

Analisi morfo-metrica dell'orecchio come metodo di attribuzione di identità

Nello Balossino, Professore di Informatica presso l'Università di Torino

Maurizio Lucenteforte, Ricercatore presso il Dipartimento di Informatica dell'Università di Torino

Simona Siracusa, Professore a Contratto presso il Dipartimento di Informatica dell'Università di Torino

Introduzione

Una nutrita serie di studi condotti sulla morfo-metria del padiglione dell'orecchio, volgarmente detto orecchio, ha evidenziato come questo segmento anatomico sembri possedere requisiti di connotato saliente nel procedimento identificativo, alla stessa stregua delle impronte digitali. Va detto però che, a differenza della dattiloscopia, l'utilizzo dei dati che scaturiscono dall'analisi della forma dell'orecchio e dalle sue misure non è universalmente riconosciuto nel procedimento di identificazione.

Storicamente, l'orecchio ha attratto la curiosità e l'interesse di vari popoli. Si pensi ai tempi di Aristotele in cui si credeva che la lunghezza del lobo fosse segno d'acume. Sempre a proposito di lobi, in alcuni paesi dell'Indocina si pensava che la loro lunghezza esprimesse segno di saggezza; è per questo che la figura di Buddha veniva raffigurata con orecchie eccezionalmente lunghe, con lobi grossi e pesanti. Poiché Buddha è dispensatore di buona fortuna, le persone che all'aspetto gli assomigliano sono considerate fortunate e prospere.

La dottrina della fisiognomica, nata nel Rinascimento, afferma poi che la faccia è un riflesso dell'essere umano e pone molta attenzione alla forma dell'orecchio. Per esempio se il lobo è carnoso e staccato dalla guancia indica una personalità ricca di interessi, capace di realizzarsi senza nulla togliere al piacere di vivere; curiosità, forte vivacità sono le caratteristiche più evidenti.

Alla fine del XIX secolo il francese Alphonse Bertillon¹ introdusse un metodo di segnalamento descrittivo per scopi identificativi, sviluppato sulla base delle annotazioni acquisite sulle caratteristiche dei detenuti parigini. Bertillon, figlio del famoso antropologo Louise-Adolphe, pensò infatti che i metodi antropometrici utilizzati dal padre potessero essere adattati all'identificazione dei recidivi; egli definì ciò che venne indicato come il ritratto parlato ("portrait parlè") in cui erano descritte alcune parti del volto e cioè la fronte, il naso, gli occhi, i capelli, la barba e anche l'orecchio destro. Bertillon ideò anche il segnalamento basato su misure di segmenti biologici, ottenuto rilevando con appositi compassi le misure di undici parti del corpo fra le quali anche l'orecchio destro; queste servivano a classificare in gruppi

¹ Bertillon A., Identification anthropometrique: instruction signaletiques, Melun, Imprimerie Administrative, 1893.

omogenei i cartellini delle persone segnalate. Bertillon era convinto che con la sua tecnica di segnalamento non si potessero trovare individui assolutamente identici. Tale affermazione fu smentita da due casi: uno in Inghilterra nel 1901 relativo ai gemelli Fox e uno negli Stati Uniti nel 1903 in cui due uomini di colore, di nome William West e Will West, presentavano caratteristiche fisionomiche e metriche coincidenti. Non si sa se la morfologia dell'orecchio e le sue misure fossero state analizzate con attenzione. Il Bertillonage fu comunque usato fino al sopravvento della fotografia e del sistema identificativo dattiloscopico.

Anche gli studi di Darwin sui primati, richiamarono l'attenzione degli scienziati verso l'aspetto dell'orecchio, definendolo come uno degli organi elementari. Darwin fornì come prova di questa supposizione la presenza di un rigonfiamento più o meno spiccato situato nella metà superiore dell'elice, cioè della piega curvilinea del padiglione, indicando che esso potrebbe essere nient'altro che una riduzione di un angolo dell'orecchio primitivo. Questa riduzione è stata riconosciuta scientificamente e ha preso il nome di tubercolo di Darwin.

Lo scienziato Schwalbe fu uno dei primi a introdurre un metodo di misurazione dell'orecchio esterno; dimostrò la teoria di Darwin e si occupò per primo della peculiarità morfologiche dell'orecchio. Nella "Gazette des hopitaux de Paris", Joux scrive: "mostrami il tuo orecchio e ti dirò chi sei, da dove vieni e dove andrai". Con queste parole, l'autore esprime la ferma convinzione che nessun altro organo del corpo umano potesse essere migliore prova della parentela tra genitore e figlio.

