Sistemi Biometrici

Riccardo Aziani

Settembre 2024

Indice

Capitolo 1

Introduzione alla biometria

1.1 Riconoscimento biometrico e tecniche tradizionali

Nuovo modo di identificare e autenticare

La biometria ci offre un nuovo modo, **automatico**, di identificare le persone.

Si passa da una cosa che **sappiamo** (password) o che **abbiamo** (documento, chiave), a ciò che **siamo** (iride, impronta) o ciò che **facciamo** (voce, firma).

Definizione di biometria

Si definisce biometria un **insieme di tecniche automatiche per il riconoscimento degli individui** basato sulle loro caratteristiche **fisiche** e **comportamentali**.

1.1.1 Riconoscimento

Il riconoscimento della identità è l'operazione che associa una identità a un individuo.

Il riconoscimento può essere diviso in due categorie:

- Verifica dell'identità (**autenticazione**)
- Ricerca dell'identità (**identificazione**)

Queste due categorie hanno diversa funzione e complessità.

Autenticazione

La verifica dell'identità equivale a rispondere alla domanda: **sono chi dico di essere?**

Si può dunque confermare o negare l'identità dichiarata dall'utente; viene fatto con metodi one-to-one (1:1).

Identificazione

La ricerca dell'identità equivale a rispondere alla domanda: **Chi sono io?**
Si deve dunque stabilire l'identità del soggetto

- da un insieme di identità note (problema di identificazione **chiuso**)
- in altre situazioni (problema di identificazione **aperto**)

La ricerca dell'identità avviene con metodi one-to-many (1:N).

Autenticazione/Identificazione Positiva e Negativa

- **Positiva:** consiste in quando si cerca di stabilire con elevata accuratezza che l'utente sia chi dice di essere.
- **Negativa:** consiste in quando si cerca di stabilire con elevata accuratezza che l'utente non sia chi dice di essere.

Alcuni esempi:

- Un sistema di accesso ad un sito militare controlla la mia iride per controllare se appartengo ad un lista di abilitati all'ingresso. **(Identificazione positiva)**
- Un sistema di visione controlla con delle telecamere se chi passa davanti agli obiettivi non sia un terrorista presente in una lista. **(Identificazione negativa)**
- Al bancomat si controlla se chi sta usando la carta sia effettivamente il possessore della carta. **(Autenticazione positiva)**

1.1.2 Metodi classici di autenticazione

I metodi classici di autenticazione si basano su due principali attività:

- **Possesso:** basate su qualcosa che possiedi (token-based); posso entrare in laboratorio se possiedo la chiave
- **Conoscenza** di una porzione informazione: qualcosa che sai; posso accedere alla rete se conosco la password

Alcuni sistemi utilizzano in modo **ibrido** queste due modalità; usi il bancomat se **hai** la carta e **conosci** il PIN.

Metodi classici: problemi

- **Metodi basati sul possesso**

  Il token può essere:

  - perso o rubato

  - prestato a chi non dovrebbe usarlo
  - usato in contesti non autorizzati

- **Metodi basati sulla conoscenza**

  La password può essere:

  - dimenticata
  - ceduta o trasmessa ad altri
  - individuata per tentativi

È stato provato che mediamente una persona deve ricordare oltre 20 password/codici; ne consegue che si tende ad usare la stessa password ovunque.

1.1.3 Metodi biometrici

Con i metodi biometrici il riconoscimento avviene in base alle caratteristiche fisiche e/o comportamentali dell'individuo:

- **Tratti fisici**
  - iride
  - impronta
  - geometria della mano
  - volto
- **Tratti comportamentali**
  - voce
  - firma
  - camminata

In figura 1.1 viene confrontato il livello di sicurezza delle modalità che sono state trattate.

Alcuni vantaggi

- i tratti sono sempre con te, **non possono essere dimenticati** o usati da altri.
- è molto più **difficile falsificare** un tratto biometrico che un documento o una chiave
- l'**accuratezza** della identificazione può essere molto più **elevata** dei metodi tradizionali
- possono essere **combinati** con i metodi tradizionali

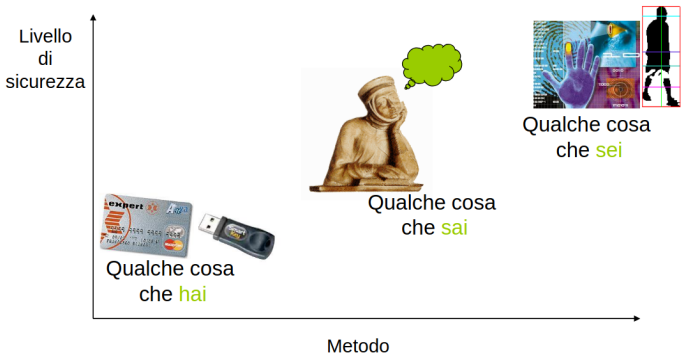


Figura 1.1: Confronto del livello di sicurezza delle modalità viste

- solo i metodi biometrici possono realizzare una **identificazione negativa** (*"il sistema dice che io non sono lui"*)
- riducono (quasi a zero) la possibilità di reclami di **ripudazione** (*"sono innocente..qualche altra persona ha usato il mio PIN.."*)

Alcuni svantaggi

- i sistemi biometrici hanno un **costo maggiore**
- i sistemi biometrici rispondono in realtà con un **livello di matching** e rispondo con una decisione binaria yes/no
- alcune persone li vedono come una **invasione della privacy**
- non possono essere cambiati a piacimento
- alcune persone non possiedono tutti i tratti biometrici (mancanza di iride, impronte usurate, senza voce...)

Biometrics and Biometry

In inglese esistono due termini che in italiano corrispondono al termine biometria:

- **Biometrics:** metodi di identificazione automatica basati sulle caratteristiche fisiche e comportamentali dell'individuo.
- **Biometry:** campo di studio molto più ampio che comprende l'applicazione della statistica alla biologia e alla medicina.

Le 7 proprietà del tratto biometrico

- **Universalità:** ogni persona deve possedere questo tratto o caratteristica
- **Unicità:** due persone non devono avere lo stesso tratto uguale
- **Permanenza:** la caratteristica deve essere invariante nel tempo
- **Misurabilità:** il tratto deve poter essere esaminato quantitativamente
- **Performabilità:** accuratezza della identificazione che deve essere adeguata e deve essere garantita senza particolari condizioni operative
- **Accettabilità:** percentuale di persone che potrebbero accettare l'uso del sistema biometrico
- **Circonvezione:** grado di difficoltà nell'ingannare il sistema con tecniche fraudolente

1.2 Aspetto e funzionamento dei sistemi biometrici

Enrollment

È la **fase di inserimento**, il tratto biometrico viene per la prima volta acquisito dal sistema e registrato oppure viene creato il documento biometrico.

Identificazione/Verifica

È la **fase di riconoscimento**, il tratto biometrico viene nuovamente acquisito. Se risulta sufficientemente aderente alle informazioni registrate nel sistema biometrico l'accesso viene consentito.

In figura 1.2 vengono mostrate le fasi di enrollment e identificazione.

In figura 1.3 viene mostrato il concetto di matching score e di soglia.

