

IL TELERILEVAMENTO IN PATOLOGIA VEGETALE E NEL CENSIMENTO DEGLI UNGULATI

L. PALLA (a), M. CATALANO (b), S. FOCARDI (c), P. MAGAGNOLI (c), S. MAZZOLA (a), L. PEZONE (a)
e G. CATENA (a)

(a) Laboratorio di Igiene Ambientale, Istituto Superiore di Sanità, Roma

(b) Orto Botanico, Università degli Studi "La Sapienza", Roma

(c) Istituto Nazionale di Biologia della Selvaggina, Ozzano Emilia, Bologna

Riassunto. - *Nell'articolo sono descritte due nuove applicazioni del telerilevamento nella gestione del territorio che utilizzano uno scanner termico: la prima riguarda la patologia vegetale e la seconda il censimento degli ungulati a Castelporziano. La prima tecnica descritta costituisce un miglioramento delle tecniche usuali di indagine sia per la rapidità di esecuzione che per l'assenza di interventi cruenti sulle piante; la seconda permette l'effettuazione dei censimenti anche in zone densamente cespugliate o boscate senza richiedere, come per i censimenti "a vista", molto personale; inoltre dà risultati più affidabili.*

Summary (The remote sensing techniques in plant pathology and for ungulates censusing). - *Two new applications of the remote sensing techniques in the territory management which make use of a thermal scanner, are described here: the first concerned with the vegetal pathology field and the second with the big game censusing the Castelporziano farm. The former constitutes an improvement of the usual techniques either for its quick performance or for being an uncruent intervention on plants, the latter allows to realize censuses also in thickly bushy or woody lands, where the usual methods of counting "at sight", besides to need a large staff are not much reliable.*

Introduzione

Il telerilevamento è un metodo di indagine che viene impiegato per studiare l'ambiente senza che le apparecchiature usate, macchine fotografiche e strumenti speciali quali i sensori, vengano a contatto con l'oggetto investigato.

Gli scanner termici rientrano fra queste apparecchiature; essi sono in grado di rilevare la radiazione infrarossa riflessa o quella direttamente emessa dai corpi e di consentirne la visualizzazione sotto forma di immagini dette termografie.

Vengono qui presentate due nuove applicazioni della termografia per la gestione del territorio: una consente di verificare lo stato di salute dei singoli individui arborei (informazione importante, dato che le piante sono indicatori puntuali dell'inquinamento dell'ambiente in cui vivono), l'altra di determinare il numero di animali che gravitano su un determinato ambiente, dato fondamentale per poterne pianificare la gestione.

Materiali e metodi

Le numerose applicazioni della termografia [1-4] in vari campi quali la medicina preventiva, l'edilizia, l'industria, ecc., sono tutte basate sul fatto che questa tecnica permette di individuare variazioni di distribuzione di temperature superficiali derivanti in genere da disomogeneità strutturali del materiale sottostante e quindi, in definitiva, da differenti valori del suo coefficiente di conduttività. Questo caso si verifica anche quando all'interno degli alberi sono presenti cavità o tessuti cariati originati spesso da processi patologici dei quali sovente ci si accorge quando ormai è troppo tardi per tentare interventi curativi [5, 6].

La termografia si limita solo ad osservare differenze di temperature superficiali senza "toccare" l'oggetto in esame, a differenza di altri procedimenti di indagine quali il succhiello di Pressler, la percussione, il metodo Shigo, ecc., che feriscono la pianta.

