



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CAGLIARI

Facoltà di Ingegneria e Architettura

Dipartimento di Ingegneria elettrica ed elettronica

Tesi di ricerca

SOFT-BIOMETRIE PER ANALISI FORENSI

in collaborazione con il RaCIS

dell'Arma dei Carabinieri - RIS Cagliari



Relatore: Prof. Gian Luca Marcialis

Co-relatore: Ten-Col. Dott. Pietro Coli

Laureando: Matteo Lusso

Anno accademico: 2020/2021

Abstract:

"La stima dell'altezza di un oggetto e, soprattutto, di una persona ripresi da una telecamera è ormai parte integrante delle scienze forensi. Determinare l'altezza di un soggetto può fornire utili informazioni sulla persona presente sulla scena; non trattandosi però di valori esatti è fondamentale analizzare i risultati degli algoritmi che si occupano di estrapolare tale soft-biometria e capire quanto e come gli errori influenzino la misura. Sono state quindi analizzate le misurazioni ottenute da due telecamere diverse che riprendevano di volta in volta quattro modelli differenti così da comprendere l'evoluzione dell'errore in funzione della distanza e dell'angolazione rispetto alla camera, oltre che della stessa altezza dei modelli."

INDICE

- 1 - Introduzione
- 2 - Breve stato dell'arte sulle soft-biometrie per l'analisi forense
- 3 - Metodologia di estrazione e stima della soft-biometria dell'altezza
 - 3.1 - *Estrazione della soft-biometria*
 - 3.2 - *Metodi statistici per l'analisi delle soft-biometrie*
- 4 - Esperimenti
 - 4.1 - *Data set e contesto*
 - 4.2 - *Analisi dei dati delle telecamere CAM 3 e CAM 4*
 - 4.3 - *Set e campioni della CAM 3*
 - 4.3.1 - Analisi SET A – Asta di riferimento metrico (CAM 3)
 - 4.3.2 - Analisi SET M – Individuo di altezza minore (CAM 3)
 - 4.3.3 - Analisi SET S – Individuo di altezza media (CAM 3)
 - 4.3.4 - Analisi SET T – Individuo di altezza maggiore (CAM 3)
 - 4.4 - *Considerazioni finali sui dati della CAM3*
 - 4.5 - *Set e campioni della CAM 4*
 - 4.5.1 - Analisi SET A – Asta di riferimento metrico (CAM 4)
 - 4.5.2 - Analisi SET M – Individuo di altezza minore (CAM 4)
 - 4.5.3 - Analisi SET C – Individuo di altezza media (CAM 4)
 - 4.5.4 - Analisi SET T – Individuo di altezza maggiore (CAM 4)
 - 4.6 - *Considerazioni finali sui dati della CAM4*
 - 4.7 - *Confronto fra gli errori della CAM3 e CAM4 per set comuni*
 - 4.7.1 - Confronto fra le riprese delle CAM 3 e CAM 4 dell'asta di

riferimento (SET A)

4.7.2 - Confronto fra le riprese delle CAM 3 e CAM 4 dell'individuo di altezza minore (SET M)

4.7.3 - Confronto fra le riprese delle CAM 3 e CAM 4 dell'individuo di altezza maggiore (SET T)

5 - Stima dell'errore e conclusioni

6 - Bibliografia e fonti

7 - Ringraziamenti

1 - INTRODUZIONE

I sistemi di videosorveglianza sono ormai un diffuso sistema di protezione e un utile strumento di indagine per le forze dell'ordine. Per queste ultime, le riprese di una telecamera, situata sul luogo del delitto o nelle sue vicinanze, sono un'ottima fonte di informazioni per determinare gli eventi criminosi e per riconoscere, o quantomeno descrivere, un sospettato in base alle proprie biometrie personali, sia forti che deboli.

Il volto, ad esempio, ha una forma tale da consentire di distinguerlo rispetto a quello di altre persone; si tratta quindi di un dato biometrico forte e personale, che consente di identificare, con relativa certezza, chiunque di noi.

Al contrario, le cosiddette biometrie deboli, come l'altezza, sono abbastanza comuni e spesso simili fra una persona e un'altra. Nonostante ciò, a livello investigativo e probatorio, ogni informazione su un sospettato è importante per poterlo identificare con sufficiente certezza e quindi accusarlo o scagionarlo. Nel mondo ci sono infatti milioni di persone che condividono la stessa altezza, quindi da sola non è un'informazione sufficiente per distinguere una singola persona dalle altre.

Si tratta però di una delle caratteristiche principali di ognuno di noi e facilmente misurabile che, unita ad altre informazioni, può risultare importante sia alle forze dell'ordine per le indagini che in tribunale durante il processo per il riconoscimento di un sospettato o imputato. Ecco perché, quando si estrapola tale informazioni da un'immagine bidimensionale, è fondamentale capire quanto il valore dell'altezza così ottenuto si discosti

dalla reale altezza del soggetto inquadrato dalla videocamera.

Nella nostra analisi statistica delle misurazioni così ottenute da un'asta di riferimento e da più persone di altezza variabile ma nota, inquadrate in differenti posizioni e da diverse videocamere, ci siamo concentrati sullo studio di tale errore.

Come si vedrà nel dettaglio nei capitoli e paragrafi successivi, abbiamo cercato di definire l'andamento dell'errore in funzione della distanza e dell'angolazione rispetto alla telecamera, in modo da evidenziare eventuali comportamenti comuni dell'errore di misurazione.

Si tratta quindi di un'analisi delle informazioni statistiche più importanti che si possono ottenere da più misurazioni ripetute. Essendo infatti molteplici e variando all'interno di un intervallo, ci hanno permesso di definire i valori della media campionaria e armonica, dell'errore rispetto all'altezza nota del soggetto, della varianza e della deviazione standard.

Tali dati sono stati poi trattati e visualizzati attraverso grafici bidimensionali e tridimensionali per capire come l'errore cambi in base alla telecamera utilizzata, alla posizione in cui si trova il soggetto di riferimento e anche alla sua stessa altezza. I RIS di Cagliari dell'Arma dei Carabinieri, con cui abbiamo collaborato per la stesura di questa tesi, ci hanno quindi aiutato dandoci accesso ai dati ottenuti dal proprio sistema usato per estrapolare l'altezza di un soggetto dai singoli fotogrammi ripresi da una telecamera.

Il problema che sorge spontaneo è stato perciò comprendere quanto queste misurazioni siano soggette a errore e come quantificarlo rispetto alla

misura ottenuta, quando è ignota la reale altezza della persona visibile nel video.

2 - BREVE DESCRIZIONE STATO DELL'ARTE DELLE SOFT-BIOMETRIE PER ANALISI FORENSI

Le soft-biometrie svolgono un ruolo importante a livello forense, perciò sono già stati eseguiti svariati studi sull'argomento. Esistono infatti più algoritmi per estrapolare l'altezza di un soggetto da uno o più fotogrammi.

I RIS, ad esempio, utilizzano la ricostruzione 3D dell'area ripresa dalla telecamera, come visibile nell'immagine denominata FIG. 1, e poi vi applicano sopra il frame video in questione. Una volta determinati manualmente da un operatore dei



FIG. 1 - Ricostruzione 3D dell'area di test.

Carabinieri i piedi e la testa della persona visualizzata nel fotogramma della scena del crimine, un apposito algoritmo restituisce una gran quantità di valori dell'altezza, perché ovviamente la misura subisce l'interferenza di errori casuali e sistematici.

L'analisi dell'errore complessivo è quindi il tassello fondamentale per poter essere certi che il valore così misurato sia sufficientemente corretto, soprattutto in situazioni in cui la vera altezza della persona è ignota.

Uno dei metodi più comuni per stimare l'altezza si basa sul determinare un "righello" virtuale, una linea che va dai piedi alla testa (si veda il RIF. 1 del

capitolo 6). La sfida maggiore consiste nel determinare i due estremi. Infatti, differenti operatori e perfino lo stesso in occasioni diverse, possono scegliere punti differenti.

A ciò si può poi affiancare anche la ricostruzione 3D parziale (si veda RIF. 2) o completa (RIF. 3) dell'ambiente in cui è stato ripreso il fotogramma; metodo che, come anticipato nel paragrafo precedente è eseguito anche dai RIS con un laser scanner che ricostruisce interamente la scena. Si può altresì ottenere l'altezza applicando un modello tridimensionale di un cilindro o una semplice rappresentazione tridimensionale di una persona sopra l'immagine del sospetto, in modo che combaci con la posizione e postura in cui si trova il soggetto presente nella scena.

Entrambi i metodi, sostanzialmente, presentano lo stesso errore di misura, tuttavia il secondo caso è più laborioso perché bisogna far aderire i punti di giuntura del modello 3D con le rispettive parti del corpo, che devono quindi essere necessariamente visibili nel fotogramma (RIF. 4).

Un altro metodo utilizzato per determinare l'altezza di una persona è basato sugli oggetti presenti nella scena. Un palo, un mobile, o qualsiasi altro elemento misurabile dello scenario in prossimità del soggetto di cui vogliamo conoscere l'altezza, può essere usato come riferimento. Inoltre, l'altezza di una persona non resta costante mentre si muove. Tale andamento è ondulatorio e dipende dall'istante della falcata in cui si trova il soggetto analizzato (RIF. 5).

Ovviamente ognuno di questi metodi introduce un errore sulla misura variabile in base alla posizione del soggetto rispetto alla telecamera, agli

abiti che indossa e che inoltre, nella maggior parte dei casi, dipende linearmente dall'altezza stessa del soggetto analizzato – più una persona è alta, maggiore è l'errore misurato (RIF. 6) – come abbiamo avuto modo di osservare anche in questa tesi.

A livello di analisi di quest'errore, c'è quindi un ampio terreno di studio. Le altezze così ottenute durante il nostro lavoro sperimentale hanno infatti un'alta precisione, con le misure indipendenti di un campione abbastanza ravvicinate fra loro, ma un'accuratezza troppo spesso non sufficiente e lontana perfino di qualche centimetro dal vero valore dell'altezza.

Abbiamo quindi cercato di comprendere se ciò possa dipendere principalmente dalla distanza e angolazione rispetto alla telecamera, concentrandoci quindi sulla variazione di tale errore di misura al variare di queste due grandezze ed eventuali andamenti comuni dello stesso con telecamere differenti.

3 - METODOLOGIA DI ESTRAZIONE E STIMA DELLA SOFT-BIOMETRIA DELL'ALTEZZA

Le soft-biometrie dell'altezza usate per questa tesi sono state estratte dai RIS di Cagliari da degli ambienti di prova che saranno descritti nel dettaglio nelle prossime pagine – capitolo 4.

Non abbiamo però avuto un controllo diretto su questa fase dello studio. Semplicemente, abbiamo avuto a disposizione le misure delle altezze di più individui e di una singola asta di riferimento ripresi da due differenti telecamere, che durante l'esperimento sono state nominate CAM 3 e CAM 4.

In pratica, per ogni soggetto ripreso abbiamo nove liste di valori numerici. Queste liste, equivalgono ai valori delle altezze, stimate dall'algoritmo usato dall'Arma dei Carabinieri, in nove posizioni diverse – quindi ogni misura di ogni campione può essere descritta in funzione della distanza e dell'angolazione rispetto alla telecamera.

La seconda fase, nonché quella che ci ha impegnato durante la stesura di questa tesi, è stata l'analisi statistica di queste serie di valori. Ovviamente, avendo a disposizione più misurazioni per campione, abbiamo rappresentato la stima dell'altezza con un unico valore e tale scelta è ricaduta sulla media campionaria (o aritmetica) .

Attraverso tale definizione, mostrata quantitativamente nella sottosezione 3.2, abbiamo potuto calcolare e analizzare l'errore della stima dell'altezza rispetto al vero valore della stessa per ogni individuo e riferimento.

3.1 - ESTRAZIONE DELLA SOFT-BIOMETRIA

Come anticipato, le misure analizzate sono state ottenute da un'asta di riferimento e da tre individui di altezza nota utilizzando i fotogrammi in cui appaiono e la ricostruzione 3D, mediante l'uso del laser scanner, del luogo in cui è avvenuta.

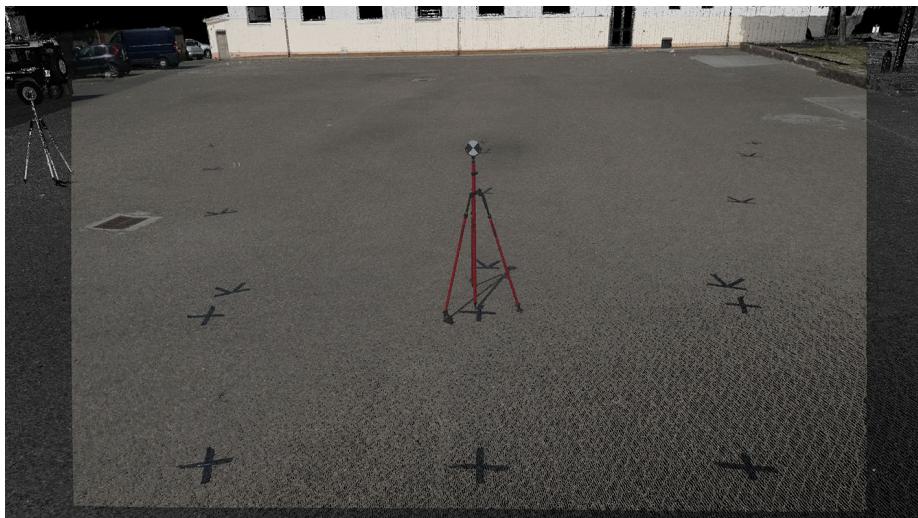


FIG. 2 - Il fotogramma del video ripreso dalla telecamera è fatto combaciare con la ricostruzione 3D dell'ambiente. Quest'immagine mostra appunto la sovrapposizione dei due elementi.

La cosiddetta "nuvola di punti" memorizza per ogni elemento la distanza e l'angolazione orizzontale e verticale rispetto allo strumento ed è quindi possibile

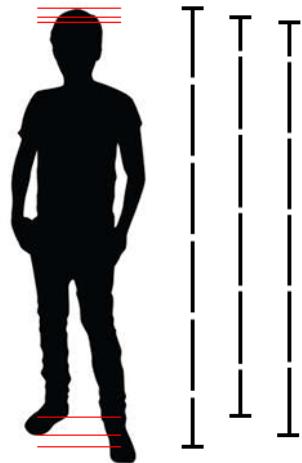
visualizzarli in un ambiente virtuale.

Il laser scanner è inoltre dotato di telecamere che fotografano la scena e applica queste immagini direttamente al modello tridimensionale precedentemente ottenuto da tutti i punti. Una volta che si ha a disposizione la scena del crimine ricostruita digitalmente, il fotogramma della videocamera presente sul posto è fatto combaciare con il modello 3D, come visibile nella FIG. 2 in alto.

Un operatore – dato che tale processo non è totalmente automatizzato – si occupa di far corrispondere il fotogramma con la ricostruzione digitale e,

cosa più importante, definisce lo spazio fra i piedi e la testa del soggetto visibile nel fotogramma.

Purtroppo, ciò introduce un errore che varia da operatore a operatore. Perfino lo stesso operatore, in momenti diversi, come visibile nella FIG. 3 in basso a destra, potrebbe selezionare punti diversi nel fotogramma per indicare in quali pixel terminano la testa e i piedi.



Successivamente, dopo aver impostato questi parametri, un algoritmo ad hoc si occupa dell'estrazione delle misure dell'altezza, ovvero i dati che sono stati analizzati durante la parte sperimentale di questa tesi. La procedura è poi ripetuta più volte utilizzando tutti i frame video che, secondo l'operatore, sono ottimali – se, ad esempio, il corpo non è perfettamente visibile o l'immagine non è sufficientemente chiara, tale fotogramma si scarta.

FIG. 3 - Determinare la posizione dei limiti dei piedi e della testa non è mai perfettamente preciso e ciò porta ad avere stime differenti dell'altezza.

3.2 - METODI STATISTICI PER L'ANALISI DELLE SOFT-BIOMETRIE

Per ogni telecamera abbiamo a disposizione quattro set, ognuno con nove campioni. I set sono l'insieme delle misurazioni ottenute per ogni individuo o riferimento ripreso dalla telecamera. Ogni campione contiene, in numero variabile, migliaia di stime dell'altezza di un individuo in una determinata posizione rispetto alla telecamera.

Il programma di analisi inizia quindi determinando il numero delle N misure per campione. Le stime sono quindi le nostre variabili aleatorie. Queste variabili casuali assumono valori sempre diversi dovuti a fenomeni non deterministicci e, inoltre, sono continue perché possono assumere un qualsiasi valore reale all'interno di un intervallo.

Da queste misure, che d'ora in poi indicheremo singolarmente con χ_i , è calcolata la semplice media campionaria

$$M_{camp_k} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \chi_{i,k} \quad (1)$$

e la media armonica

$$M_{arm_k} = \frac{N}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{\chi_{i,k}}} \quad (2).$$

Le medie ottenute dalle formule (1) e (2) sono espresse in metri e il pedice k indica il numero del campione considerato. Abbiamo però subito notato che M_{camp} e M_{arm} sono sempre pressoché identiche, perciò il seguito dell'analisi si

è basato sulla sola media campionaria M_{camp} come stima dell'altezza – allo stesso modo, moda e mediana non sono risultate utili ai fini dell'analisi.

Avendo a disposizione i veri valori dell'altezza u dei modelli ripresi dalle telecamere, è stato possibile definire l'errore ε come la differenza fra M_{camp} e u e da ciò ricavare anche l'errore relativo percentuale ξ dividendo il valore assoluto di ε per u e moltiplicandolo per 100. ξ è molto importante perché ci ha permesso di confrontare l'errore fra soggetti di altezza diversa ma situati nella stessa posizione.

Conoscendo il valore dell'errore rispetto alla misura stimata dell'altezza abbiamo poi ottenuto i valori della varianza σ^2 , definita come

$$\sigma_k^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\chi_{i,k} - M_{camp_k})^2 \quad (3),$$

e la deviazione σ standard, ricavata dalla (3) semplicemente come

$$\sigma_k = \sqrt{\sigma_k^2} \quad (4).$$

Da queste informazioni si è poi proceduto con la generazione dei grafici che mostrano come l'errore vari in base alla posizione e alla stessa altezza del soggetto, dando grande importanza agli elementi comuni e comportamenti ripetuti dei set delle due telecamere analizzate.

Abbiamo infatti disegnato l'istogramma, con un bin di 0.5 mm, e stimato la densità con il metodo delle finestre di Parzen – utilizzando un filtro gaussiano avente la propria banda passante definita attraverso la regola del pollice di Scott (RIF. 7) – delle N misure di ogni campione per comprenderne la distribuzione.

Infine, gli errori assoluti e relativi sono stati mostrati attraverso grafici in due e tre dimensioni. Nel primo caso, l'errore relativo percentuale è mostrato per punti rispetto allo spazio (con l'asse X che rappresenta la distanza dalla telecamera e l'asse Y l'angolazione rispetto alla stessa), permettendoci un facile confronto visivo fra gli errori per campioni diversi, ma anche per modelli e telecamere differenti.

Successivamente, ci siamo concentrati sullo studio dell'errore assoluto generando i grafici bidimensionali che ne mostrano l'andamento in base alla sola distanza o angolazione.

Su ogni campione è stato eseguito anche un test chi quadrato χ^2 con un grado di libertà - la curva gaussiana di confronto è stata suddivisa in quattro parti, ma abbiamo tre vincoli dovuti alla media campionaria, al numero di misure e alla deviazione standard (RIF. 8). Ciò ci ha consentito di capire quanto la distribuzione delle misure abbia un andamento gaussiano, tuttavia i risultati ottenuti sono stati messi presto da parte in quanto inconcludenti ai fini di questo studio - la distribuzione delle misure non sembra influenzare l'andamento dell'errore.

La parte sperimentale di questa tesi consiste quindi nell'analisi delle altezze ottenute mediante l'uso del laser scanner. L'Arma dei Carabinieri infatti ha preparato diversi campioni, comprendenti le altezze misurate dal proprio algoritmo di più soggetti e un'asta di riferimento di altezze note.

Persone e asta sono state poste in punti predefiniti, con le prime in posizione ben eretta davanti alla telecamera, per evitare le distorsioni dovute al movimento.

Questa mole di informazioni è stata poi trattata attraverso lo sviluppo di apposito un programma – scritto in linguaggio Python – che ci ha concesso di ottenere i più importanti dati statistici dai vari campioni come le medie campionarie e armonica, la deviazione standard, la distribuzione delle misure, gli errori assoluti e relativi e così via.

L'obiettivo principale è quello di comprendere se l'errore della misura seguì un andamento comune a più videocamere e dipendente dalla posizione nell'area della ripresa.

Per far ciò ci siamo affidati ai due data set, con una disposizione “ordinata” dei modelli inquadrati dalla telecamera, come sarà spiegato maggiormente nel dettaglio nel prossimo sottocapitolo 4.1.

4.1 - DATA SET E CONTESTO

I data set usati sono stati nominati CAM 3 e CAM 4. Come intuibile dai nomi, abbiamo utilizzato due differenti telecamere. Ognuna di esse è situata in un luogo differente e si tratta di marche e modelli differenti, quindi sia i sensori che la risoluzione cambiano da un data set all'altro.

Ogni data set comprende all'interno quattro differenti set. I set comprendono tutte le misure ottenute dall'asta metrica di riferimento (chiamato SET A) e quelle di altre tre persone (in questo caso la nomenclatura del singolo set è definita attraverso l'iniziale del nome del soggetto ripreso). L'altezza di asta e persone è stata ricavata, volta per volta, in nove diverse posizioni e ci riferiamo alla serie di misure ottenute come campioni; ogni campione è distinto dagli altri attraverso un numero.

Ai fini dell'analisi, i modelli sono stati posti a raggiera rispetto alla telecamera. In questo modo abbiamo sempre tre campioni o equidistanti ma con angolazione variabile oppure, al contrario, che formano lo stesso angolo rispetto alla telecamera

ma a distanze variabili. Ciò ha permesso di mostrare la variazione dell'errore rispetto a una sola delle due variabili (distanza o angolazione).