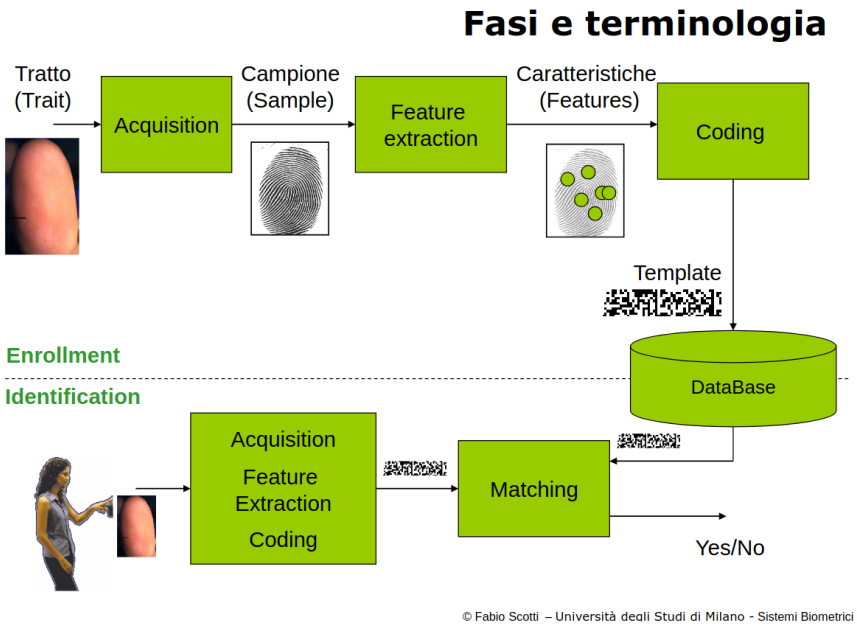


Figura 1.2: Fasi di Enrollment e Identificazione

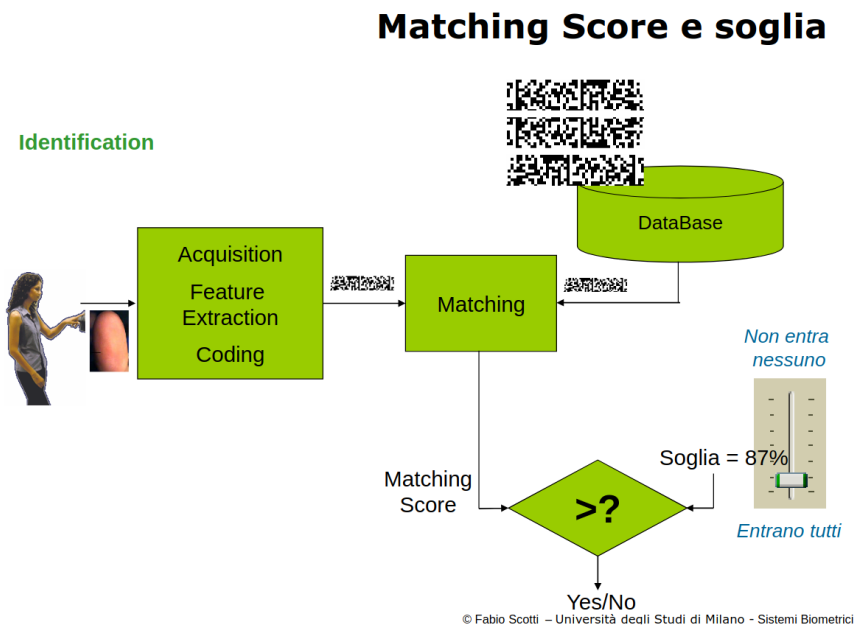


Figura 1.3: Matching score e soglia

1.3 Tratti biometrici: caratteristiche

Tra i tratti biometrici più diffusi e maggiormente impiegati nei sistemi biometrici rientrano:

- Impronte
- Volto
- Iride
- Geometria della mano/vene
- Voce
- Firma
- Sistemi multimodali

Iniziamo ad approfondire quelli maggiormenti utilizzati.

Impronta digitale

È il tratto biometrico più antico e diffuso del mondo. Si tratta di un pattern di creste e valli che si sviluppa da una configurazione casuale già presente dall'embrione. Ad oggi, si ritiene che siano uniche e che il pattern non cambi nel tempo.

Per rilevarle vengono usati sensori:

- Termici
- Ultrasuoni
- Capacitivi
- Ottici
- Scanner tradizionali

Il riconoscimento avviene attravero tre approcci, mostrati in figura 1.1.

Volto

È uno tra i tratti biometrici meno invasivi; viene usato per riconoscere le persone in una grandissima varietà di applicazioni.

I sensori utilizzati per rilevare questo tratto sono:

- Telecamere
- Macchine fotografiche digitali
- Webcam

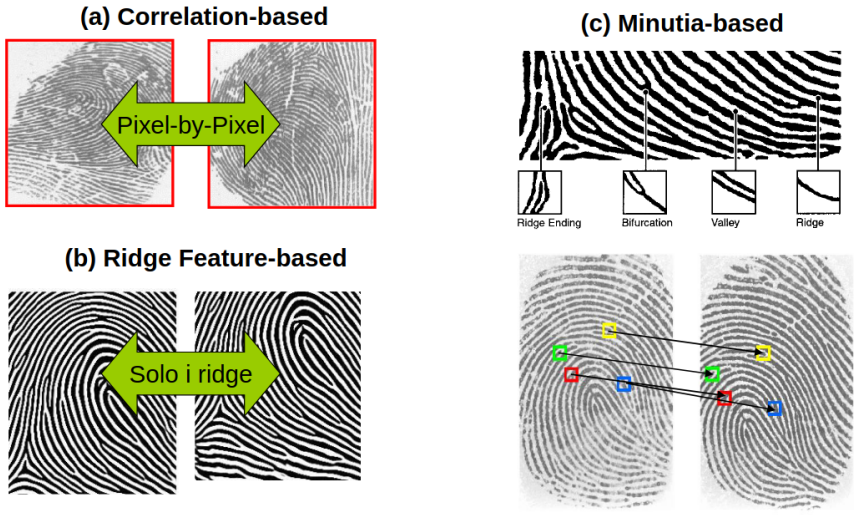


Figura 1.4: Approcci di riconoscimento delle impronte

- Smartphone
- Scanner 3D

È difficile creare dei sistemi che sappiano affrontare efficacemente l'invecchiamento, espressioni del volto, variazioni della posa...

Il riconoscimento avviene con due approcci differenti, mostrati in figura 1.5:

- Trasformazione: si crea una "base di immagini" che permette di ricostruire un nuovo viso come una somma di immagini contenute nella base
- Attributi: si localizza il volto nell'immagine e si misurano delle caratteristiche (distanza degli occhi, lunghezza del naso, della bocca...)

Mano

È un tratto biometrico ben accettato dagli utenti in quanto è poco invasivo; offre un discreto livello di sicurezza, ed offre la possibilità di controllare più aspetti.

Di solito si lavora su tre viste: palmare, laterale e dorsale.

Per il rilevamento del tratto, si utilizzano degli scanner o delle camere.

Ci sono diversi approcci per il riconoscimento, mostrati in figura 1.6.

Figura 1.5: Approcci per il riconoscimento del volto

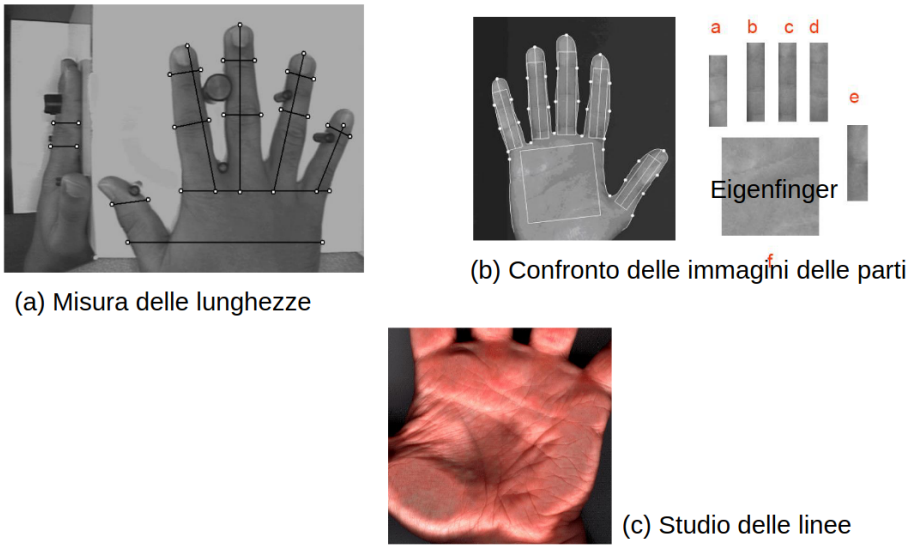


Figura 1.6: Approcci per il riconoscimento della mano

Iride

È considerato essere il tratto biometrico più accurato: l'iride presenta numerosissime caratteristiche che sono stabili nel tempo. Si tratta di un sistema piuttosto complesso e costoso, ma difficile da frodare.

Per il rilevamento, vengono utilizzate delle camere ad alta definizione o delle ottiche speciali.