Dal 1880 al 1900, molti progetti furono sviluppati da molti scienziati per dimostrare che il padiglione potesse essere preso in considerazione nell'identificazione personale. Per esempio il ricercatore Imhofer, dichiara in un articolo che le orecchie possono essere molto importanti per stabilire l'identità dei cadaveri e le relazioni di parentela; l'autore sostiene poi che il padiglione dell'orecchio, al contrario di altri lineamenti del volto, non subisce grandi modificazioni sia con l'età, sia dopo la morte. Imhofer esaminò per le sue ricerche circa 500 orecchie e stabilì che è impossibile che la combinazione di tre elementi del padiglione sia esattamente identica in due persone, e che per ottenere un'identificazione certa e valida occorresse confrontare quattro combinazioni.

Gli studiosi Fields, Falls, Warren e Zimberof pubblicarono i risultati di una ricerca sull'orecchio dei neonati a scopo identificativo. Il fine della ricerca era l'ottenimento di un sistema identificativo sicuro, teso ad evitare lo scambio accidentale di bambini nelle maternità, poiché le impronte dei piedi, del palmo e delle dita del bambino, si dimostravano, nel primo mese di vita, insufficienti a tale scopo. Gli autori studiarono pertanto 206 paia d'orecchie concludendo che le orecchie potessero essere un buon metodo d'identificazione poiché: 1) le orecchie dei bambini nel campione studiato sono risultate uniche nella loro conformazione; 2) le orecchie dei bambini del campione studiato non hanno subito modifiche nella forma e nella struttura, per tutto il periodo del ricovero.

Nel 1969, lo studioso G. Oliver pubblicò un articolo sulle caratteristiche dell'orecchio, considerando le misure, le sue caratteristiche morfologiche e la loro trasmissione genetica.

L'autore descrive le variazioni della conformazione dell'orecchio, considerando come parametri di riferimento: l'aderenza del padiglione auricolare alla testa (angolo cefalo-auricolare), la forma del padiglione assimilandolo a quella dei primati, il tubercolo di Darwin e l'aderenza del lobo. In seguito ai suoi studi, egli stabilì che l'angolo cefalo-auricolare può variare da meno di 30° a più di 60°. Il lobo può essere completamente attaccato alla guancia, o completamente libero, o assumere una posizione intermedia. Il tubercolo può avere grandezza variabile, essere unilaterale o bilaterale, o mancare del tutto.

Si arriva così al 1989, anno in cui sono pubblicati gli studi altamente significativi dovuti ad Alfred Iannarelli², capo della polizia di un campus universitario in Hayward. Iannarelli analizzò nell'arco di alcuni anni oltre 10.000 morfometrie di orecchie e constatò come non ne avesse riscontrate due identiche. Anche le orecchie di soggetti gemelli monozigoti rilevarono una diversa morfologia e valori metrici difformi. Sulla scia di questi particolari risultati, si è iniziato a studiare come l'orecchio potesse diventare un metodo identificativo con basso tasso di errore nella classificazione.

Anatomia dell'orecchio esterno

L'orecchio viene suddiviso in tre parti: esterno, medio e interno. L'orecchio esterno e quello medio sono di esclusiva pertinenza della sensibilità uditiva; nell'orecchio interno, invece, si trovano i recettori acustici, e quelli statocinetici. L'orecchio esterno consta di due parti: una parte esterna più o meno allargata a forma di conchiglia, cioè il padiglione auricolare, e una parte interna, cioè il condotto uditivo esterno. La prima parte è detta anche semplicemente orecchio, sporge dalla superficie laterale della testa e raccoglie le onde sonore, mentre la seconda convoglia le vibrazioni e le trasmette alla membrana del timpano. L'orecchio forma con la superficie laterale della testa un angolo detto cefalo-auricolare, che misura in media dai 20° ai 30°; esso però, presenta variazioni di ampiezza molto estese, per cui si possono rilevare orecchie che si applicano direttamente contro la parete cranica e quelle che se ne allontanano, formando un angolo che può essere superiore anche a novanta gradi.

Le parti che costituiscono l'orecchio esterno³ sono rappresentati in fig. 1 e possono essere così classificate: 1) elice: grande, medio, piccolo, frastagliato, mancante, accartocciato; 2) lobo: come dimensione lungo, medio o corto, come contorno triangolare, curvilineo o rettangolare, come forma concavo, intermedio o convesso e infine rispetto alla guancia aderente, attaccato, intermedio, staccato (detto anche a golfo) oppure mancante; 3) antelice: la porzione inferiore può essere concava, intermedia, convessa o saliente; 4) conca; 5) trago:

² Iannarelli A., *Ear identification*, Forensic identification series, Paramount Publishing Company, Fremont, California, 1989. Bairati A., *Trattato di Anatomia Umana*, Volume IV, Minerva Medica, 1971.