La distanza, visibile nella FIG. 4, è stata calcolata

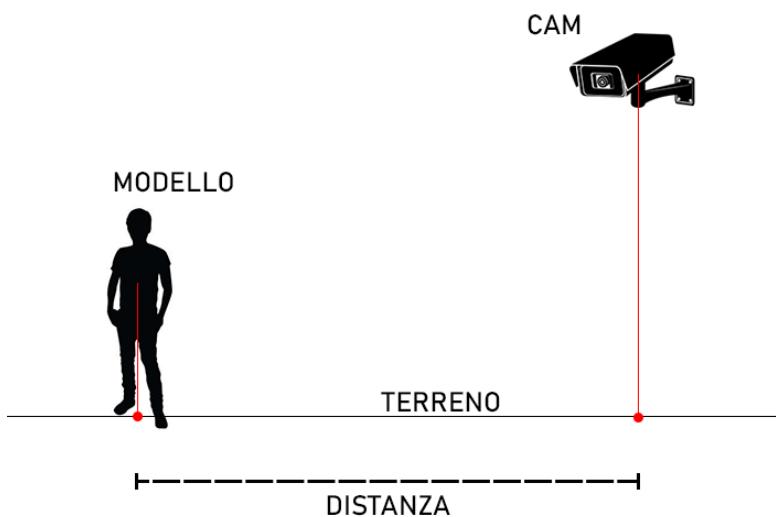


FIG. 4 - Le proiezioni della telecamera e del modello sul terreno determinano la distanza.

considerando le proiezioni della telecamera e dei modelli sul terreno.

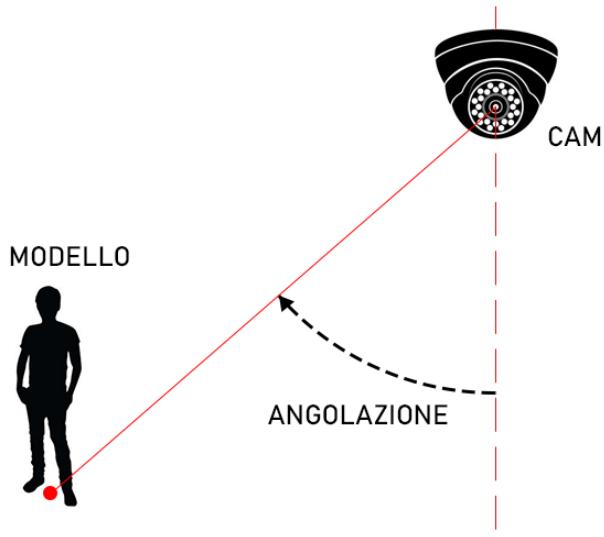


FIG. 5 – Supponendo che il modello e la telecamera stilizzati siano viste perpendicolarmente dall'alto, l'angolazione è l'angolo che si forma fra la retta passante attraverso la lente e la retta che passa fra la telecamera e la proiezione del modello sul terreno.

Per l'angolazione, definita anche come angolo alpha α , si è invece considerato l'angolo che si forma fra una retta passante orizzontalmente e perpendicolarmente attraverso l'obiettivo della telecamera e la retta che passa fra le due proiezioni

(della telecamera e del soggetto inquadrato), come è possibile vedere nella FIG. 5; l'angolo è nullo per i modelli in posizione centrale, negativo per quelli a sinistra e positivo per quelli a destra.

4.2 - ANALISI DEI DATI DELLE TELECAMERE CAM 3 E CAM 4

La FIG. 6 a destra mostra come i campioni (indicati con un numero da 1 a 9) sono disposti in un ambiente di prova perfetto, ovvero quando sono perfettamente allineati ed equidistanti. Poiché i nove campioni di ogni set sono stati ottenuti disponendo i soggetti a raggiera ma non in modo perfetto, per comodità sono stati raggruppati per gruppi equidistanti o con la stessa angolazione rispetto alla telecamera

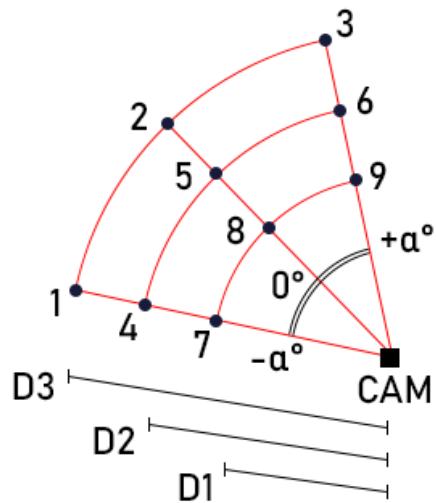


FIG. 6 - Disposizione perfetta dei campioni, distinti in base al numero, rispetto alla telecamera. Questa disposizione è stata denominata "a raggiera" ed è la disposizione dei soggetti della CAM 3 e CAM 4.

Nella fattispecie, i campioni sono stati raccolti in base alla distanza nei seguenti gruppi:

- **D3** – raccoglie i campioni 1, 2 e 3.
- **D2** – raccoglie i campioni 4, 5 e 6.
- **D1** – raccoglie i campioni 7, 8 e 9.

I campioni di ognuno di questi gruppi sono posti all'incirca alla stessa distanza dalla telecamera e il gruppo D1 è quello più vicino alla telecamera, mentre il D3 quello più lontano.

Stessa procedura per quanto riguarda l'angolazione rispetto alla telecamera

- angolo nullo per i campioni in posizione centrale (A0), negativo per quelli posti a sinistra (A-) e positivo per quelli a destra (A+).

- **A-** - raccoglie i campioni 1, 4 e 7.
- **A0** - raccoglie i campioni 2, 5 e 8.
- **A+** - raccoglie i campioni 3, 6 e 9.

Naturalmente, ci sono delle piccole discrepanze in gradi e centimetri tra i campioni di uno stesso gruppo, tuttavia si è continuato ad usare questa divisione per riferirci ai soggetti che si trovano più vicini alla telecamera, quelli posti a media distanza, quelli più lontani, quelli in posizione centrale e quelli che invece si trovano a destra o a sinistra.

4.3 - SET E CAMPIONI DELLA CAM 3

Il software di analisi ha permesso di estrapolare alcune importanti informazioni da ogni set e la distribuzione delle misurazioni in base alla posizione e angolazione di ogni campione rispetto alla telecamera.



FIG. 7 - Asta di riferimento, ripresa dalla CAM 3, posta a distanze costanti ma con tre differenti angolazioni. L'immagine è il risultato dell'unione di tre differenti fotogrammi.

Le **FIG. 8** e **FIG. 9** seguenti mostrano nel dettaglio la disposizione “a raggiera” della CAM 3, di cui è possibile apprezzarne un fotogramma nella **FIG. 7** precedente. In basso a sinistra è mostrata la distanza di ogni campione rispetto alla telecamera e a destra l'angolazione.

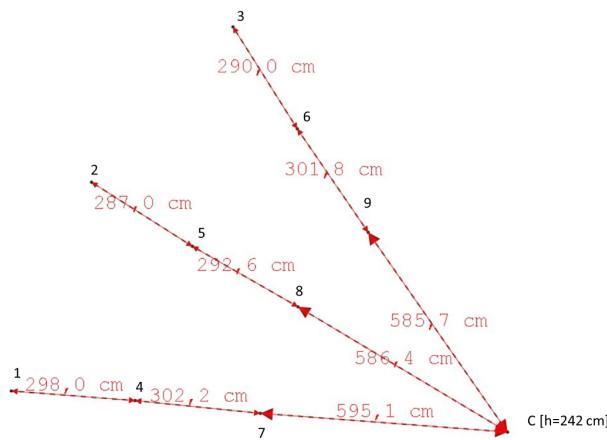


FIG. 8 - Disposizione dei campioni della CAM 3 rispetto alla distanza – si nota che per i gruppi prima descritti non c'è una perfetta equidistanza.

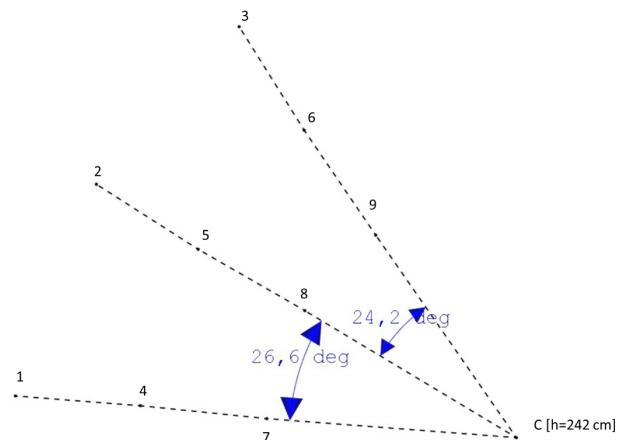


FIG. 9 - Disposizione dei campioni della CAM 3 rispetto all'angolazione – si nota che non c'è una perfetta simmetria fra destra e sinistra.

Per quanto riguarda la telecamera CAM3, abbiamo a disposizione quattro set. Il SET A è l'asta metrica di riferimento, mentre i SET M, SET S e SET T sono basati su tre differenti persone elencate in ordine di altezza.

4.3.1 - ANALISI SET A – ASTA DI RIFERIMENTO METRICO (CAM 3)

Il SET A è stato ottenuto misurando l'asta di riferimento, il cui vero valore dell'altezza è 1.427 m. I grafici della FIG. 10 seguente mostrano la distribuzione dei nove campioni del set; la larghezza di ogni barra verde degli histogrammi è di 0.5 mm e la lunghezza dipende dal numero di misurazioni che cadono all'interno dell'intervallo definito dalla barra.

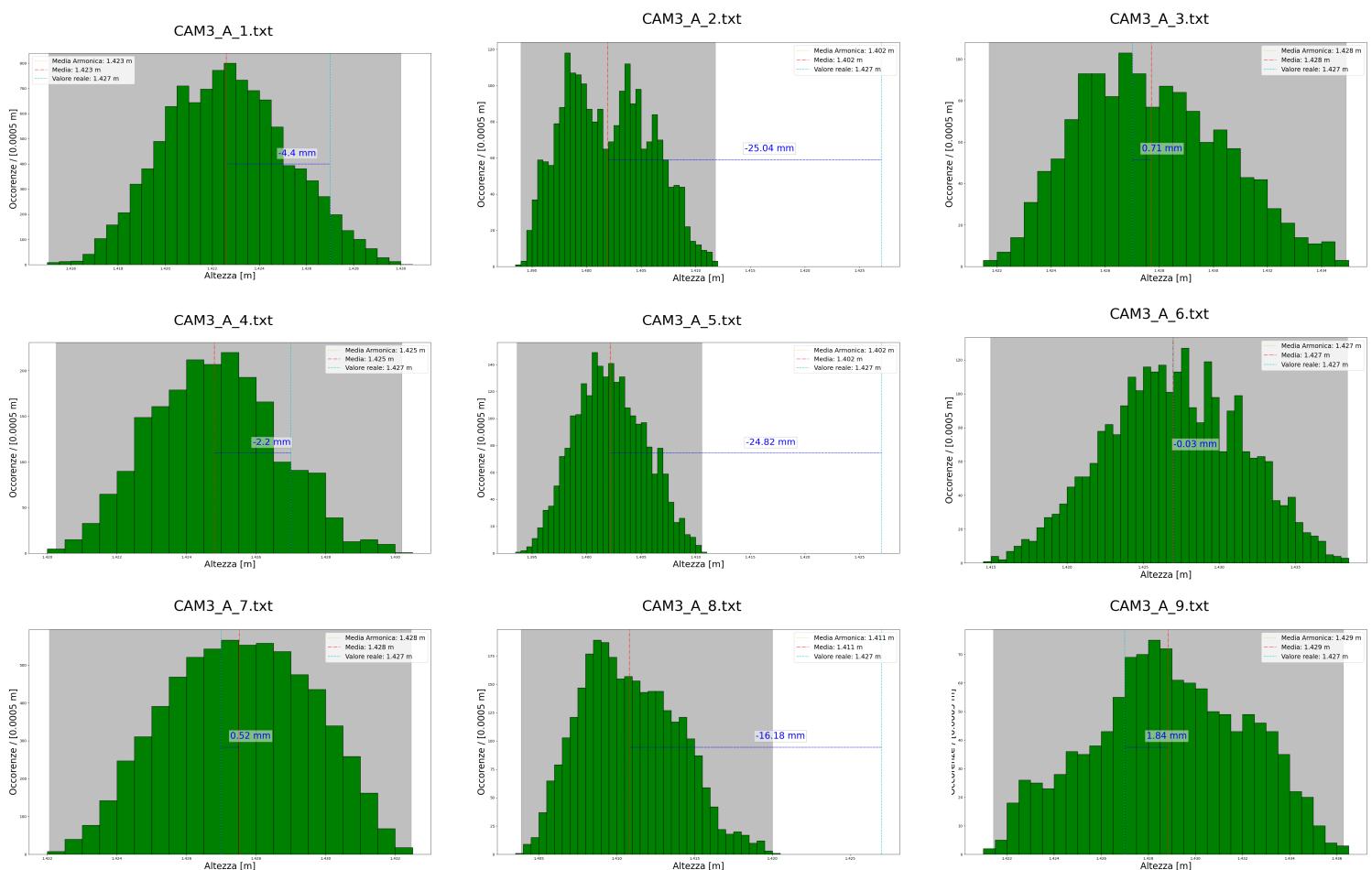


FIG. 10 - Ognuno dei nove grafici mostra gli histogrammi ottenuti dalle misurazioni di ogni campione del SET A: la linea rossa verticale indica il valore della media campionaria, mentre quella color ciano il vero valore dell'altezza dell'asta di riferimento. L'area grigia indica l'intervallo entro cui cadono tutte le misurazioni di quel campione.

Come è possibile notare dagli histogrammi della FIG. 10, le distribuzioni delle

misurazioni dell'asta A mostrano un comportamento bimodale marcato - ovvero sono visibili due "picchi", o meglio mode - in solo 2 casi su 9. La densità della distribuzione è stata stimata utilizzando il kernel gaussiano, con una banda passante calcolata attraverso la regola del pollice di Scott (RIF. 7).

Inoltre, dai grafici sopra, si può osservare che per 6 campioni su 9 il valore vero si trova tra la minima e massima misurazione ottenuta e che l'errore, in valore assoluto, è minore di 5 mm il 66.67% delle volte.

Per semplicità, continuiamo a riferirci all'errore campionario con il simbolo ε , al vero valore dell'altezza con v e alle singole N misure - nonché variabili aleatorie - con χ ; tuttavia per rendere la lettura delle formule più agevole ignoriamo i pedici i e k riferiti rispettivamente all'ennesima misurazione e al campione considerati.

L'errore campionario ε è perciò definito come il valore della media campionaria M_{camp} calcolata dalla (1) meno il valore vero v :

$$\varepsilon = M_{camp} - v \quad (5).$$

La particolarità su cui bisogna però soffermarsi, è che risulta perfino più marcata nei successivi set, è che ε è maggiore per le misurazioni del gruppo A0 (quelle ottenute dai riferimenti aventi angolo nullo rispetto alla telecamera).

Ciò potrebbe essere dovuto, in primis, sia alla deformazione delle lente della fotocamera che al metodo utilizzato per estrarre le altezze dalle riprese

e alla ricostruzione tridimensionale dell'ambiente.

Tuttavia, ai fini di questa analisi, consideriamo che l'operatore abbia eseguito tutti i passaggi necessari nella maniera più corretta e, soprattutto, ottimizzata, rendendo quindi tale errore trascurabile. Inoltre, quando l'immagine è applicata alla ricostruzione tridimensionale, tali deformazioni dovrebbero essere eliminate o comunque nettamente ridotte.

L'immagine in basso a sinistra mostra l'errore relativo percentuale, ovvero l'errore normalizzato rispetto all'altezza e moltiplicato per 100, che possiamo quindi confrontare fra set diversi.

L'errore relativo percentuale è stato chiamato ξ ed è definito come il rapporto fra il valore assoluto di ε e v moltiplicato per 100

$$\xi = \frac{|\varepsilon|}{v} * 100 \quad (6)$$

SET_CAM_3 - A
[Errore relativo 3D]

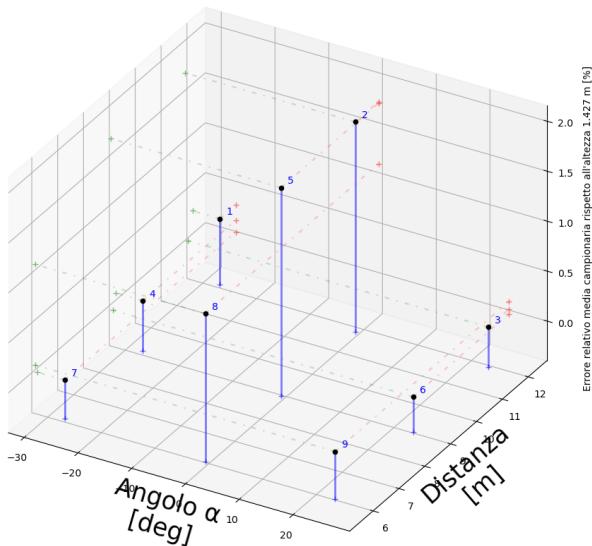


FIG. 11 - Grafico a dispersione 3D dell'errore relativo percentuale ξ del SET A della CAM 3.

L'aspetto più importante del grafico della FIG. 11 è che ci mostra come l'errore ottenuto dalla (6) aumenti all'aumentare della distanza, a parità di angolo α .

Inoltre, si osserva chiaramente come l'errore relativo percentuale sia compreso fra l'1% e il 2% per i campioni del gruppo A0, mentre si

riduca tra lo 0% e lo 0.5% del valore vero \bar{u} per i campioni di gruppi A- e A+.

- **Errore del SET_A rispetto alla distanza**

Per visualizzare meglio come l'errore ε vari con la distanza dalla telecamera, si è considerato il proprio valore assoluto – indicato con $|\varepsilon|$. L'andamento in questo caso è chiaramente crescente all'aumentare della distanza.

Nell'immagine FIG. 12 a destra si può osservare la regressione del primo (linea tratteggiata rossa) e del second'ordine (linea continua rossa) di $|\varepsilon|$ in funzione della distanza dalla telecamera.

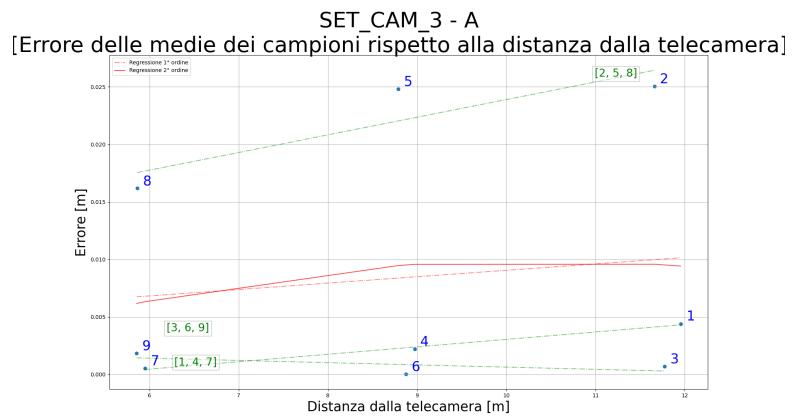


FIG. 12 - Andamento dell'errore assoluto $|\varepsilon|$ in metri del SET A all'aumentare della distanza in metri dalla CAM 3.

L'andamento è globalmente crescente e abbastanza simile se si esegue la regressione lineare del prim'ordine anche per i campioni con angolo α simile (le linee tratteggiate verdi). La regressione del gruppo A- ha all'incirca la stessa pendenza della linea tratteggiata rossa e quella di A0 una pendenza leggermente maggiore, mentre quella di A+ presenta un andamento leggermente decrescente, quasi stazionario.

- **Errore rispetto all'angolo α del SET_A**

La stessa analisi è stata ripetuta anche per i gruppi equidistanti D1, D2 e D3.

Stavolta è mostrato l'errore in valore assoluto $|\epsilon|$ rispetto alla variazione dell'angolo α .

Purtroppo la regressione del second'ordine appare come una linea spezzata ma ciò è dovuto al fatto che i nove campioni combaciano a tre a tre. Verosimilmente, l'andamento può considerarsi come una parabola rivolta verso il basso con il suo massimo proprio intorno all'angolo di 0° , come si può notare dalla FIG. 13 in basso a sinistra.

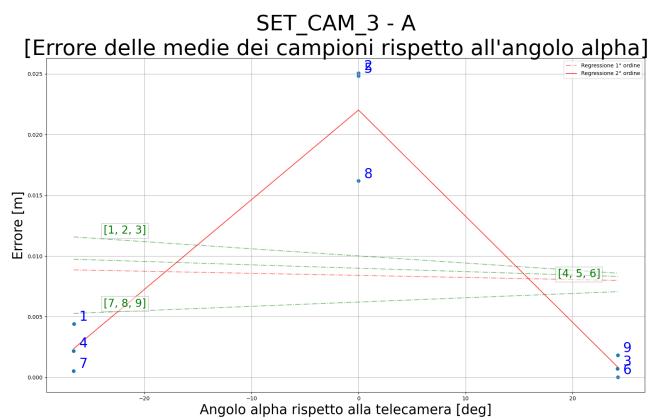


FIG. 13 - Andamento dell'errore assoluto $|\epsilon|$ in metri del SET A al variare dell'angolazione in gradi (da sinistra a destra) rispetto alla CAM 3.

Le rette ottenute con la regressione lineare del prim'ordine dei gruppi D1, D2 e D3 presentano un coefficiente angolare praticamente nullo e ciò potrebbe confermare proprio la simmetria

dell'andamento parabolico di $|\epsilon|$ a destra e a sinistra.

4.3.2 - ANALISI SET M – INDIVIDUO DI ALTEZZA MINORE (CAM 3)

Passiamo ora al primo set ottenuto da una persona di altezza 1.633 m, il SET M. Come prima, visualizziamo i grafici della distribuzione delle misure dei nove campioni nella FIG.14 in basso.