Il sistema possiede degli algoritmi per:

- Trovare l'occhio e selezionare la parte utile
- Eliminare i riflessi e le ciglia
- Compensare le deformazioni dell'iride che si comporta elasticamente con le variazioni di luce
- Linearizzazione dell'iride e creazione dell'IRIS CODE

Firma

È un metodo molto semplice e diffuso; ha una bassa accuratezza e un moderato costo del sensore.

Il riconoscimento è basato sugli andamenti nel tempo di:

- coordinate (x, y)
- pressione
- inclinazione

Voce

È un tratto biometrico accettato dagli utenti; ha una bassa accuratezza e un costo moderato.

Sistemi multimodali

Consistono nell'unire più tecnologe biometriche in un sistema per aumentarne l'accuratezza o la robustezza alle frodi.

1.4 Comparazione dei sistemi biometrici

Comparare dei sistemi biometrici è un compito complesso, perché vi sono molti parametri di giudizio difficilmente stimabili

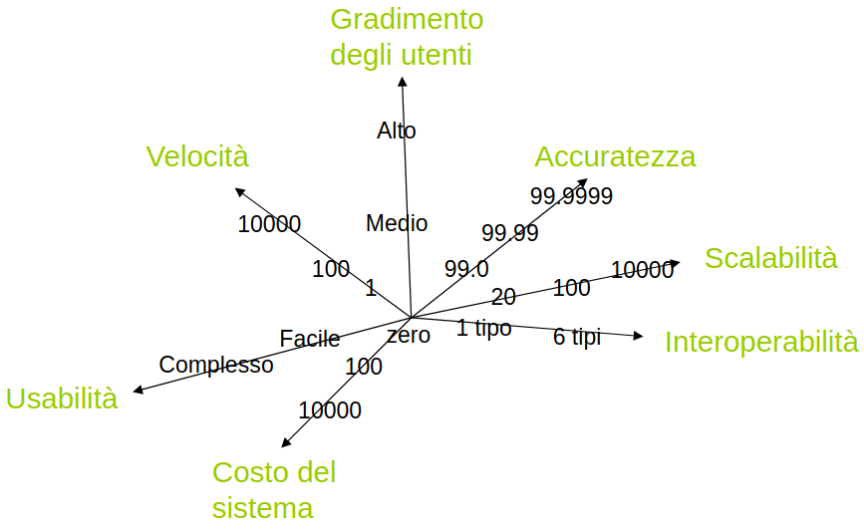


Figura 1.7: Comparazione tra sistemi biometrici

Autenticazione/Identificazione

Ad oggi, solo iride e impronta sono usati per **identificazione** (1:N) con N grandi. I requisiti per il funzionamento 1:N sono:

- accuratezze elevatissime
- template in byte ridotti (minore di kB)
- tempo per un singolo confronto molto basso (minore di ms)

Per questo motivo mano, voce, volto e firma vengono usati solo per **autenticazione** (1:1) o identificazione (1:N) con N solo qualche decina di persone.

Variazioni del tratto

Occore tenere presente se un un tratto biometrico cambia nell'arco di una vita o giorno dopo giorno; i tratti biometrici già formati dalla nascita e stabili per tutta la vita sono iride e impronta.

L'alta variabilità del tratto biometrico nel tempo produce una peggiore accuratezza del sistema biometrico.

Velocità del sistema

Si calcola il **tempo misurato in secondi per eseguire completamente un singolo matching**, da cui si può stimare il **numero di utenti massimo identificabile/autenticabili in un'ora.**

Ad esempio:

- abbiamo 2000 iridi registrate in un sistema come persone indesiderate (N=2000)
- Vogliamo che la persona venga identificata negativamente in 2 secondi

Ne consegue che il tempo per eseguire un singolo matching deve essere minore di 1ms.

I sistemi possono funzionare:

- **in tempo reale:** la velocità è cruciale (ad esempio aereoporto)
- **offline:** la velocità è importante ma non cruciale (ricerca di impronte in un archivio)

Interoperabilità

È la capacità di un sistema biometrico di funzionare anche con sample biometrici acquisiti con sensori di diverso tipo usando lo stesso tratto biometrico.

L'interoperabilità diventerà sempre più importante dato che il **tipo** di sensori è **destinato ad aumentare nel tempo**.

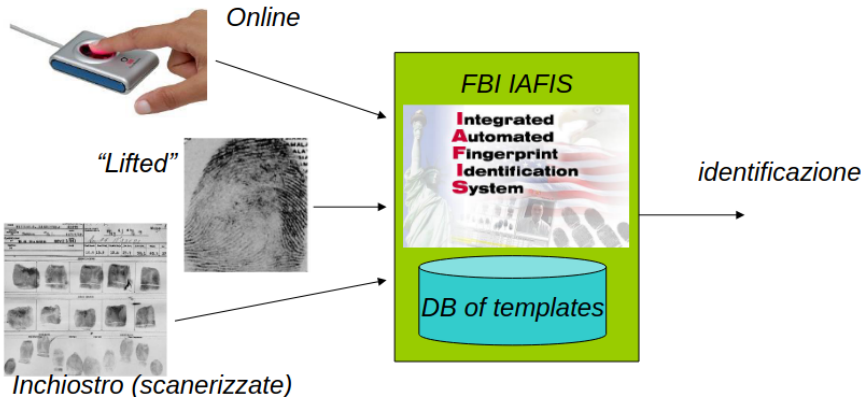


Figura 1.8: Un esempio di interoperabilità

1.5 Impiego di un sistema biometrico: aspetti di privacy e legislativi

Percezione degli utenti

L'uso delle tecnologie biometriche viene spesso percepito dagli utenti in modo duplice:

- **Vantaggi:**
  - non devo avere chiavi o ricordare codici (1)
  - sarà più difficile rubarmi i soldi dal bancomat (2)
  - funzionerà contro il terrorismo (3)
- **Svantaggi:**
  - le mie impronte saranno schedate (1)
  - sapranno dove vado (2)
  - sapranno che cosa compro (3)

Discussione sui vantaggi

- **(1): VERO**
- **(2): PARZIALMENTE VERO;** esistono modi per frodare un sistema biometrico, ma sono molto complessi. La tecnologia anti-spoofing procede di pari passo con quella di spoofing
- **(3): PARZIALMENTE VERO;** il problema delle identità multiple e dei documenti falsi vieno quasi azzerato, ma rimane il problema della fonte (anello debole)

Discussione sugli svantaggi

- **(1): PARZIALMENTE VERO;** le tecnologie sono simili, cambiano i DB ed il loro impiego
- **(2): GIÀ VERO OGGI;** ad esempio Telepass, pagamenti online di biglietti o prenotazioni
- **(3): GIÀ VERO OGGI;** bancomat/carte di credito

L'anello debole della catena

L'anello debole della catena di identificazione rimane anche se usiamo le tecnologie biometriche: **il problema è la fonte**.

Un documento biometrico nasce da altri documenti tradizionali: ad esempio, per il passaporto biometrico serve un documento di riconoscimento valido.

Sample o Template?

Sample:

- **PRO:**
  - può essere nuovamente filtrato, analizzato
  - permette cambi tecnologici
- **CONS:**
  - occupa più spazio
  - dato utile per attacchi con fake
  - lede la privacy

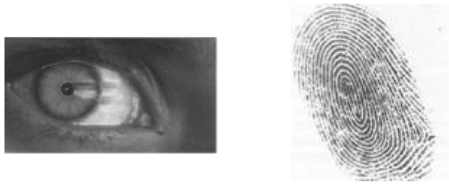


Figura 1.9: Sample

Template:

- **PRO:**
  - minore elaborazione durante la verifica
  - minore occupazione in memoria e banda in trasmissione
  - protegge meglio la privacy
- **CONS:**
  - legato alla tecnologia che lo ha generato
  - difficilmente migliorabile

Figura 1.10: Template

Il problema della proscrizione

Quando un dato biometrico è inviato ad un dato sistema, l'informazione contenuta **non dovrebbe essere utilizzata per altri scopi** se non dell'uso richiesto dall'utente. Ad esempio, si può essere controllati se si appartiene ad una particolare lista.

Il problema delle liste di proscrizione **non** è presente solo nei sistemi biometrici; tuttavia le tecniche biometriche possono peggiorare la situazione perché il matching biometrico è molto **difficile da ripudiare**.

