

AGRICOLTURA RICERCA

anno XXIV - numero 189 - bimestrale settembre/ottobre 2002

POSTE ITALIANE - Spedizione in A.P. TABELLA D - Autorizzazione DCO/DC CZ/256/2002 Valida dal 05/07/02
ISSN 0392 - 5609



English Version Attached

n. 189

La Termografia rivela la presenza di danni anche nell'apparato radicale degli alberi

A. Catena*, G. Catena**, D. Lugaresi*** e R. Gasperoni****

*Dottore forestale, libero professionista, Specialista di Termografia

**Unità di Telerilevamento - Istituto Superiore di Sanità, Roma

***Agri2000 Scrl - Dipartimento Ambiente e Verde Urbano, Bologna

Uno dei maggiori problemi nella gestione delle piante si incontra quando esemplari appartenenti ad alberate che, a vista, non mostrano sintomi di danno, sono in buone condizioni vegetative e spesso non presentano carpofori o segni di attacchi fungini, si schiantano improvvisamente per cedimenti a livello radicale. Oltre allo scavo del terreno per esaminare le radici portanti o all'uso di sonde, nella speranza di individuare una cavità, del tessuto danneggiato o la presenza di micelio, al momento non esistono metodi specifici per l'esame dell'apparato radicale.

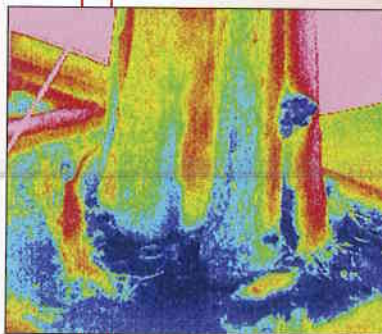
Già in passato la Termografia aveva rivelato la presenza di danni nell'apparato radicale di alcuni alberi (poi abbattuti) ma soltanto di recente questa potenzialità è stata sfruttata, di proposito ed estesamente, nel corso di una indagine termografica eseguita, su richiesta della ditta Agri2000 di Bologna, per valutare lo stato di una alberata di bagolari (*Celtis australis* L.) in buone condizioni vegetative, di cui un esemplare si era improvvisamente inclinato di 45° verso la sede stradale. Le immagini termiche hanno rivelato la presenza di numerose piante, esteriormente sane, che mostravano danni interni soltanto nella zona del colletto mentre il resto del tronco appariva integro. In base all'esperienza pregressa si è dedotta la presenza di danni all'apparato radicale, la cui esistenza è stata verificata mediante la scarificazione della formella e l'impiego di un dendrodensimetro. Le risultanze delle indagini hanno fatto sì

One of the major problems of tree management occurs when urban trees, that at sight seem in good vegetative condition and often don't show any signs of decay or mushrooms, suddenly fall down for collapse at root level.

At present, no specific methods exist to investigate the root system; the only possibilities consist in digging the soil in order to unearth and examine

the root systems, or using probes in an attempt to find cavities, tree decay or mycelium.

In the past, Thermography revealed decay in the root system of some trees (felled after investigation), but only recently has this potential been purposely and extensively used, in a thermo-



graphic study, requested by Agri2000 (Bologna, Italy), to evaluate the status of a row of nettle-trees (*Celtis australis* L.), in good vegetative conditions. One of these specimens, in fact, had suddenly inclined by 45° towards the centre of the road.

Thermal images showed that many trees presented internal decay at the collar while the trunk was undamaged. On the basis of previous experience the presence of damage in the root system has been deduced and verified by scarifying the soil around the tree and utilising a dendrodensitometer. On

Gli Autori hanno contribuito all'articolo in relazione alle loro competenze specifiche.

In particolare, nell'indagine sui bagolari di Bologna, la Dr.ssa Alessandra Catena, esperta di Termografia e di valutazione della stabilità degli alberi con il VTA si è occupata, con il Dr. Giorgio Catena, della sola indagine termografica mentre il Dr. Lugaresi e il Dr. Gasperoni, esperti di valutazione della stabilità degli alberi con il VTA, si sono dedicati alla sola applicazione di tale metodo con gli strumenti di indagine tradizionali.

L'indagine sulle piante di Trieste è stata eseguita dagli Autori con le stesse distribuzioni di competenze citate; ad essa ha preso parte anche l'agrotecnico Andrea Biro Zoltan, della ditta L'Idea verde di Trieste, che ha curato l'abbattimento degli esemplari selezionati.

Le indagini sui tigli e sui cipressi di Roma sono state eseguite soltanto da A. e G. Catena; quest'ultimo ha eseguito l'indagine sul leccio.

che fosse prescritto l'abbattimento di un primo lotto di 13 esemplari ed il controllo nel tempo, a cadenze regolari, di quelli restanti. L'esame delle ceppaie ha mostrato la piena rispondenza tra quanto rilevato dalla Termografia e quanto trovato nella realtà.

Vengono poi mostrate le immagini relative ad alcune delle vecchie indagini sugli apparati radicali, da cui è possibile rilevare l'efficacia della tecnica anche con strumenti meno sofisticati di quelli attualmente disponibili. Vengono altresì presentate delle immagini che mostrano la precisione e la sensibilità dell'indagine termografica che è in grado di individuare alterazioni allo stato iniziale, come è stato poi verificato con gli usuali sistemi invasivi.

the basis of the results obtained 13 trees were felled and regular follow-ups of the remaining ones were recommended.

The exam of the stumps totally coincides with the results of the thermographic findings.

Some images, from previous investigations on the root system are shown. They indicate the efficiency of this technique even with less updated apparatus than the ones presently available.

Other images are shown with a view of demonstrating the accuracy and sensitivity of the thermographic analysis which can spot initial damage, to be later confirmed with the usual invasive methods.

Introduzione

Gli esperti della gestione del verde sanno bene che piante apparentemente in buone condizioni vegetative, senza segni visibili di danni, possono crollare improvvisamente anche in condizioni meteorologiche normali. L'esame delle ceppaie rivela sovente la presenza di un ridotto apparato radicale o di gravi danni nei tessuti ipogei, con marciumi ed estese cavità.

