

Tecniche geomatiche per la descrizione geometrica e tematica di alveari

E. Borgogno Mondino*, M. Vercelli**, M. Anibaldi Ranco*, M. Porporato.**

(*) D.E.I.A.F.A., Università di Torino, Via L. da Vinci 44, 10095 Grugliasco (TO), tel: 011 6705523, fax: 011 6705516, enrico.borgogno@unito.it, marco.anibaldi@unito.it

(**) Di.Va.P.R.A., Università di Torino, Via L. da Vinci 44, 10095 Grugliasco (TO), tel: 011 6708584, fax: 011 2368584, monica.vercelli@unito.it, marco.porporato@unito.it

Riassunto

Lo stato di sviluppo degli alveari, correntemente indicato con il termine sintetico di “forza”, dipende dal numero di api adulte e di quelle in via di sviluppo (covata), oltre che dal quantitativo di scorte di miele e di polline (Graham, 1992). Tale forza influisce sulle caratteristiche produttive e di resistenza dell'alveare stesso e, pertanto, ne è suggerito un continuo monitoraggio. Questo, normalmente, viene condotto in modo approssimato mediante analisi visiva diretta da parte di un operatore (di settore) addestrato. L'analisi, condotta su ogni singolo favo dell'alveare, è intesa a stimarne le superfici rispettivamente occupate da cera, covata e scorte, e a conteggiare il numero di api adulte. L'approccio tradizionale si rivela, tuttavia, fortemente condizionato dalla soggettività dell'indagine connessa all'abilità dell'operatore che, di fatto, costituisce esso stesso lo strumento di misura (Accorti, 1985; Gerig, 1983; Marchetti, 1985).

Nell'ambito del progetto di ricerca MIUR-PRIN “*Integrazione di conoscenze apistiche attraverso lo sviluppo e la calibrazione di un modello per la simulazione dell'alveare*” di cui il Dipartimento di Valorizzazione e Protezione delle Risorse Agroforestali (Di.Va.P.R.A.) è partner per la Facoltà di Agraria dell'Università degli Studi di Torino, si intende affrontare il problema attraverso un approccio scientifico più rigoroso, in grado di oggettivare le misure e qualificarle in termini di precisione. La via che è stata scelta è quella del processo fotogrammetrico digitale, la cui realizzazione è stata, ed è tuttora, in carico alla Sezione Topografia e Costruzioni Rurali del Dipartimento di Economia e Ingegneria Agraria, Forestale e Ambientale (D.E.I.A.F.A.) della stessa Facoltà.

Poiché le misure devono essere eseguite durante la normale attività delle api, il problema della stereoscopia, sottesa dal processo fotogrammetrico, ha reso necessario predisporre un sistema di presa opportuno che garantisca la registrazione simultanea della coppia stereoscopica del favo popolato. La prima fase del lavoro ha riguardato la progettazione di una struttura idonea allo scopo e la sua realizzazione pratica. La seconda fase ha previsto la calibrazione del sistema ai fini di un suo corretto utilizzo fotogrammetrico, anche finalizzato all'auto-calibrazione delle camere amatoriali impiegate. La terza fase è stata dedicata alla validazione del sistema per la verifica dell'effettivo raggiungimento delle precisioni attese. Attualmente sono in corso le prime acquisizioni e modellazioni tridimensionali degli alveari stessi.

Abstract

Hive status – usually referred as “strength” – results from adult and developing bee number and honey and pollen stores and influences their productive and resistance characteristics; its assessment is commonly achieved rather inaccurately by means of direct visual analysis performed by a trained operator. For each comb the areas of wax, brood and stocks are estimated and the number of adult bees are counted. This research is aimed at investigating the potentialities of a

photogrammetric approach performed on digital images, to improve and make more objective such estimations. This technique is considered an effective tool for the 3D modelling of the beehive and for its complete rigorous geometrical description obtained through stereoscopy. Since measurements must be made on active hives, it was necessary to set up an acquisition system which could record simultaneously the stereo-pair. The first step was the design and production of an appropriate transportable device made of a panel hosting the comb and of a specific support for the two cameras used to acquire images. The second step was system calibration aimed at ensuring a correct photogrammetric approach and useful for camera auto-calibration, needed at every acquisition. The third step was given up to system validation and accuracy assessment. Actually the first image acquisitions and 3D modelling are running.

Obiettivi

La misura delle caratteristiche geometriche dell'alveare mediante processo fotogrammetrico e la qualificazione delle misure mediante quantificazione degli errori residui è l'obiettivo principale della ricerca. I vincoli imposti dall'ambito di applicazione (alveare) sono relativi a: a) grado di precisione che si intende raggiungere; b) dinamicità dell'oggetto misurato; c) trasportabilità dello strumento di misura; d) economicità del sistema.