L'apparecchiatura impiegata è un sensore all'antimoniuro di indio che opera nella banda 2-5,6 micron; il sistema è a scansione ottico-meccanica con risposta in tempo reale. Possono essere impiegate tre ottiche diverse aventi risoluzione, rispettivamente, di 1,3; 2,5 e 3,5 mrad. Le immagini vengono visualizzate su due monitor: in bianco e nero nel primo, in una variazione continua dal nero al bianco saturo ed in dieci colori diversi nel secondo. Tali immagini vengono poi registrate fotograficamente

con due macchine fotografiche con dorso motorizzato e magazzino da 250 fotogrammi. Il sensore è dotato di una funzione "isoterma", cosiddetta perché consente di visualizzare in bianco saturo tutte le superfici dell'oggetto esplorato che si trovano alla stessa temperatura; il livello di questa viene indicato da un apposito segnale sulle scale di fondo immagine. Altra prerogativa dell'apparecchiatura è di consentire la scelta - mediante la funzione "sensibilità" - dell'intervallo di temperatura in cui operare, con un apprezzamento fino a 0,1 °C.

Parte sperimentale

Quando una cavità od una qualsiasi carenza strutturale del tessuto delle piante provoca una differenza di temperatura superficiale del tronco o di una grossa branca, questa si differenzierà sullo schermo facendo apparire più chiara o più scura la zona che è, rispettivamente, più calda o più fredda della rimanente superficie. Se necessario, tale rappresentazione può essere invertita consentendo di vedere più chiare le zone più fredde e più scure quelle più calde. Sullo schermo a colori le diverse zone termiche sono ben delimitate in quanto quivi non si ha una variazione continua come nel caso della scala del grigio.

L'ideale per una buona ripresa termovisiva sarebbe poterla effettuare dopo un ragionevole periodo d'insolazione tale da creare un gradiente termico fra la superficie esposta e quella in ombra, dalla parte della quale vanno effettuate le riprese. Si è tuttavia trovato che in taluni alberi in cui sono state poi riscontrate cavità, anche in assenza di sole o addirittura di notte, è stato possibile rilevare zone di superficie differenziate termicamente da quelle circostanti. L'indagine deve essere molto accurata e le conclusioni vanno tratte con molta cautela in quanto parecchie sono le cause che possono indurre in errore, ad esempio: una zona di superficie arborea lambita in precedenza da un raggio di sole, macchie di umidità, decorticazioni, l'ombra portata di qualche foglia, il tipo di corteccia, ecc.

Le foto che seguono documentano due interventi eseguiti uno su un taglio di un viale all'interno di uno stabilimento romano, l'altro su un platano all'interno di una tenuta nei pressi di Roma. In Fig. 1, le due foto in bianco e nero sono la ricostruzione termografica della parte medio bassa del tronco del taglio. Come si vede, nella parte centrale vi è una zona più scura corrispondente ad una variazione nella temperatura superficiale, segno della presenza di una vasta cavità; poiché la pianta poteva rappresentare un pericolo, ne è stato deciso l'abbattimento. Il successivo sezionamento del tronco (Fig. 2) ha portato alla luce una consistente cavità coassiale ad esso estesa dal pedale fino all'imbrancatura dell'albero, proprio in corrispondenza della zona centrale più scura riscontrata termograficamente.

Passando al secondo caso, la foto di Fig. 3 è la termografia del platano sopra citato nella sua parte medio alta; come si vede, la zona distale del tronco e l'inizio dell'im-

brancatura sono interessate da una porzione di superficie nettamente più scura corrispondente cioè ad una zona più fredda di quella circostante; l'esame diretto (Fig. 4), eseguito anche con l'ausilio di specilli metallici, ha evidenziato la presenza di una grossa cavità che si riempie d'acqua