³ Bairati A., *Trattato di anatomia umana*, Volume IV, Minerva Medica, 1971; Olivieri L., *Antropologia e Antropometria*, C.E. V. Idelson, Napoli, 1963; Farkas L. G., *Antropometry of the head and face*, Raven Press, 1994

più o meno prominente; 6) antitrago: con dimensione grande, media o piccola, direzione obliqua, intermedia od orizzontale, forma concava, rettilinea oppure convessa; 7) radice dell'elice; 8) fossa triangolare; 9) incisura intertragica.

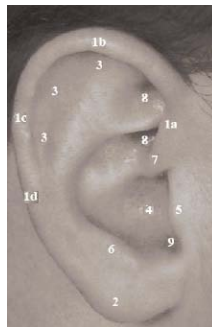


Fig. 1

Una caratteristica molto importante dell'orecchio, è che dopo il quarto mese di vita esso assume una morfologia che rimane praticamente immutata nel tempo e non varia con l'espressione facciale. Si può verificare al più una leggera variazione della lunghezza del lobo a causa della forza di gravità, ma si tratta comunque di variazioni di contenute dimensioni che rimangono tali fino a età avanzata. Nei primi otto anni di vita e dopo i 70 anni, la variazione in lunghezza assume valori più elevati rispetto agli altri periodi. È facile notare come l'orecchio presenti maggior difficoltà descrittiva rispetto al volto. Vi sono infatti numerosi aggettivi che sono usati per descrivere le caratteristiche salienti di un volto e poche per l'orecchio. Come abitudine consolidata infatti, si pone maggior attenzione agli aspetti fisionomici del volto di una persona, per poi riconoscerli, mentre non si dedica molta attenzione all'orecchio.

Dal punto di vista della documentazione per immagini, l'orecchio presenta alcuni vantaggi che consistono nella minor dimensione dell'immagine, nella distribuzione uniforme di colore che ne rende più semplice l'analisi cromatica, nella contenuta variazione di morfologia a fronte di una leggera variazione di postura della testa, nell'indipendenza da qualsiasi mimica facciale, nonché da aumenti ponderali e dall'età .

Tenendo in considerazione che le fotografie segnaletiche ritraggono i soggetti nella visione frontale e di profilo destro, l'orecchio destro è generalmente quello di riferimento.

Le variazioni anatomiche dell'orecchio sono tanto numerose e frequenti che molti autori sostengono che non possono esistere due orecchie assolutamente simili e ciò avviene anche per gemelli monozigoti.

Gli elementi presi in considerazione per la caratterizzazione generale dell'orecchio riguardano: - la dimensione globale che può essere classificata come grande, media oppure piccola; - la larghezza che è definita dalla distanza fra i punti antitetici più lontani della parte superiore dell'elice e del trago più lontano e può essere indicata come molto larga, larga, media, stretta e molto stretta; - la lunghezza, cioè la distanza che intercorre tra il margine inferiore del lobulo e il punto più alto della parte superiore dell'elice, che può essere molto lunga, lunga, media, corta e molto corta.

Relativamente alla forma, secondo gli studi condotti da Iannarelli sull'osservazione di più di mille fotografie dell'orecchio, la forma del padiglione può essere classificata in quattro tipi fondamentali: a) ovale, presente in circa il 65% della popolazione; b) triangolare, posseduta dal 30% della popolazione; c) rettangolare, poco comune, in quanto individuabile solo nel 3% della popolazione; d) tonda, decisamente rara e presente in solo il 2% della popolazione.

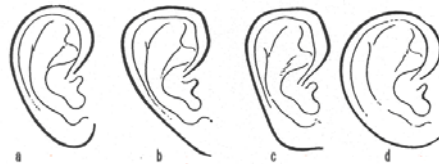


Figura 2.

Anche la direzione dell'orecchio è un parametro descrittivo caratterizzante; essa si distingue (figura 3) in : A) obliqua media; B) obliqua accentuata; C) verticale.

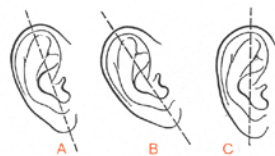


Figura 3.

Nel punto che corrisponde all'apice del padiglione si trova molto frequentemente un piccolo rilievo, detto tubercolo di Darwin, che viene classificato in sei diverse forme (figura 4) e cioè : 1) orecchio a punta aguzza: il tubercolo genera una punta aguzza; 2) orecchio da cercopiteco: il tubercolo si trova non sul margine dell'elice ma sul margine dell'orecchio stesso; 3) orecchio da macaco: il tubercolo ha forma di punta rivolta verso l'esterno; 4) orecchio con assenza della punta: l'elice forma un netto gomito nel punto più alto; 5) orecchio a punta appiattita; 6) orecchio a punta arrotondata.

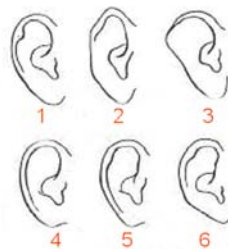


Figura 4.

