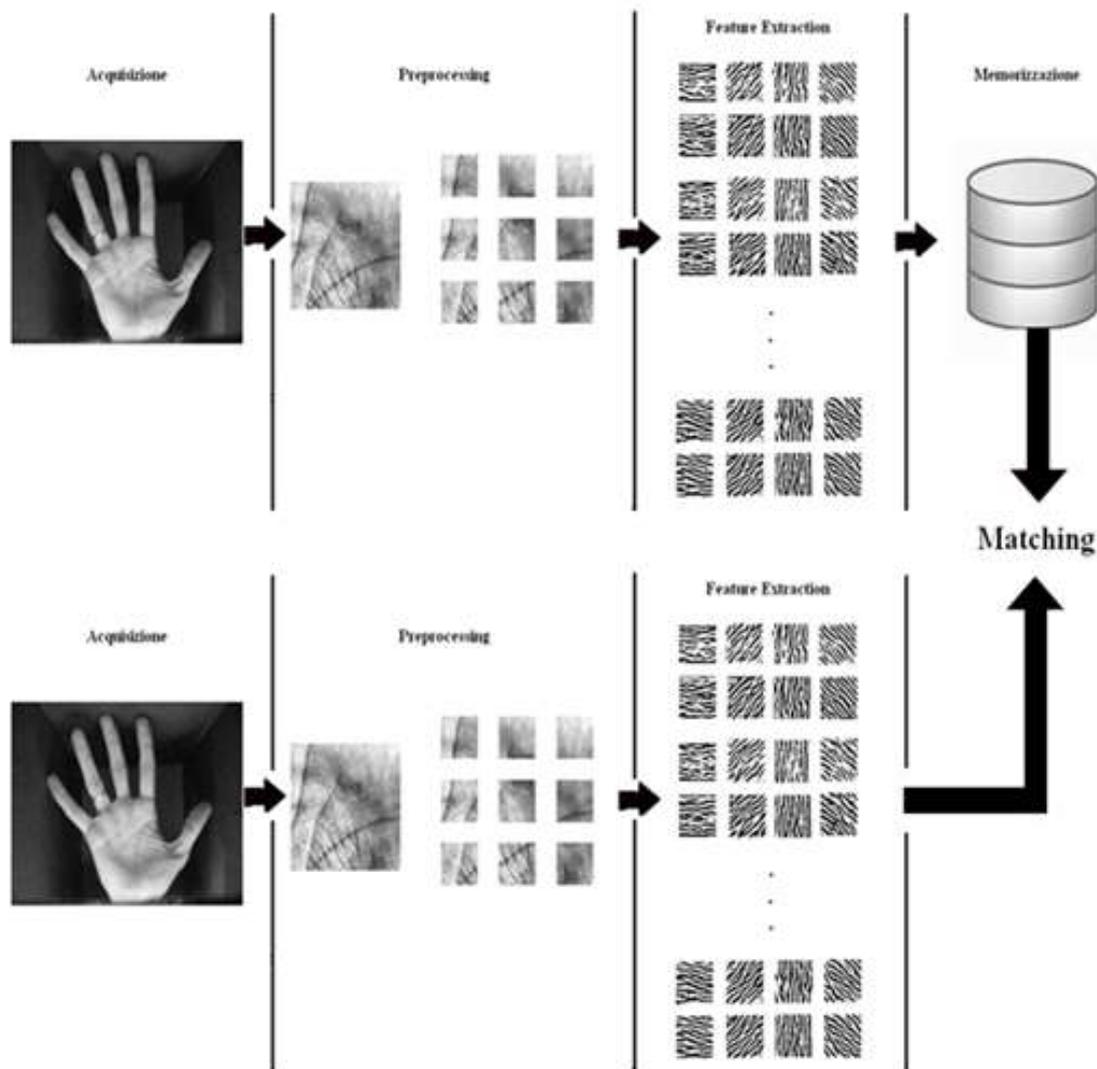


Fig. 3.2: Operazioni svolte dal sistema biometrico

3.1 Estrazione delle Features: Filtri di Gabor

L'operazione di *feature extraction* avviene attraverso l'utilizzo dei filtri di Gabor, i quali permettono di estrarre le tessiture o, più comunemente, *texture* dell'immagine.

In un'immagine digitale, con il termine *texture* o tessiture si fa riferimento a una serie di proprietà che descrivono la distribuzione spaziale dei livelli di grigio che corrispondono ai pixel di una determinata regione. Ci sono diversi metodi per poterle estrarre: metodi statistici (come la matrice di co-occorrenza in scala di grigi), le tecniche di filtraggio (Gabor), la trasformata wavelet.

I filtri di Gabor vengono spesso utilizzati nell'estrazione delle caratteristiche, grazie alle loro proprietà di localizzazione sia nel dominio del tempo che nel dominio della frequenza. Si tratta di un filtro lineare la cui risposta all'impulso è definita da una funzione armonica moltiplicata per una funzione gaussiana.

Il filtro è quindi una funzione sinusoidale attenuata progressivamente dalla gaussiana.

E' molto utile nell'estrazione delle texture, delle pieghe e risulta essere maggiormente discriminante nell'estrazione delle linee principali.

E' un filtro selettivo sia per caratteristiche spaziali quali bordi e orientazioni ma anche nei confronti delle caratteristiche frequenziali, quali appunto le tessiture.

Viene spesso impiegato nell'elaborazione delle immagini perché:

- è molto accurato sia nel dominio del tempo che della frequenza
- è robusto nei confronti di luminosità e contrasto;

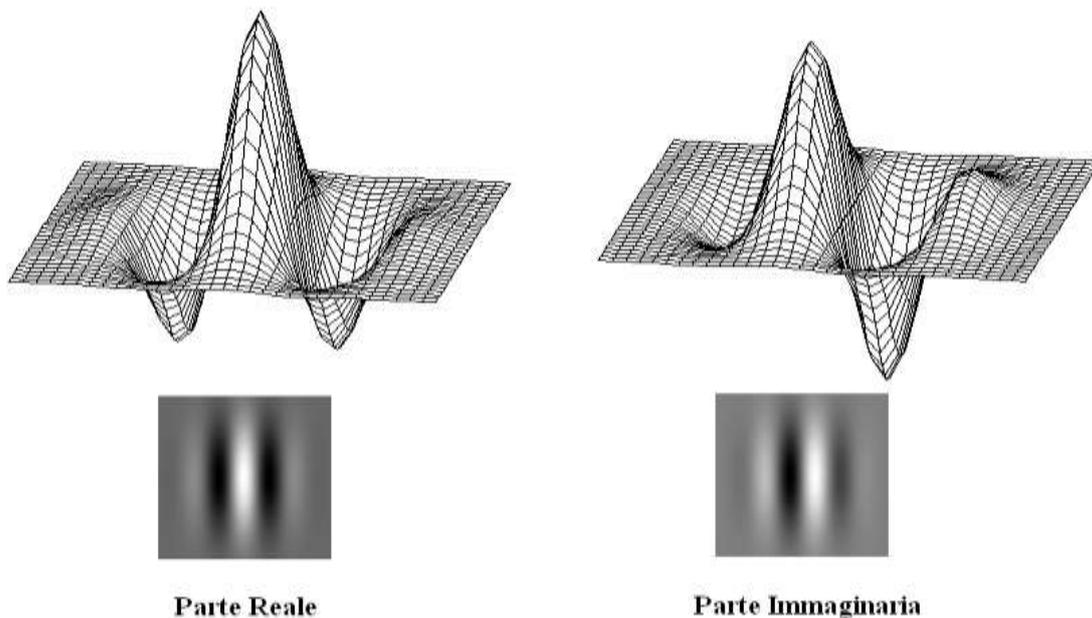


Fig. 3.3: Filtro di Gabor: parte reale e immaginaria 2D e 3D

In generale la funzione del filtro di Gabor 2D è data dalla formula:

$$g(x, y, u, \vartheta, \psi, \sigma, \gamma) = e^{-\left(\frac{x'^2 + \gamma^2 y'^2}{2\sigma^2}\right)} \cdot e^{-i(2\pi x' u + \psi)}$$

dove

$$\begin{cases} x' = x \cos \vartheta + y \sin \vartheta \\ y' = -x \sin \vartheta + y \cos \vartheta \end{cases}$$

La formula può inoltre essere suddivisa in parte reale:

$$g(x, y, u, \vartheta, \psi, \sigma, \gamma) = e^{-\left(\frac{x'^2 + \gamma^2 y'^2}{2\sigma^2}\right)} \cdot \cos(2\pi x' u + \psi)$$

e parte immaginaria:

$$g(x, y, u, \vartheta, \psi, \sigma, \gamma) = e^{-\left(\frac{x'^2 + \gamma^2 y'^2}{2\sigma^2}\right)} \cdot \sin(2\pi x' u + \psi)$$

I parametri del filtro sono i seguenti:

- σ = deviazione standard dell'involuppo gaussiano che caratterizza l'estensione spaziale e la banda del filtro. (Solitamente è in rapporto $\approx \lambda/2$)
- ψ = offset fase, in questo caso posto a zero.
- u o λ = dove la prima è la frequenza della sinusoidale e λ è la lunghezza d'onda del fattore sinusoidale;

- γ = specifica l'ellitticità in supporto della funzione di Gabor, impostata ad 1;
- ϑ = indica l'orientazione del filtro rispetto al piano x,y.