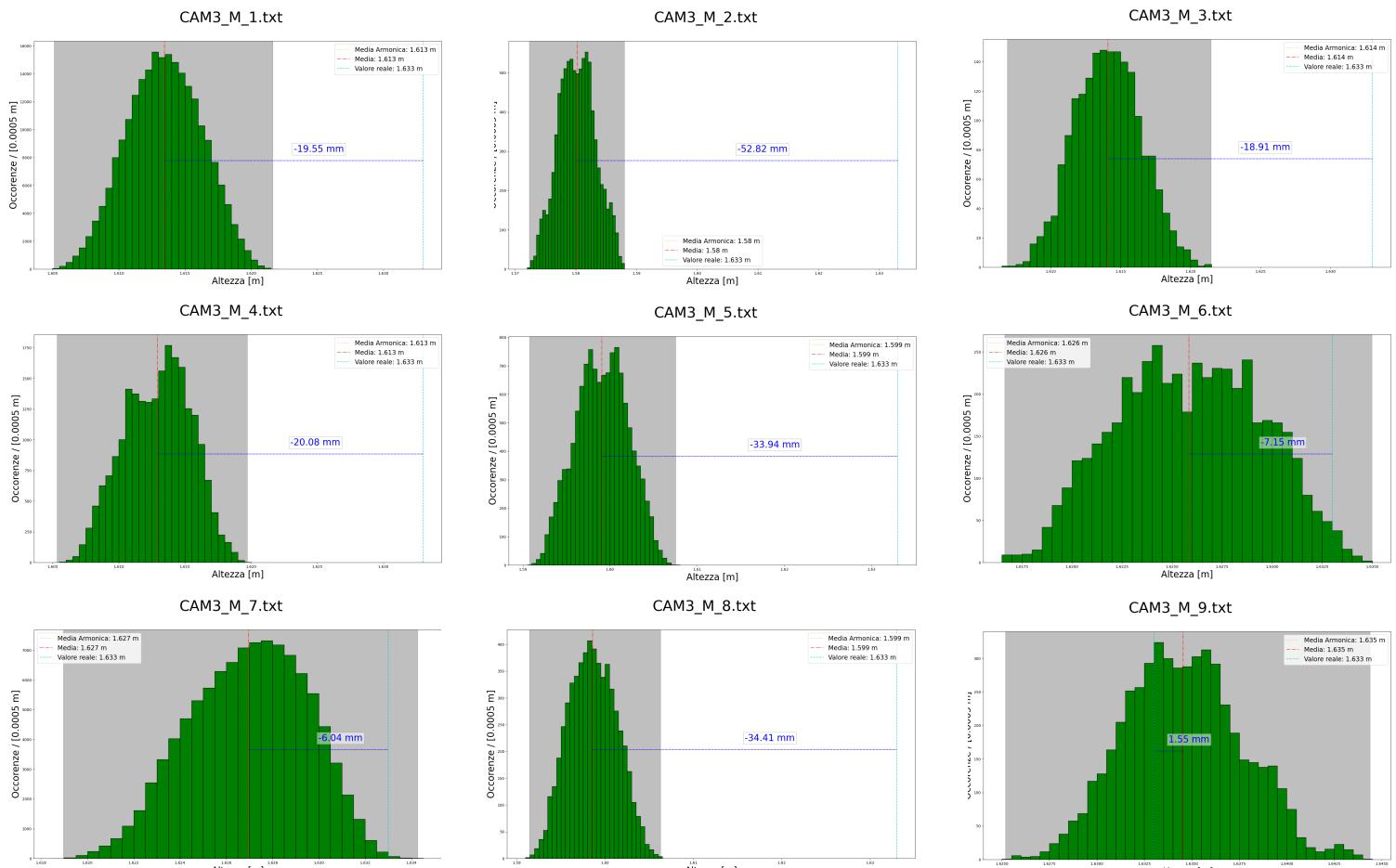


FIG. 14 - I nove grafici mostrano gli istogrammi ottenuti dalle misurazioni di ogni campione del SET M.

A differenza dell'asta A, si nota subito come per il SET M l'errore ε sia nettamente maggiore. Infatti, solo 3 volte su 9 (33.33%) ε cade all'interno dell'intervallo compreso fra la minima e la massima misurazione del singolo campione. Inoltre, nel complesso solo l'11,11% delle volte (ovvero solo per il campione 9) $|\varepsilon|$ è minore di 5 mm.

Inoltre, la media campionaria dei nove campioni è una sottostima del valore vero μ nell'88.89% dei casi. Per di più, la stima gaussiana della distribuzione presenta un comportamento bimodale in cinque diversi campioni. L'errore relativo percentuale ξ visualizzato in 3D, come in precedenza, mostra un andamento simile a quanto visto con l'asta di riferimento.

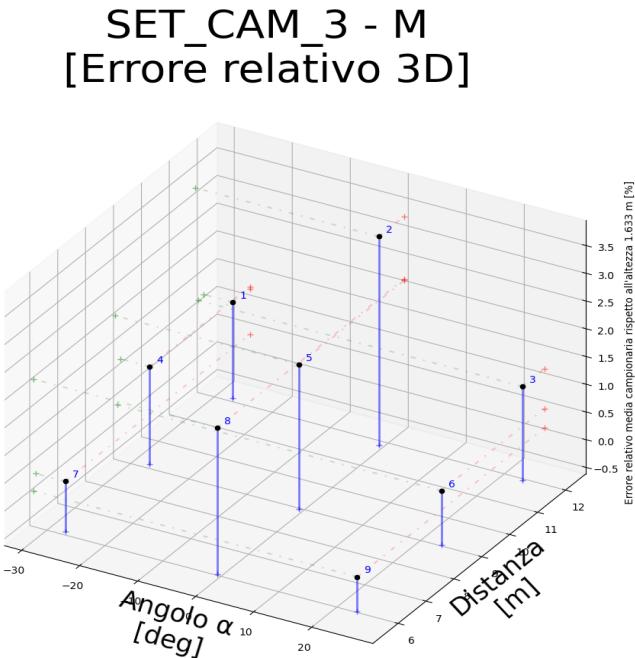


FIG. 15 - Grafico a dispersione 3D dell'errore relativo percentuale ξ del SET M della CAM 3.

L'errore infatti cresce a parità di angolo α all'aumentare della distanza, come si vedrà nel dettaglio nelle immagini successive.

In ogni caso, gli errori calcolati a partire dalle medie campionarie delle misurazioni continuano a presentare l'andamento a parabola rovesciata con il picco di ξ

proprio in posizione centrale rispetto alla telecamera.

Dalla FIG. 15 si evince che per il gruppo A0 abbiamo un ξ che va dal 2% al 3.5% dell'altezza reale, mentre si riduce fra lo 0% e l'1.5% per i gruppi A- e A+. In termini assoluti l'errore del gruppo A0 va da 3.4 a 5.3 cm (circa) mentre per i gruppi A- e A+ l'errore minimo è di 0.15 cm fino a un massimo di 1,9 cm (circa). In questo caso però l'errore appare meno simmetrico per i gruppi A- e A+.

- **Errore rispetto alla distanza del SET M**

Anche in questo caso abbiamo un chiaro andamento crescente di $|\epsilon|$ all'aumentare della distanza, come visibile dall'immagine FIG. 16.

Le regressioni di primo e second'ordine combaciano quasi perfettamente,

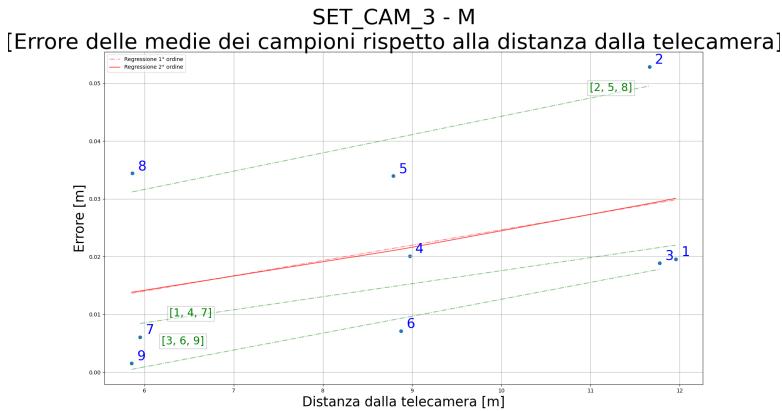


FIG. 16 - Andamento dell'errore assoluto $|\epsilon|$ in metri del SET M all'aumentare della distanza in metri dalla CAM 3.

suggerendo quindi un andamento lineare crescente dell'errore, rappresentabile con il semplice coefficiente angolare della linea rossa tratteggiata.

A conferma di ciò, anche le regressioni dei gruppi A-, A0 e A-, prese singolarmente, mostrano un andamento di $|\epsilon|$ chiaramente crescente, con coefficienti angolari molto simili fra loro e quello ottenuto dalla regressione del prim'ordine di tutti e nove i campioni.

- **Errore rispetto all'angolo α del SET_M**

L'analisi degli errori assoluti $|\epsilon|$ rispetto all'angolo α mostra un andamento simile a quanto visto in precedenza con l'asta A.

La regressione del second'ordine (la linea rossa della FIG. 17) dovrebbe rappresentare, verosimilmente, una

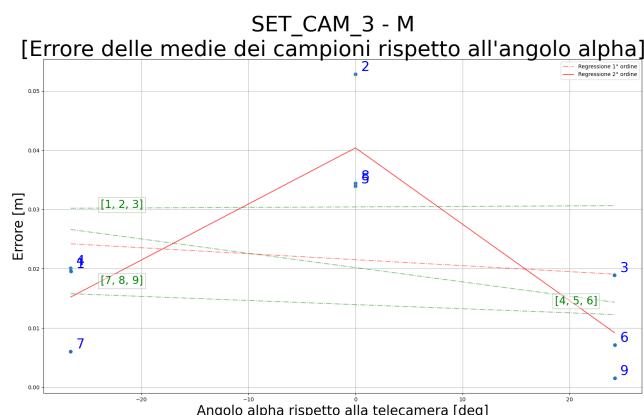


FIG. 17 - Andamento dell'errore assoluto $|\epsilon|$ in metri del SET M al variare dell'angolazione in gradi rispetto alla CAM 3.

parabola capovolta con il suo massimo intorno al gruppo A0.

Tuttavia, se così fosse, le varie regressioni del prim'ordine dovrebbero avere un coefficiente angolare nullo, ma non è questo il caso. Però, la linea tratteggiata rossa (la regressione di tutti i nove i punti della FIG. 17) ha una pendenza quasi irrisiona - l'errore assoluto sta variando di circa 1 cm ogni 50°.

4.3.3 - ANALISI SET S – INDIVIDUO DI ALTEZZA MEDIA (CAM 3)

Il SET S comprende i nove campioni di una persona di altezza media, il cui \bar{v} vale 1.758 m. Continuiamo mostrando le distribuzioni delle misure dei campioni di questo set rappresentandole con gli istogrammi visibili nella FIG. 18.

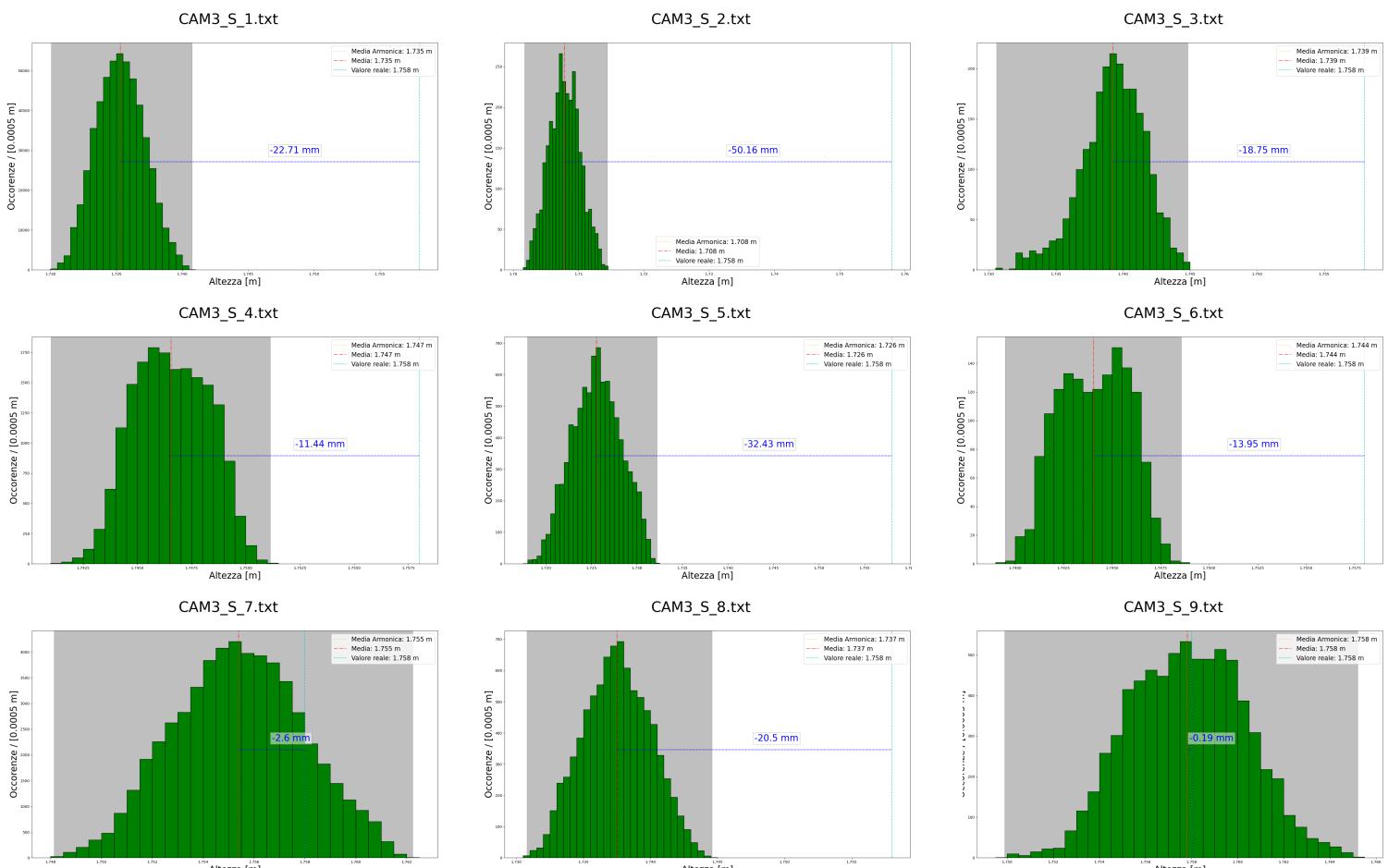


FIG. 18 – Gli istogrammi mostrano la distribuzione delle le misurazioni di ogni campione del SET S.

Come è possibile aspettarsi, l'errore ϵ per i gruppi D1, D2, D3 è crescente e, di nuovo, i campioni del gruppo A0 mostrano un ϵ maggiore rispetto agli altri campioni equidistanti. Però, con l'aumentare dell'altezza è diminuita anche

l'accuratezza delle misurazioni.

Stavolta μ si trova all'interno dell'intervallo delle misurazioni solo il 22,22% delle volte, mentre ϵ è minore di 5mm appena il 22,22% delle volte - però ciò denota un aumento rispetto al set precedente. Ciò che colpisce è che il 100% delle volte la media campionaria delle misurazioni è una sottostima della vera altezza della persona - tuttavia, l' ϵ del campione 9 è di appena -0,19 mm, quindi possiamo anche non considerare tale media come una sottostima, portando la percentuale all'88,89%.

In questo set, il grafico tridimensionale della FIG. 19 a destra mostra un quasi perfetto andamento crescente di ξ e una simmetria quasi perfetta rispetto all'angolo α .

Ciò su cui bisogna soffermarsi è come ξ vari tra questo set e il SET M. Fra le due persone c'è infatti una differenza di altezza di 12,5 cm ed è importante capire come e se ciò influenzi la misurazione.

SET_CAM_3 - S
[Errore relativo 3D]

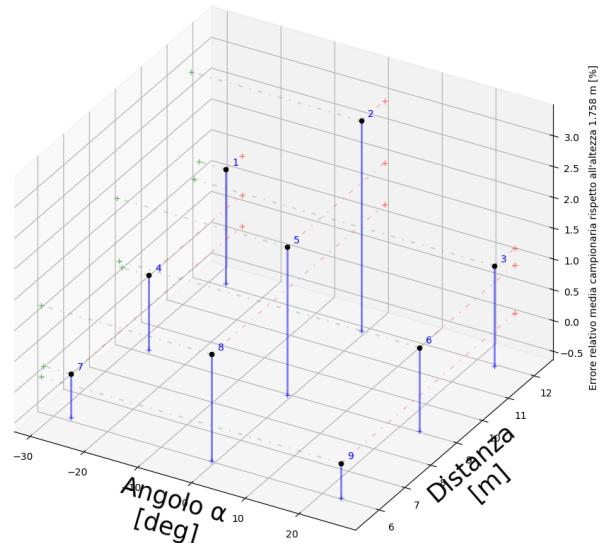


FIG. 19 - Grafico a dispersione 3D dell'errore ξ del SET S della CAM 3.

Curiosamente, rispetto a quanto ci si poteva aspettare, gli errori relativi del precedente SET M (altezza minore) sono maggiori in 7 campioni su 9 rispetto a quelli di questo SET_S (altezza maggiore), con una differenza minima dello 0.2% fino a un massimo dell'1%.

- **Errore rispetto alla distanza del SET S**

Visualizziamo, nella FIG. 20, l'errore assoluto $|\epsilon|$ rispetto alla distanza dalla telecamera. L'andamento è lineare e crescente da 6 m fino a 12 m e i campioni, presi a gruppi con angolo a costante, mostrano all'incirca la stessa pendenza della regressione del prim'ordine di tutti e nove i punti.

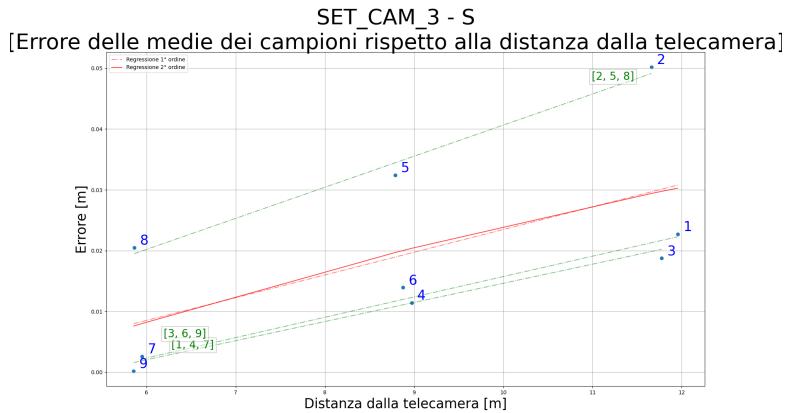


FIG. 20 - Andamento di $|\epsilon|$ in metri del SET S all'aumentare della distanza in metri dalla CAM 3.

- **Errore rispetto all'angolo α del SET S**

Anche per il SET S, l'andamento di $|\epsilon|$ rispetto all'angolo α è - presumibilmente - parabolico, con il massimo intorno alle posizioni centrali rispetto alla telecamera, almeno da come si può osservare nella FIG. 21.

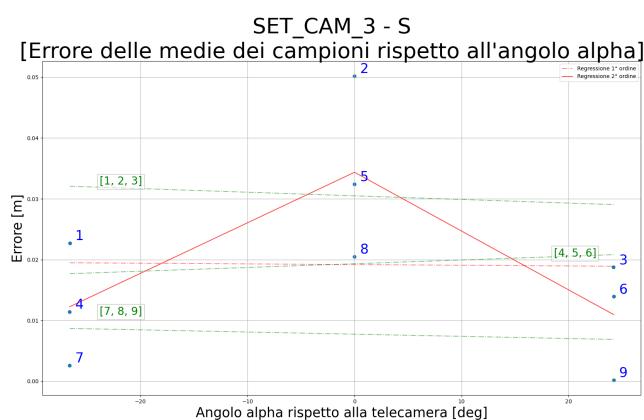


FIG. 21 - Andamento di $|\epsilon|$ in metri del SET S al variare dell'angolazione in gradi rispetto alla CAM 3.

A differenza del set precedente, stavolta la regressione del prim'ordine di tutti i punti ha una pendenza pressoché nulla, che è quello che ci aspettiamo

se l'andamento reale dell'errore è davvero parabolico o almeno simmetrico fra destra e sinistra.

Ancora una volta $|\varepsilon|$ è massimo intorno alla posizione centrale, errore che potrebbe essere dovuto principalmente alla deformazione della lente - ciò implica che telecamere differenti producono andamenti dell'errore differenti rispetto all'angolo - nonostante il fotogramma sia adattato alla ricostruzione tridimensionale della scena da parte dell'operatore.

4.3.4 - ANALISI SET T – INDIVIDUO DI ALTEZZA MAGGIORE (CAM 3)

Arriviamo ora all'ultima persona ripresa dalla CAM3, la cui vera altezza è 1,940 m. La FIG. 22 successiva mostra le distribuzioni delle misure dei campioni, confrontandole con le nove medie M_{camp} , calcolate dalla (1) per ogni campione.