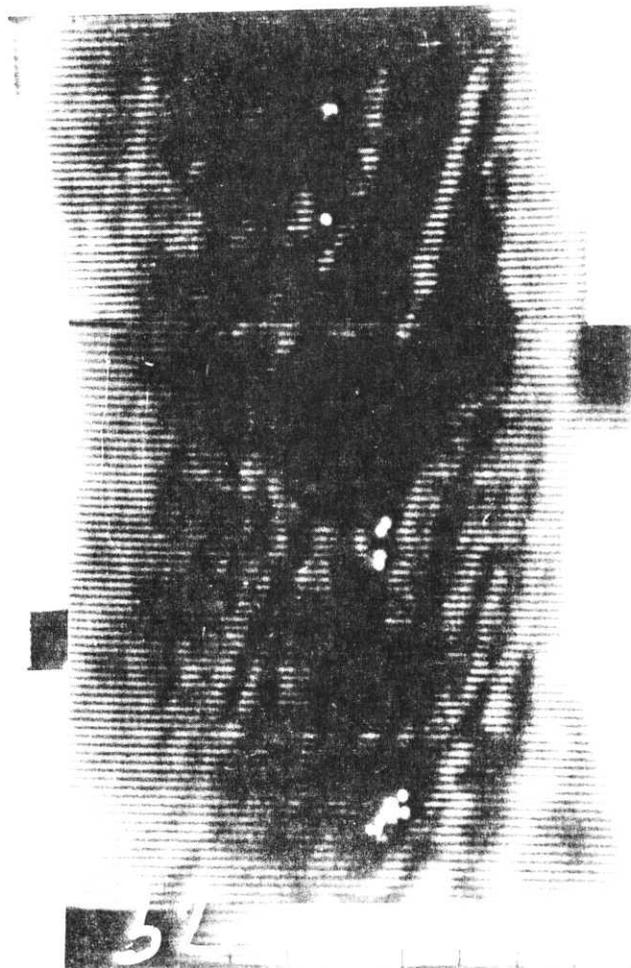


Fig. 1. - Le termografie di uno dei platani all'interno di uno stabilimento romano, che riprendono la zona medio bassa del tronco, evidenziano una discontinuità termica nella parte centrale di questo (zona più scura), indice della presenza di una cavità coassiale al tronco, estesa dal pedale fino all'imbrancatura della pianta.

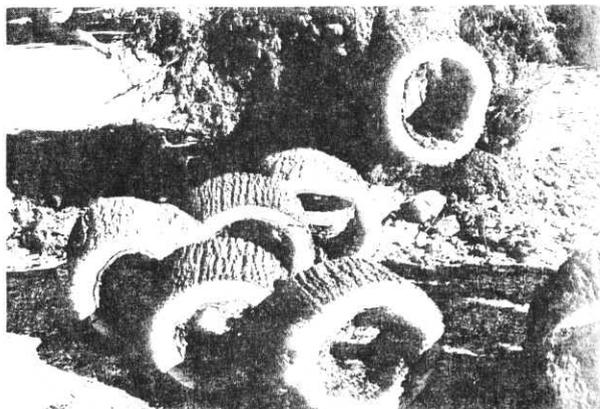


Fig. 2. - La pianta di Fig. 1: il suo sezionamento ha dimostrato l'esattezza dell'indagine termografica.

in caso di pioggia ed il cui drenaggio avviene attraverso il foro che in Fig. 4 appare nella parte centrale del tronco alla sommità di una striscia di umidità.

Da quanto esposto appare che l'esame termografico, accuratamente eseguito, risulta essere un valido strumento di indagine che permette di individuare cavità originate da processi patologici all'interno degli alberi. Previa adozione di tutte le dovute cautele operative, esso si caratterizza per sicurezza, rapidità di esecuzione e precisione dei risultati ed anche per il fatto che, come detto, viene eseguito a distanza, senza cioè "toccare" l'oggetto in esame [7-9]. La possibilità di poter registrare su foto a sviluppo istantaneo le termografie, può servire per far eseguire quegli interventi immediati ritenuti necessari e fornisce al tempo stesso un'utile documentazione per confronti con successive diagnosi termografiche eseguite sullo stesso soggetto.

L'altra nuova applicazione del telerilevamento è l'impiego del già descritto scanner termico per il censimento aereo di ungulati domestici e selvatici: il metodo è stato inizialmente sviluppato da Croon [10], da Graves *et al.* [11] e da Guiraud *et al.* [12]; questi studi hanno dimostrato che si possono ottenere buoni risultati, sia a livello qualitativo sia quantitativo, in presenza di un "buon" contrasto termico fra animali e background, come si verifica, ad esempio, nel caso di terreni innevati e con animali di grossa taglia (ad es. bisonti).