Solitamente non viene applicato un unico filtro nell'elaborazione delle immagini, bensì un banco di filtri modificando i parametri di frequenza, deviazione standard e orientazione.

Nel caso in esame verrà utilizzato un banco di filtri di Gabor a quattro orientazioni e a tre diverse scale, i cui valori di orientazione e frequenza sono i seguenti:

- $\theta_k = \frac{\pi(k-1)}{4}$ con $k = 1, 2, 3, 4$.
- $u = 0.3666, 0.1833$ e 0.0916

I dati sono stati scelti come trovati spesso in letteratura, il banco di filtri sarà composto di dodici filtri, e avranno i parametri descritti nella tabella seguente.

Scale	Filtro	Dimensioni	ϑ	u	σ
L1	01	9 su 9	0	0.3666	1.4045
	02	9 su 9	45	0.3666	1.4045
	03	9 su 9	90	0.3666	1.4045
	04	9 su 9	135	0.3666	1.4045
L2	05	17 su 17	0	0.1833	2.8090
	06	17 su 17	45	0.1833	2.8090
	07	17 su 17	90	0.1833	2.8090
	08	17 su 17	135	0.1833	2.8090
L3	09	35 su 35	0	0.0916	5.6179
	10	35 su 35	45	0.0916	5.6179
	11	35 su 35	90	0.0916	5.6179
	12	35 su 35	135	0.0916	5.6179

Tab. 3.1: Parametri dei filtri di Gabor utilizzati

Nelle figure 3.4 e 3.5 si possono vedere i risultati ottenuti filtrando l'immagine con i filtri di Gabor a tre diverse scale (denominate con L1, L2 e L3), alle quattro orientazioni, sulla parte reale e immaginaria.

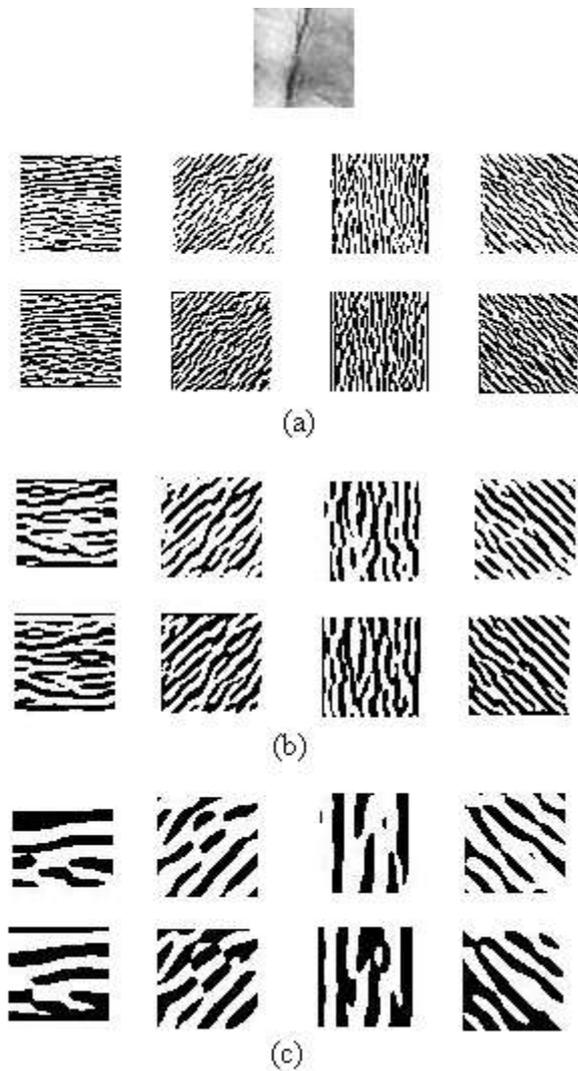


Fig. 3.4: Risultato dopo il filtraggio alle 4 orientazioni sulle 3 scale (a) L1, (b) L2, (c) L3
sull'immagine 50x50 px

Come si può vedere dalla Fig. 3.4, ogni immagine da 50x50 px, è codificata in otto immagini binarie, quattro reali e quattro immaginare, in base alle diverse operazioni. Questo per ognuna delle tre scale.

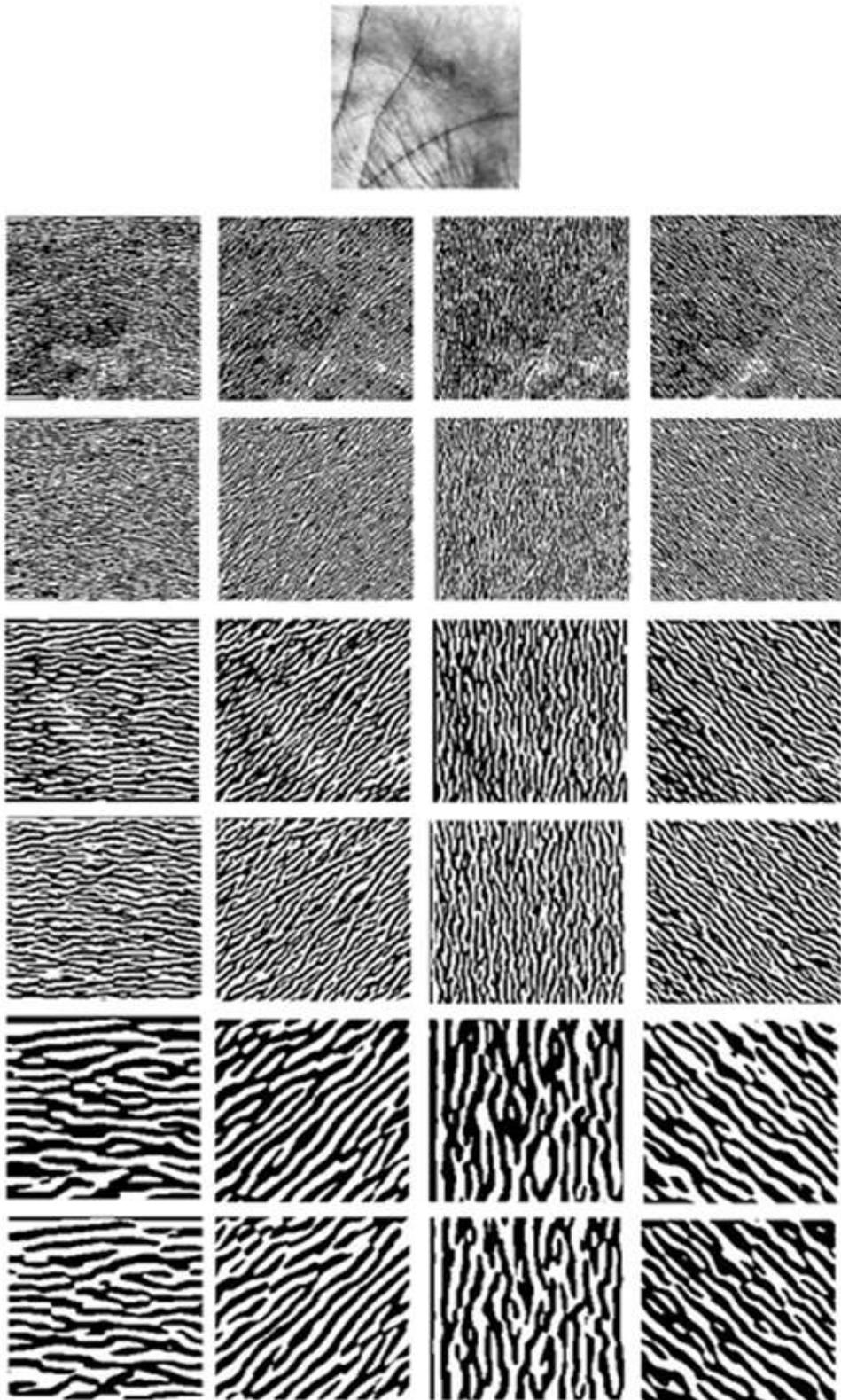


Fig. 3.5: Risultato dopo il filtraggio alle 4 orientazioni sulle 3 scale (a) L1, (b) L2, (c) L3
sull'immagine 150x150 px

3.2 Creazione del Database

I template realizzati per ogni immagine sono salvati nel database per poi essere utilizzati nella fase di confronto.