Nelle indagini relative alla stabilità degli alberi rimane di difficile valutazione l'integrità degli apparati radicali e la loro funzionalità riguardo all'ancoraggio al suolo. Gli alberi in città, soprattutto quelli facenti parte delle alberature stradali, sono spesso oggetto di ripetuti danneggiamenti all'apparato radicale a causa di scavi (per la posa di linee per servizi tecnologici, condotte fognarie o per la distribuzione di gas, acqua, ecc.) o di lavori di ripristino della pavimentazione e dei marciapiedi. In tutti questi casi, molto spesso non si tiene conto dei danni che si possono arrecare alle radici degli alberi se non vengono rispettate distanze di sicurezza dal colletto delle piante ma si privilegia la minore spesa di esecuzione dei lavori o il minore impatto sul traffico veicolare. Le conseguenze di tali azioni si ripercuotono direttamente sulla stabilità degli alberi

interessati attraverso un danno più o meno consistente e più o meno immediato all'apparato radicale. In alcuni casi, la stabilità dell'albero può essere direttamente compromessa per il taglio delle principali radici con funzione statica. Nella maggior parte dei casi, invece, vengono inferte alle radici numerose ferite più o meno gravi, che rappresentano comunque una via di accesso privilegiata per i patogeni fungini; questi si possono insediare nei tessuti radicali con la conseguente loro alterazione nel tempo.

I danni che si sviluppano così a carico degli apparati radicali sono difficilmente rilevabili in quanto, spesso, non vi sono sintomi esterni evidenti; solo in alcuni casi si sviluppano al colletto dei car-

pofori che denunciano la presenza di tessuto alterato, che può interessare gli apparati ipogei della pianta. La conoscenza dello stato sanitario degli apparati radicali delle piante è, invece, di fondamentale importanza per chi deve garantire l'incolumità dei cittadini e la stabilità delle alberate.

Al momento attuale non esistono strumenti o metodologie (1) in grado di rilevare eventuali alterazioni presenti all'apparato radicale, senza effettuare uno scavo per scoprire le principali radici ma una indagine visiva diretta delle radici nelle alberature stradali è spesso molto difficile, se non impossibile, a causa della presenza di pavimentazioni, cordoli o asfalto.

L'impiego della Termografia,



però, già in passato aveva fatto desumere la presenza di danni radicali in piante ove erano visibili carpofori appartenenti a vari generi e/o danni importanti sul tronco e/o sulle branche (A. Catena, 2000; G. Catena, 1997; G. Catena *et al.*, 1989).

L'esperienza pregressa (G. Catena e A. Catena, 2000; A. Catena, 2002a), di cui nel seguito vengono presentati alcuni esempi, ha fatto impiegare la tecnica termografica lungo un'alberata cittadina di bagolari (*Celtis australis* L.), sita in Via Marzabotto a Bologna, in buone condizioni vegetative, di cui, il 4 maggio 2002, un esemplare si è improvvisamente inclinato di 45° verso la sede stradale nel corso di una giornata di vento ed è stato quindi abbattuto con urgenza. La foto di figura 1, ripresa il giorno dopo l'evento, mostra lo stato della ceppaia con una vasta zona centrale interessata dalla carie.

L'albero inclinosi era di medie dimensioni (diametro del fusto 47 cm ed altezza di circa 16-18 m), simili a quelle degli altri esemplari presenti. All'esame visivo, nel corso dell'indagine eseguita in passato sull'intera alberata, l'albero non aveva mostrato particolari sintomi esterni a parte una lieve inclinazione del fusto, dovuta anche alla vicinanza di un alto edificio e il leggero sollevamento del terreno e della pavimentazione, prodotto dall'azione dell'apparato radicale superficiale, comportamento tipico della specie.

Subito dopo l'abbattimento, con il dendrodensimetro Resi B400 è stata effettuata un'indagine strumentale sulla ceppaia per individuare le cause della improvvisa inclinazione dell'albero. Tale verifica ha riscontrato una zona interna di legno alterato ma con valori di t/R (parete residua/raggio dell'albero) sufficienti: 0,37-0,54-0,68-1,00. Questi valori non permette-



vano di giudicare instabile l'albero: infatti l'inclinazione della pianta è avvenuta per un cedimento non a livello del colletto ma dell'apparato radicale. Una diagnosi di instabilità sarebbe potuta scaturire solo da una verifica diretta dei tessuti ipogei, indagine che però non era ragionevole effettuare vista la scarsa entità dei sintomi esterni.

Data la presenza di danni all'apparato radicale della pianta abbattuta, senza alcuna sintomatologia esterna, l'alberata è stata oggetto di una indagine termografica eseguita su quasi tutti gli esemplari presenti, il cui buono stato vegetativo è rilevabile dalla foto di figura 2 (in primo piano si vede il termografo utilizzato e uno degli Autori). L'indagine ha permesso di individuare numerose situazioni anomale, verificate con l'impiego di un dendrodensimetro. Questo è stato utilizzato anche e soprattutto al di sotto del livello del terreno ed in posizione inclinata, dato che le misure eseguite con lo strumento tenuto orizzontale anche a soli pochi centimetri sopra terra, quasi mai confermarono la presenza dei tessuti alterati individuati dalla Termografia. Per

far arrivare la sonda nei tessuti più profondi è stato effettuato uno scavo, per alcuni centimetri, vicino al colletto degli esemplari verificati.

La Termografia, al pari degli altri sistemi di indagine attualmente in uso, non è in grado di rilevare direttamente lo stato dei tessuti dell'apparato radicale in quanto non può "vedere" attraverso il terreno che lo ricopre. Essa, però, permette di desumere la presenza di un danno radicale rilevando anomalie termiche nei tessuti della zona del colletto. Infatti un danno nei tessuti, riducendo o interrompendo in quel punto i flussi di linfa e di sostanze organiche da e per la chioma, comporta una minore attività fisiologica in quelli circostanti per cui la Termografia, mettendo in luce questa minore attività, fa arguire la presenza di danni. Se, ad esempio, in una pianta esteriormente sana la Termografia rileva l'alterazione dei tessuti solo a livello del colletto e non lungo il tronco, è logico desumere la presenza di un danno radicale. L'innegabile vantaggio di questa tecnica, nei confronti degli strumenti invasivi e di quel-

li basati sull'impiego delle onde sonore, è che le informazioni fornite non sono relative al punto ed alla sola quota di applicazione, come avviene per gli strumenti citati, ma riguardano ampie zone dell'esemplare controllato.