Per quanto riguarda la precisione attesa per le misure, essa è condizionata dalle dimensioni degli oggetti di interesse (favo e api), ed in particolare degli oggetti più piccoli che si vogliono apprezzare. Il sistema di misura deve, dunque, garantire precisioni di 1-2 millimetri nelle tre componenti spaziali. In tal senso le caratteristiche delle camere utilizzate (risoluzione e focale) devono essere accuratamente selezionate. Inoltre, operando in condizioni di economia con camere reflex amatoriali, il sistema deve essere progettato in modo da consentire l'auto-calibrazione delle stesse a ogni presa. Poiché il favo è fotografato in condizioni di popolamento dinamico, cioè con le api in attività, è condizione vincolante poter effettuare la presa della coppia stereoscopica istantaneamente, assicurando la contemporaneità dei due scatti. Infine, il sistema deve poter ospitare, nelle condizioni idonee al rispetto del progetto di presa, sia le due camere, sia il favo posto a una distanza tale da essere interamente inquadrato alla risoluzione opportuna.

Il sistema di presa

Il processo di acquisizione delle immagini ha previsto la progettazione di una idonea struttura costituita da: a) due camere digitali; b) un supporto adattabile per ospitare le camere; c) un pannello calibrato atto a ospitare il favo (Figura 1).



Figura 1 –Progetto e manufatto del sistema destinato al rilievo fotogrammetrico degli alveari.

Le camere digitali

La scelta delle camere da utilizzare ha costituito una importante fase del processo. L'economicità imposta al sistema ha determinato la scelta di camere digitali reflex amatoriali, vincolandone soltanto la risoluzione e la focale; la prima deve consentire di raggiungere una risoluzione geometrica sull'immagine sub-millimetrica alle distanze di presa, mentre la seconda deve garantire una sufficiente stabilità (ottica fissa). Il loro accoppiamento deve inoltre permettere di lavorare a distanze contenute (1-1.5 m) con campo di vista sufficiente, possibilmente oltre la distanza iperfocale. Viste le numerose variabili interdipendenti, la scelta della camera e dell'ottica è stata operata sulla base di simulazioni, condotte mediante fogli di calcolo, fissando di volta in volta la dimensione del sensore CMOS e facendo variare selettivamente i parametri di focale (135, 100, 50, 35 mm), distanza e ricoprimento atteso (0.6, 0.7, 0.8 m) per investigarne gli effetti sia sugli abbracciamenti delle prese (che devono coprire l'intera estensione del favo in stereoscopia) che sulle precisioni della componente verticale di posizione dell'oggetto fotografato.

Le dimensioni fissate per i CMOS valutati, corrispondono a quelle dei modelli CANON reflex amatoriali (Figura 2).

Modello camera	Dimensione CMOS (mm)	Dimensione Immagine (colonne x righe)	Dimensione fisica rilevatore (micron)
EOS 30 D	22.5 x 15.0	3504 x 2336	6.4
EOS-1Ds Mark II	36.0 x 24.0	4992 x 3328	7.2
EOS-1D Mark II-N	28.7 x 19.1	3504 x 2336	8.2
EOS 350 D	22.2 x 14.8	3456 x 2304	6.4
EOS 400 D	22.2 x 14.8	3888 x 2592	5.7
EOS 5D	35.8 x 23.9	4368 x 2912	8.2
EOS-1Ds Mark III N	28.1 x 18.7	3888 x 2592	7.2

Figura 2 – Dimensioni CMOS, dimensioni immagine e dimensioni fisiche dei rilevatori riferite ai diversi modelli di camera CANON.

Da tali valutazioni e sulla base di valutazioni anche economiche, è stato scelto il modello CANON EOS 30D.

La stima delle precisioni lungo la coordinata Z (assunta parallela alla direzione congiungente la camera con l'oggetto) è stata valutata tramite la nota formula (Kraus, 1993):

$$\sigma_z = \frac{H}{f} \cdot \frac{H}{B} \cdot \sigma_{p\xi} \quad [1]$$

dove H = distanza di presa (mm), B = base di presa (mm), f = focale (mm) e $\sigma_{p\xi}$ = precisione nella determinazione della parallasse ξ (mm sul sensore, fissata pari 0.3 pixel).

Le simulazioni effettuate hanno prodotto i risultati di Figura 3, sulla base delle quali è stata scelta una focale fissa di 35 mm (obiettivo CANON EF 35 mm f/2).