Fig. 3. - Termografia di un platano (all'interno di una tenuta nei pressi di Roma) che mostra una netta zona scura (fredda) che interessa la sommità del tronco e parte dell'imbrancatura ed è dovuta alla presenza di una cavità in cui si infila acqua piovana.

Il presente lavoro è stato sviluppato per provare se e con quale precisione sia possibile realizzare il censimento aereo di ungulati selvatici con scanner termico anche in condizioni di ridotto contrasto fra suolo ed animali: situazione tipica delle foreste xerofile di ambiente mediterraneo.

La zona prescelta per questo studio di fattibilità è stata un'area di circa 200 ha all'interno della Tenuta Presidenziale di Castelporziano nei pressi di Roma, caratterizzata ecologicamente da un bosco rado di querce sempreverdi (in prevalenza *Quercus suber*), inframezzato a praterie cespugliate con notevoli presenze di biancospino e pero selvatico. Quest'area di studio è stata scelta perché la popolazione di ungulati presenti (in grande maggioranza daini, *Cervus dama*) è soggetta a periodici censimenti di tipo convenzionale i cui risultati possono essere utilizzati per confrontarli con quelli ottenuti dal censimento aereo [10-14].

La programmazione delle osservazioni ha dovuto tener conto di una serie di fattori limitanti relativi sia alle apparecchiature utilizzate sia alla biologia della specie studiata. Un corretto campionamento deve infatti massimiz-

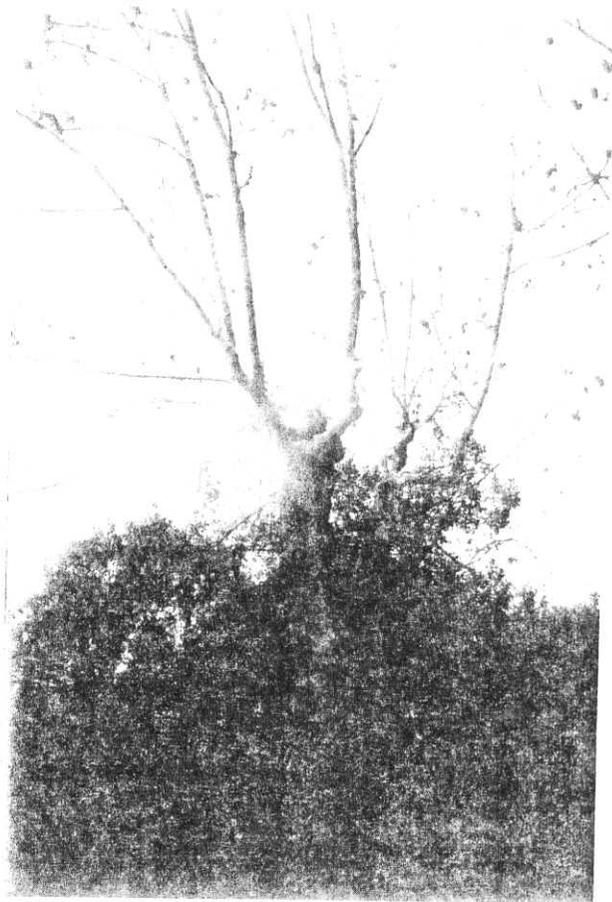


Fig. 4. - Foto nel visibile dell'albero di Fig. 3; si nota nella parte centrale medio bassa del tronco, un foro d'uscita e la striscia di umidità lasciata dall'acqua che drena dalla cavità denunciata dalla termografia. La presenza e l'entità della cavità sono state verificate con specilli metallici attraverso i fori d'entrata dell'acqua piovana.

zare il numero degli animali osservabili in aree aperte anche sfruttando la massima risoluzione ottenibile dall'apparecchiatura disponibile. Nel caso di studio è stata sfruttata una peculiarità della biologia trofica della specie studiata la quale nel periodo del censimento (autunno) utilizza di preferenza le pasture aperte; in particolare gli animali si alimentano in tali zone durante la notte, mentre all'alba i branchi si spostano in aree fortemente boscate dove l'osservazione è impossibile. D'altra parte il raffreddamento del terreno per irradiazione è massimo nell'ultima parte della notte e risulta particolarmente accentuato in condizioni di cielo sereno. Sulla base di tali considerazioni, l'ora di osservazione è stata fissata nell'intervallo orario 4:30-6:00 del mattino.

