

DI UN ESPERIMENTO DI RILIEVI AEROFOTOGRAMMETRICI FORESTALI

DOTT. DUILIO COSMA

Ispettore del Corpo delle Foreste

PREMESSA.

La ricerca del volume di un complesso di alberi in piedi è sempre stato oggetto di accese polemiche tra forestali, in quanto la cosiddetta *stima* della massa legnosa ritraibile da un bosco risulta essere in definitiva di natura empirica e soggettiva.

La *dendrometria*, che è appunto la scienza preposta alla ricerca della massa legnosa, si avvale di determinati metodi, tra i quali non si può scegliere *il più preciso*, in quanto anche uno stesso metodo seguito da due operatori diversi, durante la misurazione di una medesima particella boscata, dà come risultato finale volumi diversi, giacchè di un bosco è ben difficile stimare l'altezza degli alberi in piedi con una certa precisione e non è priva di difficoltà la determinazione della loro *forma* (che varia da pianta a pianta) pesando tutto ciò in modo non indifferente sul calcolo dei volumi a mezzo le formule in uso. (1)

Si deduce quindi che la dendrometria in pratica non può dettare norme atte a ottenere la *misura* esatta della massa legnosa ritraibile, ma offre dei metodi con i quali è possibile *stimare* il volume degli alberi in piedi con sufficiente esattezza.

I metodi a terra ai quali ricorre la dendrometria per la ricerca di detta massa legnosa si distinguono in *sintetici* ed *analitici*.

Le *stime sintetiche* sono certamente lo meno costose, ma con esse gli errori nella determinazione dei volumi sono grossolani e possono superare il $\pm 30\%$. Tra tali genere di stime c'è da annoverare quella *oculare*, per cui lo stimatore si basa sulla sua lunga pratica e cerca con la comparazione mnemonica di determinare il volume della massa legnosa ritraibile dal bosco in esame. C'è il metodo delle *tavole alsometriche*, con il quale la stima del bosco viene effettuata per comparazione di dati ricavati da speciali tavole, dati che si riferiscono alla massa legnosa ritraibile da un *bosco normale*. Si tratta perciò di valutare lo *stato reale* del bosco in esame e quindi di mettere a confronto i dati ricavati dagli elementi di misura con quelli corrispondenti alle tavole alsometriche del bosco normale, deducendo le diversità volumetriche. C'è infine *la stima per pedali*, la quale comporta la conoscenza della massa legnosa detraibile da un determinato albero,

(1) G. PATRONE, *Sezioni di dendrometria* - Tip. Ricci, Firenze.

mentre la cubatura del complesso boscato si determina a mezzo la sommatoria dei volumi degli N alberi in esso radicati.

La *stima analitica* si basa sul *cavallettamento* o misura del diametro delle piante ricadenti nel bosco a m. 1,30 da terra (a petto d'uomo), mentre la loro cubatura si ottiene a mezzo la formula generale $V = G.H.F$ in cui G è l'area basimetrica di una determinata particella boscata, ottenuta con il cavallettamento di tutte le piante in essa radicate, H è l'altezza media di tali piante, F è un coefficiente di riduzione formale, il quale varia col variare della specie legnosa, ed in essa col variare dell'età e delle condizioni vegetative delle piante. Detto coefficiente F può essere *dendrometrico* (quando serve a calcolare la massa legnosa ritraibile da tutta la pianta), *cormometrico* (se serve per calcolare il volume legnoso ricavabile dal solo tronco), *blastometrico* (se serve per determinare la quantità di legna ritraibile dai soli rami).

I metodi per la *stima analitica* sono diversi, in quanto variano col variare del sistema adoperato nel raggruppare i differenti soggetti arborei per classi di diametro ed altezza, e nel criterio seguito nella determinazione del coefficiente formale. Con le stime analitiche gli errori della determinazione della massa legnosa in un insieme di alberi, o di alberi isolati, si riducono a $\pm 3\%$ - 10% .

Naturalmente i metodi di stima vengono scelti caso per caso a seconda dello *scopo del rilievo* (ricerche scientifiche, economiche, statistiche), *al costo del rilievo* (secondo la posizione più o meno favorevole del bosco rispetto al mercato, a seconda della vastità del complesso boscato, ecc.), alla *forma di governo del bosco* (cedui e fustaie).