Lo scatto simultaneo delle due fotocamere è stato ottenuto utilizzando uno specifico telecomando CANON a cavo.

Supporto per le camere

Al fine di garantire una corretta geometria della presa (rapporto base/altezza) che realizzi le precisioni richieste, è stata progettata una struttura dotata di un supporto calibrato destinato ad accogliere la coppia di camere utilizzate per l'acquisizione stereoscopica, e di un pannello per il sostegno dei favi. La distanza tra pannello e supporto calibrato, benché possa essere variata nell'intervallo [100 – 140 cm] grazie alle aste telescopiche del supporto, è stata, nelle prime prove fissata a 120 cm. Tale distanza è stata decisa come riferimento cercando di mediare i seguenti vincoli:

a) rapporto B/H sufficientemente elevato (risulta di 1/5 – 1/6);

- b) distanza H in grado di realizzare una risoluzione geometrica idonea al livello di dettaglio richiesto;
- c) rispetto del ricoprimento stereoscopico minimo;
- d) compattezza del sistema ai fini della sua trasportabilità.

In tali condizioni, ipotizzando per γ_p un valore di 0.3 pixel, una base di 25 cm, una focale di 35 mm e applicando la [1] si ottiene una γ_z teorica di circa 0.3 mm, idonea allo scopo.

Considerato che il sistema deve essere utilizzato in apiari situati in campagna, la struttura è stata ideata in profilati di alluminio, completamente smontabile per una maggiore facilità di trasporto e di movimentazione, ma sufficientemente robusta da assicurare una idonea rigidità strutturale. La barra di supporto che ospita le camere è stata dotata di una guida di 30 cm a 5 posizioni simmetriche rispetto al centro (5 cm di passo l'una dall'altra), da utilizzarsi come riferimento per il fissaggio delle camere. La base (per prese nadirali) così realizzata può, dunque, variare tra 30 cm e l'ingombro delle camere (circa 15 cm).