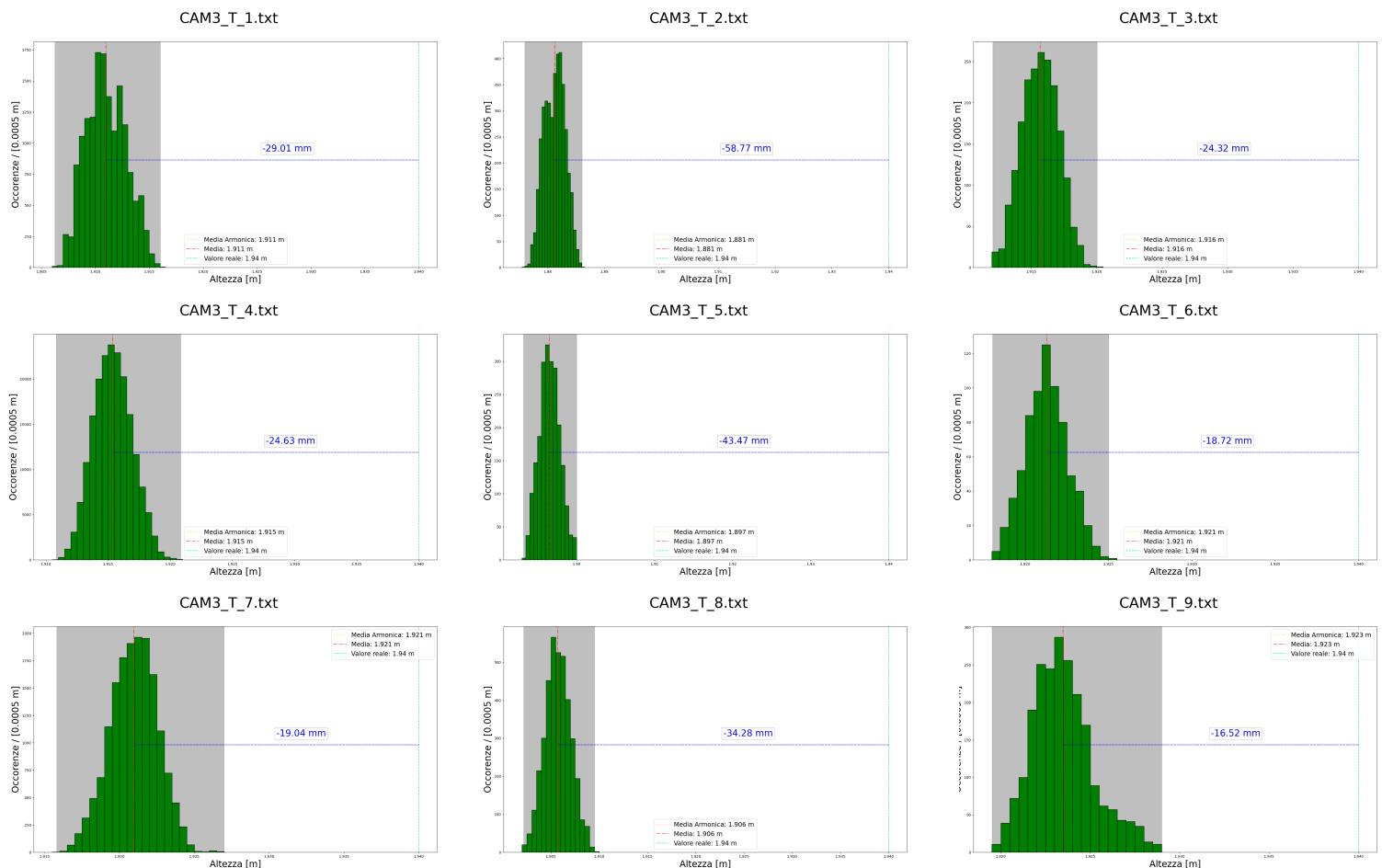


FIG. 22 - Distribuzione delle misure del SET T raccolte per campione.

Stavolta la media campionaria sottostima il 100% delle volte, così come lo 0% delle volte è all'interno dell'intervallo compreso fra la minima e la massima misurazione disponibile per ogni campione e, sempre lo 0% delle volte l'errore assoluto è minore di 5 mm. Anzi, in questo set l'è più piccolo è

pari a -16,52 mm, che segna un netto aumento rispetto a tutti e tre i set precedenti.

Ciò che ci interessa maggiormente è, come sempre, l'errore relativo percentuale ξ - che è normalizzato rispetto all'altezza - soprattutto in questo caso, poiché T è alto 1.94 m.

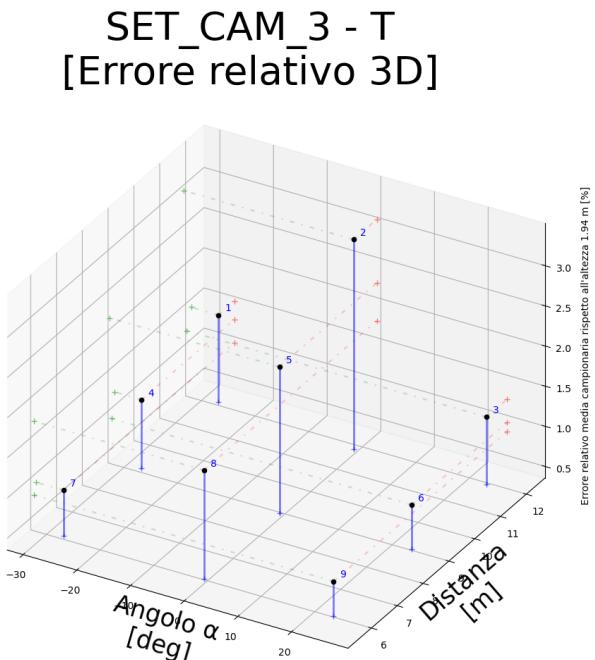


FIG. 23 - Grafico a dispersione 3D dell'errore ξ del SET T.

Le nostre previsioni sull'andamento crescente dell'errore relativo rispetto all'altezza sembrerebbero essere in parte confermate dagli ξ dei campioni del SET T, visibili a sinistra nella FIG. 23.

In 7 campioni su 9 del SET T abbiamo il massimo errore relativo percentuale rispetto ai tre set precedenti e solo in due casi

(campioni 2 e 8) il SET M presenta un ξ maggiore.

Il comportamento "anomalo" dell'errore relativo percentuale del SET M non permette però di affermare con certezza che ξ dipenda linearmente dall'altezza stessa del soggetto misurato.

- **Errore rispetto alla distanza del SET T**

L'aumento lineare di $|\xi|$ rispetto alla distanza è nuovamente confermato dal fatto che, nella FIG. 24, la regressione del second'ordine combacia con quella

del prim'ordine, inoltre il coefficiente angolare della retta rossa combacia anche con i gruppi A- e A+, con una pendenza simile a quella del SET M, ma minore di quella del SET S – ma si tratta di differenze trascurabili.

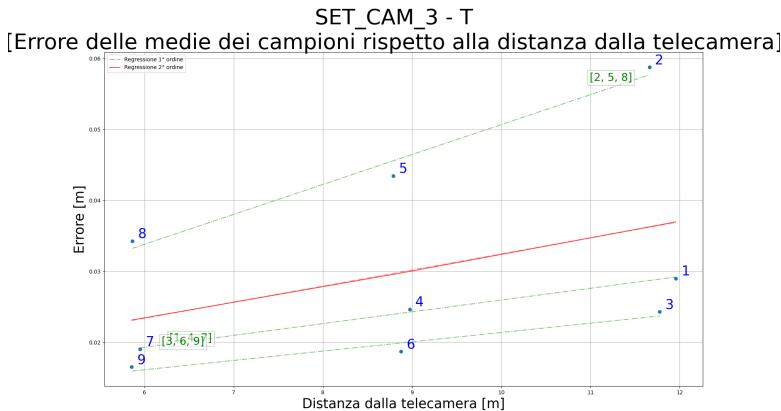


FIG. 24 - Andamento di $|\epsilon|$ del SET T all'aumentare della distanza dalla CAM 3.

Solo il gruppo A0 ha un aumento dell'errore molto più repentino rispetto a quello globale e degli altri gruppi.

- **Errore rispetto all'angolo α del SET T**

L'ultimo set presenta un andamento dell'errore che si può definire parabolico e simile a quello dei set precedenti, grazie ai risultati mostrati nella figura FIG. 25.

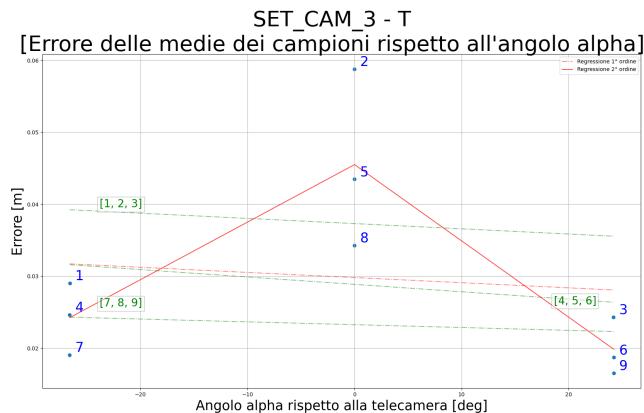


FIG. 25 - Andamento di $|\epsilon|$ in metri del SET T al variare dell'angolazione in gradi rispetto alla CAM 3.

Tuttavia, per avere un andamento perfettamente parabolico, le pendenze delle regressioni del prim'ordine dovrebbero essere nulle, invece la pendenza è leggermente

negativa. Tuttavia, il coefficiente angolare di tale retta risulta molto piccolo, quasi nullo.

4.4 - CONSIDERAZIONI FINALI SUI DATI DELLA CAM 3

Per quanto i quattro diversi set presentino errori non proprio identici, in generale, possiamo riassumere in questo modo i punti salienti ottenuti dalla CAM3:

- **ERRORE RELATIVO PERCENTUALE RISPETTO ALL'ALTEZZA**
 - I grafici della FIG. 26 mostrano l'andamento dell'errore e le regressioni di primo e second'ordine (linea tratteggiata e linea spezzata rossa) dei quattro set raggruppati per campione.

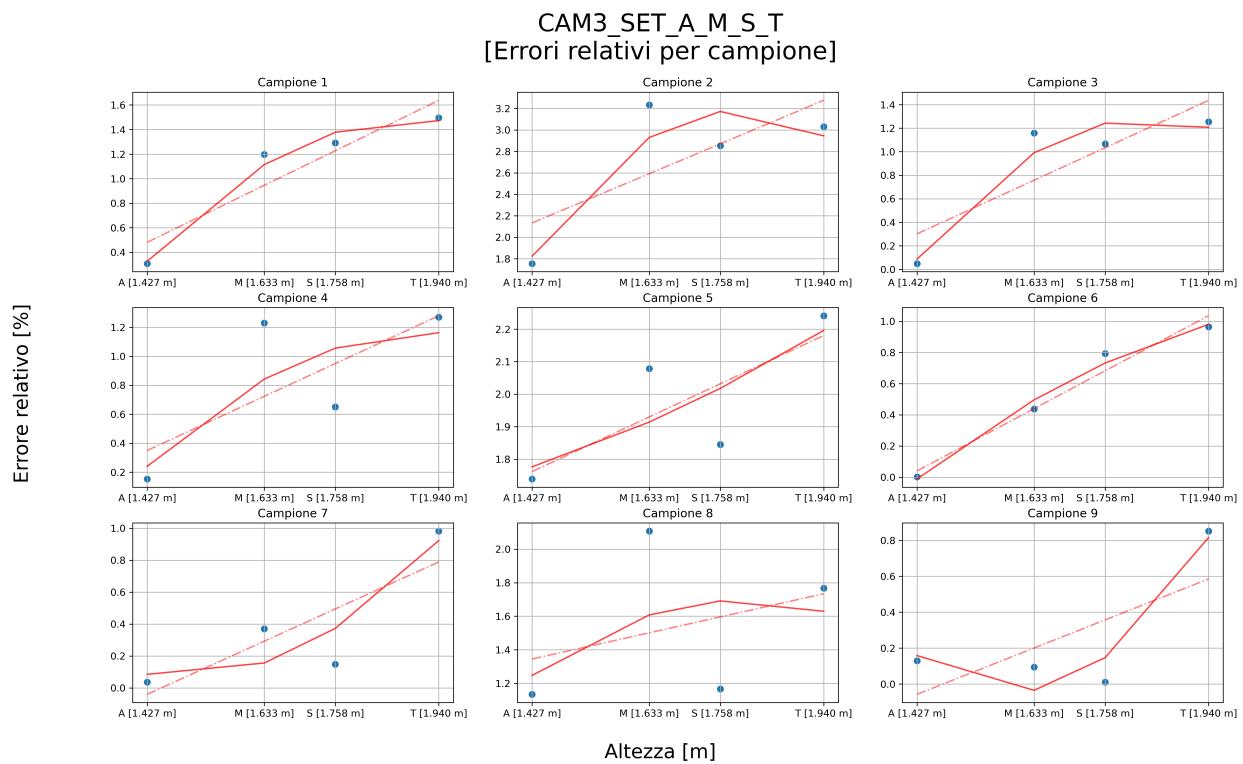


FIG. 26 – Andamento di ξ , a parità di campione, all'aumentare dell'altezza del modello di riferimento; a partire dall'asta fino alla persona di altezza massima denominata T.

- Al crescere dell'altezza l'errore relativo percentuale ξ per la CAM 3 tende ad aumentare, ma non sempre in modo assolutamente lineare. Il SET M, infatti dovrebbe presentare un errore relativo a

metà strada fra quello dell'asta A e della persona S per ogni campione.

- Il SET M ha un errore relativo maggiore in 7 casi su 9 rispetto a quello del SET S, nonostante la persona ripresa sia di 12.5 cm più basso. Ciò si può però spiegare per via della capigliatura delle tre persone: S è calvo, mentre M e T hanno i capelli. L'operatore che si è occupato di estrapolare le misure ha infatti dichiarato che per la persona S è stato più semplice definire il limite della testa.
- Le altezze misurate dalla CAM 3 vanno da 1.427m fino a 1.940 m con una differenza di 0.513m.
- La tabella successiva mostra l'aumento di ξ per metro (ovvero l'altezza dei modelli). L'aumento di ξ / m - cioè la pendenza delle rette tratteggiate rosse della FIG. 26 precedente - sembra dipendere dall'altezza della persona ma anche dalla distanza del riferimento rispetto alla telecamera; più il soggetto è lontano, più aumenta l'errore tanto più è alto.

2.1 [ξ / m]	2.1 [ξ / m]	2.1 [ξ / m]
1.8 [ξ / m]	0.8 [ξ / m]	1.8 [ξ / m]
1.6 [ξ / m]	0.8 [ξ / m]	1.2 [ξ / m]

- Curiosamente, per un soggetto alto in posizione centrale, entro i 10 metri di distanza, l'errore influenzato dalla sua stessa altezza, pesa di meno che trovarsi di lato a pari distanza. Tuttavia, ciò è ampiamente vanificato dal fatto che, per la CAM 3, in posizione

centrale l'errore relativo è più del doppio, a parità di distanza, per chi si trova ai lati della telecamera.

- **SOTTOSTIMA**

- Esclusa l'asta di riferimento, c'è una chiara sottostima della media campionaria delle misure rispetto a valore di u.
➤ La percentuale delle volte che la media sottostima u dell'altezza cresce all'aumentare dell'altezza del soggetto o riferimento misurato.

- **ERRORE RISPETTO ALL'ANGOLAZIONE**

- L'errore assoluto $|\varepsilon|$ aumenta più ci si trova in posizione centrale rispetto alla telecamera - ciò può essere dovuto alla deformazione introdotta dalla telecamera stessa e/o da come il fotogramma è applicato alla ricostruzione 3D.
➤ L'andamento della regressione del second'ordine degli errori è compreso all'interno di un range di 3 cm da ambo i lati (può essere rappresentato con l'equazione di una parabola, uguale per ogni campione ottenuto da una persona del set).

- **ERRORE RISPETTO ALLA DISTANZA**

- $|\varepsilon|$ (per le persone) aumenta in media di 1 cm ogni 3,5 metri (che va un minimo di 3 m per il SET_S a un massimo di 4 m per il SET_T).

4.5 - SET E CAMPIONI DELLA CAM 4

La stessa analisi è stata ripetuta anche per la CAM 4 - una Nikon D750 con risoluzione dei fotogrammi di 3008 x 2008 pixel. Le condizioni di acquisizione della CAM 4 (ambiente e posizione delle persone e dell'asta di riferimento) sono abbastanza simili a quelle della CAM 3 (ma non identiche), come visibile nella prossima FIG. 27, tanto da consentire un confronto fra i vari risultati delle due telecamere.

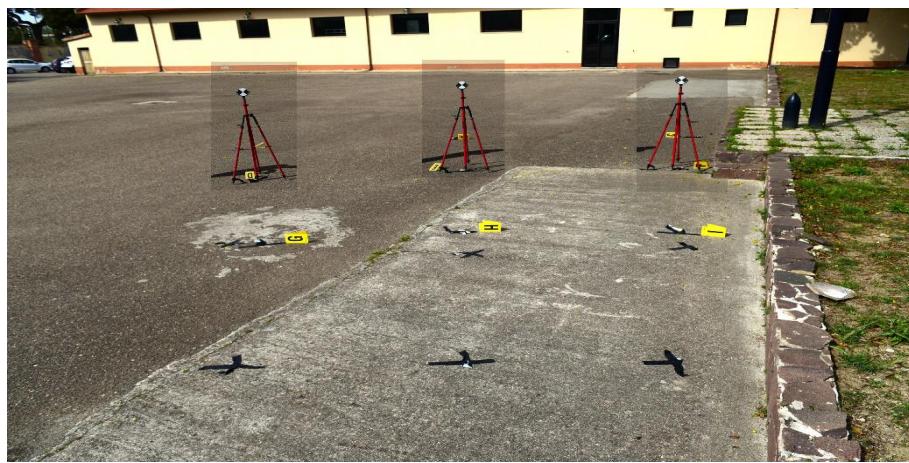


FIG. 27 - Asta di riferimento, ripresa dalla CAM 4, posta a distanze costanti ma con tre differenti angolazioni. L'immagine è il risultato dell'unione di tre differenti fotogrammi.

Le seguenti FIG. 28 e FIG. 29 mostrano invece l'esatta disposizione “a raggiera” dei soggetti in nove punti diversi davanti alla CAM 4.

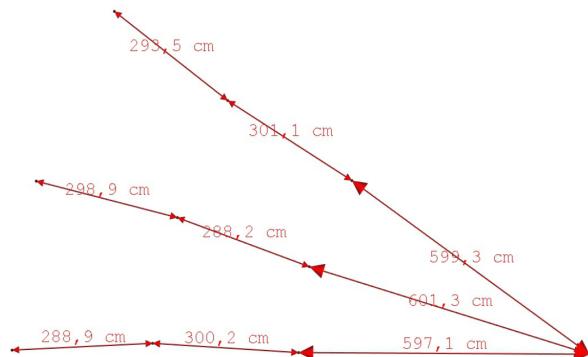


FIG. 28 - Lontananza del riferimento metrico e dei modelli dalla CAM 4.

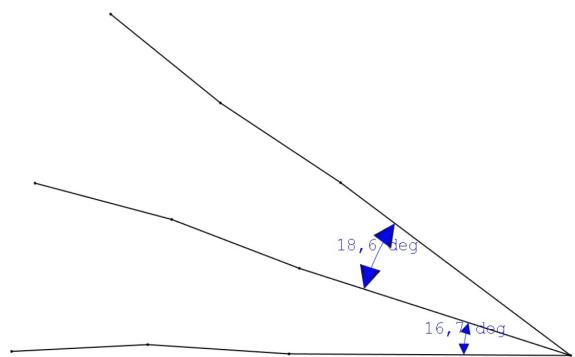


FIG. 29 - Angolazione del riferimento metrico e dei modelli rispetto alla CAM 4.

Per questa prova sono stati misurati l'asta di riferimento A, il cui u vale

1.427 m, la persona denominata M ($u = 1.633$ m), la persona C ($u = 1.778$ m) e, infine, T ($u = 1.940$ m) – i set riferiti alle persone sono stati analizzati partendo dal più basso fino al più alto.

4.5.1 - ANALISI SET A – ASTA DI RIFERIMENTO METRICO (CAM 4)

Il SET A contiene sempre nove campioni, ottenuti misurando l'asta A in nove posizioni diverse, raggruppati a tre a tre in base alla distanza e all'angolo rispetto alla telecamera (come spiegato nella sottosezione 4.1 e già visto in precedenza per la CAM 3). La prossima FIG. 30 mostra i grafici delle distribuzioni delle misure dei nove campioni.

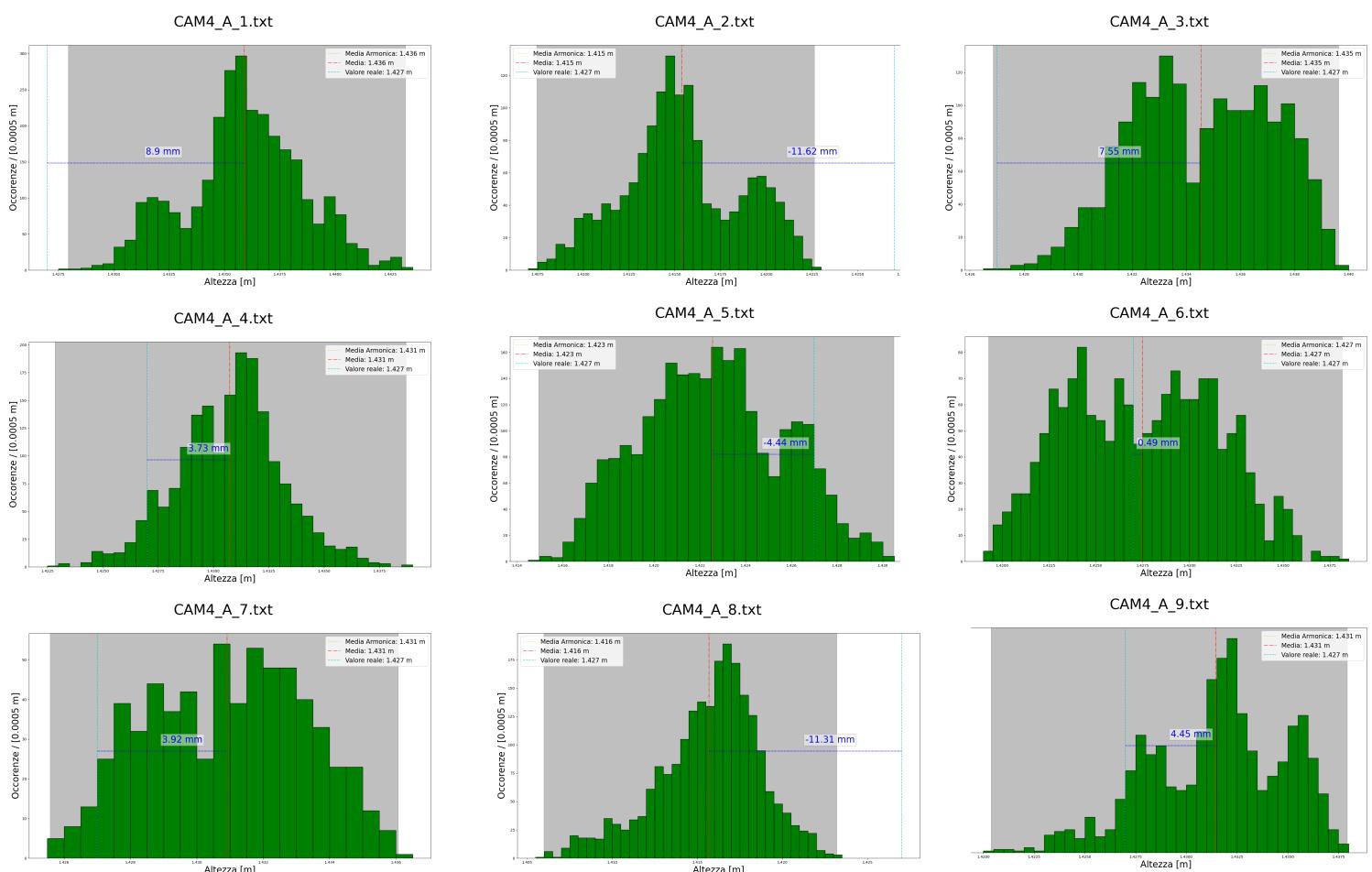


FIG. 30 – Distribuzione delle misure del SET A, estrapolate dai fotogrammi della CAM 4, raccolte per campione.

