

La diffusione dei sistemi di video-sorveglianza pubblici e privati rende frequente oggi il caso in cui gli autori di un reato siano ripresi dalle telecamere di tali sistemi.

La misura dell'altezza può essere un valido strumento per restringere la cerchia dei sospettati ed aiutare ad identificare i soggetti coinvolti. La stima dell'errore di misura deve sempre accompagnare le misure effettuate.

di Sebastiano Battiato e Giovanni Tessitore

LA STIMA DELL'ERRORE NELLA DETERMINAZIONE DELL'ALTEZZA DI UN SOGGETTO RIPRESO DA UN SISTEMA DI VIDEOSORVEGLIANZA



Sebastiano BATTIATO è professore ordinario in Informatica presso l'Università di Catania. Docente dei corsi di Multimedia, Computer Vision e Computer Forensics. Consulente tecnico della Procura della Repubblica presso il Tribunale di Milano, Roma, Napoli, Bergamo e Reggio Calabria per attività di "image and video forensics".

Giovanni TESSITORE, laureato in Informatica e dottorato di ricerca in Scienze Computazionali ed Informatiche presso l'Università Federico II di Napoli, è in servizio presso la Sezione Indagini Elettroniche della IV Divisione del Servizio di Polizia Scientifica, è referente per le attività di elaborazioni immagini e video.



1. **Introduzione**

La diffusione dei sistemi di video-sorveglianza pubblici e privati rende oggi frequente il caso in cui gli autori di un reato siano ripresi dalle telecamere di tali sistemi che diventano dunque fondamentali per lo sviluppo delle indagini e che possono acquisire, se trattati opportunamente [1], effettivo valore probatorio [2].

L'analisi dei filmati della scena del crimine oppure di zone limitrofe o in qualche modo collegate ad essa, è spesso strategica per la ricostruzione della dinamica criminale e per l'individuazione dei soggetti coinvolti. E' di tutta evidenza, infatti, che dall'esame di un volto, dall'analisi delle caratteristiche antropometriche di un soggetto o del suo abbigliamento, si possano ricavare tasselli importanti per la ricostruzione dell'evento criminale. E' altrettanto evidente che sebbene l'informazione cardine per l'identificazione di un soggetto sia legata alle caratteristiche fisionomiche del volto, in molti casi la qualità delle immagini non permette di procedere in tal senso (ad esempio per la bassa risoluzione o perché il volto non è visibile) e si può tentare di restringere la cerchia dei sospettati mediante una stima dell'altezza.

Ad esempio nell'attentato dinamitardo alla scuola "Falcone Morvillo" di Brindisi avvenuto nel 2012 e costato la vita ad una giovane studentessa, la determinazione dell'altezza risultò fondamentale per la riuscita delle indagini. In quel caso il sistema di videosorveglianza di un'edicola inquadrava un soggetto nei pressi della scuola ma la qualità delle immagini non ne permetteva il riconoscimento dalle caratteristiche del volto (Figura 1). Tuttavia la stima dell'altezza permise di appurare che doveva trattarsi di una persona particolarmente "bassa"; questa informazione risultò utile alle indagini che si conclusero positivamente con l'identificazione del soggetto risultato poi il colpevole.



Figura 1 - Nell'attentato dinamitardo alla scuola "Falcone Morvillo" di Brindisi avvenuto nel 2012, il sistema di videosorveglianza di un'edicola inquadrava un soggetto. Le indagini si conclusero positivamente con l'identificazione del soggetto risultato poi il colpevole.

La stima dell'altezza risente anch'essa della risoluzione e dalla qualità complessiva delle immagini ed in genere ha margini di errore dell'ordine dei 3/5 cm da aggiungere o sottrarre alla stima ottenuta. Dunque, nella realtà operativa, tale accertamento tecnico è di interesse soprattutto se il soggetto ha una statura significativamente differente dai valori medi. A tal proposito secondo vari studi fra cui [3] e le statistiche ISTAT più recenti in merito, l'altezza media dei maschi italiani risulta compresa tra 173 e 176 con un chiaro trend crescente delle generazioni più recenti (<https://it.wikipedia.org/wiki/Statura>).

La letteratura scientifica [4, 5] propone diversi approcci al problema della stima dell'altezza; alcuni di essi richiedono un sopralluogo sul posto, altri il calcolo della cosiddetta "matrice di proiezione" ovvero delle "regole" che hanno permesso di trasformare i punti 3D della scena reale in punti 2D dell'immagine nel sistema considerato [8, 9].