L'orecchio infine può essere più o meno accostato al parietale; quando non lo è, appare l'evidente inestetismo detto delle orecchie a ventola che può essere monolaterale o bilaterale e si manifesta a seguito di una malformazione della cartilagine auricolare, la quale, non

piegandosi formando una sorta di conca, rimane diritta e piatta. Questo può essere una caratteristica di notevole rilievo nel confronto.

I parametri di cui sopra forniscono una descrizione di massima dell'orecchio che possono non essere sufficienti nel procedimento comparativo. Diventa quindi importante eseguire delle misurazioni che rendano il confronto maggiormente significativo per la discriminazione fra soggetti.

Acquisizione delle immagini

Per procedere al confronto dell'orecchio, come peraltro del volto, occorre riferirsi alle immagini che hanno registrato le fasi dell'evento in cui è ritratto il soggetto sospettato di esserne l'autore. Si tratta generalmente di immagini di video-sorveglianza le cui caratteristiche influiscono notevolmente sul procedimento di identificazione. Se infatti le riprese sono sufficientemente dettagliate e nitide, nonché raffigurino soggetti senza alcuna forma di mimetismo, sarà abbastanza agevole condurre l'analisi morfo-metrica del segmento biologico dell'orecchio.

Il processo di analisi delle immagini può essere difficile per carenze dei sistemi di video-sorveglianza; che possono essere così schematizzate:

- 1) scarsa qualità dovuta ad acquisizione con dispositivi a bassa risoluzione, per cui eventuali ingrandimenti anziché mettere maggiormente in evidenza i dettagli, degradano l'immagine stessa introducendo un effetto di tassellamento;
- 2) errato posizionamento delle videocamere, come per esempio nel caso di ripresa dall'alto che introduce conseguentemente conseguente una marcata proiezione prospettica che può alterare le forme e la visione dei dettagli;
- 3) illuminazione non corretta per via della posizione delle telecamere in controluce o con scarsa luce interna al locale ripreso;
- 4) campo inquadrato molto ampio per cui le dimensioni del volto del soggetto si riducono a poche decine di pixel ed è pertanto precluso qualsiasi tipo di ingrandimento;
- 5) non corretta corrispondenza cromatica che comporta l'impossibilità di valutare eventuali particolarità cromatiche che nell'eventuale virtù della loro unicità potrebbe essere altamente significative.

Un'altra considerazione riguarda la differenza di postura dei soggetti a confronto. Le immagini dell'indagato consistono generalmente nelle foto di segnalamento che riprendono l'individuo nella postura frontale e in quella di profilo destro. Le immagini sono peraltro la rappresentazione sulla superficie del supporto di acquisizione della proiezione prospettica degli individui posti nello spazio 3D; l'immagine che si ricava dipende dalla posizione del dispositivo di acquisizione rispetto al soggetto e dalla postura dello stesso rispetto ad un sistema di

riferimento locale a lui solidale che assumiamo destrogiro (fig. 5). Supponendo di riprendere l'orecchio, la rotazione attorno all'asse x , detta di pitch, corrisponde a una rotazione sul piano y,z per cui non influisce sulla forma del segmento biologico proiettato. Supponendo invece la rotazione sia nulla attorno all'asse z (corrisponde all'inclinazione laterale del capo che generalmente è molto contenuta) e sia di valori piccoli (una decina di gradi) attorno all'asse y , si ottengono immagini dell'orecchio con una minima differenza di forma come sarà evidenziato nel seguito.

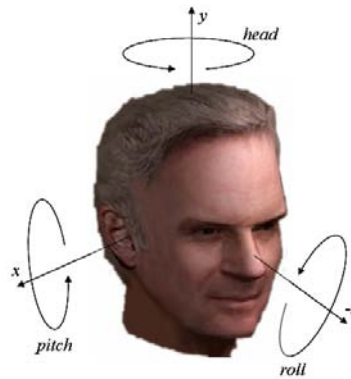


Figura 5.