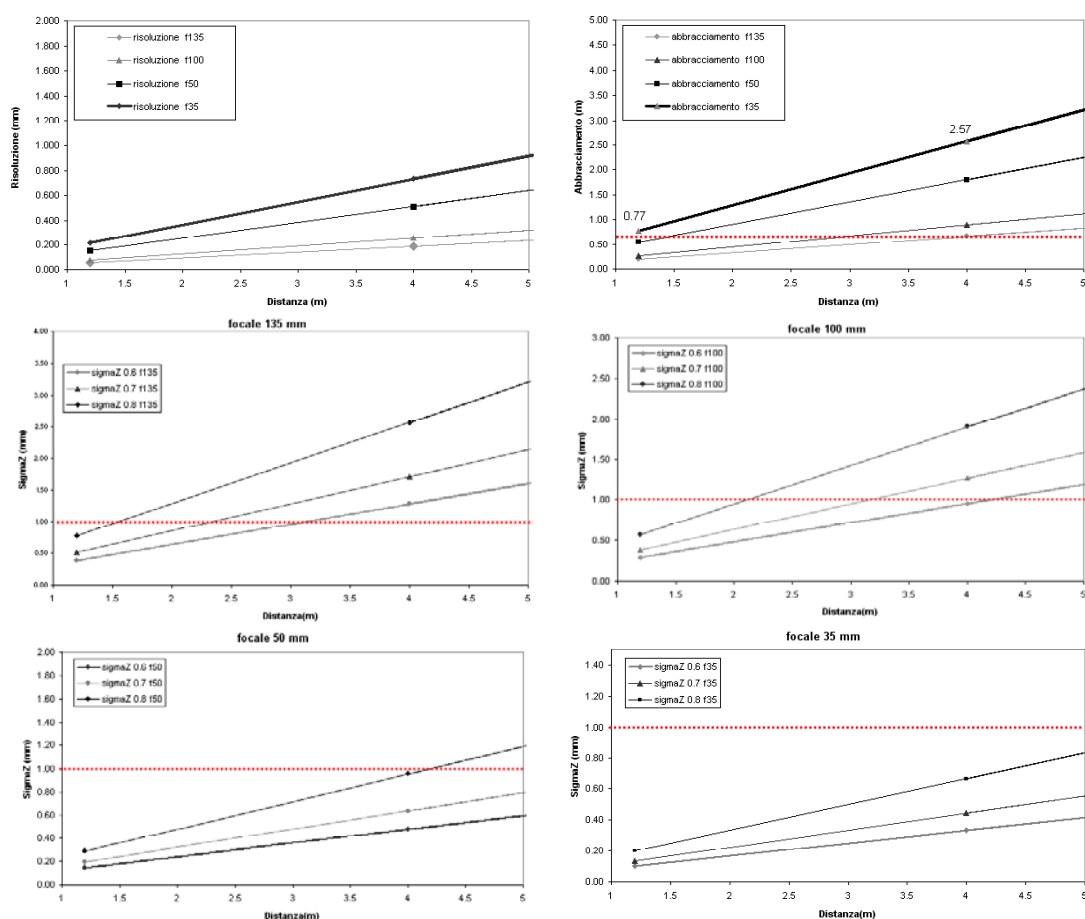


Figura 3 – Parametri considerati (risoluzione, abbracciamento, focale, sigmaZ) per la scelta delle camere e degli obiettivi.

Pannello

Al fine di ospitare il favo durante l'acquisizione è stato realizzato un pannello in POLIZENE® di 400 x 650 x 15 mm avendo cura di accertarsi che la superficie fosse sufficientemente rugosa da rendere il più possibile isotropa (lambertiana) la riflessione della luce. Inoltre si è proposto per il colore verde in modo tale da renderlo facilmente separabile, nel corso dell'eventuale classificazione delle immagini (prevista per ricerche future), dai colori naturali dominanti dell'alveare. Sul pannello sono stati predisposti 16 pioli, in plexiglass, di colore bianco opaco e sulla loro estremità esposta è stata incisa una marca caratteristica per consentirne l'esatta ubicazione. I pioli sono stati

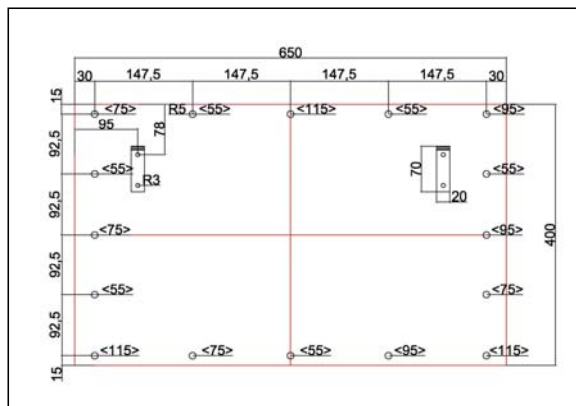


Figura 4 – Progetto esecutivo del pannello.

alternando altezze (4, 6, 8, 10 cm) e simboli, al fine di garantirne l'idoneità per il loro utilizzo come punti di appoggio nel corso degli orientamenti delle immagini e dell'auto-calibrazione delle camere (Figura 4).

Rilievo dei punti di appoggio

La posizione dei punti di appoggio (16) è stata determinata attraverso rilievo topografico classico a intersezione multipla in avanti. La stazione totale utilizzata è una *Geotronics 4100*. Tale metodologia di misura realizza una ridondanza di osservazioni in grado di quantificare la precisione delle misure necessaria a comprendere se sono o meno idonee a quelle attese. La compensazione delle misure è stata condotta per la sola planimetria mediante il software *StarNet 6.0.16*. E' stata assunta, compatibilmente con i dati di prestazione restituiti dal software, come valore della precisione "media" del rilievo la seguente grandezza:

$$)_{\text{punti}} \# \sqrt{\frac{\sigma_{xy}^2}{n!r}} \quad [2] \quad \text{dove } \sigma_{xy}^2 \# \left(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 \right) \text{ e } (n-r) \text{ è la ridondanza del sistema (21).}$$

Per il caso specifico $)_{\text{punti}}$ è risultato pari a 0.32 mm.

L'altimetria è stata invece risolta per via trigonometrica utilizzando gli angoli zenitali misurati e le distanze ottenute dalle coordinate planimetriche compensate. I valori di quota calcolate dalle tre stazioni per i diversi punti sono stati poi mediati tra loro. La terna cartesiana locale X,Y,Z è stata poi, opportunamente, roto-traslata in modo da realizzare il sistema di coordinate (X',Y',Z') convenzionalmente utilizzato per la fotogrammetria terrestre (asse Z' uscente dal pannello in direzione della camera, asse X' orizzontale verso destra e asse Y' verticale verso l'alto).

Validazione del sistema e discussione

Il sistema così progettato è stato validato nel corso di una prova, condotta presso l'apiario sperimentale del Di.Va.P.R.A (Figura 5). La geometria della presa è stata fissata con base (B) pari a 20 cm e distanza media camera-pannello (H) pari a circa 1.2 m (B/H & 1/6). Le prese sono state mantenute il più nadirali possibile.