Il bosco *ceduo* proviene da rinnovazione agamica, ossia dai germogli che rigettano dai ceppi tagliati, e normalmente viene utilizzato a breve scadenza (ogni 10-30 anni). Si può distinguere in *ceduo semplice* e *ceduo composto*, in questo secondo caso esiste una specie di rada fustaia che si eleva sopra il ceduo, la quale è formata da piante di riserva, (matricine) atte a dare legname da opera e ad assicurare la rinnovazione delle *ceppaie* esauste, che, a lungo andare, con i tagli finirebbero col deperire e scomparire.

Il bosco di alto fusto o *fustaia* è formato da piante nate da seme, che crescono liberamente fino a raggiungere la maturità, i turni di utilizzazione variano normalmente dai 60-130 anni. Le fustaie a loro volta si distinguono in coetanee e disetanee: coetanee se il bosco risulta composto da piante tutte della stessa età, disetanee, se il complesso boscato è formato da piante di età diversa frammentate fra di loro.

UTILITÀ DELL'AEROFOTOGRAMMETRIA.

Ciò premesso appare evidente come, sino dalle prime applicazioni della fotogrammetria terrestre ai fini cartografici, possano dei tecnici forestali tedeschi avere pensato di ricorrere ad essa per la determinazione dei rapporti

di accrescimento tra le varie parti di una pianta, per lo studio di quegli elementi formali tanto necessari per una buona impostazione dei calcoli dendrometrici.

Con l'affermarsi dell'aerofotogrammetria nel campo della cartografia, le applicazioni della stessa ai fini forestali non potevano tardare, e le prime sperimentazioni vennero eseguite da quegli stessi tecnici che si valsero per le loro ricerche della fotogrammetria terrestre.

La fotografia aerea si impose sino dall'inizio all'attenzione degli studiosi di scienze forestali, in quanto la visione di una foresta effettuata dall'alto dà quelle possibilità di osservazione che nel suo interno non si hanno, perché lo studio di pochi soggetti fa perdere di vista il complesso boscato in cui essi vivono.

Da una più accurata osservazione dei fotogrammi, eseguita ad uno stereoscopio da tavola, si possono ritrovare importanti dati tecnici come: il riconoscimento delle differenti essenze che popolano il bosco, distinguendole a seconda che vivano in complessi puri o misti, si può circoscrivere la superficie da loro occupata, gli spazi vuoti, nonché le zone danneggiate dai venti, dalle valanghe, dagli insetti, dalle malattie fungine, dagli incendi, ecc., come pure lo sviluppo e la densità delle piante, la loro percentuale di mescolanza e di dominanza, deducendone in definitiva lo *stato reale* in cui si trova il bosco.

In considerazione dell'importanza economica delle selve per la loro utilità *diretta ed indiretta*, ed in conseguenza delle aumentate necessità di materiale legnoso e della progressiva diminuzione del territorio boscato per cause varie e complesse (tanto che in ogni nazione furono emanate leggi protettive non sempre efficaci), la scienza forestale ha dovuto imporre *l'assestamento* dei complessi boscati, ai fini della loro conservazione, del miglioramento della loro produzione, e quindi ricavare da essi dei prodotti in periodi pressoché costanti (regime annuo, regime intermittente).

L'assestamento, per potere sistemare economicamente l'azienda forestale deve fare ricorso a distinte operazioni, tutte di costo non indifferente, che si riassumono in:

- 1° rilievo topografico della foresta;
- 2° divisione del bosco in unità economiche;
- 3° rilievi statistici generali e speciali.

Gran parte delle operazioni necessarie all'assestamento è agevole effettuare aerofotogrammetricamente. A mezzo i moderni restitutori è possibile ricavare una mappa plano-altimetrica, sulla quale vengono riportati con esattezza tutti i particolari topografici, e sono identificabili tutte quelle linee topografiche (fossi, crinari, limiti di vegetazione, ecc.), che in un secondo tempo potranno essere indispensabili a limitare le superfici delle unità economiche della foresta. Così pure molti particolari di carattere culturale ed ambientale potranno essere desunti dall'osservazione dei fotogrammi, attraverso lo studio dei rapporti tra le varie parti del bosco in relazione allo sviluppo, e densità delle singole

particelle boscate, nonché tramite lo studio dell'ambiente circostante. Eventuali osservazioni sulle condizioni geologiche e sull'ambiente biologico potranno essere fatte a terra, in occasione dei rilievi dei capisaldi di restituzione aerofotogrammetrica.