Le fasi di creazione del database sono le seguenti:

- ogni immagine intera viene suddivisa in nove aree non sovrapposte di 50x50 pixel;
- viene applicato il filtro di Gabor per ognuna delle nove parti singolarmente;
- ciascun pixel dell'immagine filtrata viene codificato secondo due bit (br, bi) secondo le seguenti disequazioni:

$$br = 0 \text{ se } \operatorname{Re}[G[x, y, \vartheta, u, \sigma] * I] \geq 0$$

$$br = 1 \text{ se } \operatorname{Re}[G[x, y, \vartheta, u, \sigma] * I] < 0$$

$$bi = 0 \text{ se } \operatorname{Im}[G[x, y, \vartheta, u, \sigma] * I] \geq 0$$

$$bi = 1 \text{ se } \operatorname{Im}[G[x, y, \vartheta, u, \sigma] * I] < 0$$

dove $G[x, y, \vartheta, u, \sigma]$ è il filtro di Gabor con i rispettivi parametri, I è l'immagine e Re e Im le rispettive parti reale ed immaginaria.

Ogni immagine in definitiva sarà codificata in 18 matrici binarie (nove reali e nove immaginarie) per ognuna delle quattro diverse orientazioni.

Queste operazioni saranno eseguite per ognuna delle diverse scale.

Il database fornito è costituito da almeno cinque immagini per ciascuno dei 235 individui. Queste cinque immagini sono state inserite in tempi diversi, a distanza di alcuni mesi.

La prima immagine per ogni soggetto, quindi quella acquisita prima, è stata utilizzata per creare il *template* da inserire nel database mentre le altre quattro sono state utilizzate per il confronto.

Naturalmente nel database saranno codificate tutte e nove le aree estratte, sarà nella fase di estrazione delle caratteristiche dell'immagine da confrontare che verrà effettuata da scelta delle parti da utilizzare.

Sarà poi realizzato il database per l'immagine intera, utilizzando gli stessi parametri. Questo servirà per eseguire il confronto tra i due sistemi.

3.3 Fase di matching

L'idea iniziale è di compiere una scelta tra le nove aree ed eseguire il confronto utilizzando solo una parte di loro (su sei su nove). Queste saranno confrontate con le rispettive immagini memorizzate nel database. Se un numero pre-determinato (due terzi, quindi quattro) di loro supera il matching, allora il confronto ha dato esito positivo. Vengono utilizzate solo alcune delle sottomatrici per ovviare al problema di un calcolo computazionale dato dai diversi confronti da effettuare.

Al fine di stabilire se questo sistema è effettivamente migliore in termini di FAR, FRR e per carico computazionale sono stati eseguiti dei confronti tra il sistema senza suddivisione dell'immagine (come in letteratura), applicando direttamente il filtraggio sull'intera ROI e le seguenti situazioni:

- sistema con immagine suddivisa ma utilizzando tutte le nove parti nella fase di confronto,
- sistema con immagine suddivisa scegliendo dei pattern predefiniti di sei aree su nove,
- sistema con immagine suddivisa e scelta random delle immagini da confrontare

Le operazioni svolte in questa fase sono le seguenti:

- l'immagine viene suddivisa in nove parti e codificata per essere confrontata con le immagini presenti nel database di *template* precedentemente realizzato:
 - nel primo caso vengono utilizzate tutte le nove aree: vengono tutte codificate e confrontate;

- nel caso di pattern predefiniti o di scelta random allora sono codificate solamente le sei che vengono confrontate;
- L'immagine appena acquisita viene confrontata con i *template* del database.
La formula di matching ritenuta più adeguata in questo caso è il calcolo della distanza di Hamming:

$$D_0 = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (\mathbf{P}_R(i, j) \otimes \mathbf{Q}_R(i, j) + \mathbf{P}_I(i, j) \otimes \mathbf{Q}_I(i, j))}{2N^2}$$

Questo tipo di distanza è utilizzata spesso in sistemi che utilizzano il filtraggio di Gabor e in sistemi di riconoscimento biometrico dell'iride.

Nella formula P e Q rappresentano le due impronte da confrontare e i pedici R e I indicano rispettivamente le loro parti reale ed immaginaria. N^2 è la dimensione delle matrici. L'operatore \otimes rappresenta l'operazione binaria "XOR". La distanza di Hamming di fronte ad un *matching* perfetto è uguale a zero. Questa formula però non tiene in considerazione l'effetto della traslazione.

Per far fronte a questo problema è utilizzata la formula modificata descritta al capitolo 2. La formula, applicata al caso in esame, è la seguente:

$$D_{\min} = \min_{|s| < S, |t| < T} \frac{\sum_{i=\max(1, 1+s)}^{\min(N, N+s)} \sum_{j=\max(1, 1+t)}^{\min(N, N+t)} (\mathbf{P}_R(i+s, j+t) \otimes \mathbf{Q}_R(i, j) + \mathbf{P}_I(i+s, j+t) \otimes \mathbf{Q}_I(i, j))}{2H(s)H(t)}$$

Ogni elemento (i, j) della matrice acquisita verrà, quindi, confrontato con il pixel alla stessa posizione del template e con i suoi "vicini" e verrà, infine, restituito solo il risultato migliore.

Il miglioramento apportato dalla traslazione avviene a discapito dei tempi di calcolo. Dovrà essere verificato che questo aumento non sia rilevante.

L'operazione di confronto viene eseguita tra l'immagine del database e quella acquisita, se il valore ottenuto è inferiore alla soglia, allora l'immagine si ritiene accettata.

- Il match avviene quando almeno i $2/3$ delle aree controllate sono accettate:
 - nel sistema nel quale sono utilizzate tutte e nove le immagini 50×50 , il match avviene quando almeno sei di loro superano il confronto mediante distanza di Hamming;
 - quando vengono utilizzate solo sei delle nove aree, sia nel caso di scelta casuale che di pattern predefiniti, vi è match quando almeno quattro delle immagini vengono accettate.

Capitolo 4

Analisi delle Prestazioni

In questo capitolo verranno analizzati i dati riguardanti le prestazioni in termini di accuratezza, velocità e dimensioni del database.

I test sono stati eseguiti in un PC AMD Athlon 64x2 Dual Core Processor 6000+, con 4 GByte di memoria Ram, con sistema operativo Windows XP, Service Pack 3.

4.1 Database: dimensione e tempo di creazione

Ogni template sarà composto da:

- diciotto immagini (50x50 pixel) per ogni orientazione, quindi ogni immagine verrà scomposta in settantadue immagini binarie totali;
- due immagini (150x150 pixel) per ogni orientazione, quindi ogni immagine sarà descritta con otto immagini monocromatiche;

per ognuna delle tre scale del filtro utilizzate.

La dimensione del database (per ogni scala), contenente i template per ognuna delle 236 immagini, ha le seguenti dimensioni:

Database (per ogni L)	Dimensione
Immagini Intere	5.48 MB
Immagini Divise	7.45MB

Tab. 4.1: Dimensione database templates

mentre le dimensioni di ogni singolo *template* sono le seguenti:

Dimensioni templates	Una Orientazione	Quattro Orientazioni
Immagini Intere	5.98KB	23.9KB
Immagini Divise	8.12KB	32.4KB

Tab. 4.2: Dimensione singolo template

Dalle Tab. 4.1 e 4.2 si può notare che ogni singolo modello realizzato per l'immagine divisa occupa uno spazio leggermente maggiore, in questo caso 2.14 KB per ogni orientazione.

Nella tabella seguente sono invece riportati i tempi di creazione del database per ogni scala

Scale	Immagini Intere (s)	Immagini Divise (s)
L1	172.49	298.02
L2	512.84	591.69
L3	1915.25	1584.80
Tempo complessivo	2600.58	2474.51

Tab 4.3: Tempo di creazione database

Dai valori riportati nella Tab. 4.3 si può notare come la velocità del sistema sia dipendente dalla dimensione del filtro utilizzato e dalla dimensione dell'immagine elaborata:

- con i filtri alla scala L1 (di dimensioni 9x9) l'immagine intera ha impiegato un tempo minore ad elaborare l'intera immagine;
- con i filtri alla scala L2, di dimensioni di circa il doppio delle precedenti (17x17), l'immagine intera viene elaborata più velocemente. In rapporto i due tempi si avvicinano notevolmente tra loro;
- infine con i filtri alla scala L3 (35x35), le immagini divise lavorano più velocemente, dato che la dimensione del filtro si avvicina a quella delle aree divise (50x50), diminuendo nettamente il tempo di elaborazione rispetto all'immagine 150x150.

Sebbene i tempi di elaborazione dei filtri alla scala L3 dell'immagine divisa siano più veloci rispetto all'elaborazione dell'immagine intera, questi sono nettamente superiori a quelli delle elaborazioni delle altre scale. Il tempo complessivo di elaborazione, comunque, risulta inferiore per le immagini divise: mentre le immagini intere impiegano circa 43 minuti complessivi, le immagini divise ne impiegano 41.