La biometria prolunga la l'intervallo di tempo nel quale fare il riconoscimento.

Privacy e variazioni del tratto

Usare un tratto biometrico che varia molto nel tempo tende a produrre falsi negativi (il sistema dice che non sono io).

Allora perché non usare sempre iride ed impronta dato che hanno i tassi di errore fra i più bassi?

- costo del sistema
- è corretto adattare l'invasività del tratto e l'accettazione degli utenti con il grado di sicurezza richiesto
- usare un tratto che varia nel tempo può proteggere dall'effetto "schedatura"

1.5.1 Decalogo del garante sulla biometria

"Il decalogo è una guida operativa per chi progetta e costruisce sistemi per la rivelazione di dati corporei e per ogni cittadino che deve segnalare ogni abuso".

1. **Affidabilità del sistema** di rivelazione dei dati corporei, indicando il suo livello di accuratezza
2. **Informativa chiara**, lasciando la libertà di aderire o meno al sistema (salvo stringenti ragioni)
3. **Liceità** verificabile sotto i profili di necessità, finalità, correttezza.
4. **Deroga motivata** con uso controllato in speciali casistiche
5. **Delimitata memorizzazione** su supporti sempre disponibili per l'interessato e non centrilizzazione
6. **Temporanea conservazione** in ordine cronologico per il necessario tempo limitato
7. **Scrupolose misure di sicurezza** con sistemi inequivoci e senza rischio (con un vigilatore dei dati indipendente)

8. **Piena ed immediata conoscibilità dei dati biometrici da parte dell'interessato**

9. **Rispetto rigoroso** delle norme aggiornate al **GDPR europeo 2018**

10. **Disattivazione automtica, immediata e certa di funzioni di smart card o analoghe** nel caso di smarrimento o furto

1.5.2 GDPR

General Data Protection Regulation.

Definisce i dati biometrici come una categoria speciale di dati personali e proibisce la loro elaborazione e memorizzazione presso terze parti senza il consenso

Pesudonomizzazione

Il trattmento dei dati personali in modo tale che:

1. *i dati non possano essere più attribuiti ad un interessato specifico senza l'utilizzo di informazioni aggiuntive* **(assenza di identificabilità diretta del soggetto interessato)**

2. *a condizione che tali informazioni aggiuntive siano conservate separatamente* **(l'adozione di misure di sicurezza ulteriori da aggiungenre alla pseudonimizzazione, come ad esempio la cifratura)**

3. *e soggette a misure tecniche e organizzative intese a garantire che tali dati personali non siano attirbuiti a una persona fisica indetificata o identificabile*

Viene garantita la **ricostruibilità** dei processi di mascheramento dell'identità, permettendo la reidentificazione e assicurando dunque **l'accountability** (processo con cui si è chiamati a rendere conto delle conseguenze delle proprie azioni).

Resilienza

È la **capacità di un sistema di adattarsi alle condizioni d'uso in modo da garantire la disponibilità dei servizi erogati per un lasso di tempo adeguato.**

Capitolo 2

Sistema biometrico: elementi caratteristici

2.1 Struttura di un sistema biometrico

2.1.1 Struttura di un sistema biometrico (generale)

Fase di enrollment

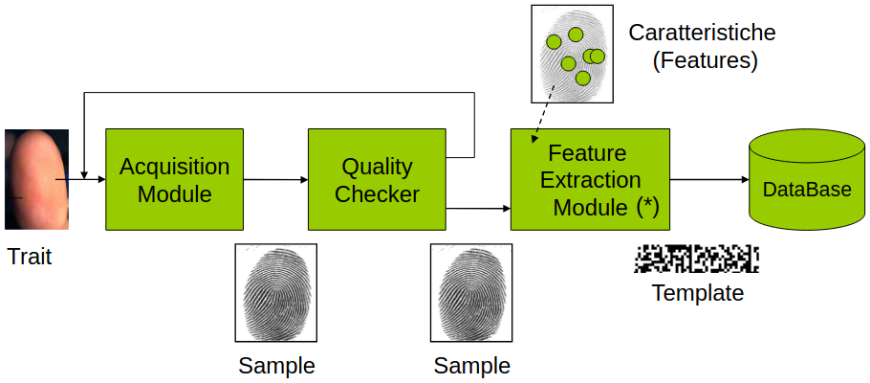


Figura 2.1: Enrollment: (template) –> DB

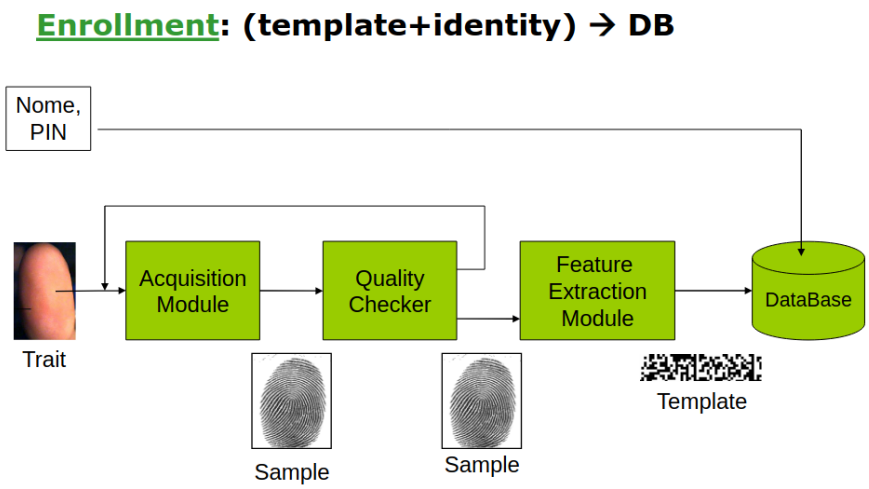


Figura 2.2: (template + identity) –> DB

Verification usando un DB

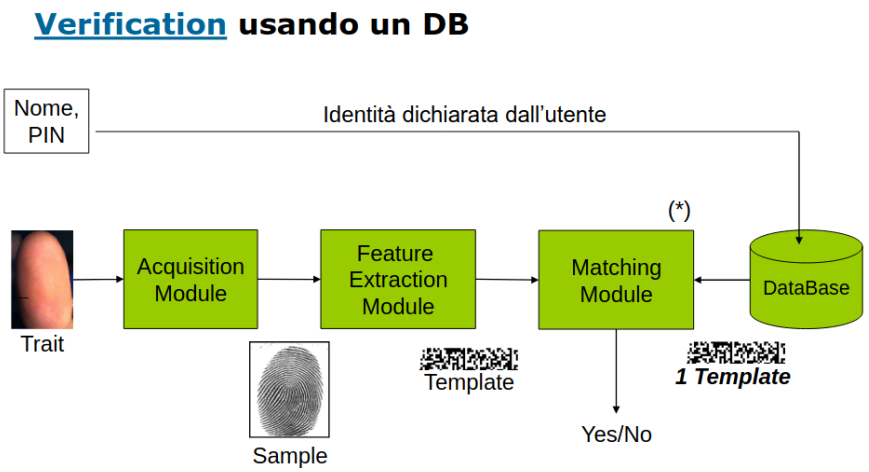


Figura 2.3: Verification usando un DB

Identification

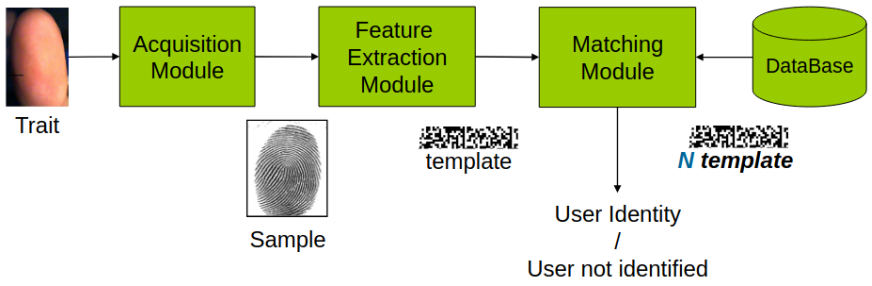


Figura 2.4: Identification

2.1.2 Struttura per documenti biometrici

Fase di enrollment

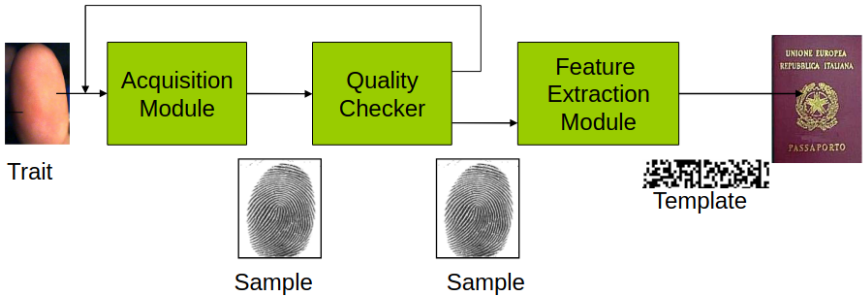


Figura 2.5: (template) –> Documento

Verification (con documento biometrico)