2. **Tecnica della stadia metrica o "reverse projection"**

Tra le differenti metodologie descritte in letteratura per la stima dell'altezza a partire da una immagine, quella della stadia metrica è certamente tra le più semplici ed intuitive ma presuppone che il sistema di video-sorveglianza (posizionamento della telecamera e sistema di registrazione DVR) siano rimasti immutati rispetto al momento in cui è stato ripreso l'evento criminoso. In quest'ultimo caso bisogna anche accertarsi che le condizioni di acquisizione del sistema (ad es. l'illuminazione della scena) siano tra loro compatibili. Se tale circostanza occorre, è possibile, attraverso un sopralluogo sul posto, collocare una stadia metrica nella stessa posizione in cui si trovava il soggetto di cui si vuole determinare l'altezza, avendo cura che la stessa sia perfettamente ortogonale al terreno. Questo è un passaggio molto delicato perché un posizionamento approssimativo condurrebbe ad una stima errata dell'altezza; per tale ragione si è soliti impiegare un mixer video per "miscelare" le immagini originali ritraenti il soggetto da misurare con il video proveniente dalla telecamera che inquadra la stadia metrica e riposizionare quest'ultima fino a quando non si è soddisfatti dell'allineamento ottenuto.

Una volta individuata la corretta sovrapposizione tra l'immagine del soggetto da misurare e la stadia metrica si legge da quest'ultima l'altezza del soggetto (vedi Figura 2).

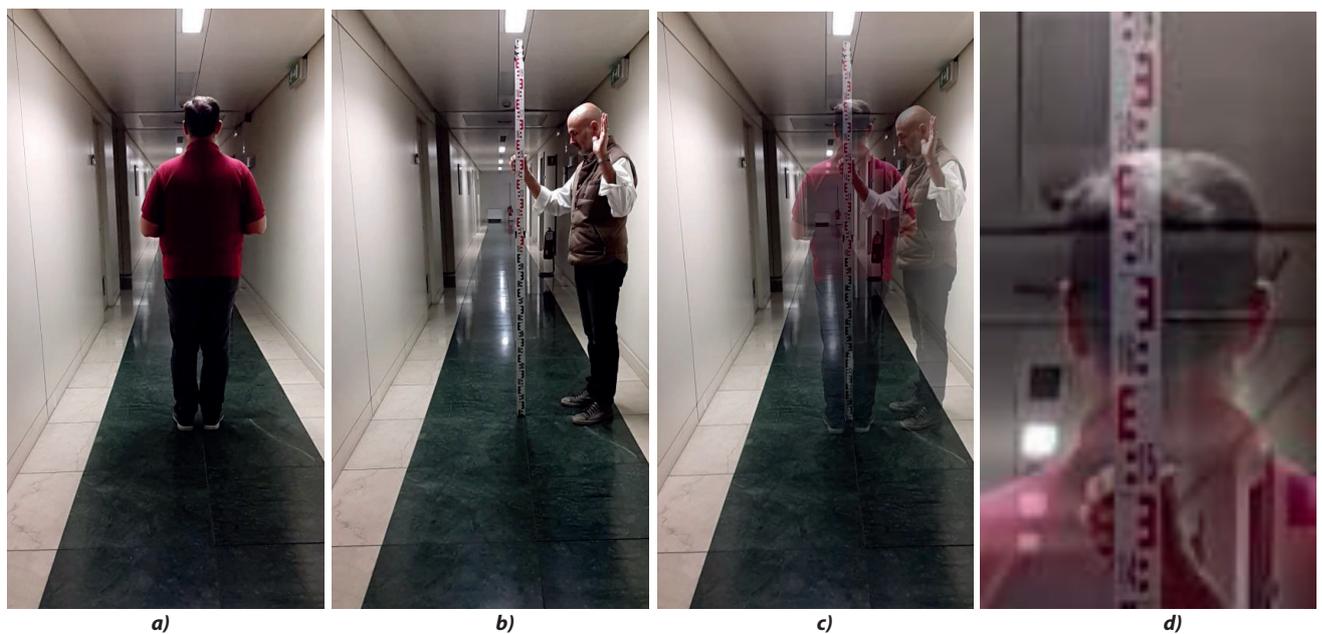


Figura 2 - Esempio di impiego della stadia metrica.
a) immagine originale del soggetto da misurare; b) stadia metrica posta nella stessa posizione del soggetto di interesse; c) sovrapposizione delle immagini in a) e b); d) particolare della sovrapposizione.