4.2 Tempi di calcolo alla fase di confronto

Un sistema di verifica controlla se l'individuo è esattamente chi sostiene di essere. L'immagine, una volta elaborata e codificata, viene confrontata con la rispettiva immagine, precedentemente memorizzata, della persona che ritiene di essere.

Se l'autenticazione ha dato esito negativo, si possono acquisire altre immagini per effettuare una nuova verifica. Il confronto comunque è uno a uno.

Il sistema di identificazione data un'immagine di input, la confronta con l'intero database per determinarne il riconoscimento.

E' un processo più lungo perché, a differenza del sistema precedente, che effettua un confronto uno a uno, questo si occupa di un confronto uno a molti.

In questo lavoro è stato perso in considerazione nello specifico il processo di verifica di identità per rendere più veloce l'elaborazione e perché meglio confrontabile con la letteratura.

Nelle tabelle seguenti si possono vedere i tempi di creazione dei template per l'immagine acquisita e i tempi di matching.

	Feature Extraction 1 filtro		
	L1 (s)	L2 (s)	L3 (s)
Immagini Intere	0.313	0.75	2.515
Immagini divise (9 su 9)	0.406	0.738	1.828
Immagini divise (6 su 9)	0.312	0.561	1.266

Tab. 4.4: Tempi di creazione template ad un'orientazione

	Feature Extraction 4 filtri		
	L1	L2	L3
Immagini Intere	0.878	2.39	8.609
Immagini divise (9 su 9)	1.181	2.547	6.828
Immagini divise (6 su 9)	0.906	1.765	4.672

Tab. 4.5: Tempi di creazione template di quattro orientazioni

Come si può vedere anche in questo caso, la dimensione del filtro influisce nei tempi di calcolo. Per la scala L1, l'immagine intera viene elaborata più velocemente rispetto al sistema che elabora le nove immagini divise mentre si avvicina ai tempi del sistema che ne utilizza solo sei. A parte per la scala L1, i sistemi che utilizzano solo parte dell'informazione risultano più veloci o alla pari di quello che utilizza l'immagine intera.

I tempi di matching si riferiscono, nel primo caso, al confronto senza gestione della traslazione effettuando un unico confronto tra il pixel alla posizione (i, j) dell'immagine del palmo da identificare e quello alla stessa posizione nel modello salvato nel database. Negli altri casi, si effettuano ulteriori confronti con i pixel vicini in un intorno pari a due, nel secondo caso, e uguale a sei nel terzo.

	Matching (in s)		
	No tras.	T2	T6
Immagini Intere	0.046	0.063	0.094
Immagini Divise	0.047	0.063	0.094
Immagini 6 su 9	0.039	0.062	0.078

Tab. 4.6: Tempi di matching

I tempi di matching dimostrano che vi è un rallentamento se si utilizza l'algoritmo per la gestione della traslazione ma non è così rilevante, trattandosi di confronti uno a uno.

I sistemi che utilizzano sei immagini risultano più veloci nei confronti del sistema ad immagine intera (circa del 15% senza traslazione, del 1.6% per T2 e 17% per T6) mentre quelli che le utilizzano tutte e nove non presentano variazioni rilevanti.

4.3 Valutazione delle prestazioni: EER

Per calcolare le prestazioni in termini di accuratezza sono stati eseguiti i seguenti test:

- senza gestione della traslazione
- con gestione della traslazione su due pixel (in seguito chiamato T2)
- con gestione della traslazione su sei pixel (in seguito chiamato T6)

Per ognuna delle scale, a seguito verranno riportati solo i risultati con gestione della traslazione perché le immagini utilizzate sono fortemente influenzate da questo fenomeno quindi causano un EER molto alto, se non gestito, a volte superiore al 40%.

I seguenti test sono stati eseguiti su N individui del database, non sull'intero database, lo scopo dei confronti è vedere il comportamento dei diversi sistemi rispetto all'altro, sono stati quindi utilizzati gli stessi soggetti.

Per ogni filtro è stato calcolato l'EER cioè quel valore per cui $EER(t^*) = FAR(t^*) = FRR(t^*)$ in modo da rendere più semplice il confronto.

Nel grafico a seguito si può vedere l'andamento dei due indici al variare della soglia per un filtro.

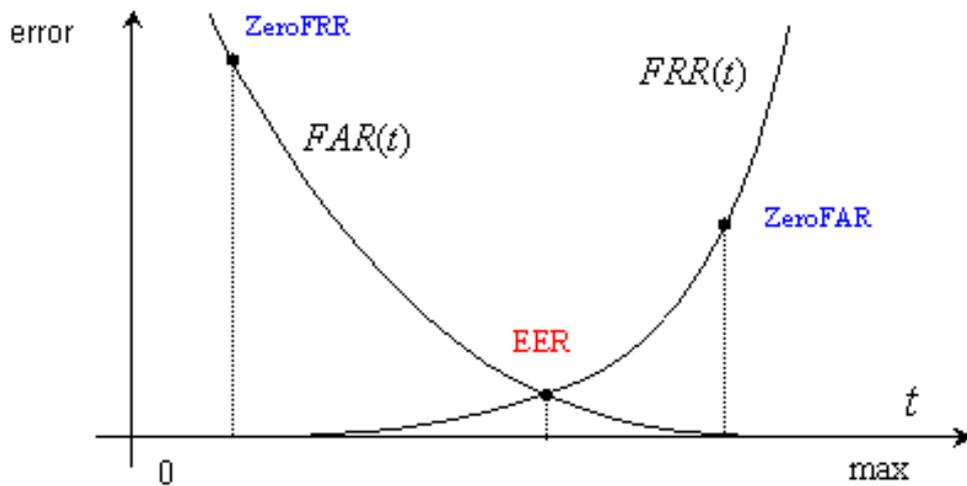


Fig. 4.1 Grafico FAR, FRR e EER

Come spiegato precedentemente, un'immagine per ogni individuo è stata utilizzata come test, le altre quattro invece sono state utilizzate per le prove.

Le prestazioni sono state calcolate per:

- il sistema che utilizza direttamente l'immagine intera: questo sistema servirà per la comparazione con gli altri. Saranno calcolate le percentuali di variazione rispetto a questo sistema;
- il sistema in seguito chiamato a ROI divisa, cioè quello in cui tutte le nove parti in cui è suddiviso vengono utilizzate nella fase di matching;
- il sistema a scelta random, nel quale vengono scelte in maniera casuale sei aree da 50x50 pixel su cui effettuare il confronto;
- i sistemi a pattern predefiniti, per i quali sono state scelte le seguenti sei aree:

- pattern 1, controllo sui sei quadrati corrispondenti alle prime due righe:

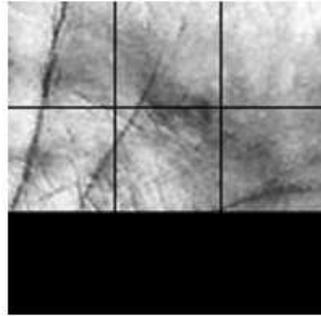


Fig. 4.2 Pattern 1

- pattern 2, le prime due colonne:

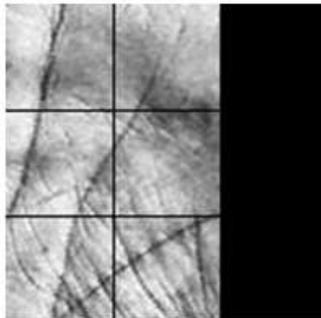


Fig. 4.3 Pattern 2

- pattern 3, prima e ultima colonna;

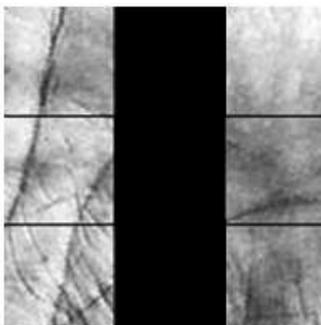


Fig. 4.4 Pattern 3

- pattern 4, prima colonna, ultima riga e quadrato centrale (o diagonale inferiore):

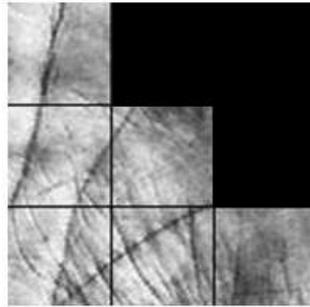


Fig. 4.5 Pattern 4

- pattern 5: prima colonna, quadrato centrale, primo e ultimo quadrato dell'ultima colonna

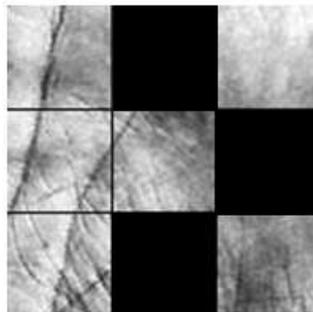


Fig. 4.6 Pattern 5

A seguito vengono riportati i valori per le tre scale, utilizzando l'algoritmo di gestione della traslazione, T2, effettuando i confronti anche sui due pixel "vicini".