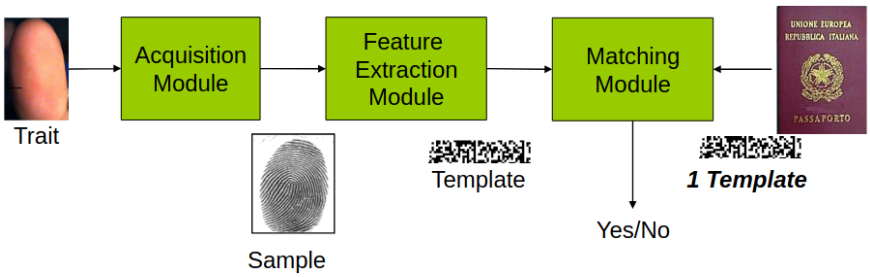


Figura 2.6: Verification con documento biometrico

2.1.3 Struttura dei sistemi multimodali

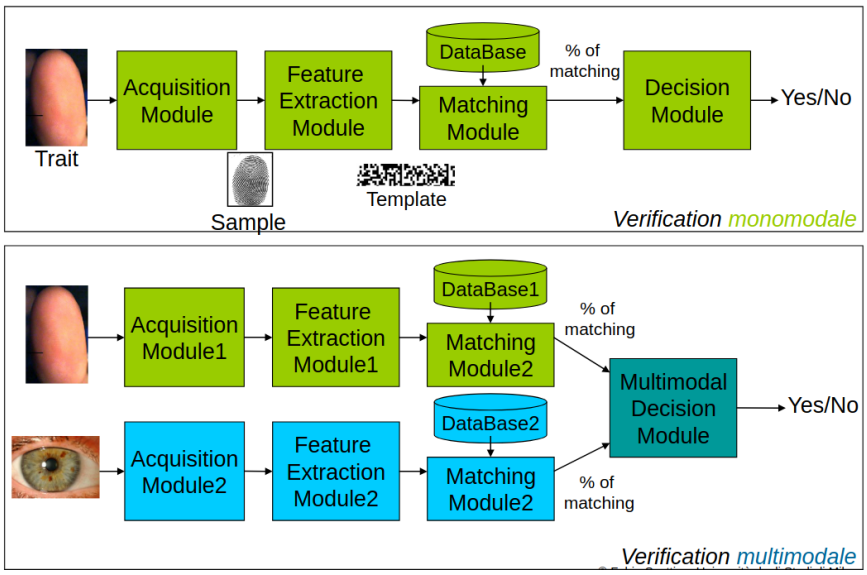


Figura 2.7: Confronto tra la struttura di un sistema monomodale e multimodale

2.1.4 Struttura dei sistemi biometrici distribuiti

Il termine "distribuito" si riferisce ad un sistema biometrico quando i moduli componenti sono separati e collegati in rete. Piuttosto raro quando si parla di sistemi di autenticazione; è invece comune quando si parla di sistemi di identificazione di grosse dimensioni.

Solitamente è il modulo dei database ad essere separato dai terminali.

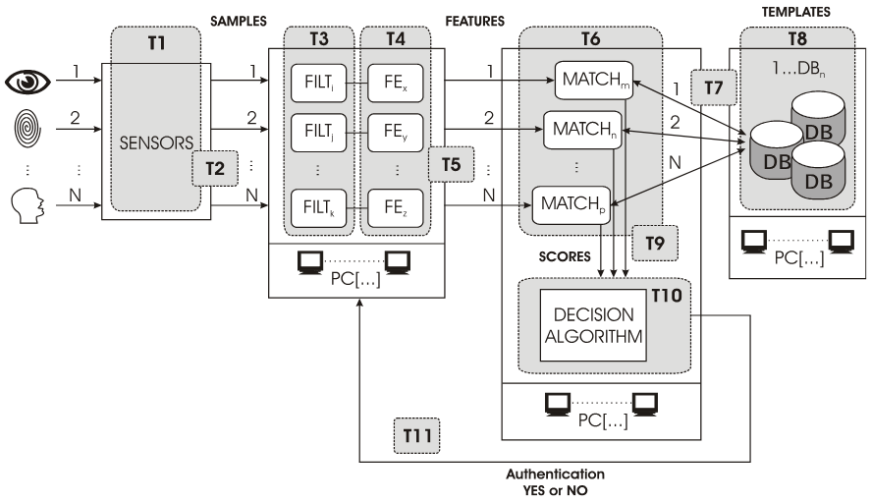


Figura 2.8: Struttura di un sistema biometrico distribuito

2.1.5 Sistemi biometrici on card

Il termine on card si riferisce al fatto che il template biometrico risiede su una smart card.

2.2 Tratto biometrico: aspetti analitici

Variabilità intraclasse

Si intende la variazione del **sample** o delle **feature** dello stesso individuo tra acquisizioni effettuate in istanti di tempo diversi. Può essere dovuto a:

- effetti casuali (rumore del dispositivo)
- varizioni dello sfondo
- variazioni del tratto (invecchiamento, posizione, espressioni, ecc.)

Similitudine interclasse

Particolare vicinanza dei **sample** o delle **feature** acquisiti da individui diversi.

Capitolo 3

Regole Generali di Progettazione

3.1 Acquisizione del tratto

Analizziamo i metodi per **progettare** ed eventualmente **migliorare** il modulo di acquisizione.

L'acquisizione di una informazione rilevante **è un processo critico** e non sempre adeguatamente studiato.

La cura nel processo di acquisizione **influenza pesantemente l'accuratezza** finale del sistema.

Il processo di acquisizione si divide in **due fasi:**

- **Valutazione della qualità:** controllo automatico sulla correttezza dei dati in ingresso coerentemente alle successive elaborazioni
- **Segmentazione:** separazione dei dati in ingresso nell'oggetto di interesse (foreground) e nello sfondo/informazione non rilevante (background)

Estrarre molte informazioni

È buona prassi cercare di estrarre maggiori informazioni possibili per migliorare le performance del sistema biometrico.

- **Acquisire anche il contesto** attorno al sample; permette di trovare meglio il vero volto per sottrazione di frame senza elaborazioni troppo complesse
- **Evitare sul nascere di fare cattive acquisizioni** per non dover richiedere il sample (ad esempio, controllare se il soggetto è in movimento o alla distanza corretta prima di elaborare il frame)

3.1.1 Controllo della qualità

Dopo l'acquisizione molti sistemi attuano un controllo automatico della qualità del tratto rilevato per evitare problemi di funzionamento.

I sistemi di controllo della qualità producono un **indice di qualità** del sample acquisito:

- se l'indice di qualità è sufficientemente alto si prosegue
- altrimenti si torna ad acquisire un altro sample

Il concetto di base è semplice, ma la progettazione e realizzazione dell'indice di qualità non lo è; alcuni punti sono che:

- non sempre esiste un **modello rigoroso e realistico** della misura in ingresso da usare per calcolare l'indice; ad esempio, se potessimo definire come dovrebbe essere un'immagine ottimale di un'impronta, potremmo esprime l'indice di qualità come la "distanza" dell'immagine in ingresso da quella ottima
- non sempre esistono **metriche rigorose e robuste** per misurare la distanza del sample in ingresso con il riferimento ottimale

Signal/Image enhancement

In alcuni casi non è possibile rifiutare un sample perché il suo indice di qualità è basso (ad esempio database giudiziari); in questo caso, il sistema cerca di estrarre le informazioni (foreground) dal rumore (background) in modo tale da far funzionare il resto della catena di moduli del sistema.