Per la definizione delle masse legnose, ai fini statistici speciali, l'aerofotogrammetria si avvale di metodi sintetici, che si basano sul *conteggio dei cimali* delle singole piante su *coppie stereoscopiche*, ed il calcolo della loro altezza media a mezzo uno stereomicrometro; oppure a mezzo il *metodo del profilo*, che viene descritto più avanti. I metodi analitici si fondano sulla misura dell'area d'insidenza o superficie K delle singole piante, sulla determinazione della altezza H allo stereocomparatore, e sulla ricerca di un coefficiente di riduzione coronale F_2 , da calcolarsi in relazione alle variazioni del rapporto $\frac{H}{K}$. In tale modo la formula generale della dendrometria per la ricerca del volume legnoso di un complesso di alberi, viene sostituita in aerofotogrammetria dalla: $V_f = K.H.F_2$.

Da questa geniale risoluzione derivano vari metodi di stima, che variano col variare del criterio seguito nella ricerca dei tre valori in essa rappresentati a seconda che vengano usati mezzi speditivi o di precisione.

E' per le sopradescritte possibilità che i tecnici forestali di molte nazioni, direttamente interessate nell'economia forestale, intravedono oggi nell'aerofotogrammetria il mezzo meno costoso, dal quale si possa ricavare, tramite la restituzione delle stereoscopiche, sia la cartografia necessaria, sia gli elementi atti alla compilazione del *piano economico della foresta*, col vantaggio di avere negli archivi della *fototeca* sempre a disposizione il materiale aerofotografico, dal quale si possano in qualsiasi momento ricontrrollare le misure effettuate ed i dati da esse ricavate.

Per il presente esperimento, quando è stato necessario si è fatto ricorso agli studi dei precursori, traendone tutto quanto vi era di buono e di utilizzabile; si tratta ora di continuare nel tipo di lavoro, procedendo ad una più vasta ed organica ricerca sperimentale.

L'ESPERIMENTO.

A seguito accordi intercorsi tra la Direzione Generale del Catasto e dei SS. TT. EE. e la Direzione Generale delle Foreste, durante l'esercizio finanziario 1950-51, è stato eseguito il primo esperimento ufficiale di rilievi aerofotogrammetrici a carattere forestale nel Demanio Forestale dell'Abetone (Pistoia), su circa 5.000 ha.

Il lavoro venne affidato alla Società E.I.R.A. di Firenze. La ripresa dall'aereo venne eseguita con la bicamera Galileo Santoni III a lastre di formato cm. 13 × 18, usando materiale Ferrania « Aviopancro » 18-10 Din, tempo di posa 1-200 de sec., F-8, filtro G-1. La restituzione cartografica, date le esigenze catastali, avvenne in scala 1-2.000.



FIG. 1.

La fase della sperimentazione forestale venne sviluppata attraverso le singole operazioni:

1°) formazione di un mosaico di aerofotografie alla scala 1-10.000 (fig. 1);

2°) studio della zona boscata per la determinazione delle essenze legnose, sia attraverso il mosaico che attraverso gli ingrandimenti fotografici dei fotogrammi.



FIG. 2.

3°) Determinazione delle misure dendrometriche e tassonomiche, scelta del tipo di stima da adottare. (fig. 2).

4°) Restituzione plano-altimetrica delle coppie e contemporanea restituzione grafica degli elementi forestali.

5°) Calcoli delle superfici boscate, degli spazi vuoti e degli elementi forestali ricavati.

6°) Stima delle masse legnose.