Sebbene semplice, la tecnica della stadia metrica risulta molto efficace in quanto "riproietta" nella scena, da qui anche il nome di *reverse projection*, una stadia metrica applicando ad essa le stesse identiche trasformazioni (proiezione, distorsione, codifica dell'immagine, ecc.) che hanno generato l'immagine del soggetto indiziato.

Tuttavia, da quanto esposto, è possibile desumere anche le principali problematiche ad essa legate:

- difficoltà nel posizionamento della stadia metrica;
- il sistema di video-sorveglianza (telecamera e DVR) non deve aver subito modifiche;
- è necessario un sopralluogo sul posto;
- l'utilizzo del mixer per la sovrapposizione delle immagini può essere difficoltoso per l'interfacciamento con il sistema di video-sorveglianza o per l'impiego da parte di quest'ultimo di formati video proprietari;
- difficoltà nel "leggere" il valore dell'altezza riportato dalla stadia metrica quando la qualità delle immagini è scarsa o con avverse condizioni ambientali (ad es. illuminazione);
- nel caso in cui si voglia effettuare la stima dell'altezza di un soggetto inizialmente non considerato nelle indagini è necessario ripetere l'intero procedimento di misura ivi compreso ovviamente il sopralluogo.

3. **Stima dell'errore di misura**

Resta da stabilire l'errore associato alla stima dell'altezza (A_s) ottenuta. A tal proposito va prima di tutto notato che nella stima intervengono due diverse tipologie di errori: un *errore sistematico* (E_s) perlopiù costante al ripetersi delle misurazioni anche se non necessariamente noto a priori, ed un *errore casuale* (E_c) che influenza la stima della misura in maniera casuale in eccesso o in difetto.

Entrambi gli errori possono essere stimati a partire da misurazioni ripetute dell'altezza di soggetti di altezza nota posti in posizione simile a quello del soggetto in esame e possibilmente nella stessa postura. Vediamo brevemente come procedere.

Considerato il soggetto di test i -esimo sarà possibile calcolare la differenza tra l'altezza nota del soggetto (A_i^{reale}) e quella stimata dal metodo (A_i). Supponendo di avere N soggetti l'errore sistematico E_s può essere calcolato come media delle differenze ottenute ovvero:

$$E_s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (A_i - A_i^{reale}) \tag{1}$$

L'errore casuale E_c può essere invece stimato a partire dalla deviazione standard delle differenze ottenute ovvero:

$$E_c = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N ((A_i - A_i^{reale}) - E_s)^2} \tag{2}$$

A questo punto possiamo stimare l'altezza con la seguente formula:

$$H = A_s - E_s \pm \lambda * E_c \tag{3}$$

dove λ va scelto a seconda del livello del livello di confidenza (CL) richiesto, come riportato nella tabella seguente:

valore di λ	Livello di confidenza (CL)
1	68%
2	95%
3	99.7%

Tabella 1

Tuttavia per un numero n ridotto di misure la formula precedente sottostima l'errore. Una stima più accurata [4,5,6] può essere ottenuta mediante la statistica t di Student applicando la seguente formula:

$$H = A_s - E_s \pm \sqrt{1 + \frac{1}{N}} * t(N-1, CL) * E_c \tag{4}$$

dove $t(N-1, CL)$ è il valore della statistica t-Student per $N-1$ gradi di libertà e livello di confidenza CL prescelto:

N	Livello di confidenza (CL)		
	90%	95%	99%
1	6.314	12.71	63.66
2	2.920	4.303	9.925
3	2.353	3.182	5.841
4	2.132	2.776	4.604
5	2.015	2.571	4.032
6	1.943	2.447	3.707
7	1.895	2.365	3.499
8	1.860	2.306	3.355
9	1.833	2.262	3.250
10	1.812	2.228	3.169

Tabella 2

Da notare che per N molto grande le formule (3) e (4) convergono allo stesso risultato.

Al fine di illustrare concretamente l'applicazione delle formule appena esposte, consideriamo il seguente esempio in cui 4 soggetti di test sono misurati 2 volte da due diversi operatori in maniera indipendente. Supponiamo inoltre di avere un sospettato la cui altezza, con le scarpe indossate, è pari a 176 cm.