Solitamente questa fase è ad alta complessità computazionale. Può generare i cosidetti **artefatti**; ad esempio, data un'impronta rumorosa genere delle minuzie che non erano presenti nell'immagine originale.

3.2 Rappresentazione

Un'acquisizione di un sistema non elaborata, chiamata sample, è:

- **non invariante** rispetto al momento dell'acquisizione
- **non discriminatoria** (sono tutte diverse)

In un sistema biometrico occorre **studiare come rappresentare al meglio l'informazione** per rispondere alla domanda: *"Quale rappresentazione machine-readable cattura **completamente** l'informazione **invariante** e **discriminatoria** della misura in ingresso?*

Il problema della rappresentazione consiste nel determinare uno spazio di misura che sia:

- **invariante** (meno variante) rispetto ad acquisizioni dello stesso individuo

- che si **differinzi massivamente** dalla acquisizioni di individui diversi

In altre parole, si può dire che la rappresentazione deve fornire:

- **alta variabilità interclasse** (io diverso da tutti gli altri)
- **bassa variabilità intraclasse** (io simile a me stesso nei miei sample)

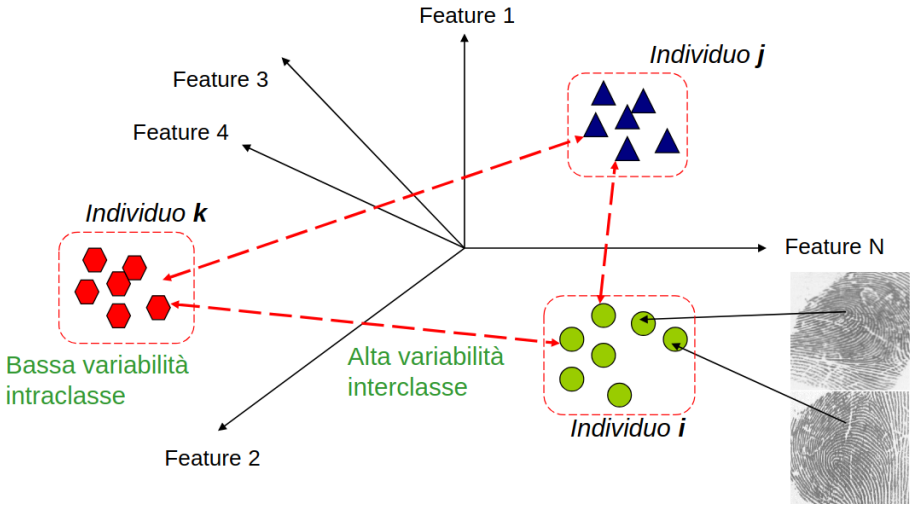


Figura 3.1: Visualizzazione del problema della rappresentazione in un spazio delle features N-dimensionale

Il problema della rappresentazione si suddivide in:

- rappresentazione del sample
- estrazione delle caratteristiche
- rappresentazione del template

3.2.1 Rappresentazione del sample

Si riferisce alle caratteristiche tecniche del processo di acquisizione e memorizzazione del sample. Varia a seconda del tratto biometrico, ci si riferisce a questi dati come ***raw data***.

3.2.2 Estrazione di caratteristiche

L'estrazione delle caratteristiche impatta sul modulo evidenziato presente sia in fase di enrollment che di verification/identification.

Avendo i dati raw provenienti dalle misurazioni occorre ora **estrarne la rappresentazione nello spazio delle caratteristiche.** Questo non è mai un problema semplice, specialmente con dati rumorosi.

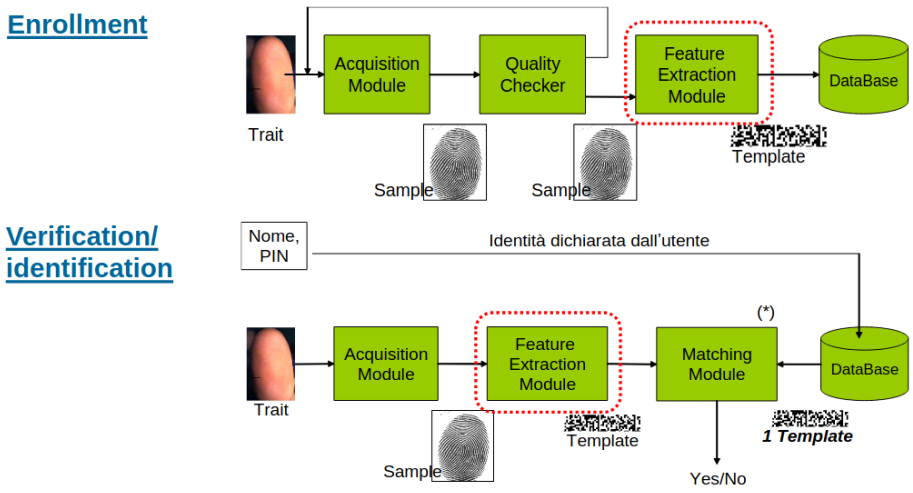


Figura 3.2: Impatto dell'estrazione delle caratterisiche

Può essere fatta in maniera manuale da un operatore oppure utilizzando un sistema automatico; **lo spazio delle caratteristiche di un sistema automatico tende ad essere diverso** da quello di un sistema con estrazione manuale.

3.3 Matching

Il matching impatta sul modulo evidenziato solo nella fase di verification /identification.

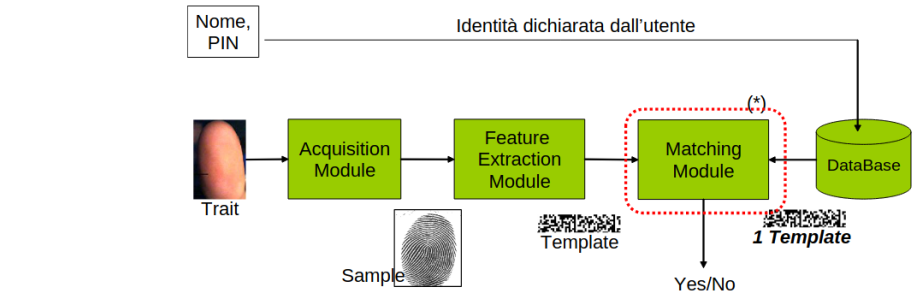


Figura 3.3: Impatto del matching

3.4 Ricerca ed organizzazione dei DB biometrici

Scalabilità

I sistemi che devono gestire una grande quantità di identità dovrebbero essere in grado di operare efficacemente quando il numero di utenti registrati nel DB aumenta.

L'introduzione della biometria in un sistema di identificazione di grandi dimensioni produce dei vantaggi:

- non soffrono del problema della produzione e del rinnovo dei documenti di identità
- sono competitivi in termini di costo e mantenimento

3.4.1 Organizzazione del DB (indexing) e tasso di penetrazione nel DB

L'obiettivo di gestire efficacemente la complessità delle ricerche rispetto all'incremento del numero di template nel DB del sistema può essere raggiunto solo con una attenta organizzazione dei DB (indexing); un DB organizzato permette di non confrontare un template in ingresso con tutti i template nel DB ma solo con quelli contenuti in una partizione.

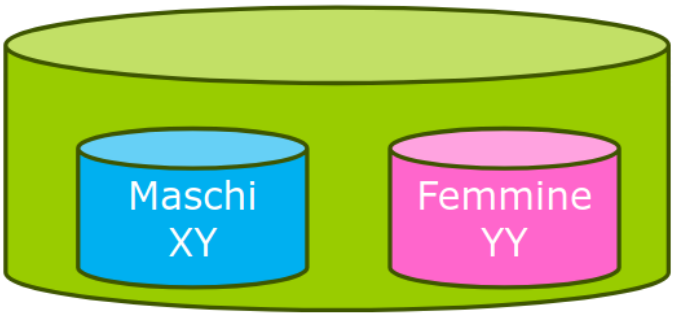


Figura 3.4: Esempio di indexing

In generale si può definire il tasso di penetrazione come la percentuale del database totale da esaminare in media per ogni ricerca. Più basso è il tasso di penetrazione, più efficiente è il sistema.