Si è pertanto proceduto ad esaminare gran parte delle piante presenti, contrassegnando con l'apposito gesso i punti ove poi usare il dendrodensimetro, stante la maggiore rapidità di esecuzione e la non invasività della Termografia che avrebbe evitato un inutile danno alle piante, se queste fossero risultate sane. Sia Shigo (1991) che Moore (1998), infatti, hanno documentato l'esistenza di danni nei tessuti in seguito all'uso di dendrodensimetri, succhielli di Pressler e penetrometri già dopo alcuni mesi dal loro impiego mentre il martello ad impulsi causa, in effetti, danni lievi (W. Moore, comunicazione privata). È pertanto quanto mai opportuna l'osservazione di Mattheck che consiglia, nell'esecuzione dell'indagine strumentale, di iniziare con l'apparecchiatura meno invasiva proprio per non danneggiare inutilmente un albero sano (Mattheck, 1995). In tal modo si minimizza anche il pericolo di diffondere eventuali patologie presenti.

La Termografia

La Termografia è un sistema di indagine veramente non invasivo che, rilevando a distanza differenze di temperatura superficiale sui corpi in esame, mette in luce l'esistenza di discontinuità presenti nel loro interno. Nel caso degli alberi, la discontinuità nei tessuti interni, dovuta a una cavità o alla presenza di tessuti deperenti, provoca una variazione nelle proprietà termiche dei tessuti in-

teressati rispetto a quelli vicini rimasti integri. Sulla superficie dell'albero, in corrispondenza delle due zone si ha quindi una differente temperatura superficiale: la parte dove esiste il danno o l'alterazione, nella maggior parte dei casi, risulta più fredda.

La differenza di temperatura esistente viene rilevata mediante una telecamera sensibile alla radiazione infrarossa (IR), emessa dal corpo in esame a causa del suo contenuto termico (2) e visualizzata in tempo reale sullo schermo dello strumento; si ottiene così una vera e propria "mappa termica", in bianco e nero o in una serie di scale colore prefissate, che consente di individuare e delimitare l'estensione di un eventuale danno presente. Nelle normali immagini in bianco e nero, la presenza del danno è evidenziata da una zona resa in una tonalità di grigio più scura di quella delle zone sane circostanti (la successione delle temperature è infatti dal nero - freddo, al bianco - caldo) mentre nelle immagini a colori è resa in un colore differente da quello delle zone sane circostanti.

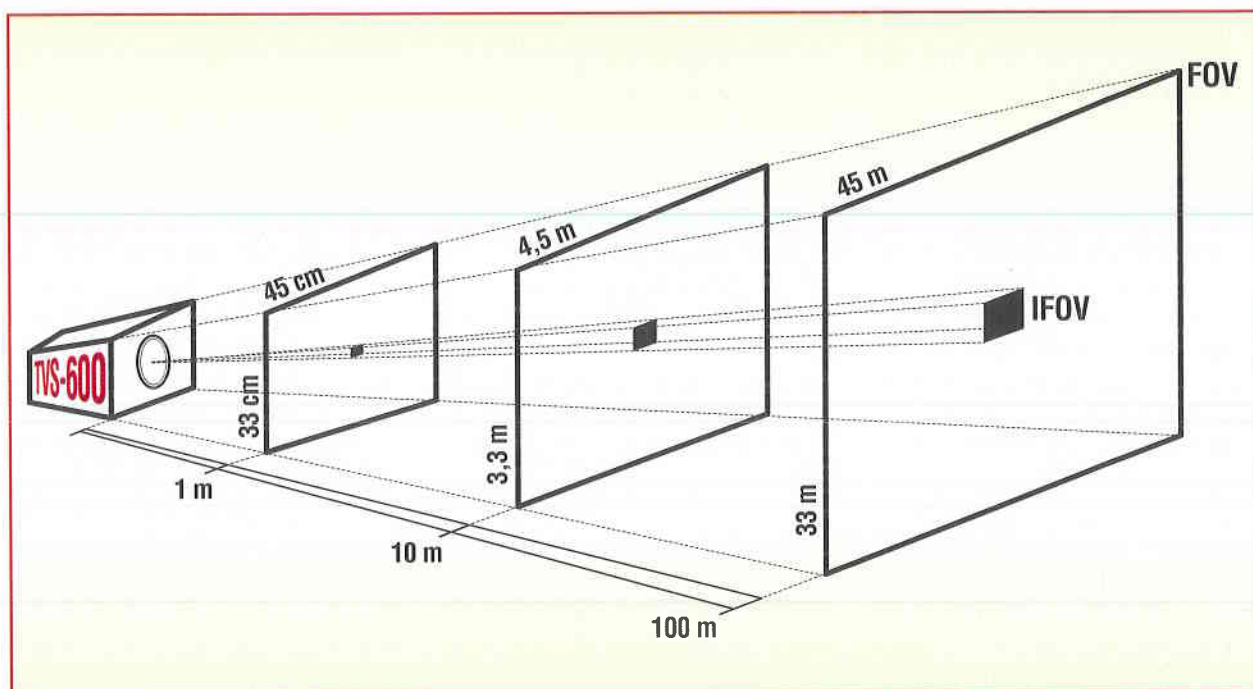
Le apparecchiature usate nelle indagini

Lo strumento attualmente utilizzato per la Termografia è una telecamera IR AVIO TVS 610, sensibile nell'intervallo di lunghezza d'onda 8-14 μm . Il sensore, che non deve essere raffreddato, è costituito da una matrice piana bidimensionale (focal plane array - FPA) di 320x240 microbolometri. Lo strumento può anche misurare la temperatura superficiale dei corpi esaminati ed ha una sensibilità termica di 0,1 °C e una risoluzione geometrica di 1,4 mrad. Questo significa che esso è in

grado di distinguere due oggetti aventi una differenza di temperatura superficiale maggiore o uguale a 0,1 °C e, a 10 m di distanza, di separare oggetti aventi dimensioni maggiori di 1,4 cm x 1,4 cm. La figura 3 mostra come varia, in funzione della distanza, la risoluzione geometrica del sistema (Instantaneous Field of View - IFOV) e il campo ripreso (Field of View - FOV).