Per ognuna delle due gestioni della traslazione, ad ognuna delle scale, sono state riportate due tabelle:

- la prima contenente l'EER per ogni filtro di ogni sistema;
- la seconda contenente le percentuali di variazione con il sistema che utilizza l'immagine intera. Queste saranno:

- di colore rosso e precedute dal simbolo “+” se vi è un aumento dell’errore;
- di colore verde e precedute dall’operatore “-” nel caso di una diminuzione;
- nere in assenza di variazioni.

I risultati per la scala L1 alla traslazione T2 sono i seguenti:

EER L1	0	45	90	135
Intera	28.5	31.5	31.5	31.5
ROI divisa	30.5	30.0	32.0	27.0
Random	31.0	31.5	33.0	29.5
Pattern1	31.5	31.5	33.5	30.0
Pattern2	29.5	28.0	32.0	28.5
Pattern3	31.0	30.5	33.0	28.5
Pattern4	30.0	27.5	32.0	28.0
Pattern5	30.5	29.5	32.5	28.0

Tab. 4.7 EER alla scala L1 con gestione della traslazione su 2 pixel

Percentuali	0	45	90	135
ROI divisa	+7.0%	-4.8%	+1.6%	-14.3%
Random	+8.8%	0.0%	+4.8%	-6.3%
Pattern 1	+10.5%	0.0%	+6.3%	-4.8%
Pattern 2	+3.5%	-11.1%	+1.6%	-9.5%
Pattern 3	+8.8%	-3.2%	+4.8%	-9.5%
Pattern 4	+5.3%	-12.7%	+1.6%	-11.1%
Pattern 5	+7.0%	-6.3%	+3.2%	-11.1%

Tab. 4.8 Percentuali di variazione immagine intera/altri sistemi su L1 a traslazione due pixel

Il confronto con il sistema che utilizza l'immagine intera ha dato i seguenti risultati:

- sistema con ROI divisa: ha dei risultati migliori in due orientazioni su quattro, quella da 45° e quella da 135°, quest'ultima con un miglioramento del 14.3%;
- sistema a scelta random: ottiene dei risultati migliori solo a 135°, mentre a 45° ha le stesse prestazioni;
- pattern 1: come il sistema a scelta casuale ha un miglioramento solo a 135°, il dato peggiore è sull'orientazione a 0° con un aumento dell'errore di più del 10%;
- pattern 2: presenta un abbassamento dell'errore sulle orientazioni a 45° e a 135° e dei lievi peggioramenti sulle altre due;
- pattern 3: si hanno dei lievi miglioramenti a 45° e a 135°, peggiora a 0° e a 90°;
- pattern 4: come negli altri casi migliora per 45° e 135°, ottenendo anche le migliori percentuali di variazione per l'orientazione a 45°;
- pattern 5: anche in questo caso vi sono dei miglioramenti solo per 45° e 135°.

Rispetto alle orientazioni:

- sul filtro con orientazione a 0° vi è un peggioramento: il risultato migliore tra i sistemi che utilizzano l'immagine divisa è quello che utilizza il pattern 2, con un lieve incremento dell'errore del 3.6%, comunque risulta peggiore rispetto all'immagine intera.
- sull'orientazione a 45° vi è un miglioramento sia nell'immagine a ROI divisa, che in alcuni pattern. I risultati migliori sono ottenuti dal pattern 2 e dal pattern 4 con dei miglioramenti superiori al 10%. Il sistema a scelta random come il pattern 1 invece restituiscono lo stesso errore dell'immagine intera;

- sul filtro a 90° vi è un peggioramento di tutti i sistemi, dall'1.6% fino ad un 6.3% per il pattern 1;
- sull'orientazione a 135°, come nel caso di 45°, si ha un miglioramento di tutti i sistemi rispetto all'immagine intera, soprattutto nel sistema a ROI divisa. Questa è l'orientazione che da i risultati migliori per questa scala.

Da questi risultati si può notare come con questi valori del filtro di Gabor, si abbia un miglioramento dei risultati nelle orientazioni a 45° e a 135° nelle quali si ha un abbassamento dell'errore dato dalla diminuzione del FAR.

Al contrario, nei filtri a 0° e 90° vi è un leggero peggioramento dal 3.5% al 10.5% per la prima orientazione e dall'1.6% al 6.3% per la seconda.

I sistemi con dei risultati migliori sono quelli basati sui pattern 2 e 4 per il filtro a 45° mentre per il filtro a 135°, raggiunge risultati migliori il sistema a ROI divisa.

Per questa scala si hanno comunque dei risultati alti in termini di errore per tutti i sistemi analizzati.

Nelle tabelle seguenti vengono riportati i risultati ottenuti per la scala L2:

EER L2	0	45	90	135
Intera	29.0	27.5	30.0	30.0
ROI divisa	29.0	23.5	29.5	25.0
Random	29.5	25.0	32.5	27.5
Pattern1	31.5	25.0	31.0	27.0
Pattern2	27.5	22.5	28.5	26.5
Pattern3	28.5	28.5	33.0	29.5
Pattern4	29.0	25.5	31.5	30.0
Pattern5	29.5	28.0	32.5	29.5

Tab. 4.9 EER alla scala L2 con gestione della traslazione su 2 pixel

Percentuali	0	45	90	135
ROI divisa	0.0%	-14.5%	-1.7%	-16.7%
Random	+3.4%	-9.1%	+8.3%	-8.3%
Pattern 1	+8.6%	-9.1%	+3.3%	-10.0%
Pattern 2	-5.2%	-18.2%	-5.0%	-11.7%
Pattern 3	-1.7%	+3.6%	+10.0%	-1.7%
Pattern 4	0.0%	-7.3%	+5.0%	0.0%
Pattern 5	+3.4%	+1.8%	+8.3%	-1.7%

Tab. 4.10 Percentuali di variazione immagine intera/altri sistemi su L2 a traslazione due pixel

Come si può notare dalle tabelle, il confronto tra l'immagine intera e gli altri sistemi porta ai seguenti risultati:

- sistema con ROI divisa: presenta dei risultati migliori in tre orientazioni su quattro mentre sul filtro all'orientazione 0 non presenta variazioni. I risultati migliori sono ottenuti con il filtro a 135° con un miglioramento di quasi il 17% sull'immagine intera. A questa scala ottiene dei risultati migliori rispetto alla scala L1 a tutte le orientazioni, sia in termini di errore, che nelle percentuali di variazione rispetto all'immagine intera;
- sistema a scelta random: esibisce dei risultati migliori solo a due orientazioni, a 45° e a 135°, alle altre due si hanno dei peggioramenti. Anche in questo caso, si raggiungono comunque dei risultati migliori rispetto alla scala precedente, sia in termini di errore che nelle percentuali di variazione;
- pattern 1: ottiene dei risultati migliori su due orientazioni: a 45° a 135°, mentre peggiora a 0° e 90, presenta comunque dei risultati migliori rispetto alla scala L1;
- pattern 2: raggiunge dei risultati migliori a tutte le orientazioni, soprattutto a 45° con un miglioramento superiore al 18% rispetto all'immagine intera. E' nettamente migliore, sia

in termini di errore che di variazione percentuale, nei confronti della scala analizzata precedentemente;

- pattern 3: si hanno dei lievi miglioramenti a 0° e a 135° , peggiora a 45° e a 90° . Rispetto alla scala L1 questo pattern ha dei risultati peggiori in termini di EER rispetto al filtro a 135° ;
- pattern 4: rimane costante a 0° e a 135° , migliora a 45° e peggiora a 90° . Anche questo caso L1 ha dei risultati migliori in termini di errore sul filtro a 135° .
- pattern 5: migliora solamente a 135° e peggiora alle altre orientazioni. Come per i due pattern precedenti, i risultati ottenuti con il filtro a 135° per la scala L1 sono migliori rispetto a questa scala.

Rispetto alle orientazioni:

- All'orientazione 0° a parte il sistema random, il pattern 1 e il pattern 5, gli altri sistemi ottengono risultati migliori o uguali all'immagine intera.
- All'orientazione a 45° tutti i sistemi presentano dei risultati migliori a parte il pattern 3 e il pattern 5 che hanno dei lievi peggioramenti;
- L'orientazione a 90° apporta dei miglioramenti solo nel pattern 2 e nel sistema con ROI divisa. Il risultato peggiore è ottenuto dal pattern 3 con un innalzamento dell'errore del 10%;
- L'orientazione a 135° ottiene dei miglioramenti su tutti i sistemi a parte il pattern 4 nel quale non avvengono variazioni.

In conclusione questa scala, nel complesso, raggiunge dei risultati migliori in termini di EER rispetto alla scala precedente, a parte alcune eccezioni sull'orientazione a 135° sui pattern 3, 4 e 5.

Rispetto a tutti i sistemi quello che utilizza il pattern 2 migliora su tutte le orientazioni, anche se il sistema a ROI divisa ha dei risultati migliori sul filtro a 135°.