Tuttavia, per i sistemi biometrici serve fare un distinguo:

la proporzione attesa dei template da cercare su tutti i campioni di input secondo la regola che la ricerca prosegue attraverso l'intera partizione, indipendentemente dal fatto che venga trovata una corrispondenza o meno.

3.4.2 Binning

Per giovare delle partizioni del DB occorre disporre di un **algoritmo automatico molto robusto** per la classificazione dei template; quando il DB viene creato, i template vengono disposti nelle partizioni (***bins***).

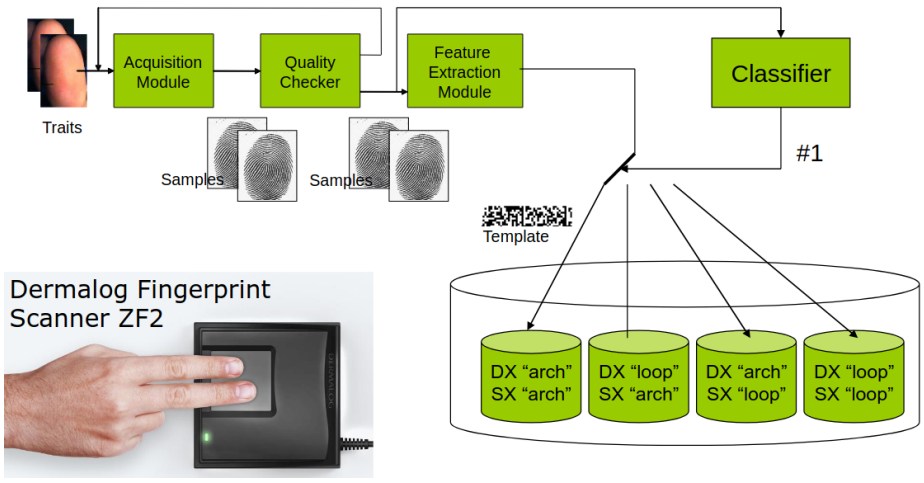


Figura 3.5: Esempio di suddivisioni in bins di un DB

Calcolo del numero di bin ottimale

Se ho **N** impronte disitnguibili (indice, medio...) tutte divisibili **M** tipi (arch, whorl, ...), allora numero migliore di bin è = M^N.

Binning error

I problemi nascono quando un individuo presenta i propri tratti biometrici al sistema e l'algoritmo di classificazione del tratto sbaglia il bin (binning error); se l'indivduo era registrato nel DB, probabilmente non si avrà un match in quanto i template che matchano sono in un bin differente.

Calcolo del binning error

Definiamo:
Binning error = **Prob(**fare almeno 1 errore**)**
p = **Prob(**sbagliare una classificazione**)**

Allora:
Binning error = **Prob(**fare almeno 1 errore**)**
= 1 - **Prob(**0 errori**)**
= 1 - $(1-p) * (1-p)$
= 1 - $(p^2 - 2p + 1)$
= $2p - p^2$ = 2p - *molto poco (se p è piccola)*

Ne consegue che:
Binning error $\rightarrow$ **circa** $N * p$ **se si usano N impronte** se:
- p è piccola (vero)
- classi distribuite (simile numero di impronte nei bin, vero)

Se si **abbassano il numero delle classi:**

- **Si alza il P.R.** $\rightarrow$ **si abbassa la qualità del P.R. ottenibile**
- **Si abbassa l'errore di classificazione**

Capitolo 4

Introduzione alla misura dei parametri

Nel caso dei sistemi biometrici non è banale rispondere alla domanda: ***"qual è il tasso di errore di verifica/identificazione?"***

Per descrivere le performance del sistema è necessario disporre di **un insieme di dati** e **curve di funzionamento**; per questo motivo diventa difficile comparare due sistemi in quanto non basta confrontare 2 numeri.

Genuini ed impostori

Si impiegano i termini:

- **genuino** per indicare un individuo che accede al sistema e ha titolo per farlo
- **impostore** per chi prova ad accedere senza averne titolo

La formulazione del problema risulterà diversa a seconda che il sistema funzioni in **verification** o **identification**.

4.1 Verifica e Identificazione

4.1.1 Verifica

"tu sei chi dici di essere?"
Il problema in questo caso si riconduce ad un caso di classificazione binaria.

Problema della verifica

Dato in ingresso un insieme di caratteristiche X_Q e la dichiarata identità I, occorre determinare se (I, X_Q) appartiene a w_1 o w_2, dove:

- w_1 indica che la richiesta è vera (utente genuino)
- w_2 indica che la richiesta è falsa (un impostore)

Tipicamente, le caratteristiche X_Q vengono controllate con le caratteristiche X_I (il template associato alla identità I).

Regola di decisione per la verifica

Si tratta di una comparazione con soglia:

$$(I, X_Q) \in \begin{cases} \omega_1 & se\ S(X_Q, X_I) \geq T \\ \omega_2 & altrimenti \end{cases}$$

Dove:

- S è la funzione che misura la similitudine tra X_Q e X_I
- T è la soglia prefissata
- $S(X_Q, X_I)$ prende il nome di **match score**

4.1.2 Identificazione

"il sistema controlla se i tuoi dati biometrici corrispondono ad un insieme di identità registrate"

Problema di identificazione

Dato in ingresso un insieme di caratteristiche X_Q, determinare l'identità I_k, con $k \in \{1, 2, 3, ..., M, M+1\}$ dove $I_1, I_2, ..., I_M$ sono le M identità memorizzate nel sistema e $I_M + 1$ rappresenta il **caso di reiezione**.

Nel caso di reiezione nessuna delle M identità registrate è sufficientemente simile al dato in ingresso.

Regola di decisione per l'identificazione

Si tratta di M comparazioni con soglia con la seguente regola di decisione:

$$X_Q \in \begin{cases} I_K & se\ K = \arg\max_k \{S(X_Q, X_{Ik})\} and\ S(X_Q, X_{Ik}) \geq T \\ I_{M+1} & altrimenti \end{cases}$$

Dove:

- $X_I k$ è il template corrispondente alla identità I_k
- T è la soglia prefissata
- $S(X_Q, X_I)$ prende il nome di **match score**

In alcuni casi ci si riferisce ad una **misura della distanza** fra X_Q e X_I; una **grande distanza** fra i vettori di features porta ad un **basso match score**.

4.2 Distanza tra template

N template, provenienti dalla stessa persona ma acquisiti in tempi diversi, NON sono **mai uguali**.

Esiste sempre una distanza nello spazio delle features che separa i template anche della stessa persona (rumore, posa del soggetto, illuminazione, condizione ambientiali, ...)

Questa comporta che **la soglia T non può esser arbitrariamente abbassata**, altrimenti nessuno sarebbe identificato.

Se si riscontrasse una **distanza nulla** fra X_Q e X_I (quindi $S(X_Q, X_I) = max$), probabilmente saremmo di fronte ad un **replay attack**: una copia illecita di un template memorizzato che viene riproposto per frodare un sistema.

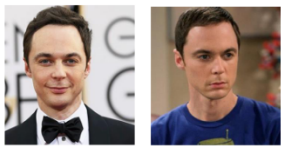
Genuini ed impostori

Si parla di **genuine score** quando si confrontano le distanze tra i template dello stesso individuo.

Si parla di **impostor score** quando si confrontano le distanze tra i template di indivdui diversi.