L'immagine del corpo esaminato si forma in tempo reale (1/30 s) sullo schermo a cristalli liquidi da 5" dell'apparecchio: questo, che inclusi schermo, lenti e batteria pesa meno di 3 kg è veramente portatile. Una singola batteria, del tipo di quelle usate nelle comuni telecamere portatili, a seconda del modello garantisce un'autonomia fino a 4 ore. Per l'impiego dell'apparecchiatura occorre un solo operatore; il sistema è in grado di esaminare da terra anche le parti aeree delle piante, fino a 20-25 m di distanza. A distanze maggiori c'è il pericolo di non rilevare danni allo stato iniziale sia per il diminuito potere risolutivo (Fig. 3) che per le ridotte dimensioni, sullo schermo, della parte esaminata; in caso di necessità può essere vantaggiosamente impiegato un teleobiettivo.

Le immagini (termografie o termogrammi) possono essere memorizzate su una scheda Compact Flash (una da 16 Mb ne può contenere anche 80) da cui possono essere scaricate direttamente su PC, per la successiva elaborazione con i programmi proprietari della serie PE. Questi consentono di trasformare i file proprietari .iri in file .jpg, .bmp o .avi, che possono quindi essere importati in qualsiasi programma di elaborazione di testi e di immagini. I programmi PE consentono anche di preparare e stampare dei rapporti conte-



nenti immagini termiche e fotografiche, testi e tabelle.

I termografi usati in passato erano costituiti da una telecamera contenente l'elemento sensibile – in genere InSb (Antimoniuro di Indio), il sistema di raffreddamento (azoto liquido, pompa Stirling, ecc.) ed il sistema di scansione mentre una unità di comando, separata, conteneva anche il monitor, dapprima in bianco e nero e poi anche a colori. Il potere risolutivo e la sensibilità termica erano simili a quelli delle apparecchiature odierne; il grande svantaggio, oltre al peso ed all'ingombro notevoli, consisteva nell'impossibilità di registrare le immagini che, nei modelli più vecchi, dovevano essere fotografate direttamente sugli schermi. Con il passaggio dall'analogico al digitale si ottennero la miniaturizzazione dei componenti, con la drastica riduzione di pesi ed ingombri e la possibilità di registrare su supporto magnetico le immagini, che potevano così essere elaborate al computer.

Per le verifiche di quanto evidenziato dalla Termografia, è stato impiegato un dendrodensimetro IML RESI B400, dotato di una sottile sonda di acciaio che può penetrare all'interno dell'albero per 40 cm. La sonda è mossa da due motori elettrici, alimentati da una batteria esterna. Un primo motore fa ruotare la sonda a un numero di giri costante mentre il secondo la fa avanzare a velocità costante. Un elaboratore, anch'esso esterno, registra su modulo continuo, graduato in centimetri, la potenza impiegata dai due motori per vincere la resistenza opposta dai tessuti all'avanzamento della sonda. Si ottiene così un grafico, in scala 1:1, da cui è possibile rilevare l'eventuale presenza di tessuti alterati o di cavità e la loro distanza dalla superficie. Mentre nel caso di tessuti sani la resistenza o rimane costante o aumenta con continuità all'avanzare della sonda, in relazione ai tessuti delle diverse specie, la presenza di tessuti deteriorati produce un appiattimento e un abbassamento del

tracciato più o meno marcati. L'esistenza di una cavità è denunciata, invece, da un andamento piatto caratteristico del profilo (assenza di tessuti e quindi resistenza trascurabile o nulla all'avanzamento della punta). Anche questo strumento è corredato da un programma proprietario che consente di scaricare i tracciati in un PC ed effettuare alcune elaborazioni grafiche.

Come strumento di verifica è stato anche usato un succhiello di Pressler. Questo è costituito da un adatto cilindro cavo di acciaio, avente un diametro di 12 mm e lungo 40 cm, filettato ad una estremità che può essere, quindi, inserito per avvitamento nell'albero in esame. Raggiunta la profondità desiderata, nel cilindro cavo si introduce una sottile lamina di acciaio opportunamente sagomata, il cosiddetto "estrattore", che al momento dell'estrazione del succhiello trascina con sé un cilindretto di tessuti (la "carota"), di cui è così possibile valutare a vista la consistenza e lo stato.

A Trieste, la valutazione della consistenza dei tessuti estratti con il succhiello di Pressler è stata fatta anche con un Frattometro IML. Si tratta di un apparecchio messo a punto dal Prof. Mattheck (1994), con il quale è possibile rilevare il grado di alterazione dei tessuti da parte dei funghi lignicoli. È costituito da un corpo macchina sul quale è posizionato un piccolo martelletto, che va ad appoggiarsi alla "carota" di legno prelevata con il succhiello e posta in un apposito alloggiamento; tale martelletto è collegato ad un indicatore di angolo e ad una molla che imprime ad esso la forza per spingere sulla carota di legno. Tramite la rotazione della base del corpo macchina, la molla interna "carica" il martelletto aumentando la pressione esercitata sul campione di tessuto legnoso. L'ammontare della forza esercitata è registrato su una scala graduata per cui, una volta spezzata la "carota", è possibile leggere sia l'angolo che il momento (carico) di rottura. La combinazione di questi due valori, confrontati con quelli riportati in apposite tabelle messe a punto dallo stesso Mattheck, permette di individuare se l'eventuale alterazione dei tessuti sia a carico della lignina o della cellulosa; a carichi bassi, infatti, corrisponde un danno alla cellulosa mentre ad angoli grandi l'alterazione è a carico della lignina.

Metodologie di indagine

A Bologna, dei 75 *Celtis australis* di Via Marzabotto, 61 esemplari sono stati verificati prima con la Termografia e poi con il metodo classico del VTA, usando il solo Resi B400 in quanto, avendo la Termografia già rivelato la

presenza e l'estensione di un danno interno, sarebbe stato del tutto superfluo usare il martello ad impulsi che è in grado di fare la stessa cosa ma solo alla quota alla quale viene applicato e non è in grado di indagare i tessuti ipogei.

Il dendrodensimetro è stato anche applicato sui restanti 14 alberi. Le piante, disetanee, presentavano diametri medi, ad una altezza da terra di 1,3 m, da 40 a 50 cm ed altezze intorno ai 15-18 m.