Il confronto

Lo scopo del confronto dei descrittori del volto o, nel caso in esame, dell'orecchio si pone due distinti obiettivi e cioè la verifica della dichiarazione di identità di un soggetto (il soggetto dichiara la sua identità) oppure l'attribuzione di una identità a un dato soggetto (identificazione: l'identità del soggetto non è nota e occorre associargliene una); in entrambi i casi si tratta di stabilire se il confronto permetta di formulare un giudizio di espressione della medesima realtà, oppure di negarla. I descrittori possono essere qualitativi (come esempio banale l'orecchio ha forma ovale) oppure quantitativi (per esempio altezza dell'orecchio rispetto a un'unità di misura). La scienza che definisce e codifica i descrittori e stabilisce anche le regole per la loro elaborazione e la successiva interpretazione dei risultati, è detta biometria. L'insieme dei dispositivi per l'acquisizione e la visualizzazione dei dati nonché dei programmi di elaborazione costituisce invece un sistema biometrico. Un sistema biometrico può essere completamente automatico oppure semiautomatico. Nel primo caso le acquisizioni e le elaborazioni dei descrittori biologici e metrici rilevati sono condotte senza alcun intervento esterno, facendo uso di hardware e software opportuni basati su algoritmi di visione artificiale; nel secondo invece è richiesto il parziale intervento dell'operatore. Il tipo di metodologia abbracciata è generalmente legata all'applicazione. Quando si debba per esempio rilevare in tempo reale il permesso di accesso a strutture tutelate (si tratta di verifica di identità) la metodologia è di tipo automatico. Se invece si vuole effettuare l'attribuzione di identità in tempo differito, sulla base di dati rilevati su supporti di varia natura e su altri acquisibili

direttamente su soggetti segnalati la metodologia è semiautomatica. In quest'ambito vi sono poi due diverse possibilità: a) viene rilevata su un supporto di varia natura (per esempio tessuto, muro, vetro, terreno) l'impronta di un orecchio e si vuole attribuire un'identità al soggetto che l'ha prodotta; occorre allora confrontare l'impronta acquisita con altre ottenute sperimentalmente da individui di identità nota⁴ [6], [7]; b) si rileva da un dispositivo di video-sorveglianza l'immagine di un orecchio e lo si vuole confrontare con quella di soggetti segnalati per verificare se vi possa essere corrispondenza oppure non⁵.

Nell'ambito dei procedimenti giudiziari, l'approccio è di tipo semiautomatico, condotto in tempi successivi all'occorrenza di un evento. E' questo il contesto a cui ci si riferisce nella presente memoria: un operatore sviluppa l'analisi e l'elaborazione dei dati sia qualitativi sia quantitativi che scaturiscono da immagini digitali, avvalendosi dell'ausilio di strumenti informatici. Va detto che la metodologia semiautomatica permette di valutare attentamente gli aspetti biometrici e di semplificare gli algoritmi utilizzati, nonché di catturare nelle immagini la presenza di elementi collaterali, come per esempio oggetti di ornamento quali orecchini, oppure di macchie cromatiche particolari.

Nel caso in cui la morfologia presenti aspetti salienti, come per esempio una inequivocabile forma del tubercolo di Darwin e/o un andamento particolare dell'elice, ci si potrà limitare alla valutazione dell'aspetto qualitativo e formulare un'ipotesi di compatibilità fra i due soggetti. In caso di ambiguità può essere invece opportuno integrare l'analisi qualitativa con misure metriche o meglio ancora con la verifica dell'aderenza della mappa dell'orecchio; questo consiste nell'estrazione automatica, dall'immagine che rappresenta l'orecchio, delle linee di collegamento e di contorno delle parti che lo costituiscono e che collegano punti e aree di repere.

Lo stesso Bertillon si era preoccupato di avere informazioni qualitative e quantitative dell'orecchio dei detenuti. Si legge infatti nelle istruzioni all'operatore di agire nel modo che segue: "Orecchio: l'operatore controlla se l'orecchio del detenuto è forato e ha segni particolari, poi lo classifica come piccolo, medio o grande. Inoltre controlla ogni parte anatomica ovvero se il contorno esterno è aperto, medio o aderente, se il contorno esterno del lobo è quadrato, medio o gulf-like; se il profilo *dell'*antiragus è rettilineo, medio o frastagliato e se il grado di aderenza del lobo alla guancia è completo, medio o separato. Misura dell'orecchio destro: l'operatore utilizzando lo small sliding compass, dolcemente tocca il lembo superiore dell'orecchio del detenuto con lo stationary branch e mantiene la testa del detenuto ferma con il suo pollice. Poi l'operatore pone la gamba del compass

⁴ Dean J, Forensic Science Overview and the Development of Earprinting, *The Criminologist*, 1997; Hammar H., "The identification of Ear Print secured at the scene of the crime", *Fingerprint World*, 1986

⁵ Howell Evens J., *The external ear as a means of Identification*, Transaction of the Medico Legal Society, 1910; Hogstrate, A.J., Van den Heuvel, H., Huyben, E., *Ear identification based on surveillance camera's images*, Netherlands Forensic Institute, 2000; Burger, M. and Burger W., *Ear biometrics*, Biometrics: Personal Identification in Networked Society, ed. Jain A. et al., Kluwer Academic Publishers, 1998.

bring in parallelo con l'asse dell'orecchio del detenuto e spinge in avanti lo sliding branch fino a toccare l'estremo punto del lobo dell'orecchio. L'operatore controlla che l'orecchio del detenuto non sia compresso e dopo legge la sua lunghezza”

Il sistema di analisi metrica proposto da Iannarelli è invece basato su 12 misure illustrate in figura 6. L'immagine dell'orecchio viene normalizzata rispetto alla dimensione e si individua la radice dell'elice fissandola come centro del sistema di riferimento. A partire dalla radice dell'elice si effettuano 12 diverse misurazioni (valori interi rispetto a un'unità di misura). Il principale difetto di questo metodo consiste nella precisione con cui è necessario fissare il centro del sistema; se il centro non è posizionato correttamente tutte le misurazioni saranno sbagliate.