Figura 5 – Rilievo fotogrammetrico.

Nel corso di questa prima prova preliminare è stato deciso di affrontare il problema degli orientamenti interni in modo semplificato, rinunciando all'auto-calibrazione delle camere e verificando se, in tali condizioni, la precisione delle misure fosse o meno accettabile per il tipo di applicazione richiesto. Si consideri infatti il potenziale ambito di utilizzo della tecnica (quello degli apicoltori) che, ad oggi, è a digiuno di fotogrammetria e che spinge per strumenti di facile utilizzo in campo e di veloce risposta. Questa scelta preventiva ha consentito di affrontare il problema degli orientamenti utilizzando il modulo *OrthoEngine* del software commerciale *PCI Geomatica 9.1*, che esclude sia la possibilità dell'auto-calibrazione delle camere, sia la dichiarazione di parametri di orientamento interno diversi per le due camere utilizzate (PCI Geomatics). In questa fase sono pertanto utilizzati i valori nominali di focale (35 mm), di dimensione fisica del pixel (6.4 *micron*) e di coordinate ($\% = 0, +_0 = 0$) del PBS (*Point of Best Symmetry*) uguali per entrambe le camere. Nessuna distorsione radiale è stata tenuta in conto. L'orientamento esterno è stato eseguito utilizzando, per ciascuna immagine, 11 punti di appoggio dei 16 complessivamente materializzati sul pannello, in quanto il rapporto B/H fissato in condizioni di nadiralità non ha garantito il ricoprimento stereoscopico dell'intero pannello. Benché coscienti del fatto che la geometria realizzata non fosse la migliore possibile, data l'impossibilità di una ripetizione delle acquisizioni in tempi brevi, si è scelto di procedere ugualmente al test, assumendo questa sconveniente situazione come un più impegnativo banco di prova. Si è inoltre ritenuto che le risposte che sarebbero arrivate, avrebbero potuto suggerire l'idoneità di un eventuale avvicinamento delle camere al pannello per la realizzazione di migliori rapporti B/H. Per irrobustire l'orientamento relativo sono inoltre stati collimati (e successivamente verificati) 53 punti di legame utilizzando la procedura automatica disponibile nel software, imponendo una soglia di R (coefficiente di correlazione lineare di Pearson) di 0.75 e una dimensione della finestra di ricerca di 100 x 100 *pixel* (circa 20 mm).

In tali condizioni, l'orientamento esterno simultaneo delle due immagini ha generato, per le coordinate oggetto dei punti di appoggio comuni alle due immagini (6), degli scarti sempre inferiori a 1 mm per le coordinate planimetriche X' e Y' e uno scarto massimo, per la coordinata Z', di 5 mm. Si tratta di risultati parziali e limitativi che soffrono di carenze statistiche di rappresentatività e significatività (servirebbe un numero adeguato di punti di controllo) che, tuttavia confortano circa l'effettiva applicabilità del metodo. Quelli ottenuti però sono valori di precisione non accettabili che rischiano di rendere non apprezzabili gli oggetti di interesse più piccoli. L'informazione è però importante in quanto conferma la necessità di un approccio di orientamento (interno ed esterno) più rigoroso possibilmente basato sull'auto-calibrazione delle camere. Ulteriori incoraggiamenti vengono poi dalle prime prove di restituzione stereoscopica in atto sul modello così "approssimativamente" orientato. La stereoscopia, sia da immagini orientate che da coppia epipolare corrispondente, risulta efficace e di facile percezione anche per occhi non addestrati, anche solo con tecnica anaglifca.

Bibliografia

- Accorti M. (1985), "Valutazione numerica degli adulti di *Apis mellifera* L.: variazioni e modifiche al metodo dei sestì", *Apicoltura*, 1: 63-73.
- Gerig L. (1983), "Lehrgang zur Erfassung der Volksstärke", *Schweizerische Bienen-Zeitung*, 109: 50-62.
- Graham J.M. (1992), "*The Hive and the Honey Bee*", Dadant & Sons, Hamilton, Illinois, 235-260.
- Kraus K. (1993), "*Fotogrammetria, Vol. 1 - Teoria e applicazioni*", Libreria Universitaria Levrotto & Bella, Torino, 39.
- Marchetti S. (1985), "Il "Metodo dei sestì" per la valutazione numerica degli adulti in famiglie di *Apis mellifera* L.", *Apicoltura*, 1: 41-61.
- PCI Geomatics Users Guide – OrthoEngine Reference Manual. www.pcigeomatics.com