La quasi totalità dei bagolari non mostrava sintomi o danni esterni e aveva chiome dense ed equilibrate. Un solo esemplare presentava due piccole cavità alle branche principali, originate da ferite di potatura, ed in esso la Termografia ha rivelato l'esistenza di alterazioni che dalle lesioni raggiungevano la zona del colletto. Altri tre esemplari presentavano al colletto o lungo il fusto carpofori di *Ganoderma* spp.; due di questi alberi erano posti in vicinanza dell'albero inclinosi (uno sullo stesso lato della strada ed uno su quello opposto) mentre il terzo albero era posto più lontano ed aveva carpofori lungo una ferita che dal colletto saliva lungo il fusto per circa 2 m. Nella quasi totalità delle piante, poi, sono state rilevate delle radici strozzanti, sia superficiali che appena sotto il livello del terreno.

Su 61 alberi controllati con i due sistemi di indagine, 13 sono risultati da abbattere a causa delle gravi alterazioni riscontrate all'apparato radicale.

Più della metà degli alberi instabili (7 alberi su 13) si concentrava su entrambi i lati di un breve tratto di strada, in prossimità del sito dell'albero abbattuto a seguito della inclinazione del fusto. In questo tratto erano presenti anche due bagolari con i carpofori di *Ganoderma* al colletto. È pertanto

ipotizzabile l'esistenza di micelio nel terreno che nel tempo ha attaccato gli alberi presenti, danneggiandone l'apparato radicale.

A Trieste, il Servizio Verde Pubblico del Comune, nelle persone dell'Architetto Angela Sello e del Dr. For. Alfonso Tomè, ha voluto far controllare lo stato di salute delle piante monumentali del parco "Muzio de' Tommasini". Nel corso del lavoro è stata eseguita una interessante ricerca per la verifica sul campo dei risultati ottenuti utilizzando separatamente la Termografia ed il metodo classico del VTA. L'indagine strumentale è stata immediatamente seguita dall'abbattimento degli esemplari giudicati instabili: questo ha permesso di seguire e guidare le operazioni di abbattimento in modo da mettere meglio in luce la rispondenza tra i dati forniti dagli strumenti e la situazione riscontrata nelle piante. L'indagine è stata possibile grazie all'interessamento diretto dell'agrotecnico Andrea Biro Zoltan, che ha predisposto e coordinato i lavori e proceduto poi ai necessari abbattimenti.

Di questa esperienza viene qui descritto il solo risultato di un'indagine su un ippocastano (*Aesculus hippocastanum* L.) che ha permesso di evidenziare la precisione e la sensibilità della Termografia nell'individuare alterazioni di piccola entità.

A Roma sono stati di recente esaminati con la Termografia due cipressi (*Cupressus sempervirens* L.), uno dei quali è stato abbattuto perché ritenuto instabile. Vengono anche proposte le immagini termiche di un tiglio (*Tilia* spp.) facente parte di un'alberata, già studiata con un differente termografo nel 1987, di cui su 29 piante esaminate ne furono fatte abbattere 6 perché giudicate forte-

mente instabili. Le immagini dell'epoca sono confrontate con quelle odierne per dimostrare la possibilità di verificare con esattezza, per semplice raffronto delle relative immagini, l'evoluzione nel tempo di un danno nei tessuti. Viene infine illustrato il caso di un leccio (*Quercus ilex* L.), esaminato con un'apparecchiatura ancora differente, anch'esso con danni nell'apparato radicale e fatto abbattere perché ritenuto pericoloso.

Risultati

Di seguito vengono riportati e commentati in modo organico alcuni esempi di piante sane o poco danneggiate e di piante con importanti alterazioni, esaminate nel corso di varie indagini.

Bologna

Il bagolaro n° 20 era un albero di discrete dimensioni, con altez-

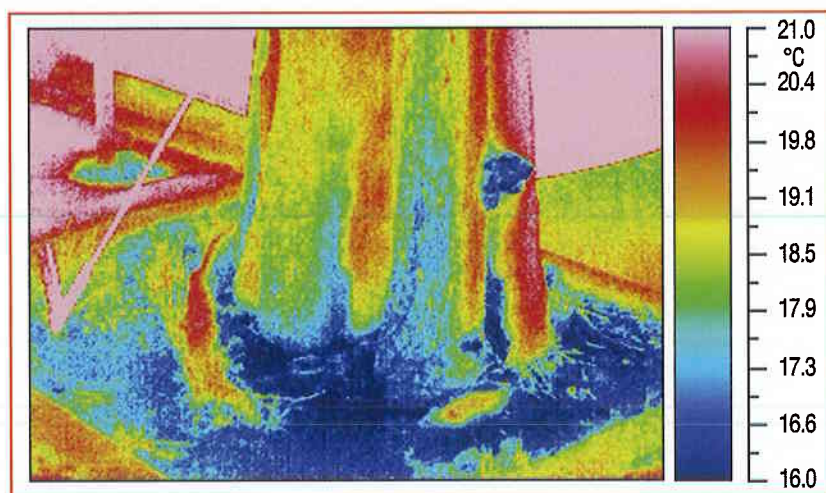
za complessiva di 16 m ed un diametro del fusto, ad 1,3 m da terra, di 64 cm. Lo stato vegetativo di questa pianta era medio mentre dal punto di vista fitosanitario presentava alterazioni evidenti, documentate dalla presenza di carpofori di *Ganoderma* spp. al colletto ed al fusto, a circa 50 cm di altezza (Fig. 4). Al colletto erano presenti radici avvolgenti mentre non erano visibili altri sintomi o danni alle parti epigee della pianta, ad eccezione di alcune ferite di potatura alle branche, che non avevano comunque provocato particolari alterazioni interne.

La presenza dei carpofori di *Ganoderma*, agente di marciume radicale e di carie bianca molto intensa, indicava già l'esistenza di un'alterazione di cui però, a priori, non si poteva conoscere la localizzazione e l'estensione. La Ter-

mografia (Fig. 5) ha messo in evidenza un'ampia alterazione, soprattutto a livello del colletto ma che risaliva attenuandosi anche verso l'alto, interessando principalmente il cilindro centrale (colori blu, celeste e verde), facendo diagnosticare l'esistenza di una forte alterazione a livello radicale.

Vista la evidente presenza di funghi agenti della carie del legno, il dendrodensimetro Resi B400 è stato utilizzato in diversi punti del colletto al di sopra della superficie del terreno, anche se in posizione inclinata per sondare i tessuti posti più in profondità. Le quattro prove strumentali, effettuate in diversi punti del colletto (70°, 100°, 230° e 310° Nord - figura 6), hanno rilevato la presenza di un'ampia alterazione interna, con parete residua sufficiente su tre prove e quasi inesistente per la quarta: questo ha fatto desumere una importante alterazione delle radici; l'albero è stato pertanto giudicato instabile e se ne è consigliato l'abbattimento.