Un secondo punto di rilievo nella pianificazione delle osservazioni ha riguardato la quota di volo in relazione alle ottiche disponibili ed in funzione della taglia media degli animali da censire in quanto questi parametri determinano le dimensioni del campo di ripresa ($fov = \text{field of view}$) e dell'elemento di risoluzione al suolo ($ifov = \text{instantaneous field of view}$). Alcune prove preliminari hanno dimostrato che a quote inferiori ai 150 m si producono drastiche modificazioni nel comportamento degli animali, mentre quote superiori ai 400 m non consentono risoluzioni accettabili [11, 12]. La termografia presentata in Fig. 5 rappresenta una delle riprese preliminari effettuata alle ore 5:30 a.m. del 19 ottobre 1987 da bordo di un elicottero AB 204 dell'Aviazione Leggera dell'Esercito, da una quota nominale di 350 m, impiegando la lente $10^\circ \times 10^\circ$ (teleobiettivo).

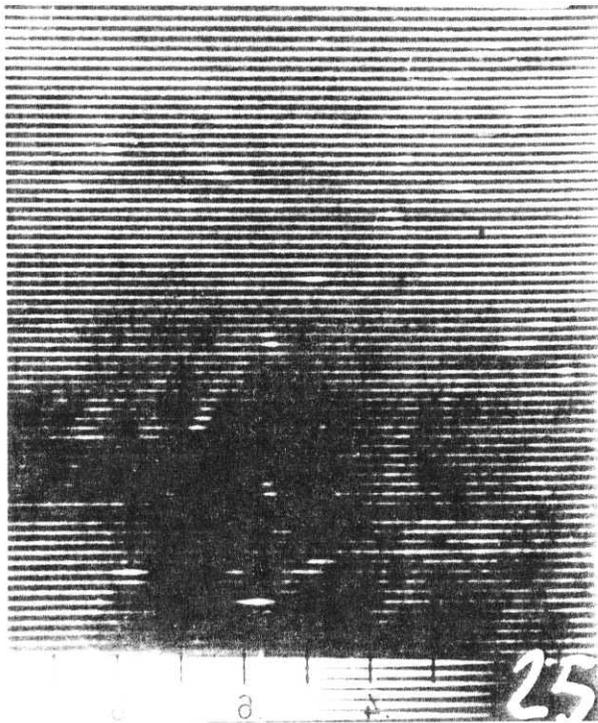


Fig. 5. - Uno dei termogrammi impiegati per la ricostruzione o "mappatura" della zona censita. Sullo sfondo scuro del terreno, l'immagine termica dei daini è data dalle nette macchie bianche che, confrontate con le scale di fondo immagine, permettono di valutare la differenza di temperatura fra queste ed il background. Le macchie scure, nella parte bassa del termogramma, sono dovute a cespugli bassi e a pinastri.

Sulla base di queste prove preliminari si è optato per una quota di volo di 350 m (nominali) impiegando la lente $10^\circ \times 10^\circ$ realizzando un fov di circa 62 m ed un ifov di 45 cm circa. Dato che la quota operativa risulta essere relativamente bassa, la pianificazione del volo è stata effettuata con lo scopo di ridurre al massimo il disturbo agli animali e di evitare doppi conteggi dei branchi.