E infine viene studiata la terza scala, L3:

EER L3	0	45	90	135
Intera	26.5	25.5	30.5	27.5
ROI divisa	33.0	24.5	34.0	30.0
Random	32.0	25.5	34.5	29.5
Pattern1	32.0	25.5	34.5	29.5
Pattern2	30.0	23.5	35.5	29.5
Pattern3	30.5	26.0	34.0	28.5
Pattern4	30.0	24.0	35.0	28.5
Pattern5	31.5	25.5	32.0	27.5

Tab. 4.11 EER alla scala L3 con gestione della traslazione su 2 pixel

Percentuali	0	45	90	135
ROI divisa	+24.5%	-3.9%	+11.5%	+9.1%
Random	+20.8%	0.0%	+13.1%	+7.3%
Pattern 1	+20.8%	0.0%	+13.1%	+7.3%
Pattern 2	+13.2%	-7.8%	+16.4%	+7.3%
Pattern 3	+15.1%	+2.0%	+11.5%	+3.6%
Pattern 4	+13.2%	-5.9%	+14.8%	+3.6%
Pattern 5	+18.9%	0.0%	+4.9%	0.0%

Tab. 4.12 Percentuali di variazione immagine intera/altri sistemi su L3 a traslazione due pixel

A questa scala vi sono dei risultati nettamente diversi rispetto alla scala precedente. Quasi tutti i sistemi che utilizzano la divisione dell'immagine portano ad un peggioramento delle prestazioni. L'unica orientazione che da dei risultati migliori è 45°, anche in questo caso nel pattern 2. Questo risultato comunque è peggiore di quello ottenuto con la scala precedente.

Le due orientazioni con i peggiori risultati sono 0° e 90°, la prima in un range di aumento dell'errore che va dal 13.2% al 24.5%, mentre la seconda da un 4.9% ad un 16.4%.

Confrontando i risultati del sistema con prestazione migliore alla scala L3, quindi quello che utilizza l'immagine intera, con quello migliore alla scala L2, quindi che impiega il pattern 2, si ottengono i seguenti risultati in termini di errore:

EER	0	45	90	135
Intera	26.5	25.5	30.5	27.5
Pattern2	27.5	22.5	28.5	26.5

Tab. 4.13 EER sistemi migliori alla traslazione di due pixel

Come si può vedere dalla Tab. 4.13 il pattern 2 ottiene dei risultati migliori su tre orientazioni su quattro, soprattutto per il filtro a 45°, con un miglioramento dell'11.8% sull'immagine intera.

In definitiva, nella traslazione a due pixel, il sistema che porta dei risultati migliori è quello che utilizza il pattern 2, con il filtro a 45° alla scala L2.

Infine vengono effettuati i test su sei pixel, quindi a 2 mm.

I risultati per la scala L1 sono i seguenti:

EER L1	0	45	90	135
Intera	26.5	29.0	27.0	26.0
ROI divisa	25.5	22.5	27.5	26.5
Random	26.5	24.5	29.0	26.5
Pattern1	26.5	25.0	28.0	29.0
Pattern2	23.5	22.0	25.5	24.5
Pattern3	26.5	25.0	28.0	28.0
Pattern4	26.0	23.0	27.0	25.0
Pattern5	25.5	22.5	25.5	25.5

Tab. 4.14 EER alla scala L1 con gestione della traslazione su 6 pixel

Percentuali	0	45	90	135
ROI divisa	-3.8%	-22.4%	+1.9%	+1.9%
Random	0.0%	-15.5%	+7.4%	+1.9%
Pattern 1	0.0%	-13.8%	+3.7%	+11.5%
Pattern 2	-11.3%	-24.1%	-5.6%	-5.8%
Pattern 3	0.0%	-13.8%	+3.7%	+7.7%
Pattern 4	-1.9%	.20.7%	0.0%	-3.8%
Pattern 5	-3.8%	-22.4%	-5.6%	-1.9%

Tab. 4.15 Percentuali di variazione immagine intera/altri sistemi su L1 a traslazione sei pixel

La comparazione con l'immagine intera presenta i seguenti risultati:

- sistema con ROI divisa: miglioramenti alle orientazioni 0° e, soprattutto, a 45° e dei lievi peggioramenti sulle restanti;

- sistema random: ottiene dei risultati migliori solo ad un'orientazione, a 45°, a 0° non vi è variazione mentre le altre orientazioni hanno dei peggioramenti, soprattutto a 90° con un abbassamento dell'accuratezza del 7.4%;
- pattern 1: raggiunge dei risultati migliori solo sull'orientazione a 45°, a 0° non vi sono variazioni, peggioramento per le altre due, soprattutto per 135° (11.5%);
- pattern 2: presenta dei risultati migliori su tutte e quattro le orientazioni. L'orientazione migliore anche in questo caso è 45°, con un miglioramento del 24.1%;
- pattern 3: si hanno dei lievi miglioramenti a 45°, rimane costante a 0° e peggiora a 90° e 135°;
- pattern 4: come il pattern 2 ha dei miglioramenti su tre orientazioni su quattro: a 0°, a 45° (più del 20%) e a 135°. A 90°, invece non vi sono variazioni;
- pattern 5: miglioramento su tutte le orientazioni, soprattutto a 45° con un abbassamento dell'errore del 22.4%.

Rispetto alle orientazioni si hanno i seguenti risultati:

- all'orientazione 0° non vi sono peggioramenti sull'accuratezza, tre sistemi non presentano variazioni, gli altri migliorano;
- all'orientazione a 45° tutti i sistemi raggiungono dei risultati migliori al sistema con immagine intera. Il risultato migliore è ancora ottenuto dal pattern 2 con un miglioramento, anche in questo caso, di più del 24%;
- l'orientazione a 90° peggiora in gran parte dei sistemi, rispetto all'immagine intera a parte il pattern 2 e il pattern 5, che migliorano, e il pattern 4 che non subisce variazioni;
- l'orientazione a 135° apporta dei miglioramenti dall'1.9% all'11.5% sui sistemi che utilizzano il pattern 2, il pattern 4 e il pattern 5.

Rispetto a tutti i sistemi quello che utilizza il pattern 2 ottiene i risultati migliori su tutte le orientazioni e soprattutto a 45°.

La scala L2, invece, raggiunge i seguenti risultati:

EER L2	0	45	90	135
Intera	20.0	19.5	20.0	23.5
ROI divisa	19.0	17.0	24.5	22.5
Random	21.5	19.0	24.5	24.0
Pattern1	20.0	19.5	27.0	24.5
Pattern2	15.5	15.0	21.5	20.5
Pattern3	20.0	18.0	25.0	23.0
Pattern4	16.5	17.5	21.0	22.0
Pattern5	18.0	17.5	24.5	23.0

Tab. 4.16 EER alla scala L2 con gestione della traslazione su 6 pixel

Percentuali	0	45	90	135
ROI divisa	- 5.0%	- 7.7%	+20.0%	-4.3%
Random	+7.5%	-2.7%	+20.0%	+2.1%
Pattern 1	0.0%	0.0%	+35.0%	+4.3%
Pattern 2	-22.5%	-23.0%	+7.5%	-12.8%
Pattern 3	0.0%	-7.7%	+25.0%	-2.1%
Pattern 4	-17.5%	-10.3%	+5.0%	-6.4%
Pattern 5	-10.0%	-10.3%	+35.0%	-2.1%

Tab. 4.17 Percentuali di variazione immagine intera/altri sistemi su L2 a traslazione sei pixel

Il confronto tra l'immagine intera e gli altri sistemi porta i seguenti risultati:

- Sistema con ROI divisa: ha dei risultati migliori su tre orientazioni su quattro: a 90° però c'è un peggioramento di più del 20%;
- Sistema random: ottiene dei risultati migliori solo ad un'orientazione, a 45° con un lieve abbassamento dell'errore del 2.7%, le altre orientazioni hanno dei peggioramenti, soprattutto 90° con un peggioramento di più del 20%
- Pattern 1: non presenta miglioramenti, all'orientazione 0° e a 45° non subisce variazioni, a 135° e a 90° peggiora: a quest'ultima si ha un peggioramento del 35%;
- Pattern 2: porta dei risultati migliori su tre orientazioni su quattro e peggiora a 90° ;
- Pattern 3: si hanno dei lievi miglioramenti a 45° e a 135° , rimane costante a 0 e peggiora a 90° del 25%.
- Pattern 4: come il pattern 2 presenta dei miglioramenti su tre orientazioni su quattro, a 90° vi è un peggioramento del 5%;
- Pattern 5: ottiene un miglioramento su tre orientazioni su 4: ma a 90° vi è un peggioramento del 35%.