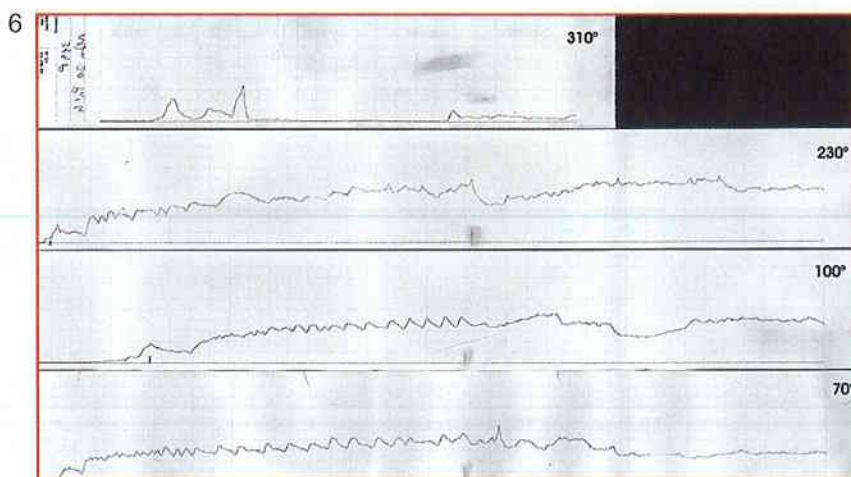
Le operazioni di abbattimento, avvenute poche settimane dopo la verifica statica strumentale, sono state effettuate lasciando una cepa di circa 50 cm di altezza da terra; sulla superficie del taglio si nota una evidente colorazione



5



4



scura del legno, che interessa una ampia parte interna del fusto, in netto contrasto con i tessuti sani di colore più chiaro e posti nella zona più esterna della superficie (Fig. 7). Le alterazioni presenti al colletto, sono risultate di dimensioni maggiori rispetto a quelle visibili nella foto (che si trovano a circa 50 cm da terra).

Per esaminare l'apparato radicale di questa pianta e verificare visivamente le alterazioni rilevate dagli strumenti, dopo l'abbattimento si è proceduto alla rimozione dei cordoli della formella e degli strati di terreno superficiali, fino ad una profondità di circa 30

cm; si è così rilevato che alcune grosse radici, proprio nei pressi dei carpofori, erano completamente alterate, pertanto non in grado di svolgere la loro funzione di ancoraggio dell'albero al suolo (Fig. 8).

Nel caso di questa pianta, la presenza di alterazioni interne era facilmente ipotizzabile anche a seguito della verifica visiva, a causa della presenza dei carpofori; l'utilizzo del dendrodensimetro ha confermato l'esistenza delle alterazioni ed ha permesso di quantificarne le dimensioni. Il termografo, dal canto suo, ha permesso di individuare preventiva-

mente le aree del colletto in cui era possibile rilevare una maggiore alterazione dei tessuti.

Il bagolaro n. 39 era anch'esso un albero di discrete dimensioni, con altezza complessiva di 18 m ed un diametro del fusto, ad 1,3 m da terra, di 59 cm. Lo stato vegetativo di questa pianta era buono e non erano presenti sintomi o danni esterni rilevanti: si notava un'accentuata costolatura del colletto e del fusto (Fig. 9) ed una leggera inclinazione del fusto stesso verso la sede stradale, probabilmente dovuta alla vicinanza di alti edifici che avevano spinto questo albero alla ricerca di luce. A circa un metro dalla base, la pavimentazione del marciapiede presentava tracce di scavi effettuati probabilmente alcuni anni prima; è presumibile che durante le operazioni di scavo siano state danneggiate alcune radici, anche se al momento non era possibile dedurre il numero ed il diametro di quelle danneggiate.

All'esame termografico questa pianta mostrava, a livello del colletto e in particolare al cordone di sinistra (colori blu, celeste e verde), una diffusa alterazione





10 cm al di sotto della superficie del terreno, dopo averlo rimosso manualmente. La prima prova, effettuata a 70° Nord, a circa 10 cm di profondità e con lo strumento in posizione inclinata, non ha rilevato alcuna alterazione; la seconda prova, effettuata a 340° Nord e a 6 cm di profondità, sempre con lo strumento inclinato, ha rilevato una parete di legno sano di soli 2 cm, mentre la terza prova effettuata a 160° Nord e a 2 cm di profondità, tenendo anche in questo caso lo strumento in posizione inclinata, ha rilevato la presenza di una alterazione dopo 17 cm di parete sana.

La presenza delle estese alterazioni al colletto, che almeno in



un punto raggiungevano quasi i tessuti corticali, rilevate nei tessuti al di sotto della superficie del terreno, ha fatto giudicare l'albero come instabile e se ne è consigliato l'abbattimento.

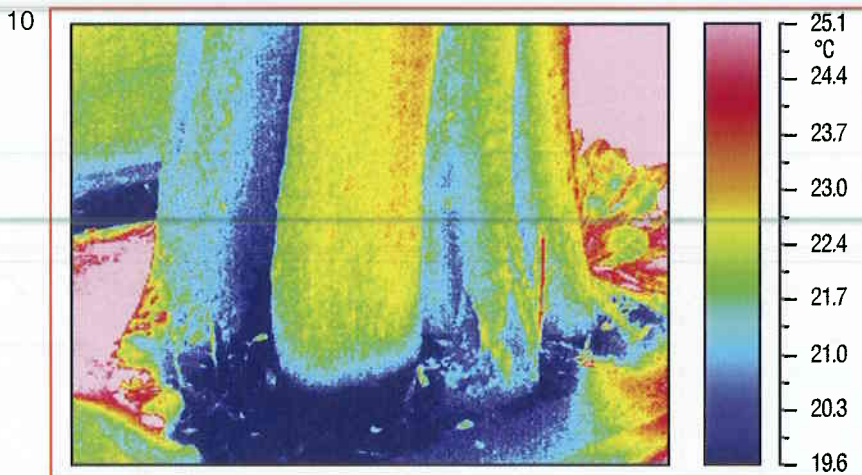
Le operazioni di abbattimento, avvenute come già detto poche settimane dopo la verifica statica strumentale, sono state effettuate lasciando una ceppaia di circa 10 cm di altezza; sulla superficie di taglio, si nota una evidente alterazione dei tessuti interni (Fig. 12).