4.2.1 Distribuzioni dei match score

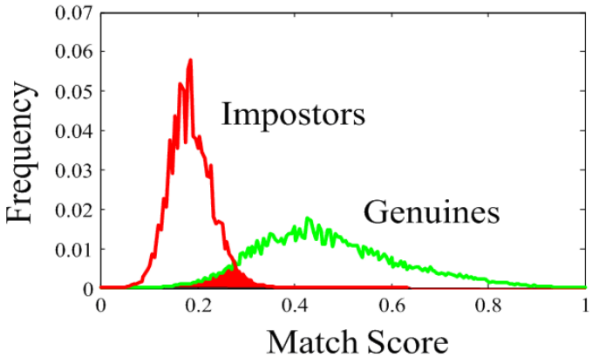
- Sia X_{i_j} il j-esimo template dell'individuo i-esimo



X_{1_1} X_{1_2}

Match Genuini
$S(X_{1\_1}, X_{1\_2}) = 0.7$
$S(X_{1\_1}, X_{1\_3}) = 0.8$
$S(X_{2\_1}, X_{2\_2}) = 0.4$
$S(X_{2\_1}, X_{2\_3}) = 0.5$

Match impostori
$S(X_{1\_1}, X_{3\_2}) = 0.11$
$S(X_{4\_1}, X_{3\_1}) = 0.21$
$S(X_{5\_2}, X_{1\_2}) = 0.001$
$S(X_{2\_2}, X_{1\_2}) = 0.19$



4.3 False Match e False Non-Match

- **False Match:** *il ladro entra in casa perché il sistema lo ha scambiato per noi; impostorScore* $> T$
- **False Non-Match:** *non entrate in casa perché il sistema ritiene che il template non assomigli abbastanza a quello/i registrati; genuineScore* $< T$

4.3.1 FM Rate, FNM Rate

Supponiamo di poter variare la soglia e di fissarla a un valore T in mezzo fra il picco degli impostori e quello dei genuini. Notiamo che:

- un certo numero di persone appartenenti al gruppo dei **genuini** sono **sotto la soglia T**; non saranno autorizzati e daranno errore di False Non-Match (FNM).

  $FNMR(T) = FNM(T) \ / \ numGenuini$

- una parte degli **impostori** hanno valori di match **sopra la soglia T**; saranno autorizzati e daranno errori di False Match (FM).

  $FMR(T) = FM(T) \ / \ numImpostori$

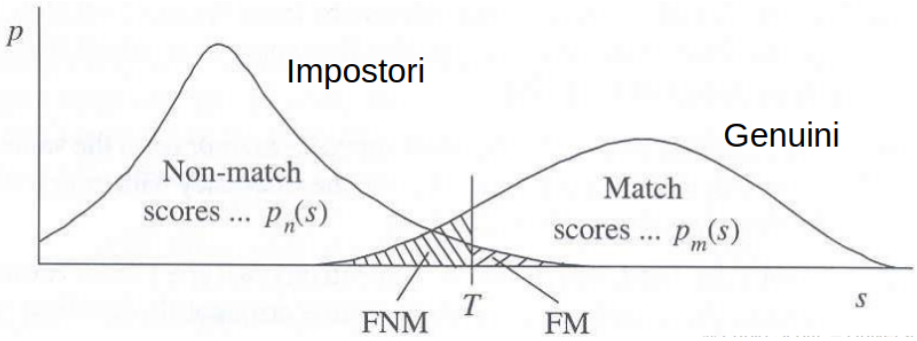


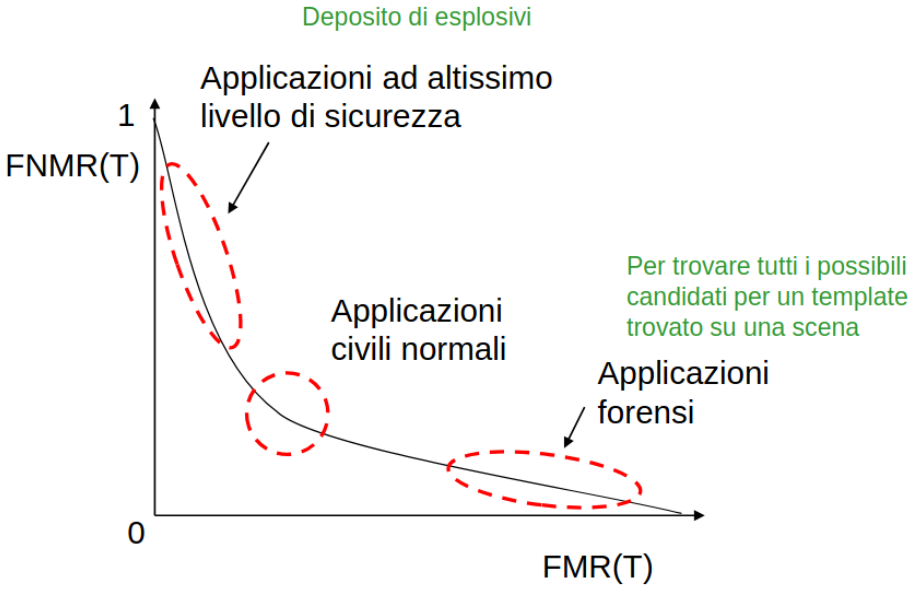
Figura 4.1: FNM e FM

Il funzionamento di un sistema biometrico dal punto di vista degli errori commessi è descritto dai tassi *FMR(T)* e *FNMR(T)* per tutti i valori della soglia.

4.4 Decision Error Tradeoff (DET) e Receiver Operating Characteristic (ROC)

DET: Regioni di funzionamento

Regolando la soglia T possiamo regolare il livello di sicurezza.



DET: Equal Error Rate

L'EER è il tasso di errore corrispondente all'unico punto nel quale si ha FNMR = FMR.

Si tratta dell'unico numero singolo che può riassumere il funzionamento del sistema.

ROC = 1 - DET

La curva DET e ROC mostrano le stesse informazioni. La DET mette l'attenzione sul FNM (genuini che non entrano), mentre la ROC mette l'evidenza su 1 - FNM (quanti genuini riescono ad entrare).

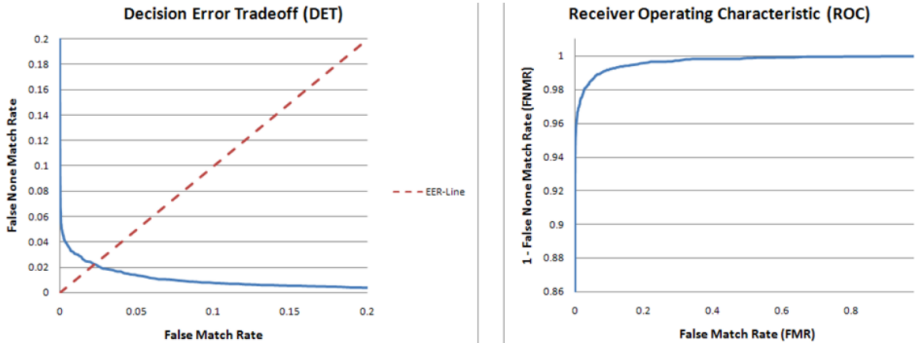


Figura 4.2: Curve DET e ROC

4.5 Metodi statistici per la stima dei parametri in un sistema biometrico

4.5.1 Che modello usiamo?

Chiariamo il concetto di **Prova/Esperimento di Bernoulli:**

1. ad ogni singola prova si hanno solo due esiti possibili
   - successo (1)
   - insuccesso (0)
2. La probabilità $\boldsymbol{p}$ dell'evento 'successo' è costante
3. i risultati delle prove sono **indipendenti**

Date due impronte il SB in autenticazione mostra un tasso di errori stimabile e fissato $\boldsymbol{p}$.

L'evento che il SB sbagli una autenticazione è un **esperimento/prova di Bernoulli**.

Un SB usato in identificazione (1:N) si può modellizzare come un N prove di Bernoulli, ovvero un **processo di Bernoulli**.

4.5.2 Regola dei 3

"qual è il tasso di errore più basso p che può essere stimato con un esperimento di comparazione di N campioni indipendenti?"

Se abbiamo un sistema che commette 0 errori su N prove non dobbiamo pensare di avere un sistema con $p = 0$, ma con il 95% di confidenza abbiamo un sistema che ha $p \approx 3/N$.

Esempio

Se faccio 300 prove e ho 0 errori, allora posso dire con confidenza del 95% che il sistema ha un tasso di errore stimato del $p \approx 3/N = 3/100 = 1\%$

4.5.3 Regola dei 30

La regola dei 30 è utilizzata per determinare la larghezza del campione biometrico in questo modo:

per essere sicuro con intervallo di confidenza del 90% che il tasso di errore **vero** sia tra il $\pm 30\%$ del tasso di errore **osservato**, ci devono essere almeno 30 errori.

Esempio

Se abbiamo 30 FNM in 3000 comparazioni, possiamo dire (con intervallo di confidenza del 90%) che l'errore vero sia tra $0,7\%$ e $1,3\%$.