Per la CAM4 l'andamento dell'errore è differente rispetto a quello della CAM3 - e noteremo che ciò si ripete anche per le misurazioni ottenute dalle

persone. In questo caso, il gruppo D2 (campioni 4, 5 e 6) è quello con l'errore più basso rispetto al gruppo D1 (campioni 7, 8 e 9).

Il 66.67% delle volte ξ cade all'interno dell'intervallo delle misurazioni, più della metà delle volte (55.56%) la media campionaria è lontana 5 mm o meno da μ e, infine, la media è una sottostima di μ solo il 33.33% delle volte.

Osservando l'errore relativo percentuale ξ nella FIG. 31, ovvero il valore di $|\varepsilon|$ normalizzato rispetto all'altezza di A e moltiplicato per 100, notiamo un andamento differente rispetto a quello della CAM 3.

ξ non cresce più linearmente rispetto alla distanza ma sembra avere un andamento parabolico, con la curva rivolta verso l'alto e centrata in prossimità dei campioni del gruppo D2.

Si nota invece come per i gruppi A- e A+, ξ sia sempre più basso rispetto ai campioni del gruppo A0 posti a distanze equivalenti, denotando l'andamento parabolico già visto con la CAM 3.

Inoltre, sempre rispetto alla CAM3, stavolta ξ è praticamente dimezzato, essendo al massimo pari allo 0.8% dell'altezza di A, rispetto al massimo del 2% ottenuto dalla CAM 3.

SET_CAM_4 - A
[Errore relativo 3D]

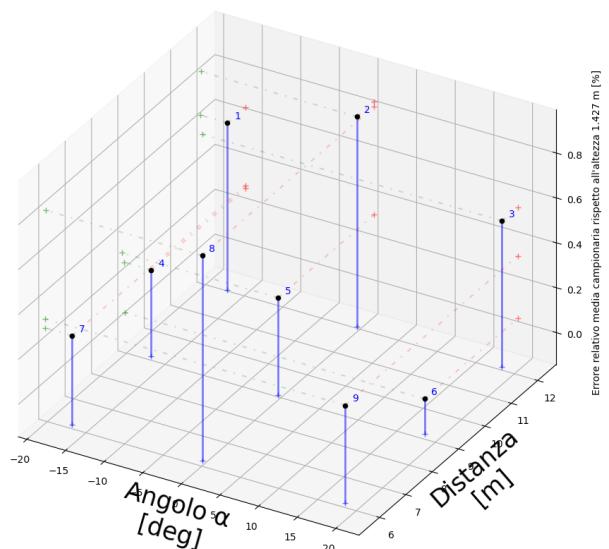


FIG. 31 - Grafico a dispersione 3D dell'errore relativo percentuale ξ del SET A della CAM 4.

- **Errore rispetto alla distanza del SET_A**

Per quanto le regressioni del prim'ordine siano lineari, quella del second'ordine ha una forma che non combacia, indicando quindi che, in questo caso, l'errore è minimo proprio per il gruppo D2 – ovvero per i campioni a media distanza.

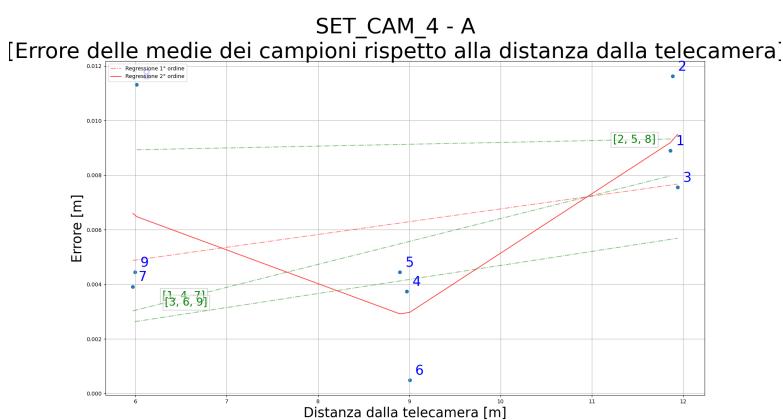


FIG. 32 - Andamento dell'errore assoluto $|\epsilon|$ del SET A all'aumentare della distanza dalla CAM 4.

Purtroppo solo nove campioni non permettono di ottenere, con regressioni di ordine superiore al primo, una curva maggiormente fedele al vero andamento, come si può vedere nella FIG. 32 a sinistra, ma ci

danno un indizio su come l'errore dipenda dalla distanza per la CAM 4.

- **Errore rispetto all'angolo α del SET A**

In modo abbastanza coerente con la CAM 3, anche la CAM 4 amplifica $|\epsilon|$ per i campioni in posizione centrale (quelli del gruppo A0).

L'andamento reale dell'errore è quindi sempre associabile a quello di una parabola rivolta verso il basso e simmetrica a destra e a sinistra, anche se

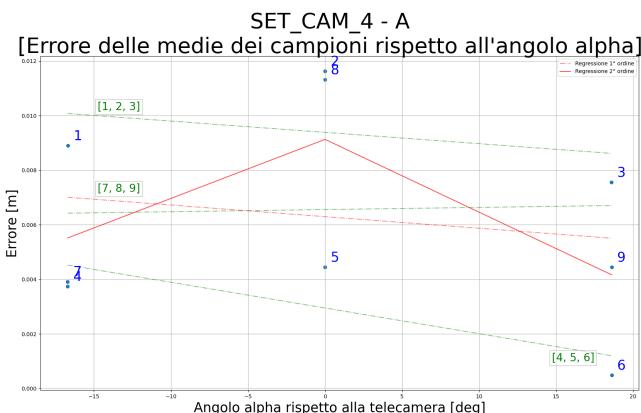


FIG. 33 - Andamento dell'errore assoluto $|\epsilon|$ in metri del SET A al variare dell'angolazione in gradi rispetto alla CAM 4.

la regressione del prim'ordine per i gruppi equidistanti D1, D2 e D3, produce delle rette con un coefficiente angolare negativo in 2 casi su 3 (infatti la retta tratteggiata rossa ha anch'essa un andamento verso il basso).

Tuttavia, il gruppo D2 (quello con la pendenza negativa più accentuata nell'immagine) presenta una variazione di $|\epsilon|$ di appena 2 mm spostandosi da -10° a 10° , potendo perciò considerare praticamente nullo il coefficiente angolare della retta e dando così una maggiore conferma circa la simmetria dell'andamento reale dell'errore assoluto fra destra e sinistra.

4.5.2 - ANALISI SET M – INDIVIDUO DI ALTEZZA MINORE (CAM 4)

Anche per la persona M (la cui altezza è stata estrapolata anche dai fotogrammi della CAM 3) abbiamo 9 campioni disposti come l'asta di riferimento. Di seguito, nell'immagine FIG. 34, i grafici degli istogrammi della distribuzione delle misure di ogni campione

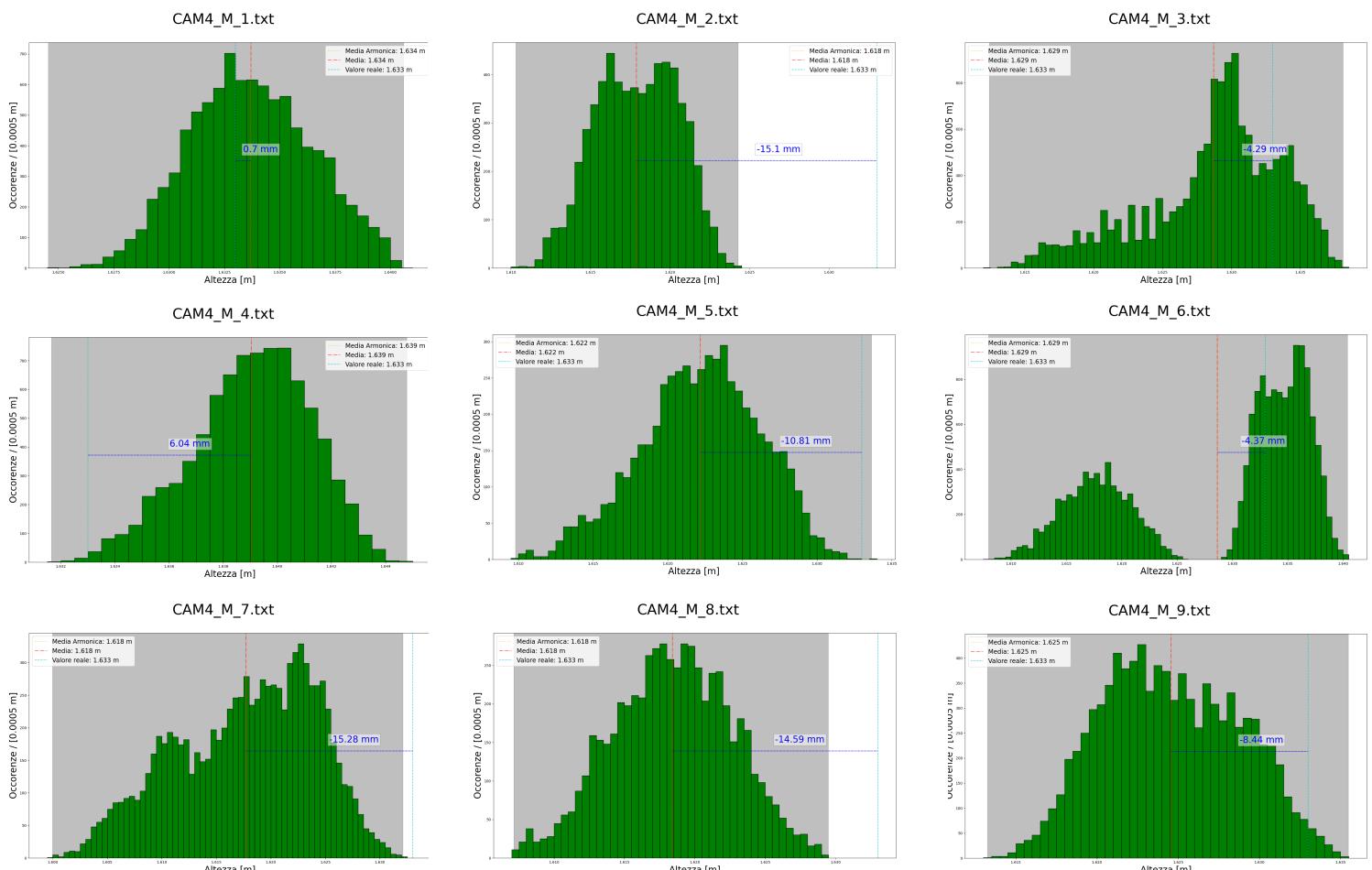


FIG. 34 - Distribuzione delle misure del SET M raccolte per campione.

Dalle distribuzioni delle misurazioni si nota subito come gli istogrammi abbiano diversi picchi, con addirittura due curve separate per il campione numero 6. Utilizzando un kernel gaussiano per stimare la densità della distribuzione, il comportamento bimodale si presenta in 4 casi su 9.

Comunque, anche stavolta notiamo che il valore medio di $|\xi|$ è maggiore per il gruppo centrale A0 mentre il gruppo D1 (quello più vicino alla telecamera) presenta un valore medio di $|\xi|$ maggiore rispetto al gruppo centrale D2. Gruppo che a sua volta ha un errore assoluto medio (7.07 mm) confrontabile con quello del gruppo D3 (6.70 mm).

Curiosamente per il gruppo A- $|\xi|$ decresce nettamente all'aumentare della distanza e solo il gruppo A0 e A+ hanno un andamento dell'errore assoluto simile a quello della precedente asta di riferimento A.

Confrontando il grafico della FIG. 35 a destra con la FIG. 15 della stessa persona ripresa dalla CAM 3

notiamo però che il massimo errore relativo percentuale ξ si è ridotto di più di due terzi. Per la CAM 3 il campione 2 dava un ξ superiore al 3% mentre per la CAM 4 ξ è calato a meno dell'1% dell'altezza di M, esattamente come visto con l'asta di riferimento A. Considerando inoltre che la scena di riferimento è confrontabile con quella della CAM3, la telecamera CAM4 è l'unica vera variabile a essere cambiata per questo set.

- **Errore rispetto alla distanza del SET M**

Osservando il grafico in due dimensioni di $|\xi|$ in funzione della distanza della FIG. 36, si nota un andamento insolito.

SET_CAM_4 - M
[Errore relativo 3D]

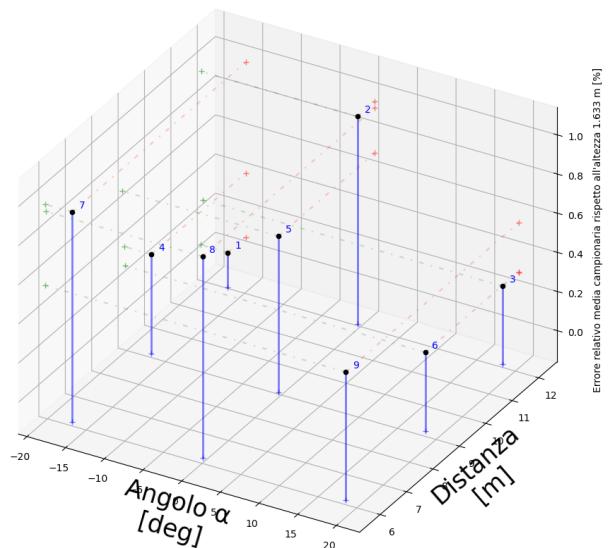


FIG. 35 – Grafico a dispersione 3D dell'errore relativo percentuale ξ del SET M.

Per il gruppo centrale A0, $|\varepsilon|$ cresce con un coefficiente angolare costante, mentre gli altri due gruppi A+ e A- mostrano una netta diminuzione dell'errore all'aumentare della distanza.

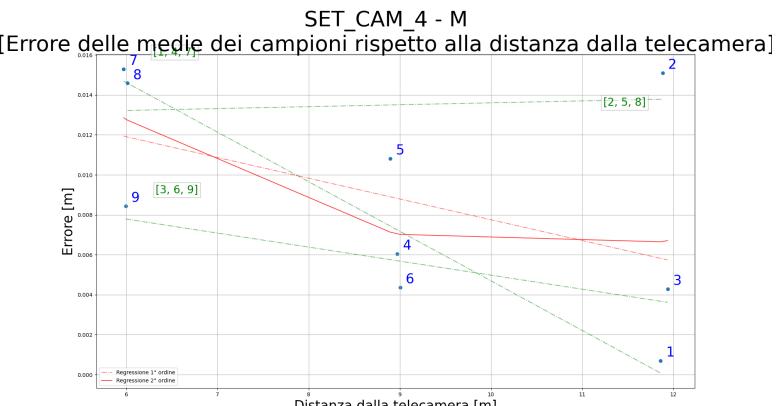


FIG. 36 - Andamento di $|\varepsilon|$ del SET M all'aumentare della distanza dalla CAM 4.

Anche la linea rossa tratteggiata (regressione

del prim'ordine dei nove punti) della FIG. 36 ha una pendenza negativa e l'errore diminuisce di 6 mm ogni 6 m. Però l'andamento della curva del second'ordine non combacia abbastanza per confermare tale andamento dell'errore e anzi, pare ricalcare la curva parabolica vista per l'asta di riferimento A.

Purtroppo, i troppi pochi punti - che possiamo considerare essere perfino solo tre, visto che i gruppi D1, D2 e D3 sono praticamente equidistanti - non permettono di determinare un andamento chiaro dell'errore in funzione della sola distanza, almeno per questo set.

- **Errore rispetto all'angolo α del SET_M**

Discorso differente se visualizziamo $|\varepsilon|$ rispetto all'angolo alpha, come si può vedere nella prossima FIG. 37. In questo caso abbiamo un andamento molto simile a quello visto con l'asta A e tutti gli altri set della CAM 3.

Il SET M di CAM3 è infatti molto simile a questo. In entrambi i casi la pendenza della regressione del prim'ordine dei 9 punti (linea tratteggiata

rossa) è quasi nulla (2 mm in 30°) e la regressione del second'ordine mostra una curva spezzata che, con tutta probabilità si rifà a una parabola capovolta.

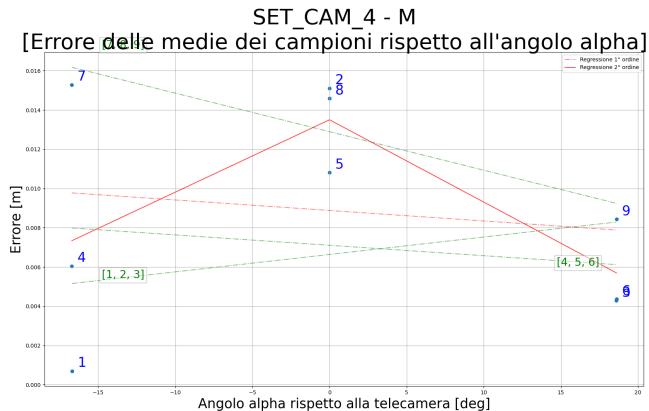


FIG. 37 - Andamento di $|\varepsilon|$ del SET M al variare dell'angolazione rispetto alla CAM 4.

Naturalmente l'errore ε non può diminuire o aumentare indefinitamente più ci si sposta a destra e a sinistra. Tutto ciò vale entro i limiti imposti dalla posizione dei campioni e

dal massimo angolo di campo della telecamera, quindi si dà per scontato che conoscere l'andamento dell'errore oltre un certo angolo non abbia alcun interesse pratico. In questo caso, ad esempio non si può sapere se l'errore assoluto oltre i 15° a destra o a sinistra aumenti o continui a diminuire per mancanza di campioni.

4.5.3 - ANALISI SET C – INDIVIDUO DI ALTEZZA MEDIA (CAM 4)

Il SET C è stato estrapolato dai fotogrammi ritraenti la persona C, la cui vera altezza u è 1.778 m.

Come già visto, i seguenti grafici della figura FIG. 38 mostrano la distribuzione delle misure di ogni campione.

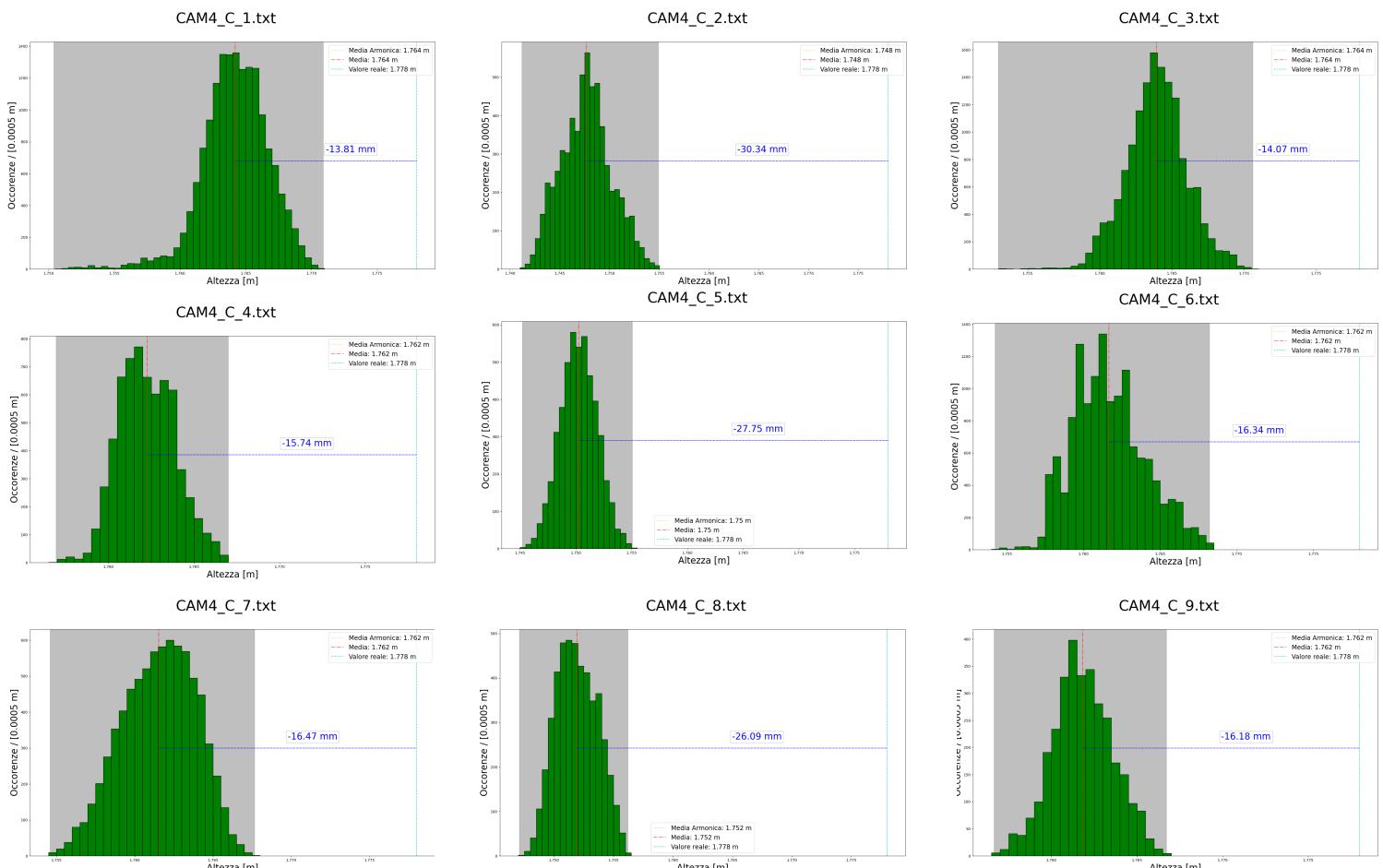


FIG. 38 - Distribuzione delle misure del SET C raccolte per campione.