Lo schema utilizzato è riportato in Fig. 6 ed è stato realizzato in pratica sulla base di riferimenti luminosi a terra che venivano spostati, lungo i lati AD e BC, di 52 m ad ogni passaggio, in modo da ottenere delle "strisciate" con una ricopertura laterale di circa il 16%; la ricopertura in "avanzamento" è di circa il 60% ed è stata realizzata fotografando l'immagine osservata direttamente sul monitor. Lo schema di volo, vagamente a "spirale schiacciata" che è stato realizzato e che viene schematizzato in Fig. 6, consente di non passare sopra gli animali che devono ancora essere censiti e riduce il rischio di provocare spostamenti nei branchi. Un'analisi qualitativa delle immagini ottenute - simili a quelle di Fig. 5 che richiedono poi un paziente lavoro di montaggio in sequenza - dimostra che si possono ottenere risultati sufficientemente buoni: gli animali risultano relativamente ben visibili anche in presenza di arbusti (che invece riducono fortemente l'efficienza dei censimenti fatti da terra). D'altra parte, un test di confronto effettuato durante il periodo riproduttivo del daino (ottobre '88), quando gli animali frequentano le zone aperte anche di giorno, dimostra che il loro mantello mimetico riduce notevolmente l'efficacia dell'osservazione aerea classica, mentre non influenza la capacità di discriminazione dello scanner.

I dati quantitativi ottenuti dal conteggio aereo sono stati di 47 daini contro un valore ottenuto dal censimento convenzionale di 61 animali effettuato a terra su apposite altane dai ricercatori dell'Istituto Nazionale di Biologia della Selvaggina.

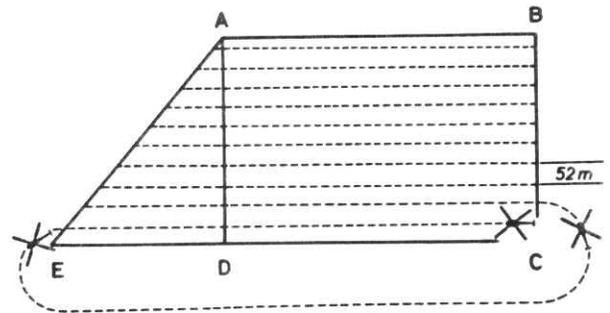


Fig. 6. - Rappresentazione schematica dell'andamento delle "strisciate": queste, con una ricopertura laterale di circa il 20% ed una in avanzamento di circa il 60%, corrono parallele ad una strada (lato EC) ed hanno tutte inizio dal lato BC della zona prescelta per l'indagine (rettangolo ABCD). Per evitare disturbo agli animali, l'elicottero "torna a capo" dopo ogni strisciata girando all'esterno della zona suddetta e percorrendo così nel complesso una specie di spirale schiacciata. Gli allineamenti sono stati realizzati con segnalazioni luminose da terra con attestamenti su una strada (lato AE) e sull'argine di un canale (lato BC).

I dati ottenuti dalle prove effettuate finora consentono le seguenti considerazioni: a) il metodo di censimento termografico per via aerea può essere effettuato anche in presenza di non elevati gradienti termici animali-background; b) la scelta del periodo del censimento, da effettuarsi sulla base della biologia di ciascuna specie e delle caratteristiche tecniche dell'apparecchiatura, è critica nel determinare il successo del censimento; c) la tecnica di sorvolo messa a punto, si è rivelata particolarmente efficace sia dal punto di vista del ridotto disturbo agli animali sia della precisione con cui il piano di volo è stato eseguito; d) i risultati qualitativi e quantitativi ottenuti sono incoraggianti ed inducono ad un ulteriore miglioramento del metodo soprattutto in considerazione delle potenzialità intrinseche dello stesso. Infatti il metodo può consentire il censimento di vaste aree con scarso impiego di personale. Deve essere notato infatti che il numero delle persone utilizzate nei censimenti da terra è proporzionale alla superficie censita, mentre nel caso di censimenti aerei il numero di persone impiegate in volo ed a terra non cambia

sostanzialmente al variare della superficie censita. Questo fatto rende particolarmente interessante il metodo di censimento proposto, in particolar modo per lo studio della situazione faunistica dell'Italia meridionale e di molti altri paesi dell'area mediterranea, dove la carente organizzazione per lo studio della fauna non permette l'effettuazione di adeguati censimenti convenzionali.