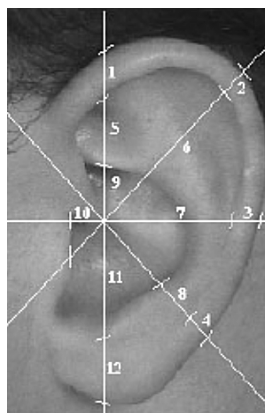


Figura 6.

Misure metriche molto semplici consistono nella valutazione di: a) lunghezza dell'orecchio, cioè la lunghezza massima del padiglione risultante dalla distanza che intercorre fra il margine inferiore del lobulo e il punto più alto della parte superiore dell'elice, che è in media di 60/65 mm; b) larghezza dell'orecchio, cioè la larghezza massima del padiglione risultante dalla distanza tra i punti antitetici più lontani della parte superiore dell'elice e del trago più lontano che è in media di 20/25 mm. Queste misure sono assolute e vincolate alla scala delle immagini. Per svincolarsi dal fattore di ingrandimento si ricorre all'indice antropometrico, detto indice auricolare, ottenuto come rapporto fra la larghezza e la lunghezza dell'orecchio; si tratta comunque di un indice poco significativo.

Le varie morfologie dell'orecchio e le misure per esempio di Iannarelli possono essere sintetizzate nella mappa dell'orecchio. I passi necessari per procedere al confronto morfologico, per ottenere la mappa dell'orecchio di un soggetto e per eseguire poi la comparazione con quella di altri individui sono i seguenti⁶:

⁶ Balossino N., Lucenteforte M., Siracusa S., Analisi biometrica dell'orecchio in ambito forense, Nuove tecnologie in Medicina, Sirse, Brescia, Anno 6, n.1-2, 2006, pagg.31-35.

- a) acquisizione numerica delle immagini: le immagini da analizzare provenienti da sistemi di videosorveglianza e le fotografie di riferimento vengono convertite in forma numerica per l'elaborazione mediante computer; nel processo di acquisizione, le immagini possono richiedere la preventiva applicazione di opportune tecniche di miglioramento e di trasformazione di scala, in modo tale da renderle confrontabili dal punto di vista del rapporto di formato. Ove necessario, si provvede anche a trasformazioni di rotazione sul piano.
- b) valutazione degli aspetti di somiglianza morfologica: le immagini dell'orecchio del soggetto in analisi e quelle di riferimento vengono sottoposte ad analisi per l'individuazione delle caratteristiche facendo riferimento alla codifica sopra riportata. Si procede poi alla comparazione dei dati acquisiti. Può verificarsi il caso che parametri morfologici assurgano a discriminanti oggettivi e non sia necessaria la comparazione metrica.
- c) estrazione della mappa dell'orecchio: l'immagine numerica dell'orecchio di un soggetto (generalmente quella dell'indagato) viene sottoposta a procedimento automatico di estrazione dei contorni, eliminando preliminarmente l'eventuale componente cromatica per facilitare il procedimento. Vengono così evidenziate le evoluzioni delle strutture caratteristiche dell'orecchio; queste sono poi ulteriormente esaltate portando le linee di contorno a un valore massimo di luminosità (bianco), in netto contrasto con le altre parti dell'immagine (nero). Viene anche eventualmente utilizzato un filtro di regolarizzazione per rendere i contorni più netti. Si realizza così la mappa dell'orecchio che rappresenta l'immagine dell'evoluzione naturale di linee che collegano punti e siti di repere.
- d) sovrapposizione delle immagini: si verifica la presenza, oppure non, della sovrapposibilità fra la struttura della mappa dell'orecchio dell'indagato e quella del soggetto in comparazione. Il procedimento può richiedere l'applicazione di trasformazioni di scalamento e/o di rototraslazione nel piano, in modo tale da verificare l'adattamento dei punti e dei siti di repere.
- e) analisi della sovrapposizione: la valutazione della sovrapposibilità ottenuta, permette di esprimere il grado di identità metrica fra gli orecchi rappresentati nelle immagini.

Va detto a conclusione delle considerazioni sopra riportate, che l'indagine morfologica e metrica è più che sufficiente per la classificazione dell'orecchio, tenendo conto della sua enorme variabilità morfologica, come nel caso delle impronte digitali.