In primis, in questo set le stime delle distribuzioni mostrano la bimodalità solo in 2 casi su 9 ma, a differenza dell'asta A e della persona M, la media campionaria sottostima il valore vero dell'altezza in tutti i campioni e, addirittura l'errore assoluto $|\epsilon|$ è sempre maggiore di 5 mm (l'errore minimo

in valore assoluto è di circa 14 mm).

È possibile che esista un errore sistematico per questo set che spieghi la maggiore sottostima rispetto agli altri set della CAM 4.

Perlomeno si nota una simmetria quasi perfetta degli errori assoluti dei gruppi A- a A+, con i massimi, a parità distanza, proprio nel gruppo centrale A0 (come previsto dall'andamento parabolico rispetto all'angolo, presente finora in tutti i set analizzati), che si può apprezzare nel grafico tridimensionale della FIG. 39.

Sfortunatamente il set della persona C non è stato generato per la CAM 3, quindi non può essere confrontato con questo.

In ogni caso, rispetto al SET M ricavato da un persona più bassa di 14,5 cm e a parità di campione, il valore di ξ è quasi raddoppiato - a esclusione del campione 7, che è circa lo stesso per entrambi i set.

SET_CAM_4 - C
[Errore relativo 3D]

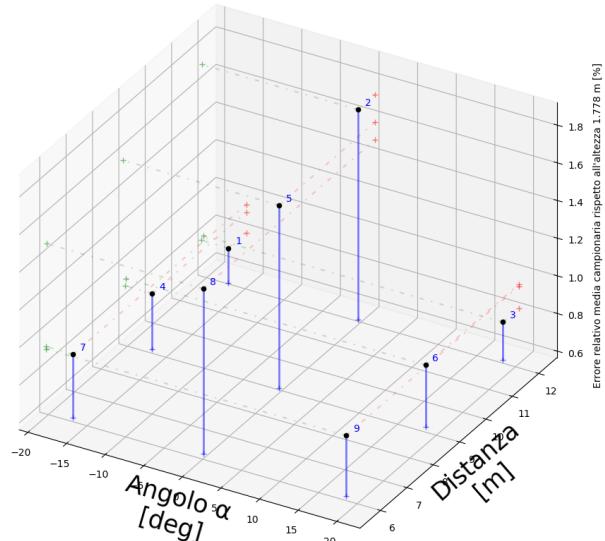


FIG. 39 - Grafico a dispersione 3D dell'errore relativo percentuale ξ del SET C.

- **Errore rispetto alla distanza del SET_C**

Come fatto in precedenza, è utile visualizzare $|\xi|$ in funzione della distanza, come nella FIG. 40, per comprendere se esiste una qualche correlazione. In questo caso, notiamo che la regressione del primo e second'ordine dei nove

punti (linee rosse) hanno una pendenza pressoché nulla e restano quindi costanti intorno a 2 cm.

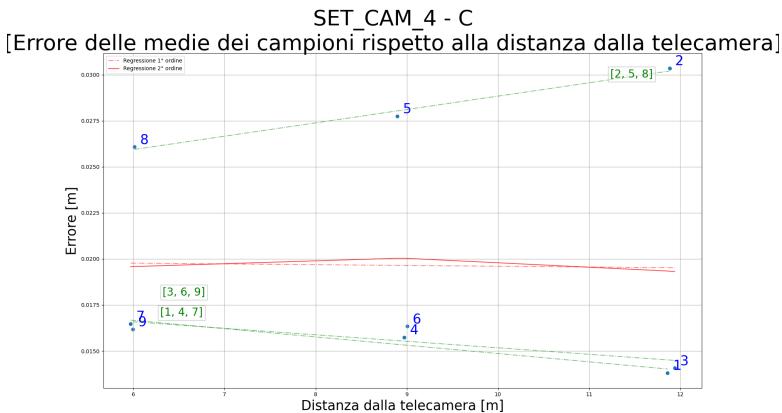


FIG. 40 - Andamento di $|\epsilon|$ del SET C al variare della distanza dalla CAM 4.

discendente, mentre il coefficiente angolare della retta ottenuta dalla regressione dei punti di A0 è positivo.

Potrebbe trattarsi di un errore sistematico della CAM 4? Purtroppo non c'è modo di affermarlo con sicurezza, poiché presi singolarmente i gruppi A- e A+ hanno un andamento

- **Errore rispetto all'angolo α del SET_C**

Più incoraggiante invece il grafico della FIG. 41 di $|\epsilon|$ rispetto all'angolo formato con la telecamera.

Abbiamo una perfetta simmetria fra destra e sinistra che sembra confermare ancora una volta l'andamento parabolico atteso, con il massimo, a parità di distanza, per il gruppo A0.

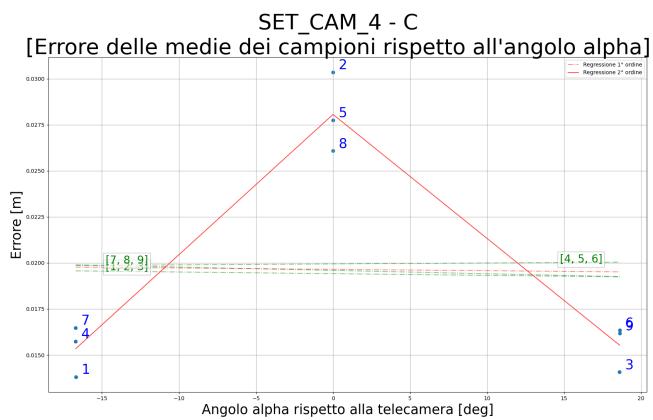


FIG. 41 - Andamento di $|\epsilon|$ del SET C al variare dell'angolazione rispetto alla CAM 4.

4.5.4 - ANALISI SET C – INDIVIDUO DI ALTEZZA MAGGIORE (CAM 4)

L'ultimo set analizzato è stato ottenuto dalla persona T ed è possibile confrontarlo con un set simile ricavato dalle riprese della CAM 3; inoltre si tratta della persona più alta, con 1.94 metri di altezza – nonché il valore di ε del SET T. Le distribuzioni delle misure nella FIG. 42 mostrano un repentino aumento dell'errore calcolato con la (5).

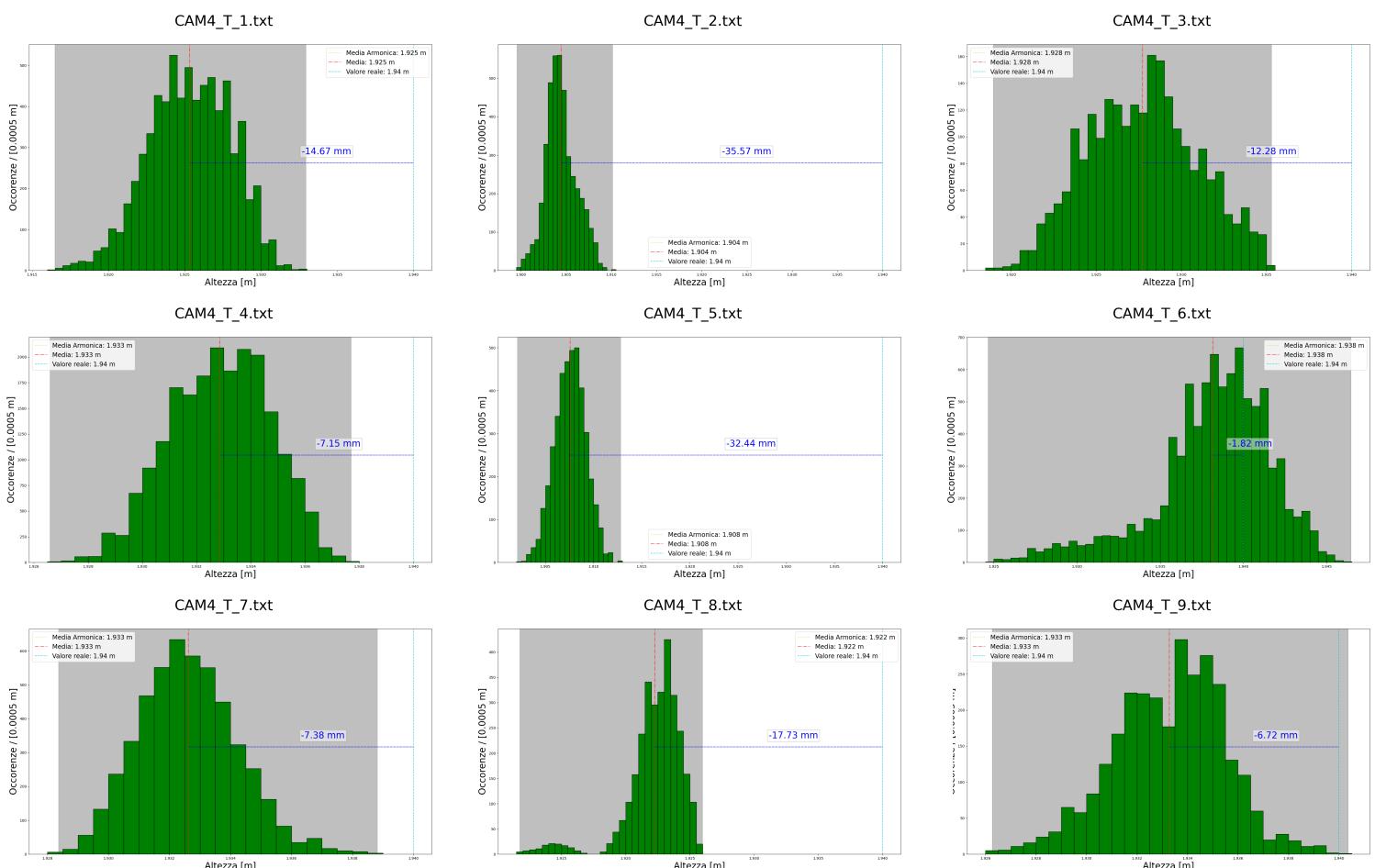


FIG. 42 - Distribuzione delle misure del SET T raccolte per campione.

Come previsto c'è stato un aumento in valore assoluto di ε per tutti i campioni rispetto ai precedenti set. Anche stavolta, come per il SET C, abbiamo una curva bimodale solo in 2 casi su 9, ma stavolta è presente

anche una curva con tre "picchi", e la media campionaria sottostima sempre il valore vero dell'altezza.

Tuttavia, il vero valore dell'altezza u solo in 2 casi su 9 cade tra la minima e la massima misura ottenuta e in un singolo caso l'errore è minore di 5mm, infatti per il SET_T abbiamo un $|\epsilon|$ che va da 1.8 mm fino a un massimo di 35.5 mm.

SET_CAM_4 - T
[Errore relativo 3D]

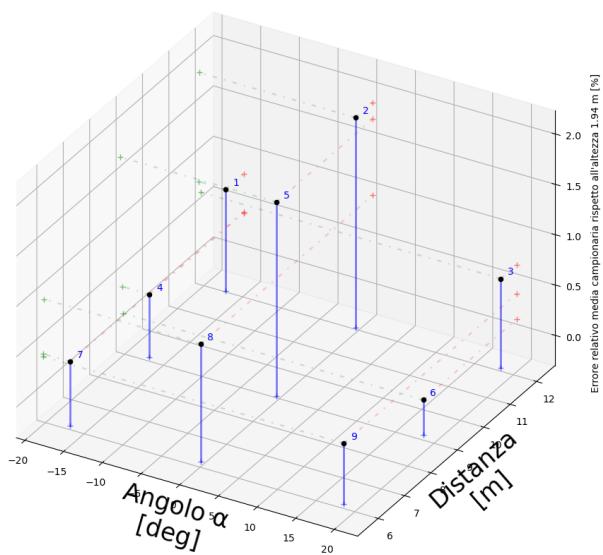


FIG. 43 - Grafico a dispersione 3D dell'errore relativo percentuale ξ del SET T.

media, vale intorno all'1.5%.

- **Errore rispetto alla distanza del SET_C**

Come dimostra il grafico degli errori dei campioni rispetto alla distanza visibile nella FIG. 44,

Ciò che ci interessa di più è però l'errore relativo percentuale, visibile nella FIG. 43 per l'intero set. ξ non è costante per ogni set, ma cresce all'aumentare dell'altezza e, soprattutto, della distanza.

Si può apprezzare come il valore di ξ dei gruppi A- e A+ sia, in media, molto piccolo (meno dell'1%) mentre per il gruppo A0, in

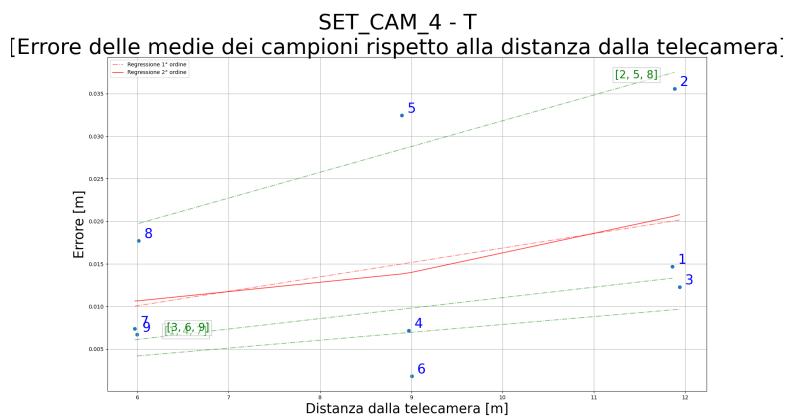


FIG. 44 - Andamento di $|\epsilon|$ del SET T al variare dell'angolazione rispetto alla CAM 4.

l'andamento lineare e crescente di $|\varepsilon|$ appare molto chiaro.

Quasi tutti i punti della curva di regressione di second'ordine combaciano con la retta di quella di prim'ordine.

L'errore quindi, in media, aumenta di poco più di 1 cm ogni 6 metri. Tuttavia il gruppo A0 mostra una crescita molto più repentina.

- **Errore rispetto all'angolo α del SET_T**

Infine, visualizziamo $|\varepsilon|$ in funzione dell'angolo alpha nella FIG. 45 a destra.

Abbiamo ancora una volta un errore massimo in posizione centrale e quasi simmetrico ai lati - compresi i set della CAM 3, tale andamento si è ripetuto 8 volte su 8.

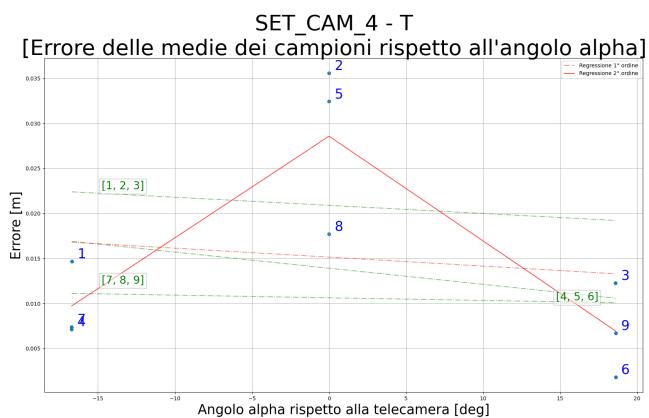


FIG. 45 - Andamento di $|\varepsilon|$ del SET T al variare dell'angolazione rispetto alla CAM 4.

In generale, possiamo riassumere in questo modo i punti salienti ottenuti dalla CAM4:

- **ERRORE RELATIVO PERCENTUALE RISPETTO ALL'ALTEZZA**
 - L'errore relativo percentuale aumenta all'aumentare dell'altezza ma non in modo perfettamente lineare, come visibile nella FIG. 46.

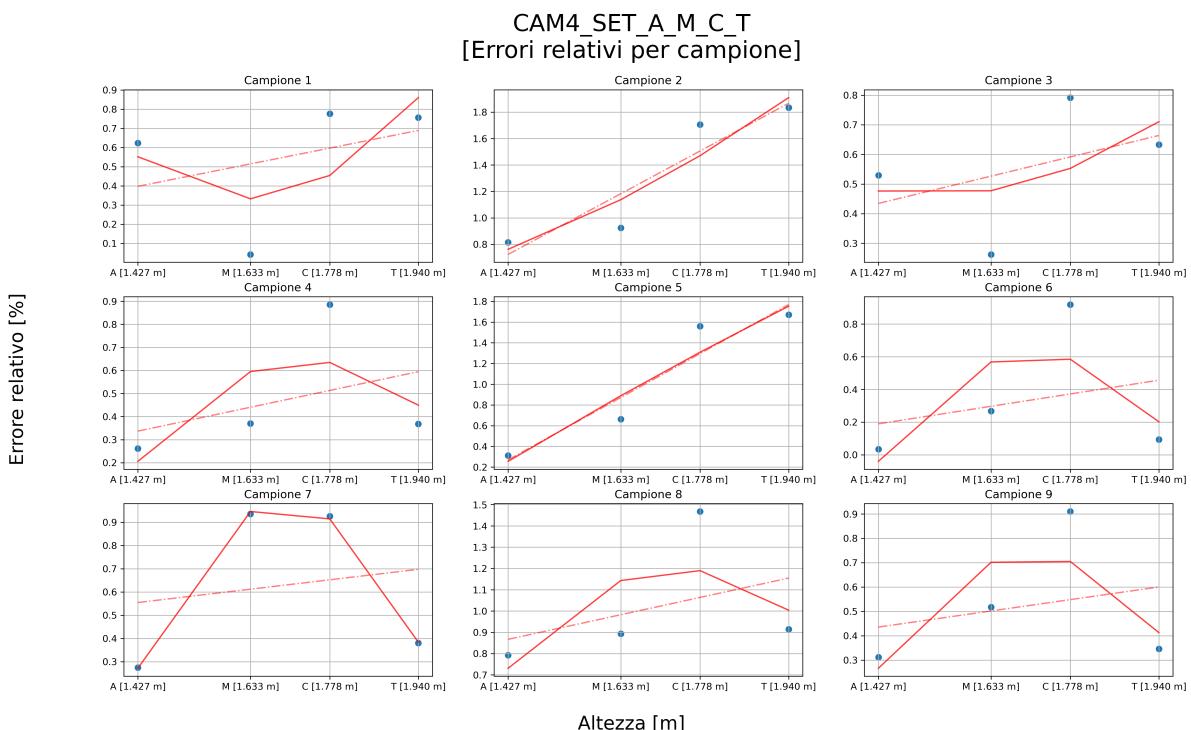


FIG. 46 - Andamento di $|\varepsilon|$, a parità di campione, all'aumentare dell'altezza del modello di riferimento ripreso; a partire dall'asta fino alla persona di altezza massima denominata T.

- Per quanto le regressioni del prim'ordine mostrino un coefficiente angolare crescente, solo in 3 casi su 9 (campioni 2, 3 e 5) la curva ottenuta con la regressione del second'ordine sembra combaciare sufficientemente con la retta tratteggiata. Il campione C mostra infatti un aumento dell'errore relativo percentuale rispetto agli altri

campioni non in linea con l'andamento lineare sperato.

- A “sfasare” i grafici abbiamo l'errore relativo del SET C. Nonostante il soggetto C sia più basso di T di 16.2 cm, il proprio valore di ξ è maggiore di quello di T in 5 casi su 9. Addirittura l'errore relativo di T è minore perfino di quello del SET M in 3 casi su 9.

0.6 [ξ / m]	1.1 [ξ / m]	0.5 [ξ / m]
0.5 [ξ / m]	3.1 [ξ / m]	0.5 [ξ / m]
0.5 [ξ / m]	0.6 [ξ / m]	0.3 [ξ / m]

- Dalla tabella sopra, che mostra le pendenze delle rette tratteggiate di ognuno dei grafici visibili nell'immagine sopra, l'errore relativo ξ pare avere una dipendenza non lineare dall'altezza ma, almeno in posizione laterale, tale dipendenza non è ulteriormente pesata dalla distanza dalla telecamera e resta infatti quasi costante.
- **SOTTOSTIMA**
 - Esclusa l'asta di riferimento, c'è una chiara sottostima della media campionaria delle misure rispetto al valore vero u .
 - La percentuale di volte che la media sottostima il valore vero dell'altezza u cresce all'aumentare dell'altezza del soggetto o riferimento misurato.
- **ERRORE RISPETTO ALL'ANGOLAZIONE**
 - L'errore assoluto $|\varepsilon|$ aumenta più ci si trova in posizione centrale rispetto alla telecamera (ciò può essere dovuto alla deformazione

introdotta dalla telecamera stessa o da come il fotogramma è applicato alla ricostruzione 3D).

- L'andamento della regressione del second'ordine degli errori è compreso tra massimi e minimi differenti per ogni set; perciò per la CAM 4 è complesso definire l'errore rispetto all'angolo con una semplice equazione di parabola; tuttavia la forma della distribuzione dell'errore sembra essere simmetrica fra destra e sinistra, allo stesso modo di quanto visto con la CAM 3.

4.7 - CONFRONTO FRA GLI ERRORI DELLA CAM 3 E CAM 4 PER SET COMUNI

Poiché le due telecamere condividono le misurazioni dell'asta riferimento (A) e di due persone su tre (M e T), ora confrontiamo come l'errore relativo cambi per le due telecamere a parità di campione.

Le prossime immagini mostrano infatti graficamente la differenza dell'errore relativo percentuale per la CAM 3 e la CAM 4 a parità di set e campione. Le tabelle che segue invece indica la differenza fra le percentuali dei campioni comuni.

Purtroppo, come si vedrà nei grafici successivi, le posizioni e angolazioni dei nove campioni cambiano leggermente a seconda della telecamera. Qualche decina di centimetri per la distanza e 5° di differenza per i campioni a destra e 10° a sinistra.