I dati ottenuti sono riportati in Tabella 3.

	Soggetto test 1	Soggetto test 2	Soggetto test 3	Soggetto test 4	Evidenza
Altezza reale	172	173	175	171	?
Operatore_1	175 (-3)	171 (2)	173 (2)	168 (3)	173
Operatore_2	170 (2)	172 (1)	176 (-1)	172 (-1)	177

Tabella 3 - Esempio di stima dell'errore. Quattro soggetti di test sono misurati da due diversi operatori. La differenza con l'altezza reale è riportata tra parentesi. I valori sono espressi in cm.

L'errore sistematico si ricava dalla media degli errori su tutti i soggetti e tutte le misurazioni degli operatori ottenendo nel caso specifico un valore pari a 0.6 cm. L'errore casuale si ottiene invece applicando in successione le formule (1) e (2) per $N=8$. Considerando un livello di confidenza al 95% si ottiene una stima finale pari a $174,4 \text{ cm} \pm 5,2$.

Dunque l'ipotesi che il sospettato (176 cm) abbia la stessa altezza della persona ripresa dal sistema di video-sorveglianza non può essere rigettata con un livello di significatività del 95%.

Giova evidenziare che il processo di stima dell'errore di misura, appena illustrato, è indipendente dallo specifico metodo di determinazione dell'altezza e potrà essere impiegato anche in combinazione con altre tecniche (ad esempio Single View Metrology [7]). E' inoltre evidente che nel caso in cui si voglia confrontare il risultato ottenuto con l'altezza di un sospettato bisognerebbe tenere in considerazione anche la distribuzione di tale valore di altezza nella popolazione di riferimento in quanto la "forza" dell'accertamento è diversa a seconda che si abbia a che fare con un soggetto di altezza tipica, cioè vicino alla media, rispetto ad un soggetto particolarmente basso o alto. La "forza" dell'accertamento può essere quantificata in termini di Likelihood Ratio [6] come sarà illustrato in un successivo articolo.

4. **Conclusioni**

L'estrazione di misure antropometriche da immagini di videosorveglianza richiede un'attenta disamina delle caratteristiche complessive del sistema su cui si opera che comprende, la scena e lo stesso sistema di videosorveglianza. In questo articolo ci si è soffermati sulla necessità di tenere conto nel processo di misurazione, dei possibili errori *sistematici* e *casuali* da tenere in considerazione ai fini di una corretta procedura di stima dell'altezza. ©

REFERENZE

- [1] S. Battiato, A. Catania, F. Galvan, M. Jerian, L.P. Fontana – Acquisizione ed Analisi Forense di Sistemi di Videosorveglianza - Chapter in IISFA Memberbook 2014 DIGITAL FORENSICS - Eds. G. Costabile, A. Attanasio - Experta, Italy 2015.
- [2] T. Valentine, J. P. Davis - Forensics Facial Identification - Theory and Practice of Identification from Eyewitnesses, Composites and CCTV -, (June 2015), Wiley-Blackwell
- [3] P. Grasgruber, J. Cacek, T. Kalina, M. Sebera - "The role of nutrition and genetics as key determinants of the positive height trend - - Economics & Human Biolog, Volume 15, December 2014, Pages 81–100 – Elsevier Editore"
- [4] G. Edelman, G., I. Alberink. "Estimation of body heights in digital images." Wiley Encyclopedia of Forensic Science, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, UK (2009): 1624-1632.
- [5] I. Alberink, A. Bolck. "Obtaining confidence intervals and likelihood ratios for body height estimations in images." Forensic science international 177.2 (2008)
- [6] D. Lucy, Introduction to Statistics for Forensics Scientist Wiley, 2006
- [7] A. Criminisi, I. Reid, and A. Zisserman, Single View Metrology, in International Journal of Computer Vision, vol. 40, no. 2, pp. 123-148, Nov. 2000
- [8] S.Battiato, F. Galvan - Ricostruzione di Informazioni 3D a Partire da Immagini - Sicurezza e Giustizia - Numero IV/MMXIII - pp. 38-40 – 2013.
- [9] A. Fusiello: "Visione computazionale. Tecniche di ricostruzione tridimensionale". Franco Angeli, Milano, (2013).