Quindi rispetto alle orientazioni:

- All'orientazione 0° tutti i sistemi, a parte quello a scelta casuale hanno dei risultati migliori o uguali rispetto a quello che utilizza l'immagine intera, il risultato migliore è del pattern 2 che porta un miglioramento di più del 20%;
- All'orientazione a 45° tutti i sistemi ottengono dei risultati migliori, o uguali, nel caso del pattern 1, al sistema con immagine intera. Il risultato migliore è ancora ottenuto dal pattern 2 con un miglioramento, anche in questo caso, di più del 20%

- all'orientazione a 90° vi è un innalzamento dell'errore in tutti i sistemi rispetto all'immagine intera. Il risultato peggiore è ottenuto dal pattern 1 con un peggioramento di più del 30%, mentre i pattern 2 e 4 sono gli unici ad avere delle percentuali inferiori al 10%;
- L'orientazione a 135° apporta dei miglioramenti su tutti i sistemi a parte il sistema random e il pattern 1.

Rispetto a tutti i sistemi quello che utilizza il pattern 2 raggiunge risultati migliori nelle orientazioni a 0°, a 45° e a 135°.

Rispetto alla scala L1, anche in questo caso, la scala L2 ottiene dei risultati migliori riguardo alle percentuali di errore, sia sull'immagine intera che divisa.

Infine le tabelle per la scala L3:

EER L3	0	45	90	135
Intera	15.5	13.5	18.0	18.5
ROI divisa	25.5	21.0	25.5	20.0
Random	25.5	23.0	27.5	21.0
Pattern1	24.0	20.0	25.0	20.5
Pattern2	22.0	18.0	24.0	20.0
Pattern3	26.0	20.0	28.5	21.5
Pattern4	22.0	19.0	25.5	20.5
Pattern5	24.0	15.5	25.0	20.0

Tab. 4.18 EER alla scala L3 con gestione della traslazione su 6 pixel

Percentuali	0	45	90	135
ROI divisa	+64.5	+55.6	+41.7	+8.1
Random	+64.5	+70.4	+52.8	+11.9
Pattern 1	+54.8	+48.1	+38.9	+10.8
Pattern 2	+41.2	+33.3	+33.3	+8.1
Pattern 3	+67.7	+48.1	+58.3	+16.2
Pattern 4	+41.2	+40.7	+41.7	+10.8
Pattern 5	+54.8	+14.8	+38.9	+8.1

Tab. 4.19: Percentuali di variazione immagine intera/altri sistemi su L3 a traslazione sei pixel

A quest'ultima scala invece i risultati sono nettamente diversi rispetto alla precedente:

A tutte le orientazioni il sistema che utilizza l'immagine intera risulta essere il migliore, vi sono dei netti peggioramenti su tutti i sistemi e a tutte le orientazioni.

4.4 Analisi dei risultati finali

Dalle tabelle precedenti si può infine dedurre come il sistema identificato come "Pattern 2", che prende in considerazione le prime due colonne dell'immagine, alla scala L2, da dei risultati migliori rispetto all'analisi dell'immagine intera e degli altri sistemi ad immagini divise, soprattutto per le orientazioni a 0 e 45°.

Con la traslazione T2 vi è un miglioramento di tutte e quattro le orientazioni, mentre con la traslazione T6 vi è un miglioramento di tre orientazioni su quattro (tranne l'orientazione da 90°).

Viene quindi eseguita un'ulteriore analisi di questo pattern, utilizzando delle diverse suddivisioni dell'area, per verificare se effettivamente la divisione in aree da 50x50 pixel risulta essere la più efficiente.

Le suddivisioni prese in considerazioni sono le seguenti:

- Suddivisione in tre sottoaree 50x100 (Fig.4.2 (b));
- Suddivisione in quattro sottoaree 75x50 (Fig.4.2 (c));
- Analisi dell'immagine intera 150x100 (Fig.4.2 (d)).

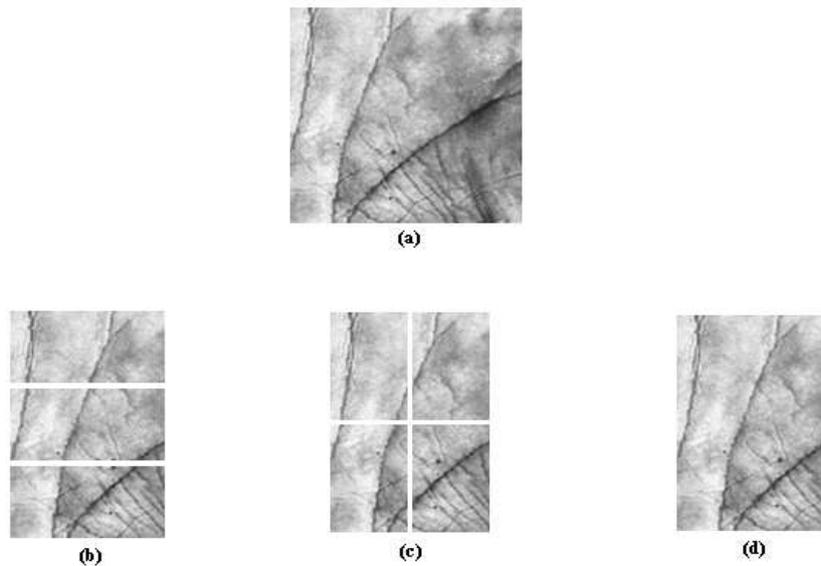


Fig 4.7 Immagine intera (a), pattern 2 suddiviso in aree 50x100 (b), pattern 2 suddiviso in aree 75x50 (c) e pattern 2 intero (d).

Viene utilizzata la formula per gestire la traslazione su 2 mm, quindi T6 perché da risultati migliori in termini di EER rispetto alle altre.

Nella suddivisione dell'immagine, il matching da esito positivo se

- nella suddivisione in tre immagini, almeno due di loro hanno un valore della distanza di Hamming inferiore alla soglia;
- nel caso della suddivisione in quattro se almeno tre di loro hanno un valore della distanza di Hamming inferiore alla soglia.

EER P2	Im. Intera	50x50	50x100	75x50	150x100
0	20.0	15.5	18.5	20.0	17.0
45	19.5	15.0	16.5	18.5	20.0
90	20.0	21.5	21.0	22.5	20.0
135	23.5	20.5	20.0	18.5	22.0

Tab 4.20 EER nelle diverse suddivisioni del pattern 2

Come si può notare dalla Tab. 4.20, le orientazioni a 0° e 45° danno ancora dei risultati nettamente migliori rispetto all'immagine intera, e alle diverse divisioni applicate.

L'orientazione a 90° invece da risultati migliori sull'immagine 150x100 non suddivisa, che risultano essere uguali ai risultati dell'immagine intera. Si può notare, quindi, come questa orientazione dia dei risultati migliori nelle immagini di dimensioni maggiori, come la 150x150 pixel o la 150x100 px.

L'orientazione da 135° risulta, invece, raggiungere dei risultati migliori per immagini di dimensioni intermedie, da 75x50 px, seguite da quelle da 50x100 px.

Conclusioni

Dall'analisi su test effettuati si può notare che, in termini di accuratezza, l'utilizzo dell'immagine divisa porta ad avere risultati alcune volte migliori, in termini di EER, rispetto all'immagine intera.

Questo avviene:

- attraverso la scelta di pattern predefiniti e soprattutto scegliendo il pattern rappresentante la parte superiore del palmo, dove appaiono le due linee principali. I pattern che contengono, invece, aree della parte inferiore presentano dei risultati peggiori, contenendo meno caratteri distintivi.

Nello specifico nei sistemi testati sono stati ottenuti i seguenti risultati:

- immagine a ROI divisa: ottiene dei buoni risultati, soprattutto gestendo la traslazione in un piccolo intorno. Ottiene i risultati migliori per l'orientazione a 135° alla scala L2 con un miglioramento di più del 16%. A questa scala, inoltre, questo sistema è l'unico, a parte quello che utilizza il pattern 2, a non portare peggioramenti a nessuna orientazione sull'immagine intera. Sempre alla scala L2, però effettuando il confronto traslando di sei pixel, si ha un miglioramento di tre orientazioni su quattro;
- pattern 1: è uno dei pattern che ottiene i risultati peggiori, questo perché ben due delle aree che vengono utilizzate appartengono alla parte più bassa del palmo;
- pattern 2: è il sistema che ottiene i risultati migliori, salvo qualche rara eccezione, rispetto all'immagine intera, ottenendo i valori più alti di miglioramento e i più

bassi di peggioramento. Questo ha permesso di stabilire che la parte dell'immagine che ottiene i risultati migliori tra quelli testati in questo lavoro di tesi è quella della parte superiore della regione di interesse, contenente le linee principali;

- pattern 3: come il pattern 1, ottiene anch'esso i risultati peggiori, avendo tre immagini su sei appartenenti alla parte bassa del palmo;
 - pattern 4: è secondo nell'ottenere i risultati migliori tra i sistemi che utilizzano parte dell'immagine dopo il pattern 2, variando di quest'ultimo di un'unica area. Basta appunto prendere una minima porzione della parte inferiore dell'immagine per peggiorare i risultati;
 - pattern 5: ottiene dei risultati peggiori rispetto al pattern precedente, variando, di un'area dallo stesso (e di due rispetto al pattern 2). Tra i peggiori, come nel caso del pattern 1.
- per le scale L1 ed L2, quindi con valori di frequenza maggiori e deviazione standard dell'involuppo gaussiano minori del filtro di Gabor, rispetto alla scala L3. La terza scala scelta, infatti, per questo database, ottiene dei risultati migliori per l'immagine intera specialmente all'aumentare dell'intorno dove vengono eseguiti i confronti.