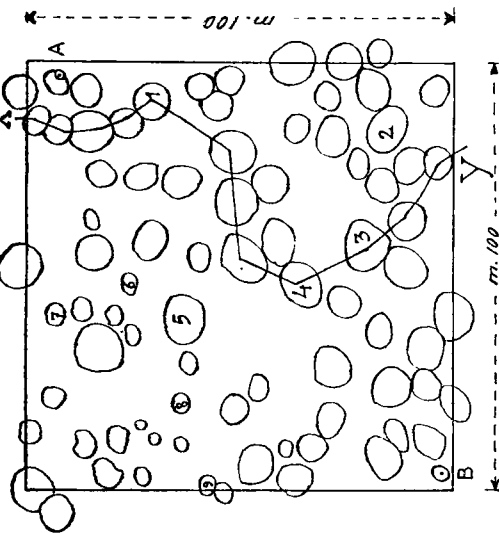
7°) Riporto su un calcopallido del mosaico aerofotografico dei valori

Saggio n. 40 riferimento
 sezione profilo n. 25
 Comune di S. Marcello Pist.
 Bosco di Maresca
 Coppia N. 25-26 / II sin.
 Particella boscata N. 80
 faggio a. t.

Data 3-12-51

N. alberi $\left\{ \begin{array}{l} 1^a \text{ Grandezza } 30 \\ 2^a \text{ Grandezza } 29 \\ 3^a \text{ Grandezza } 18 \end{array} \right.$

Totale 77



Ha I

A				B				C				D				
q. 1164,60 pp. s. chioma	altezza relativa	H	D	altezza relativa	H	Dm	q. pp.	descrizione forato	Coef. rid.	Massa legnosa	K	H	descrizione forato			
q. 1180,50 pp. suolo	q. 1164,60 pp. s. chioma	descrizione forato s. chioma	Alberi:	q. 1180,50 pp. suolo	descrizione macchia fraturo nera	q. pp.	superficie me- dia chioma	N. alberi	superficie chioma	Coef. rid.	Massa legnosa	K	H	descrizione forato		
1	1165,80	21,50	9,00	1166,10	21,70	11,50	21,90	10,20	21,70	81,71	21	1715,91	0,00124	46,152	3,77	Sotto bosco 1,0' fm 2,50
	1144,30			1144,30												
2	1172,20	23,40	10,30	1172,30	23,30	10,30	23,20	10,30	23,30	83,20	5	416,50	0,00119	11,545	3,57	
	1148,80			1149,00												
3	1181,20	24,00	11,60	1181,10	23,80	10,50	24,00	11,00	23,90	75,03	4	375,15	0,00126	11,444	3,98	
	1157,20			1157,30												
4	1159,00	20,00	10,00	1179,30	20,00	10,00	20,20	10,00	20,10	78,54	21	1649,34	0,00140	46,410	3,91	Coefficiente di densità
	1179,00			1178,80												
5	1162,80	16,20	10,10	1163,00	15,80	12,00	16,30	11,00	16,10	95,03	8	760,24	0,00190	23,248	5,90	$\zeta = \frac{\sum L}{\sum K} = \frac{135}{103} = 1,3$
	1170,70			1170,40												
6	1161,00	9,70	5,60	1161,20	9,20	4,30	9,50	4,90	9,30	18,80	2	37,80	0,00120	0,418	2,02	lungo la X — Y
	1167,20			1167,30												
7	1161,30	5,90	4,20	1161,00	6,30	6,80	6,00	5,50	6,10	23,76	3	71,28	0,00190	0,825	3,89	
	1174,50			1174,70												
8	1167,50	7,00	4,00	1167,30	7,40	4,60	7,10	4,30	7,20	14,52	6	87,12	0,00200	1,248	2,02	
	1182,00			1181,80												
9	1171,70	10,30	4,00	1171,60	10,30	5,00	10,80	4,60	10,40	15,98	1	111,00	0,001100	1,100	1,61	

di assi della Y e della Z , passando così dalla fotogrammetria aerea a quella terrestre. In tale maniera le sezioni vengono tracciate meccanicamente, facendo scorrere la marca stereoscopica sulle chiome degli alberi e lungo i punti nei quali si può intravedere il terreno. Si tracciano diversi profili, paralleli fra di loro e distanziati di una determinata misura A , nel nostro caso di 50 m.