Sperimentazioni

Sono riportati nel seguito alcuni esempi di sperimentazione nei seguenti ambiti:

- a) valutazione del potere discriminante dell'impronta dell'orecchio (variabilità inter-individuo);
- b) valutazione della robustezza dell'impronta dell'orecchio di un soggetto quando questi sia ripreso in posture con diversa rotazione del capo (variabilità intra-individuo);
- c) valutazione della diversificazione fra orecchio destro e sinistro;
- d) confronto degli orecchi di due gemelli monozigoti.

Variabilità inter-individuo

Le immagini di figura 7 evidenziano come l'impronta differisca notevolmente fra i due soggetti in esame. Tenendo in considerazione che un'indagine identificativa è generalmente condotta fra un ristretto numero di individui, e che come sopra sottolineato esiste una enorme variabilità morfologica, l'analisi dell'adattamento della mappa dell'orecchio costituisce elemento discriminatorio di notevole rilievo.

In alto, iniziando da sinistra, è rappresentato il particolare dell'orecchio di un soggetto; la seconda immagine si riferisce invece all'orecchio di un altro soggetto, seguito dall'impronta e dalla sovrapposizione con l'orecchio stesso. In basso, partendo da sinistra, sono riportati tre tentativi di sovrapposizione dell'impronta del secondo soggetto con l'orecchio del primo, mediante applicazione di trasformazioni di scalamento e di roto-traslazione; la quarta immagine evidenzia la sovrapposizione delle immagini dei due orecchi in forma miscelata. Le immagini evidenziano come si possa rilevare la differenza morfologica e metrica dell'orecchio dei due soggetti.



Figura 7.

Variabilità intra-individuo

I risultati indicati in figura 8 e 9 mettono in risalto come la mappa rimanga fortemente aderente anche quando il soggetto si trovi in una postura diversa da quella di riferimento (la prima a sinistra, dalla quale è stata ricavata l'impronta) per via di una rotazione del capo in senso orario (seconda e terza immagine) e in senso antiorario (quarta e quinta immagine). Il sistema di riferimento considerato è quello di cui alla figura 5 e la rotazione è attorno all'asse y.



Figura 8.

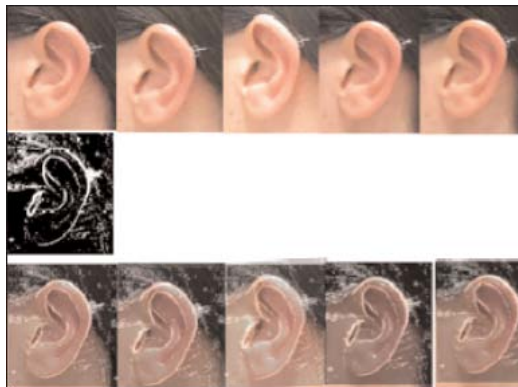


Figura 9.

Differenze fra orecchio destro e sinistro

La figura 10 evidenzia come possa non esserci una perfetta uguaglianza fra orecchio destro e sinistro, sia nella morfologia, sia nella metrica. Nel caso di differenze contenute, come avviene nella maggior parte dei casi, l'orecchio destro e quello sinistro possono essere supposti fortemente simili. Ne segue pertanto che dal punto di vista operativo il confronto dell'orecchio sinistro di un soggetto in analisi possa essere, in prima istanza, condotto con quello destro, reso speculare e quindi virtualmente sinistro. L'immagine a sinistra è l'orecchio sinistro, quella

in basso rappresenta l'orecchio destro reso speculare; l'immagine in sovrapposizione evidenzia come vi sia perfetta aderenza.



Figura 10.

Le orecchie di gemelli monozigoti

Come affermato da numerosi autori fra cui Iannarelli, l'osservazione sperimentale ha evidenziato come gemelli omozigoti che abbiano una forte aderenza di coincidenza fisionomica, e risulti quindi ardua l'identificazione basata esclusivamente sull'analisi del volto, presentino invece diverso aspetto morfometrico dell'orecchio che costituisce quindi facile elemento discriminatore.

In fig. 11 sono riportate le immagini di due gemelli: è evidente una forte coincidenza fisionomica.



Fig. 11

La discriminazione potrebbe avvenire dalla valutazione metrica, ma è molto più facile procedere mediante l'analisi dell'orecchio che esprime in modo molto evidente la difformità fra

i due soggetti. In Fig. 12 sono riportate, per rigale, immagini dell'orecchio destro e sinistro dei due gemelli. Si noti come vi sia notevole differenza morfologica.