Nello specifico:

- la scala L1: i sistemi ad immagini divise ottengono dei risultati migliori rispetto all'immagine intera sulle orientazioni a 45° e 135° eseguendo i controlli traslando di due pixel, mentre su 0° e 45° traslando di sei pixel;
 - la scala L2: a questi valori i sistemi ad immagine divisa ottengono i risultati migliori, soprattutto all'orientazione a 45° e per il pattern 2;
 - la scala L3: a questa scala vengono ottenuti i risultati peggiori per l'immagine divisa, nei confronti dell'immagine intera soprattutto all'aumentare dell'intervallo di gestione della traslazione.
- per orientazioni a 0° e a 45° per alcuni pattern predefiniti e, soprattutto, per il sistema che utilizza il pattern 2 e a 135° per il sistema che utilizza tutte e nove le aree non sovrapposte. Nell'orientazione a 90°, invece, i risultati migliori vengono solitamente ottenuti dalle immagini intere. Comunque, quest'ultima orientazione rispetto alle altre, risulta essere meno selettiva, portando dei risultati peggiori dovuti ad un aumento dei falsi positivi.

- con immagini da 50x50 pixel: dividendo l'immagine della parte superiore del palmo in varie combinazioni è stato verificato che il risultato migliore in termini di EER rispetto alle orientazioni viene ottenuto attraverso questa suddivisione a 0° e 45°. Per l'orientazione da 90° invece si può notare che i risultati migliori, soprattutto all'aumentare del numero di pixel controllati dall'algoritmo di gestione della traslazione, sono ottenuti per immagini di dimensioni maggiori, come l'immagine intera, oppure l'immagine 150x100 del pattern 2. Per l'orientazione da 135°, invece, i risultati migliori sono ottenuti per suddivisioni intermedie.

Dal punto di vista della velocità, i sistemi che risultano essere più veloci nell'estrazione delle caratteristiche sono sicuramente quelli ad immagine divisa, sia quello che utilizza tutte le informazioni, ma soprattutto quello che ne usa sei su nove. Inoltre il miglioramento aumenta all'aumentare della dimensione del filtro utilizzato.

Per quanto riguarda la gestione della traslazione, si deve trovare la giusta dimensione dell'intorno sul quale eseguire i confronti:

- un intorno troppo piccolo fa aumentare il valore dell'EER per un aumento del numero di persone autorizzate che vengono rifiutate (FRR);
- un intorno troppo grande, allo stesso modo, provoca un incremento dell'EER, dovuto, in questo caso, ad un aumento dei falsi positivi, quindi ad una diminuzione della sicurezza.

Sarebbe quindi più utile trovare un modo per gestire questo fenomeno in fase di preprocessing, eventualmente estraendo delle aree sovrapposte dell'immagine.

C'è da far presente, comunque, che i dati ottenuti con questo sistema sono peggiori ai dati in letteratura, in termini di EER. Si devono però tener presente delle condizioni che hanno portato a questi risultati, quali:

- l'utilizzo di immagini senza contatto. Molti degli studi in letteratura utilizzano un database appartenente al Polytechnic University di Hong Kong, ottenuto mediante il sistema di acquisizione da loro realizzato, nel quale le mani venivano bloccate attraverso

dei pioli, appositamente posti tra le dita, e veniva gestita anche la fonte luminosa. In questo caso, invece, le immagini sono state acquisite senza contatto con un sistema di acquisizione e senza blocchi, a diverse rotazioni dell'immagine.

- la mancata gestione della traslazione nella fase di preprocessing: sebbene nella fase di preprocessing sia stato gestito il fenomeno della rotazione, il sistema è sensibile al fenomeno della traslazione;
- la scelta dei parametri dei filtri di Gabor: sono state studiate solamente tre scale dei filtri di Gabor, come trovato in alcuni *paper* in letteratura: non sono state provate altre combinazioni;
- l'estrazione di un'unica caratteristica: un sistema che utilizza più caratteristiche dell'immagine, oltre alle texture, permetterebbe di ottenere dei risultati più accurati.

Attraverso la gestione degli accorgimenti sopracitati è auspicabile un miglioramento dei risultati ottenuti, permettendo un abbassamento dell'EER.

Bibliografia

- [1] David D. Zhang (2004) "Palmpoint Authentication", Kluwer Academic Publishers 2004

- [2] Michael Goh Kah Ong, Connie Tee, Andrew Teoh Beng Jin (2008) "Touch-less Palmpoint Biometric System" International Conference on Computer Vision Theory and Applications

- [3] John R. Vacca (2007) "Biometrics Technologies and Verification Systems", Butterworth- Heinemann 2007

- [4] Munaga V.N.K. Prasad, P.Manoj, D. Sudhir Kumar, Atul Negi (2006) "Intramodal Palmpoint Authentication" SITIS 2006

- [5] Zhenhua Guo, Lei Zhang, David Zhang, Xuanqin Mou (2008) "Hierarchical Multiscale LBP for face and palmpoint recognition", ICIP 2010: 4521-4524

- [6] De-Shuang Huang, Wei Jia, David Zhang (2006) "Palmpoint verification based on principal lines", Pattern Recognition 41 (2008) 1316-1328

- [7] Jorge A. Recio Recio, Luis A Ruiz Fernandez, Alfonso Fernandez-Sarria (2005) “Use of Gabor filters for texture classification of digital images”, *Fisica de la Tierra* n°17 pp 47-59, 2005
- [8] David Zhang, Guangming Lu, Wei Li, Nan Luo (2008) “Three Dimensional Palmprint Recognition using Structured Light Imaging“, 2008 IEEE
- [9] Wei Li, David Zhang, Lei Zhang, Guangming Lu, Jingqi Yan (2010) “Three Dimensional Palmprint Recognition with Joint Line and Orientation Features” *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C* 41 (2): 274-279 (2011)
- [10] David Zhang, Vivek Kanhangad, Nan Luo, Ajay Kumar, (2010)“Robust Palmprint Verification Using 2D and 3D Features”, *Pattern Recognition* vol. 43 no 1, pp. 358-368, January 2010
- [11] Andreas Uhl and Peter Wild (2009) “Comparing Verification Performances of Kids and Adults for fingerprint, Palmprint, Hand Geometry and Digital Biometrics”, 2009 IEEE
- [12] Li Shang, De-Shuang Huang, Ji-Xiang Du, Chun-Hou Zheng, (2006) “Palmprint recognition using FastICA algorithm and radial basis probabilistic neural network”, *Neurocomputing* 69, 2006
- [13] Tee Connie, Andrew Teoh, Micheal Goh, David Ngo (2003) “Palmprint Recognition with PCA and ICA”, Palmerston North, November 2003
- [14] Vincenzo Selvaggio “Stato dell’arte dei sistemi biometrici basati sul riconoscimento dell’iride”, 2004
- [15] Surjeet Singh, Kulbir Singh (2011) “Segmentation Techniques for iris recognition systems” *International Journal of Scientific & Engineering Research* Volume 2, Issue 4, April-2011
- [16] Aythami Morales, Miguel A. Ferrer, Ajay Kumar (2010), “Improved Palmprint Authentication using Contactless Imaging”, 2010 IEEE

- [17] D.B.L. Bong, R.N. Tingang, A Joseph (2010) “Palm Print Verification Systems”, Proceedings of the World Congress of Engineering 2010 Vol. 1 WCE 2010, June 30 – July 2, 2010, London, U.K
- [18] “Biometrics” Vartika Paul slides
- [19] Bromba Biometrics, <http://www.bromba.com/faq/biofaqd.htm>
- [20] Biometrics.gov, <http://www.biometrics.gov/ReferenceRoom/Introduction.aspx>
- [21] Biometric, soluzioni per l’identificazione, <http://www.biometric.it/index.php>
- [22] A. Kumar, (2008) “Incorporating Cohort Information for Reliable Palmprint Authentication”, Proc. ICVGIP 2008, pp. 112-119, Bhubaneswar (India), Dec 2008
- [23] IITD Touchless Palmprint Database, Version 1.0 (available online): http://web.iitd.ac.in/~ajaykr/Database_Palm.htm

Ringraziamenti

Vorrei ringraziare il Prof. Ferrari, per la disponibilità e gli utili consigli nella realizzazione di questo progetto.

Un ringraziamento speciale ai miei genitori, a mia sorella e ai miei nonni che mi hanno sostenuto durante tutta la mia carriera universitaria.