La Termografia non è soltanto in grado di rilevare la presenza di alterazioni importanti e diffuse ma può mettere in luce anche quelle allo stato iniziale o comunque di modesta entità, come nel caso di seguito esposto.

Il bagolaro, contrassegnato

che dalla base risale, attenuandosi, verso l'alto (Fig. 10).

Con il dendrodensimetro sono state effettuate tre prove strumentali al colletto, a circa 70°, 340° e 160° Nord - figura 11; le misurazioni sono state effettuate da 2 a

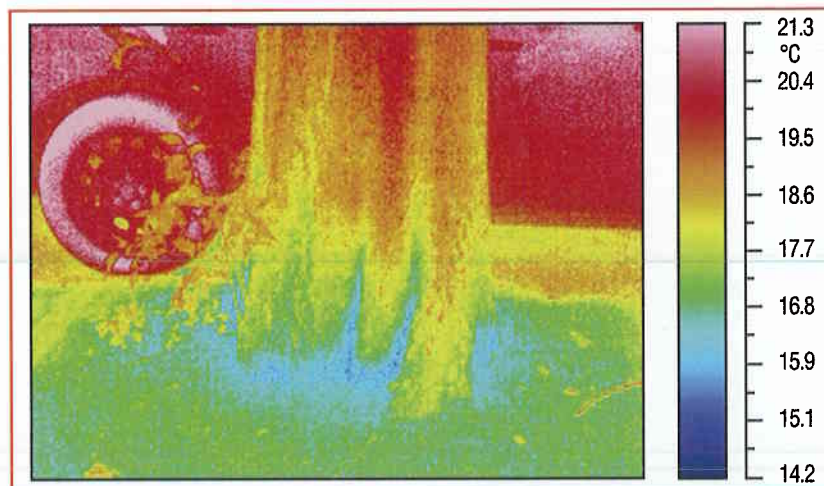


con il n. 4, è un albero di discrete dimensioni, con altezza complessiva di 17,5 m ed un diametro del fusto, ad 1,3 m da terra, di 62 cm. Lo stato vegetativo di questa pianta è buono e non sono presenti sintomi o danni esterni rilevanti (Fig. 13): si notano infatti solo alcune ferite di potatura alle branche e all'inserzione di queste, che non sembra abbiano portato ad alterazioni nei tessuti interni.

L'esame termografico, figura 14, mostra lievi segni di alterazione nella parte centrale del colletto (resi in verde nell'immagine) che restano però circoscritti: si noti la colorazione omogenea, rosso-arancio, del resto della parte basale della pianta. La colorazione blu-celeste della corteccia a contatto con il terreno è dovuta al fatto che è ancora bagnata, come si evince dall'esame della foto di figura 13. La stessa cosa vale per la pianta n. 8, che segue: il giorno precedente

all'indagine c'era infatti stata pioggia.

Dopo l'analisi termografica è stato utilizzato il dendrodensimetro al colletto, per verificare la presenza della modesta alterazione segnalata. Sono state effettuate tre prove nelle seguenti posizioni: 160°, 230° e 100° Nord (Fig. 15); la prima e la seconda sono state effettuate a 7 e 10 cm di altezza dal terreno, con lo strumento in

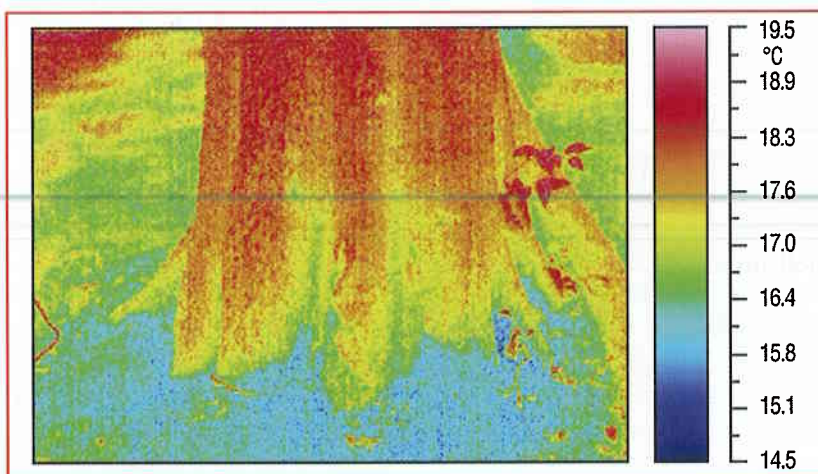


16

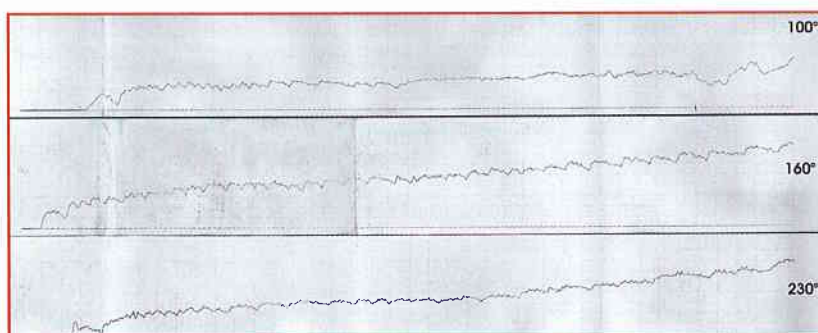


17

14



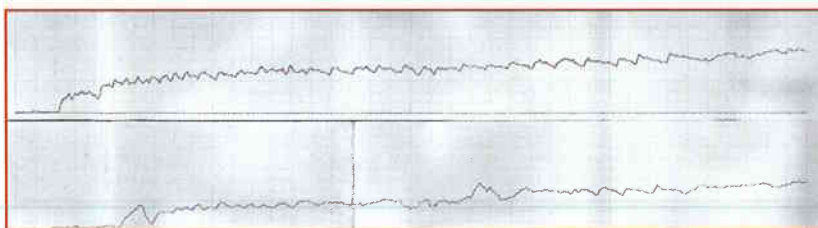
15



posizione orizzontale e non è stata rilevata alcuna alterazione mentre nella terza prova è stata individuata una leggera alterazione, per 4 cm di lunghezza, dopo 31 cm di parete sana. In quest'ultima prova lo strumento è stato utilizzato ad 8 cm sotto il livello del terreno, grazie ad un piccolo scavo eseguito vicino al colletto, ed in posizione inclinata, allo scopo di sondare i tessuti posti a maggiore profondità rispetto alla superficie.