Fig. 12

Analisi delle componenti principali

I metodi sopra esposti di analisi della morfometria dell'orecchio ricorrono fondamentalmente all'utilizzo di tecniche di riconoscimento di forme per estrarre e confrontare caratteristiche specifiche e isolate dell'orecchio. Un approccio alternativo, o che può comunque integrare quelli esposti, è di tipo olistico basato su dati aventi come supporto l'intera estensione dell'immagine, o anche solo vaste regioni di essa. Poiché le variabili originarie che descrivono il fenomeno (il segmento biologico) sono fra loro correlate, una tecnica che trova ampia applicazione in vari contesti per ridurre il numero di variabili descrittive è l'analisi delle componenti principali (PCA, Principal Component Analysis detta anche trasformata di Karhunen-Loève); questa riduce l'elevato numero di variabili in alcune variabili latenti atte a caratterizzare il segmento anatomica, semplificandone così notevolmente la rappresentazione e il riconoscimento. Le nuove variabili ottenute con la PCA sono combinazioni lineari di quelle originarie (le componenti principali). Dato un certo numero T di campioni costituiti da immagini di dimensioni $S = m \times n$, rappresentanti i valori di luminanza di altrettanti pixel che hanno come contenuto informativo il segmento biologico dell'orecchio, si calcola la matrice di autocovarianza di dimensioni $S \times S$ che rappresenta il legame statistico fra i dati. Da questa si ricava l'insieme degli S vettori combinazione lineare di quelli originali che rappresentano le immagini; tali vettori sono detti autovettori e a essi sono associati i altrettanti autovalori che indicano l'"energia" associata a tale componente. Scegliendo solo gli autovettori con il più

grande autovalore, si genera un sottospazio che descrive quello originale ma si ha ovviamente una perdita di informazione. La perdita di informazione è la minima possibile, in termini di errore quadratico medio, in quanto vengono scelti gli autovettori corrispondenti agli autovalori più grandi. Come spesso accade, siamo di fronte a due obiettivi contrastanti: semplificare il problema, riducendo la dimensione dello spazio di rappresentazione, e allo stesso tempo, perdere la minor quantità possibile di informazione contenuta nei dati originali. L'analisi delle componenti principali è un metodo che consente di controllare egregiamente questo "trade-off" tra la perdita di informazioni e la semplificazione del problema (basta scegliere il numero appropriato di autovettori).

Gli autovettori sono detti autofacce o autorecchi. Ogni faccia come ogni orecchio può quindi essere espresso come combinazione lineare di queste autofacce o autorecchi.

La Fig. 13 rappresenta i campioni presi in considerazione e consistono in tre soggetti di cui si è rilevata l'immagine dell'orecchio destro e di quello sinistro, reso simmetrico, in tre posture leggermente differenti. Le immagini sono state rese omogenee nella dimensione e nella illuminazione.



a-DX a-SX b-DX b-SX c-DX c-SX

Figura 13.

La fig. 14 rappresenta invece i coefficienti delle prime due componenti principali; si può constatare come sia evidente l'agglomerazione (clustering) delle immagini relative al singolo soggetto. Ciò significa che bastano pochi coefficienti per discriminare fra orecchi di soggetti diversi e che si ha una forte aderenza fra orecchio destro e sinistro.

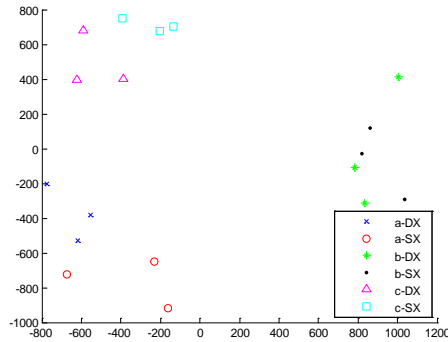


Figura 14.

Supponendo ora di voler determinare se l'orecchio di un individuo sia presente oppure non nell'insieme che è stato utilizzato per la determinazione degli autoorecchi, occorrerà verificare che il punto corrispondente cada nelle immediate vicinanze del cluster associato a uno degli individui dell'insieme.

Il metodo delle componenti principali, pur presentando delle difficoltà dovute alla dipendenza dalla distribuzione dell'intensità luminosa, costituisce comunque un metodo di indagine statistica che può avvalorare il processo di identificazione condotto con i metodi esposti precedentemente che valutano la corrispondenza di adattabilità di un insieme di forme (pattern matching).

Conclusioni

Il contenuto della memoria si è posto lo scopo di dare delle indicazioni sperimentali su come l'orecchio possa essere utilizzato nel processo di identificazione e come questo posseda un elevato valore discriminatore. L'analisi dell'orecchio può essere quindi affiancata a quella della morfometria del volto nella visione frontale e di profilo, integrando il giudizio di compatibilità o addirittura sostituendolo. Le considerazioni esposte indicano inoltre come per l'attribuzione di identità sia opportuno procedere con una serie di metodologie che si integrano al fine di ridurre l'errore di classificazione.

© ItaSForum, tutti i diritti riservati