Si ottiene così una serie di superfici verticali S , disegnate in scala 1-1.000, che verranno misurate col planimetro o col reticolo. Il volume dendrometrico V si ottiene dalla formula $V = A \cdot \sum S \cdot F_x$, in cui F_x è un coefficiente di riduzione che serve a detrarre lo spazio vuoto; detto coefficiente varia col variare della specie legnosa, dell'altezza, della densità e dell'età della pianta, inoltre varia sensibilmente qualora il volume da ricercare debba essere quello dendrometrico, morfometrico o quello blastometrico.

Per boschi disetanei in genere, venne dallo scrivente ideato uno speciale procedimento a mezzo *saggi* su superfici unitarie, preventivamente scelte in zone di condizioni medie vegetative sulla particella (fig. 4).

La forma dell'area del saggio può variare: può essere circolare, e teoricamente è la migliore, in quanto a parità di superficie il perimetro risulta minore e quindi minore è il numero delle piante che cade su di esso; generalmente l'area del saggio è quadrata o rettangolare, essendo più facilmente determinabile sui fotogrammi, dato che uno o più vertici possono cadere su particolari facilmente individuabili a terra. Molto spesso è consigliabile fare un'area di saggio lunga e stretta, specialmente se il bosco è disforme per densità, in modo da avere un maggiore grado di approssimazione nelle misurazioni. Anche la superficie del saggio varia da caso a caso, per lo più è consigliabile eseguire più saggi di piccola superficie anziché pochi saggi di superficie vasta.

Circoscritta la zona da misurare, si procede al restitutore con la delimitazione dell'area interessata e con il disegno del perimetro delle chiome (area d'insidenza) di tutte le piante radicate entro la superficie del saggio, determinando per differenza l'altezza di ciascuna pianta o del maggior numero di piante possibile, a mezzo la lettura della quota al suolo e di quella alla cima delle singole piante. La quota al suolo deve essere presa lungo la presumibile linea di livello passante per la base della pianta; qualora la misura delle piante in altezza non si scosti di 25 cm., si potranno contrassegnare le chiome delle piante con punti colorati diversi per ogni altezza, raggruppando così le piante stesse per classi di altezza direttamente al restitutore. Il lavoro verrà proseguito al tavolo, misurando il diametro delle singole chiome e ricavandone la relativa area di insidenza; quindi raggruppando le piante per classi di altezza si determi-

na per ciascuna di esse il rapporto $\frac{K}{H}$, da cui si ricava il coefficiente di riduzione

F_2 a mezzo speciali tavole a doppia entrata, preventivamente costruite. La

massa totale della particella si ricava dalla formula $V = v \cdot \frac{S}{s}$ in cui $V = vo-$

lume totale, v = volume della massa legnosa del saggio, S = superficie della particella, s = superficie del saggio.

Dalle misurazioni eseguite gli errori in altezza non si sono scostati da $\pm 0,25$ m., le misure delle aree di insidenza da $\pm 0,250$ mq., mentre le misure dendrometriche, paragonate ai classici metodi terrestri di stima, hanno dato variazioni in $\pm 5\%$ - 8% .

CONCLUSIONI.

L'esperimento, eseguito in concomitanza alle restituzioni catastali, ha dato la possibilità di studiare tutte le esigenze tecniche delle restituzioni forestali, nei confronti dell'aerofotogrammetria, sia per quanto riguarda la presa che per quanto riguarda gli apparecchi restitutivi, esigenze che si possono determinare in:

- 1°) volo di altezza relativa non superiore ai m. 1200, con macchina da presa di 200 mm. di focale;
- 2°) prese nadirali, in modo da poter formare senza difficoltà mosaici speditivi e per potere eseguire misure speditive e stereomicrometriche;
- 3°) scelta opportuna dell'ora e della stagione di presa dall'aereo, in rapporto all'ubicazione della foresta ed al suo sviluppo vegetativo;
- 4°) uso di speciali emulsioni fotografiche, combinate a filtri speciali, in modo da facilitare il riconoscimento delle essenze legnose;
- 5°) prese saltuarie oblique, con camera a mano, in determinate zone della foresta;
- 6°) speciali adattamenti meccanici al pantografo del restitutore Galileo-Santoni, per l'esecuzione dei profili della foresta in qualsiasi direzione;
- 7°) concatenamento tra le « coppie » all'atto della restituzione onde ridurre al minimo la triangolazione a terra, in caso di cartografia alla scala 1:10.000.