4.7.1 - CONFRONTO FRA I CAMPIONI DELLE CAM 3 E CAM 4 DELL'ASTA DI RIFERIMENTO (SET A)

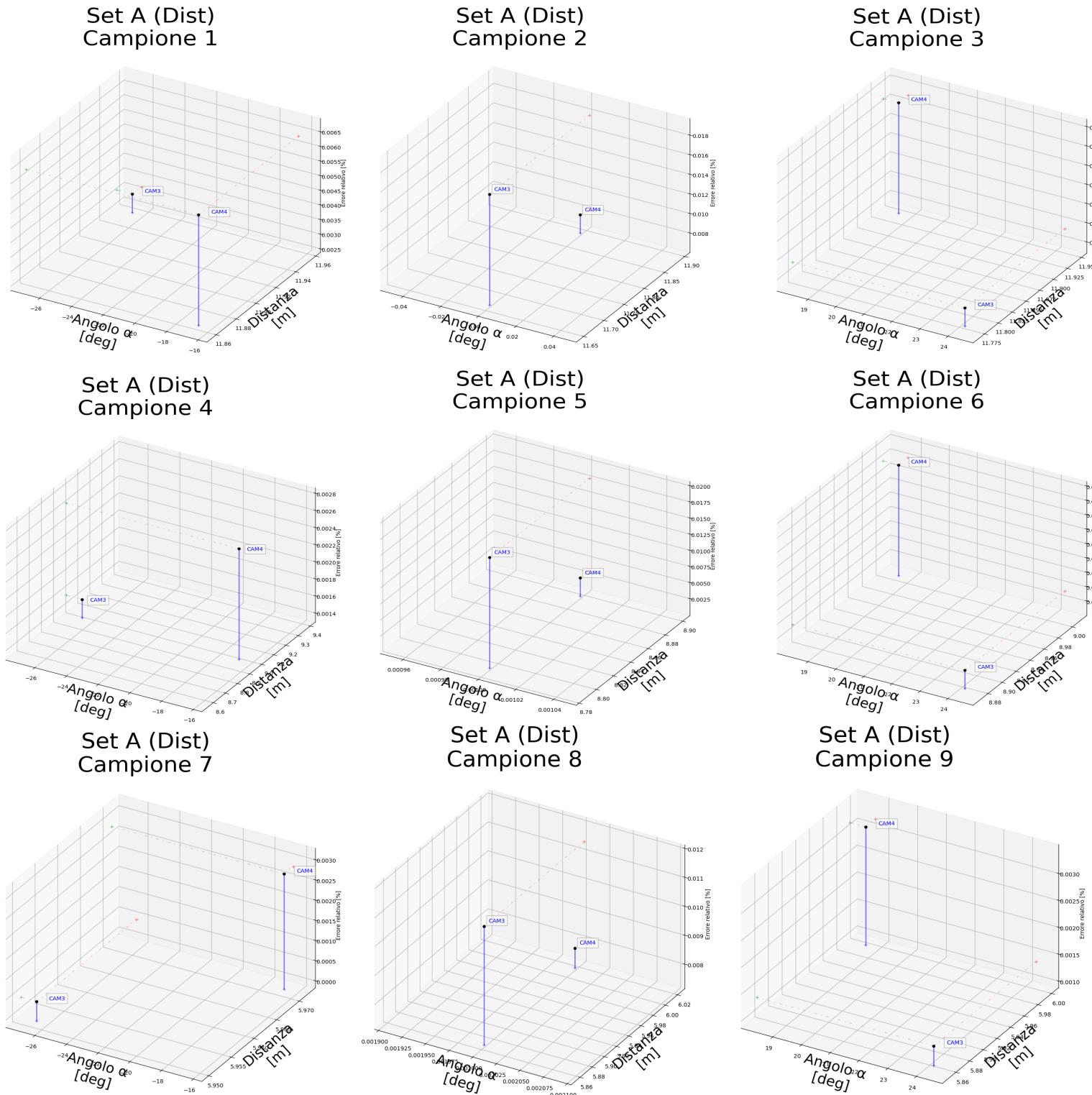


FIG. 47 - Errori relativi percentuali dei SET A delle CAM 3 e CAM 4 a parità di campione. La proiezione sul piano di tali punti mostra la differenza di posizione. Per semplicità sono stati considerati i gruppi a cui appartengono.

Gruppo	A-	A0	A+
D3	0.31%	-0.94%	0.48%
D2	0.11%	-1.42%	0.03%
D1	0.23%	-0.34%	0.18%

La tabella mostra la differenza dell'errore relativo percentuale tra la CAM4 e CAM3 per campione espresso come

$$\Delta\xi_{(Campione\ i)} = \xi_{(Campione\ i,\ CAM\ 4)} - \xi_{(Campione\ i,\ CAM\ 3)} \quad (7);$$

perciò, un $\Delta\xi$ positivo indica che l'errore relativo percentuale è maggiore per la CAM 4, mentre se è negativo, allora ξ è maggiore per la CAM 3.

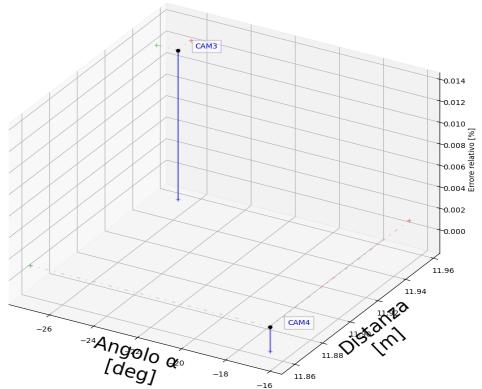
La CAM4 presenta un ξ maggiore rispetto alla CAM 3 in posizione laterale (dove però la differenza di posizione rispetto al corrispondente campione della CAM 3 è più marcata), mentre la CAM 3 ha un ξ di gran lunga superiore in posizione centrale.

In 6 casi su 9 la telecamera CAM 4 genera un errore relativo maggiore rispetto a quello della CAM 3, come visibile nella FIG. 47.

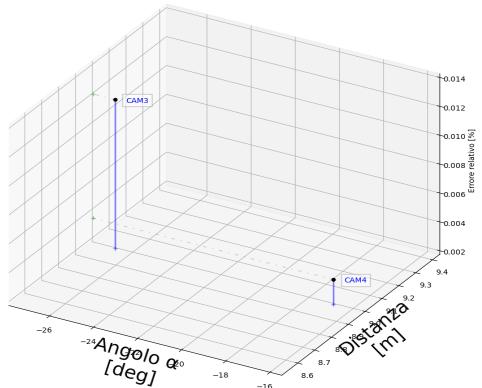
4.7.2 -

CONFRONTO FRA I CAMPIONI DELLE CAM 3 E CAM 4 DELLA PERSONA DI ALTEZZA MINORE (SET M)

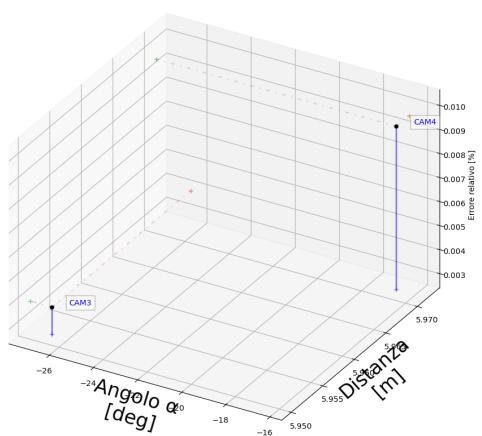
Set M (Dist)
Campione 1



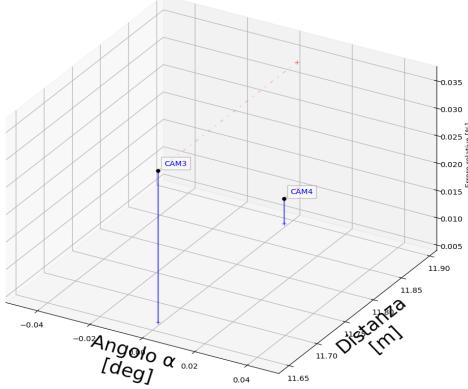
Set M (Dist)
Campione 4



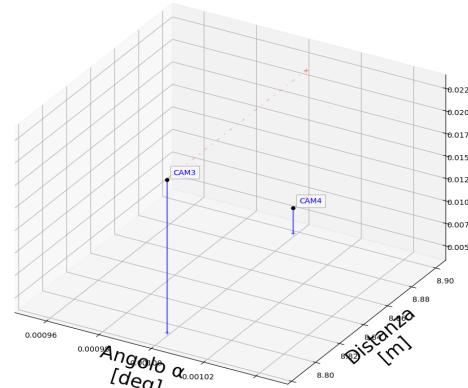
Set M (Dist)
Campione 7



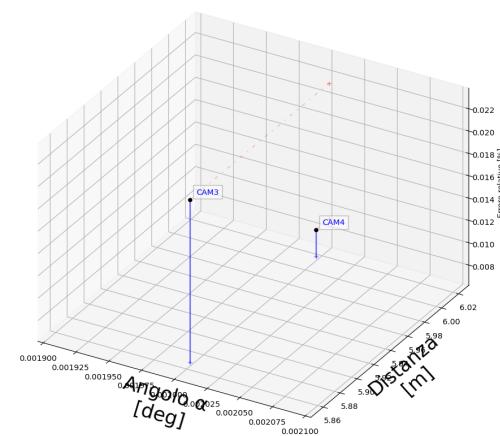
Set M (Dist)
Campione 2



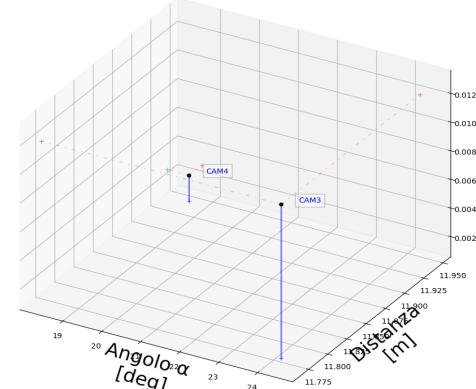
Set M (Dist)
Campione 5



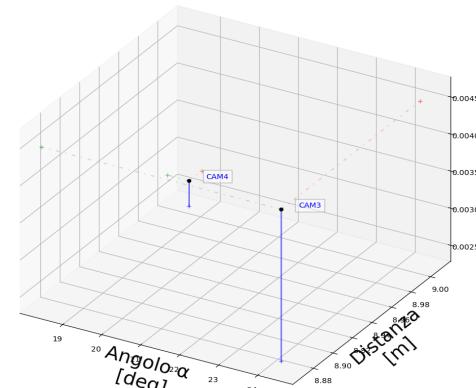
Set M (Dist)
Campione 8



Set M (Dist)
Campione 3



Set M (Dist)
Campione 6



Set M (Dist)
Campione 9

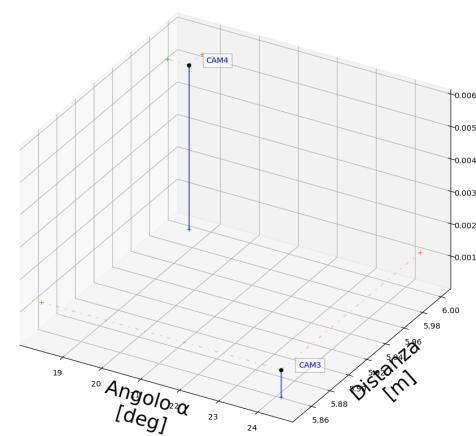


FIG. 48 - Errori relativi percentuali dei SET M della CAM 3 e CAM 4 a parità di campione. Valgono le stesse considerazioni precedenti.

Gruppo	A-	A0	A+
D3	-1.15%	-2.30%	-0.89%
D2	-0.85%	-1.41%	-0.17%
D1	0.56%	-1.21%	0.42%

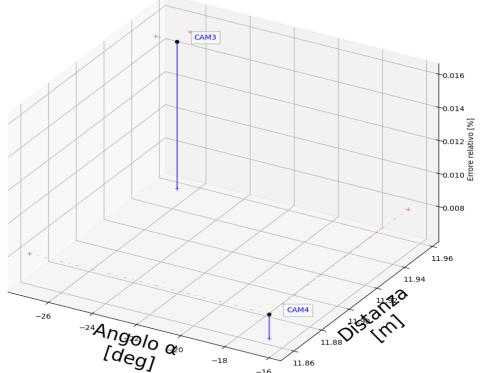
Il SET M ottenuto dalle due telecamere presenta un errore relativo più marcato per la CAM 3 rispetto alla CAM4, come mostrato nella FIG. 48.

A differenza del precedente SET A, stavolta l'errore relativo percentuale non è maggiore per la CAM 3 solo in posizione centrale ma anche ai lati, esclusi i due campioni (7 e 9) più vicini alla telecamera.

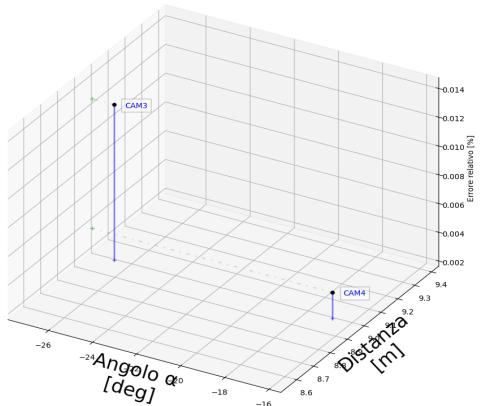
4.7.3 -

CONFRONTO FRA I CAMPIONI DELLE CAM 3 E CAM 4 DELLA PERSONA DI ALTEZZA MAGGIORE (SET T)

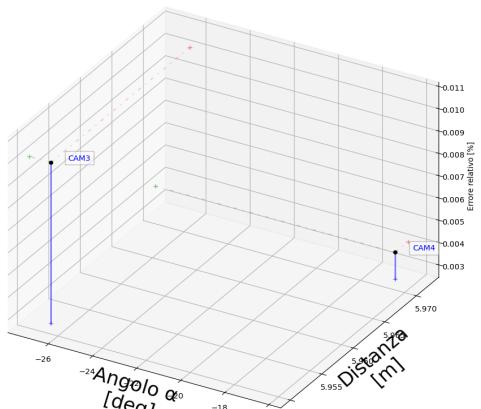
Set T (Dist)
Campione 1



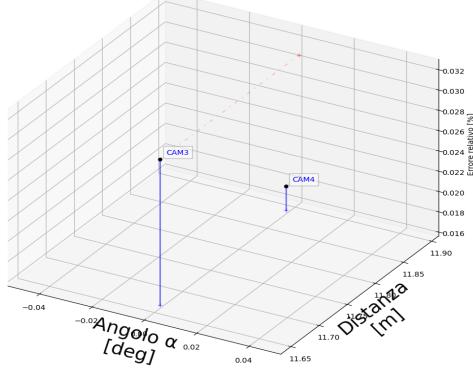
Set T (Dist)
Campione 4



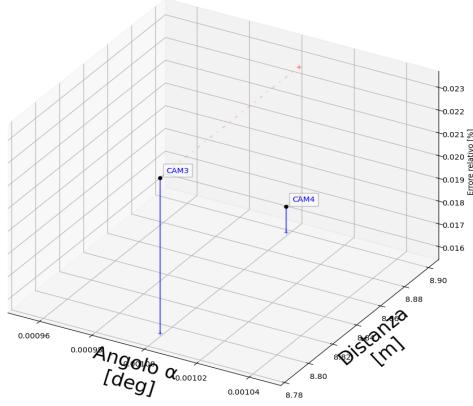
Set T (Dist)
Campione 7



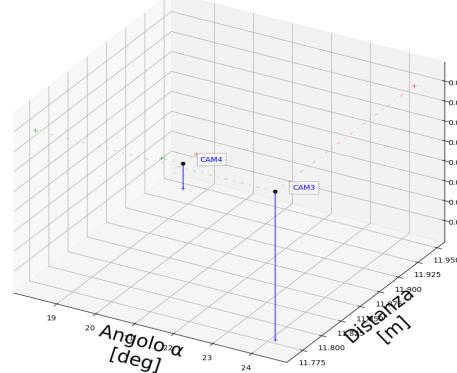
Set T (Dist)
Campione 2



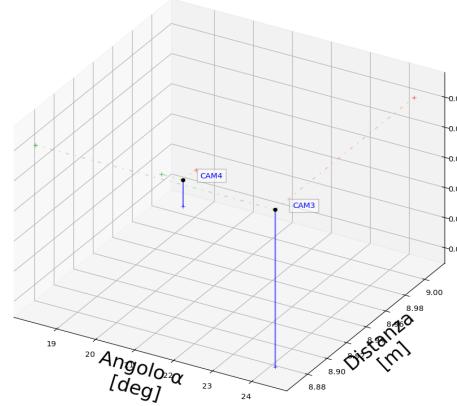
Set T (Dist)
Campione 5



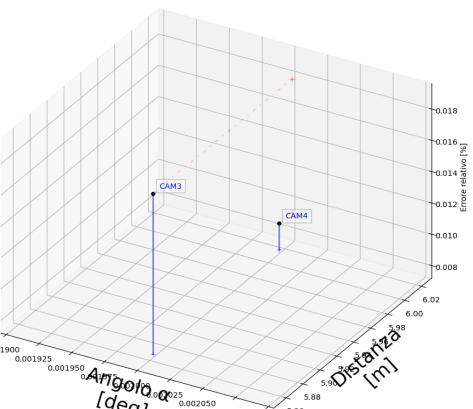
Set T (Dist)
Campione 3



Set T (Dist)
Campione 6



Set T (Dist)
Campione 8



Set T (Dist)
Campione 9

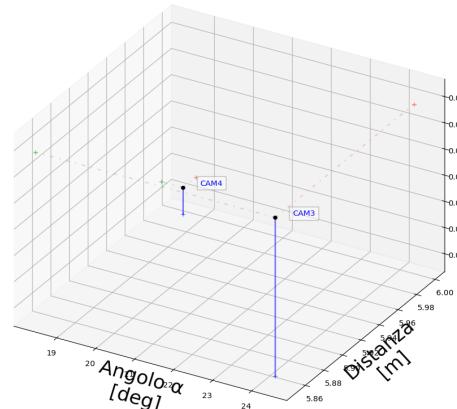


FIG. 49 - Errori relativi percentuali dei SET T della CAM 3 e CAM 4 a parità di campione. Valgono le stesse considerazioni precedenti.

Gruppo	A-	A0	A+
D3	-0.73%	-1.19%	-0.62%
D2	-0.90%	-0.56%	-0.87%
D1	-0.60%	-0.85%	-0.50%

Con il SET T abbiamo che l'errore relativo è sempre maggiore per la CAM 3, come possibile notare dalla FIG. 49, tuttavia i campioni dei gruppi D3 e D2 hanno un errore relativo percentuale inferiore rispetto al set precedente.

La CAM 3 sembra quindi, in generale, ampliare l'errore all'aumentare dell'altezza – come avevamo già visto analizzandola singolarmente. Se con l'asta di riferimento A ciò avveniva solo per i campioni del gruppo A0, all'aumentare dell'altezza delle due persone in comune, l'errore relativo diventa maggiore per la CAM 3. Tuttavia, la differenza dell'errore relativo fra le due telecamere non segue un andamento lineare.

Ciò è in linea con quanto ottenuto precedentemente. La CAM 4 ha infatti un errore rispetto alla distanza che non cresce linearmente come quello della CAM 3.

Anche se sono stati analizzati i risultati di due sole telecamere, abbiamo notato degli aspetti importanti.

Per prima cosa, telecamere differenti comportano un differente andamento dell'errore rispetto alla distanza, eccetto che per l'angolazione – almeno in questi due casi. Abbiamo però dei dati limitati ma, tuttavia, è confermato piuttosto chiaramente che non è possibile “mappare” l'errore (assoluto o relativo che sia) in base alla posizione del soggetto in modo universale, o perlomeno adattabile, a qualsiasi telecamera.

Ci sono inoltre numerosi fattori variabili che hanno effetti sulla misurazione; tra cui lo stesso operatore che si occupa di scegliere i fotogrammi migliori e selezionare i pixel dell'immagine che mostrano la persona ignota e sono poi utilizzati proprio per stimarne l'altezza. La nostra analisi ci ha comunque permesso di determinare alcuni aspetti comuni che si sono ripetuti sia per telecamere diverse che per attori differenti.

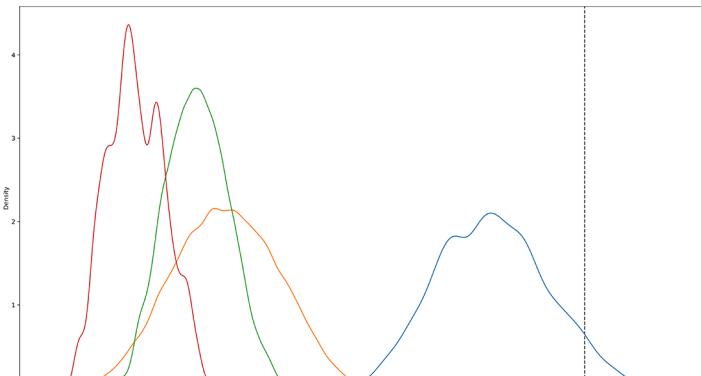
Il più importante è che le medie aritmetiche – ovvero le nostre stime delle altezze – dei singoli campioni sono nettamente sottostimate. Esclusa l'asta di riferimento, la cui altezza è spesso determinata con un buon grado di confidenza, l'altezza delle persone stimata attraverso la media campionaria è invece, nella quasi totalità dei casi, minore rispetto al valore reale della stessa.

Il secondo aspetto è come l'errore ε aumenti al crescere dell'altezza del soggetto. Purtroppo tale crescita non è lineare perché dipende anche da

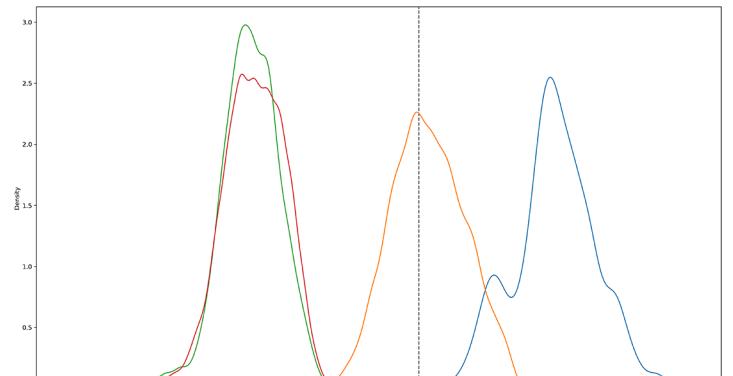
aspetti non analizzati in questa tesi. Ad esempio, la capigliatura, influisce molto sull'errore stimato, infatti, come abbiamo visto in precedenza, per un soggetto calvo si ottiene un errore relativo minore rispetto a quello di una persona più bassa ma non calva. A ciò bisogna aggiungere che anche i vestiti indossati possono introdurre delle non linearità nell'andamento dell'errore rispetto all'altezza dei soggetti stessi, soprattutto per quanto riguarda scarpe e cappelli.