La disponibilità di un metodo che, sia pure con imprecisioni, consente una rapida effettuazione dei censimenti è estremamente importante per un miglioramento della gestione delle popolazioni di ungulati selvatici. Il metodo può inoltre essere utilmente impiegato, con maggior precisione, per il censimento di ungulati domestici in condizione di allevamento brado, soprattutto per valutare l'intensità dell'impatto di quest'attività economica sulle formazioni forestali.

Ricevuto il 31 gennaio 1989.
Accettato il 19 marzo 1990.

BIBLIOGRAFIA

1. DE CAROLIS, C., BALDI, G., GALLI DE PARATESI, S. & LECHI, G.M. 1974. Thermal behaviour of some rice fields affected by a yellow-type disease. In: *Proceedings of the 9th International Symposium on Remote Sensing of Environment*. Ann Arbor, Michigan. pp. 1161-1170.
2. SAYERS, C.M. 1974. Detectability of defects by thermal non destructive testing. *Br. J. Non-Destr. Test.* 1: 7-13.
3. BRUNNER, S. 1984. *Early detection of breast cancer*. Springer, Berlin.
4. CATENA, G., PALLA, L. & DI GRAZIA, B. 1978. La città all'infrarosso. In: *L'ecosistema urbano*. M. Nicoletti (Ed.). Dedalo Libri, Bari. pp. 333-339.
5. CATALANO, M., CATENA, G. & PALLA, L. 1986. L'impiego dell'infrarosso per l'individuazione di alcuni fenomeni morbosi negli alberi. *Agricoltura Ricerca* 59: 7-16.
6. CATENA, G. & PALLA, L. 1988. La verifica fitosanitaria da terra mediante l'infrarosso termico. In: *Atti del Convegno Metodiche operative del restauro conservativo di parchi e giardini storici*. Padova, 19 settembre 1987. F. Maniero (Ed.). L'Informatore Agrario, Verona. pp. 23-8.
7. CATALANO, M., CATENA, G. & PALLA, L. 1987. Fotografia all'infrarosso e termografia nella patologia vegetale. *Genio Rurale* 2: 45-9.
8. PALLA, L., VERGARI, B., CATALANO, M., MAZZOLA, S. & CATENA, G. 1988. Check-up del verde. *Verde Ambiente* 5: 78-87.
9. CATALANO, M., CATENA, G. & PALLA, L. Thermal infrared detection of plant cavities. *Eur. J. For. Pathol.* (in corso di stampa)
10. CROON, G.W., McCULLOUGH, D.R., OLSON, C.E. & QUEAL, L.M. 1968. Infrared scanning techniques for big game censusing. *J. Wildl. Manage.* 32: 751-759.
11. GRAVES, H.B., BELLIS, E.D. & KNUTH, W.M. 1972. Censusing white-tailed deer by airborne thermal infrared imagery. *J. Wildl. Manage.* 36: 875-884.
12. GUIRAUD, C. 1985. Application de la thermographie aérienne au dénombrement des grands cervidés. In: *Proceedings of the XVIII Congress of IUGB*. Brussels, 17-21 settembre, 1985. pp. 877-884.
13. CARNEGIE, D.M., SCHRUMPF, D.J. & MOUAT, D.A. 1983. Rangeland applications. In: *Manual of Remote Sensing*. 2. ed. R.N. Colwell (Ed.). American Society of Photogrammetry, Falls Church. pp. 2369-2370.
14. FOCARDI, S., CATENA, G., MAGAGNOLI, P., PALLA, L. & MAZZOLA, S. 1988. Studio di fattibilità del rilevamento aereo con l'impiego di uno scanner termico per il censimento di ungulati. In: *Atti del I. Convegno Nazionale dei Biologi della Selvaggina*. Bologna, 27-30 gennaio 1988. Istituto Nazionale di Biologia della Selvaggina "Alessandro Chigi", Bologna. Vol. 14.