Va da sé che nella restituzione ai fini forestali è necessario, specialmente per boschi misti, poter riconoscere dai fotogrammi con sicurezza e rapidità le principali essenze legnose, e nel contempo tale materiale dovrà essere facilmente restituibile. Dato che le prese effettuate con materiale *Aviopancro* non davano sicurezza nella interpretazione delle specie legnose, si è pensato di ricorrere al materiale infrarosso. Le prese all'infrarosso, modificato con filtro Kodak *minus bleu*, facilitano l'interpretazione delle essenze legnose; la presa perciò venne orientata verso tale materiale sensibile, senonché la restituzione planoaltimetrica allo stereocartografo risultò molto difficile a causa delle tonalità fotografiche. L'inconveniente venne superato caricando il magazzino, della macchina da presa verticale, con lastre alternate di emulsione pancromatica e infrarossa della stessa sensibilità, mentre l'obbiettivo veniva schermato con filtro *K-12*. Nella « coppia stereoscopica » si avrà in tale maniera una lastra diapositiva del tipo pancromatico e una del tipo infrarosso, la cui fusione ottica

Il restitutore Galileo-Santoni non solo migliora la visione plastica del terreno, ma rende possibile la interpretazione di certi particolari topografici (siepi, diversità di culture, ecc.), che erano difficilmente osservabili nella coppia. Avviopancro, data la leggera diversità tonale dei soggetti su quella di fondo.

Ai fini delle esigenze dendrometriche, e per facilitare lo studio statistico dei rapporti intercorrenti tra le singole parti delle piante, eliminando così al minimo indispensabile i rilievi a terra, lo scrivente ha pensato di ricorrere a prese oblique. Tali prese dovrebbero essere eseguite in modo saltuario, in coppie stereoscopiche, con macchina fotografica a mano, e su tratti di bosco ove esistano radure, in modo da poter intravedere i singoli soggetti arborei dalla base alla cima, e quindi studiarne le proporzioni attraverso la restituzione stereoscopica.

È naturale che gli stereocartografi Galileo-Santoni, creati per speciali esigenze cartografiche, non potessero rispondere in pieno alle necessità delle restituzioni a carattere forestale, sono perciò state studiate dallo stesso Ing. Santoni speciali modifiche meccaniche, tali da potere permettere l'esecuzione di tracciati non solo lungo l'asse della X, ma in qualsiasi direzione convenga fare la sezione del profilo della foresta, in modo da economizzare sensibilmente sul tempo di restituzione e quindi sul costo del lavoro.

Molto, forse troppo, è stato in questa prima prova richiesto a questo magnifico e moderno mezzo di rilievo, e la Società E.I.R.A., cui è spettato il non facile compito di realizzare l'esperimento, ha cercato sempre di rispondere a tutte le esigenze, mettendo a disposizione i tecnici e i materiali. Superate le prime diffidenze ed i primi ostacoli, ci si augura che pure in Italia questo ramo delle applicazioni aerofotogrammetriche trovi continuità di impiego, dando possibilità alle Ditte interessate di affrontare le speciali attrezzature e di preparare i tecnici, in modo da offrire nel rilievo costi unitari più bassi, costi già da per se stessi contenuti in limiti ragionevoli.

Vada, attraverso questa Rivista, un pubblico riconoscimento e ringraziamento, a coloro che, con il loro autorevole appoggio resero possibile l'attuazione dell'esperimento:

Prof. Boaga Giovanni - Direttore Generale del Catasto e SS.TT.EE.

Prof. Paroli Alfredo - Capo del Servizio Aerofotogrammetrico Catastale.

Dott. Sacchi Giulio - Direttore Generale delle Foreste.

Dott. Salbitano Eduardo - V. Direttore dell'Azienda Stato Foreste Demaniali.

Dott. Ing. Camaiti Alberto - Capo Divisione Affari Generali del Corpo delle Foreste.