Come ultimo aspetto, non bisogna dimenticare infine che l'errore relativo ξ ha a sua volta un andamento differente rispetto a $|\varepsilon|$. Questo perché più una persona è bassa, maggiore è il peso dell'errore sulla stima dell'altezza, mentre per un soggetto più alto, a parità di ε , pesa di meno in percentuale e questo si può notare dai grafici successivi che mostrano la distribuzione degli errori relativi percentuali per campione – la linea blu mostra la distribuzione di ξ dell'asta, l'arancione del soggetto M, la verde di S per la CAM 3 e di C per la CAM 4 e infine la rossa di T.

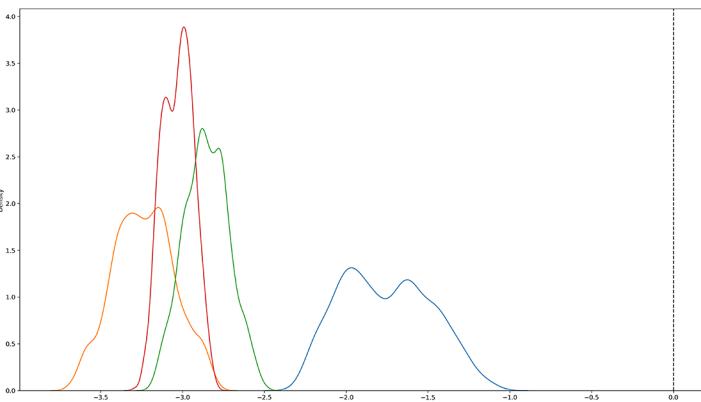
Campione 1 - CAM_3
[DISTRIBUZIONE ERRORI RELATIVI]



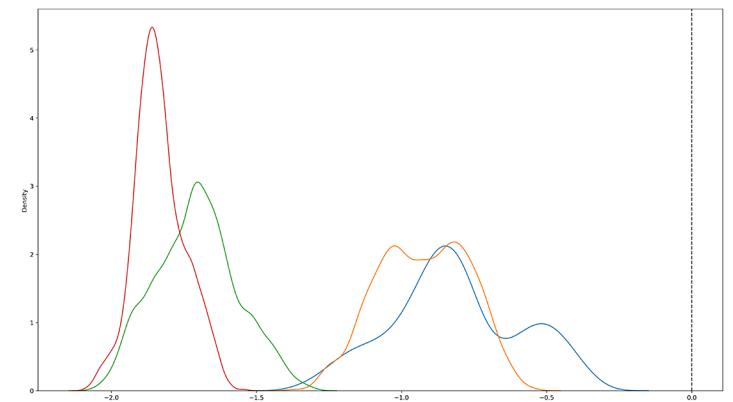
Campione 1 - CAM_4
[DISTRIBUZIONE ERRORI RELATIVI]



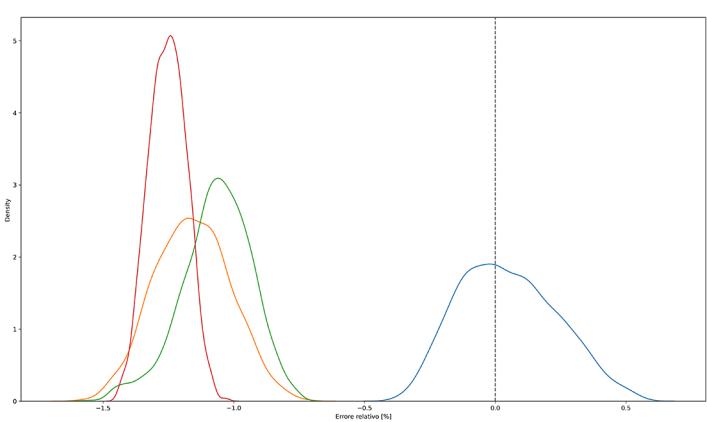
Campione 2 - CAM_3
[DISTRIBUZIONE ERRORI RELATIVI]



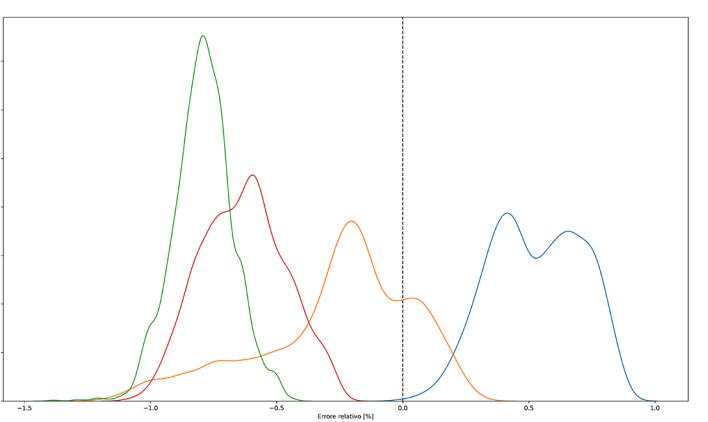
Campione 2 - CAM_4
[DISTRIBUZIONE ERRORI RELATIVI]



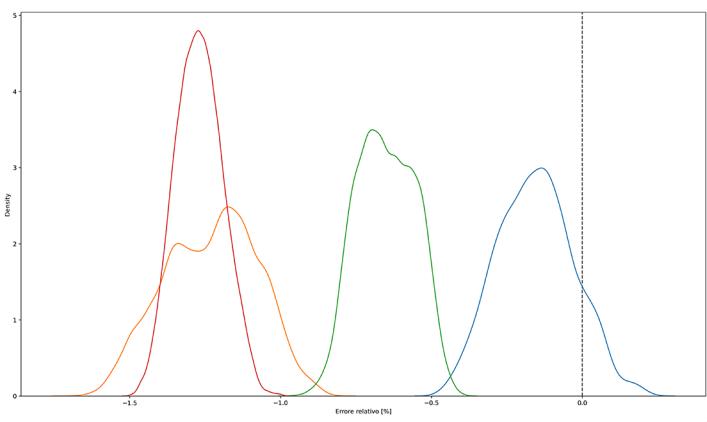
Campione 3 - CAM 3
[DISTRIBUZIONE ERRORI RELATIVI]



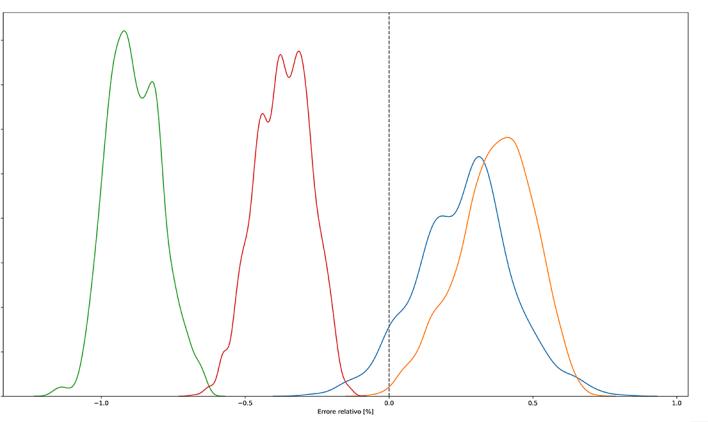
Campione 3 - CAM 4
[DISTRIBUZIONE ERRORI RELATIVI]



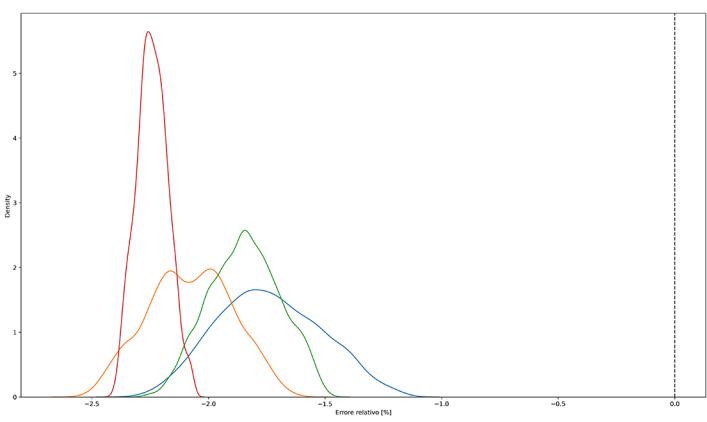
Campione 4 - CAM 3
[DISTRIBUZIONE ERRORI RELATIVI]



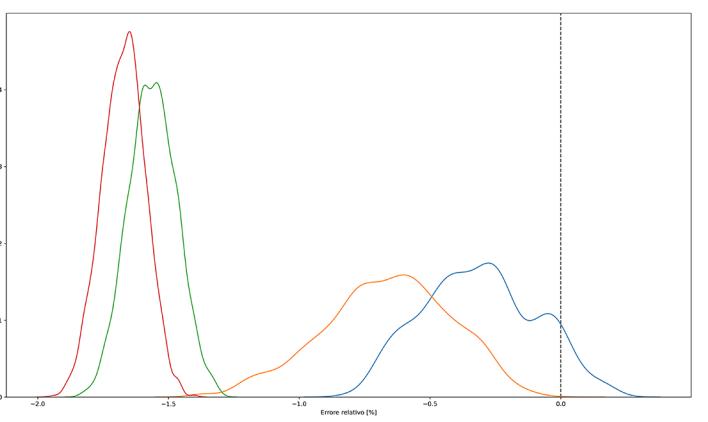
Campione 4 - CAM 4
[DISTRIBUZIONE ERRORI RELATIVI]



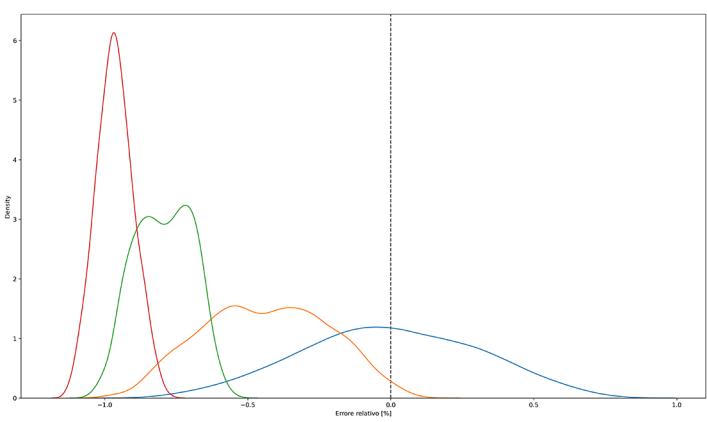
Campione 5 - CAM 3
[DISTRIBUZIONE ERRORI RELATIVI]



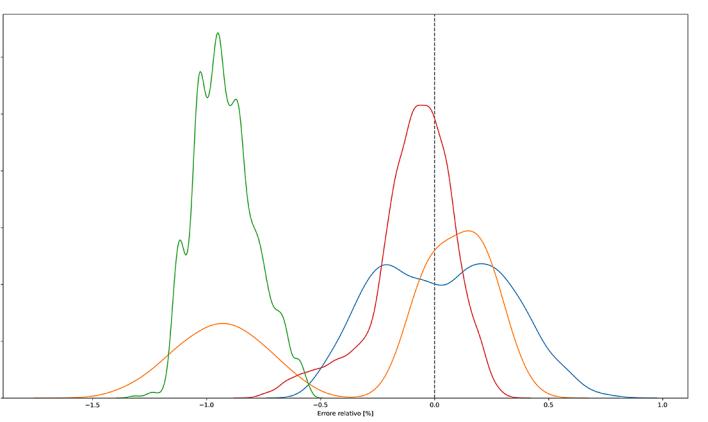
Campione 5 - CAM 4
[DISTRIBUZIONE ERRORI RELATIVI]



Campione 6 - CAM 3
[DISTRIBUZIONE ERRORI RELATIVI]



Campione 6 - CAM 4
[DISTRIBUZIONE ERRORI RELATIVI]



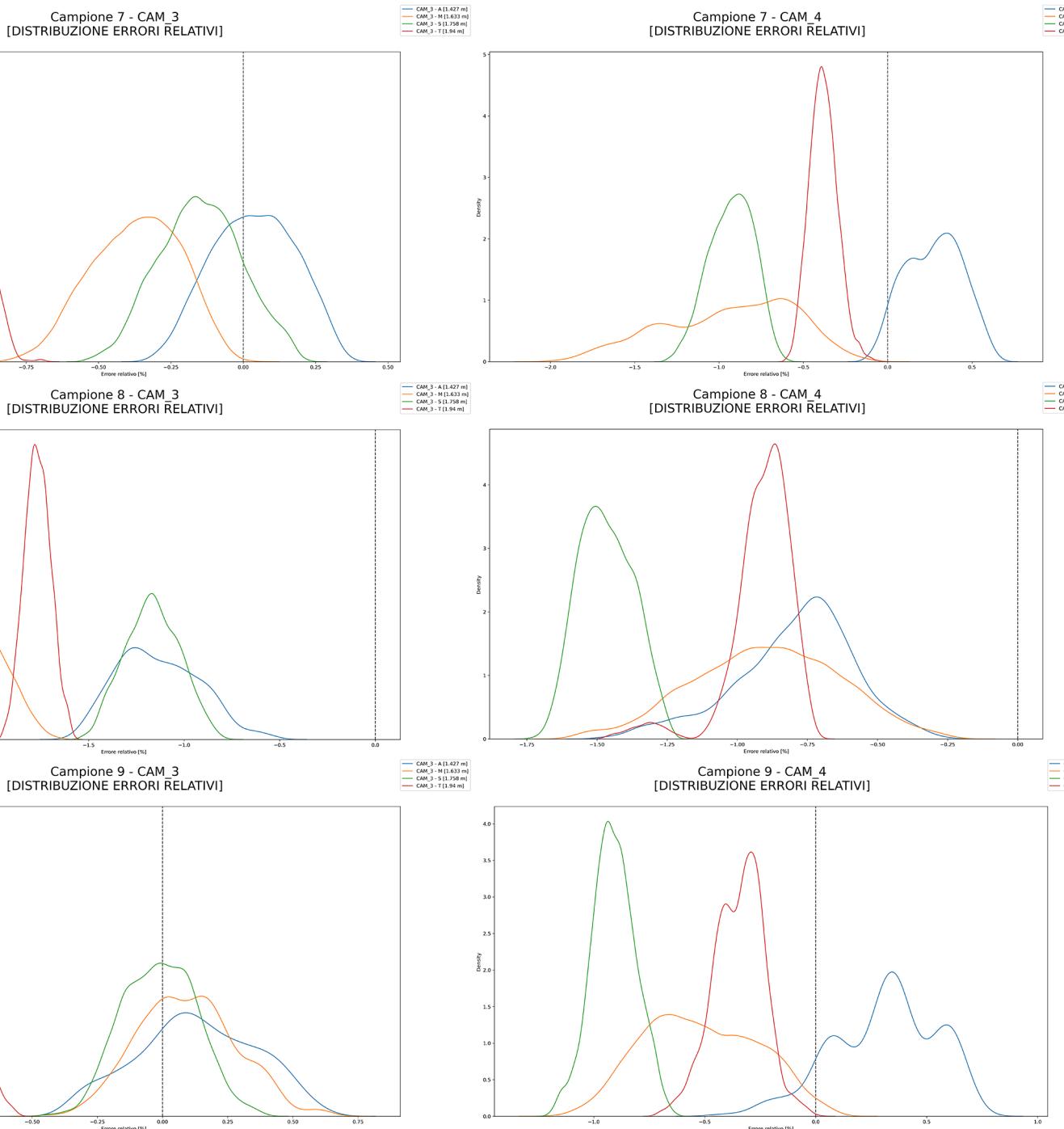


FIG. 50 Ogni grafico di quest'immagine, divisa in più pagine per motivi di spazio, mostra la stima della distribuzione dell'errore relativo. Nella colonna a sinistra sono visibili, in ordine, i campioni dei set della CAM 3, mentre in quella a destra quelli della CAM 4.

La densità della distribuzione dell'errore relativo percentuale ξ della FIG. 50 mostra appunto come per tutti i soggetti, eccetto l'asta, la media campionaria rappresenti una sottostima dell'altezza reale. Inoltre, mostrano che, seppur l'errore relativo tenda a crescere con l'altezza, non manchino i

casi in cui queste distribuzioni combacino parzialmente o soggetti più alti di altri generino un ξ medio minore - come abbiamo già avuto modo di osservare, ciò è molto influenzato dalla capigliatura e dai vestiti del soggetto ripreso. Questo può creare confusione e, erroneamente, far perfino confondere un sospettato con una persona più bassa, come mostrato nella

FIG. 51.

L'obiettivo
successivo è
quindi quello di
calcolare il
valore
dell'errore per
un soggetto la
cui altezza è
ignota,
basandosi sul
confronto con
altre persone di altezza nota e posizionate nello stesso punto.

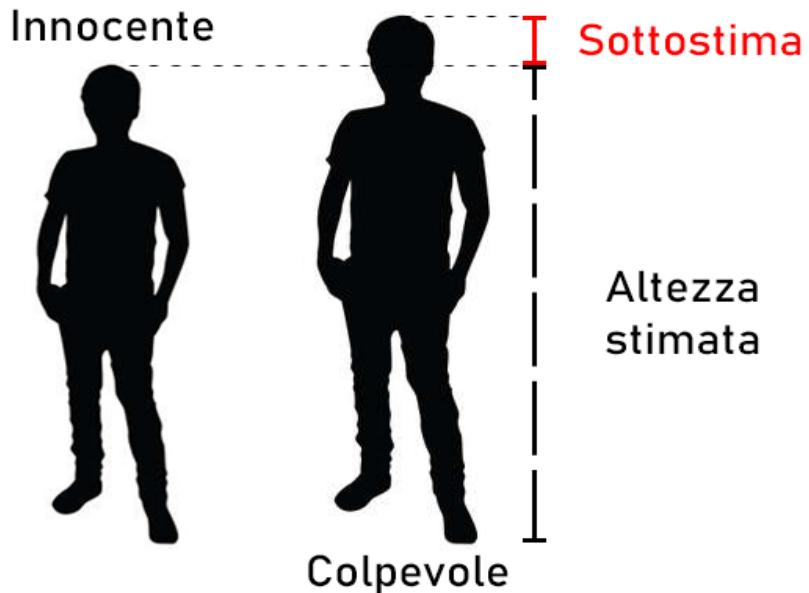


FIG. 51 - L'altezza di una persona innocente, a causa della sottostima dell'altezza di un soggetto più alto, potrebbe combaciare con quella stimata.

A questo proposito, essendo tale procedura eseguita dai RIS, risulta molto importante che i soggetti di confronto abbiano caratteristiche fisiche e abbigliamento il più possibile simili a quelle del sospetto ricavabili dal fotogramma - in modo che l'operatore commetta lo stesso errore sia sul soggetto ignoto che sui modelli di riferimento.

Per semplicità, definiamo quindi l'altezza stimata λ - che nella nostra analisi equivale alla media campionaria M_{camp} delle N misure del campione - come

$$\lambda = v - \varepsilon \text{ (8),}$$

ovvero la differenza fra il vero valore dell'altezza v e l'errore ε .

Ovviamente, nei casi reali v è sconosciuto e non è quindi possibile calcolare anche ε in base alla definizione (5), basata proprio sulla conoscenza della vera altezza del soggetto.

L'idea è quella di stimare l'errore $\bar{\varepsilon}$ e sommarlo a λ , ottenendo così l'altezza reale \bar{v} – a entrambi i caratteri è stato aggiunto una linea per distinguerli dagli omonimi valori noti. Invertendo la (8) infatti otteniamo

$$\bar{v} = \lambda + \bar{\varepsilon} \text{ (9).}$$

Il segno è positivo in virtù della sottostima di λ , calcolato come media campionaria di tutti i valori di un singolo campione, rispetto a v che si è verificata per la maggior parte dei campioni.

Rimane quindi il problema di stimare $\bar{\varepsilon}$, basandosi su altri soggetti di cui però conosciamo l'altezza reale v e quindi possiamo calcolare il vero ε . Tuttavia, ai fini di questa tesi non ci siamo incentrati su tale aspetto, che potrà quindi essere studiato in futuro, usando come base proprio questa analisi.

6 - BIBLIOGRAFIA E FONTI

- RIF. 1 - Efficient height measurement method of surveillance camera image**
Joong Lee, Eung-Dae Lee, Hyun-Oh Tark, Jin-Woo Hwang, Do-Young Yoon
- RIF. 2 - New method for height estimation of subjects represented in photographs taken from video surveillance systems**
Danilo De Angelis, Remo Sala, Angela Cantatore, Pasquale Poppa, Michele Dufour, Marco Grandi, Cristina Cattaneo
- RIF. 3 - Suspect Height Estimation Using the Faro Focus3D Laser Scanner**
Monique Johnson, H.BSc., Eugene Liscio, P.Eng.
- RIF. 4 - Comparison of body height estimation using bipeds or cylinders**
Gerda Edelman, Ivo Alberink
- RIF. 5 - A New Approach to Obtain Height Measurements from Video**
Antonio Criminisi, Luc Van Gool, Luc Van Gool, Simon K. Bramble
- RIF. 6 - Height measurements in images: how to deal with measurement uncertainty correlated to actual height**
Gerda Edelman, Ivo Alberink
- RIF. 7 - Multivariate Density Estimation: Theory, Practice, and Visualization**
D. W. Scott
- RIF. 8 - An Introduction To Error Analysis**
J. R. Taylor

7 - RINGRAZIAMENTI

In virtù della convenzione fra l'Università degli Studi di Cagliari e l'Arma dei Carabinieri, il Reparto Investigazioni Scientifiche di Cagliari, facente parte del Raggruppamento Carabinieri Investigazioni Scientifiche, nella persona del Ten-Col. Dott. Pietro Coli, ha partecipato alla realizzazione di questa tesi fornendo i dati necessari allo studio.

Un sentito ringraziamento va ovviamente al relatore, il prof. Gian Luca Marcialis, che ha avuto la pazienza di guidarmi e aiutarmi durante la stesura di questa tesi e ai miei familiari, per avermi supportato in tutti questi anni.