A seguito delle verifiche termografiche e strumentali, l'albero non presenta alcun problema di stabilità in quanto l'alterazione riscontrata è minima rispetto alle dimensioni della pianta. Si constata comunque che anche in as-

18

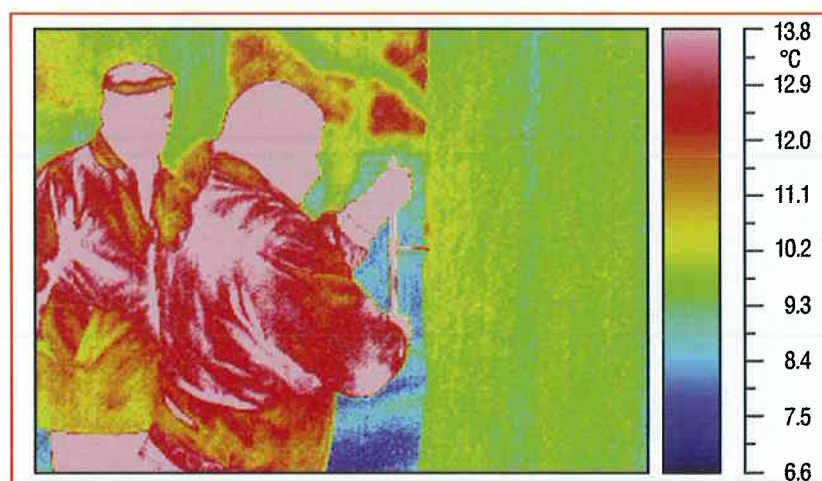


senza di sintomi o danni esterni, la Termografia ha fatto rilevare una alterazione, allo stato iniziale o comunque di modesta entità, posta nei tessuti più profondi del colletto.

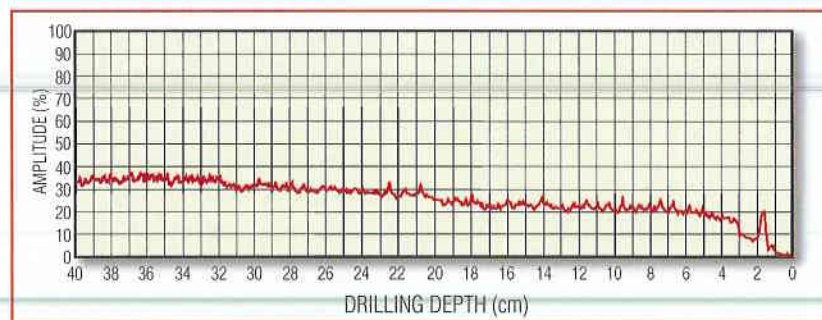
La termografia di una pianta sana si presenta con una colorazione omogenea su tutta la superficie dell'albero: in figura 16 ne viene mostrato un esempio relativo ad un altro bagolaro che si trova lungo la stessa strada, il n. 8 (Fig. 17). La pianta mostra una colorazione omogenea rosso-arancio: come già detto, le parti a contatto del terreno sono rese in blu-celeste e verde, perché ancora bagnate. L'assenza di alterazioni è stata verificata con il dendrodensimetro: i tracciati sono regolari (Fig. 18).

Trieste

Viene mostrato il solo caso di un ippocastano (*Aesculus hippocastanum* L.) la cui immagine termica, figura 19, indica la presenza di una lingua di tessuti alterati che risale lungo il tronco. L'alterazione (resa in colore giallo-verde) si estende da circa 10 fino a 30 cm dal bordo sinistro del tronco ed è di maggiore entità tra circa 15 e 20 cm, zona resa in colore celeste;



19



20

nell'immagine è ripreso un operatore mentre utilizza il succhiello di Pressler.

La verifica fatta con il dendrodensimetro non ha invece mostrato traccia di danno, figura 20. È stata allora prelevata, con il succhiello di Pressler a 148 cm da terra, una carota di tessuti che sono

non si è in grado di mostrare la foto della zona interessata dalle indagini strumentali ma sulla superficie del tronco non vi sono segni o sintomi che, in assenza dell'esame termografico, avrebbero richiesto un approfondimento con gli strumenti invasivi.

Non si pensi che i risultati

Figura 21 - Frattometro

Zona	H da terra (cm)	Diametro (cm)	L. campione (cm)	T/R	Giudizio
Fusto	148	88	35,00	0,57	Iniziale distruzione della cellulosa
					Carico: 8 8 7 8 15
					Angolo: 13 12 13 12 11

Posizione misura: 290° N

22



23



24



dell'indagine termografica siano in qualche modo legati al tipo di termografo usato o alla specie o al genere delle piante esaminate; di seguito si mostrano le termografie, riprese con strumenti diversi da quello ora in uso, di alcune delle piante (conifere e latifoglie) che sono state fatte abbattere. Il metodo è stato impiegato con successo anche nell'esame di alcune palme (A. Catena, 2000; G. e A. Catena, 2000; A. Catena, 2002b).

Roma

Il leccio (*Quercus ilex* L.) di figura 22, situato in uno spazio privato, aveva la chioma notevolmente squilibrata e i monconi di grosse branche, visibili all'impalcatura, attaccati da insetti lignicoli e completamente deteriorati. La figura 23 mostra un dettaglio della zona basale del tronco da cui si può ipotizzare il taglio di un

contrafforte, eseguito in passato probabilmente per poter sistemare meglio la pavimentazione a grosse marmette che si vede ai piedi dell'albero. La termografia, eseguita in bianco e nero (Fig. 24), mostra appunto nella zona del colletto la presenza di una va-

sta zona resa in grigio più scuro del resto del tronco: questo rivela l'esistenza di una alterazione dei tessuti che interessa anche i due lati del tronco e va verso l'alto. L'albero è stato fatto abbattere ed in figura 25 è mostrata la foto della ceppaia, eseguita in una posi-

25



26

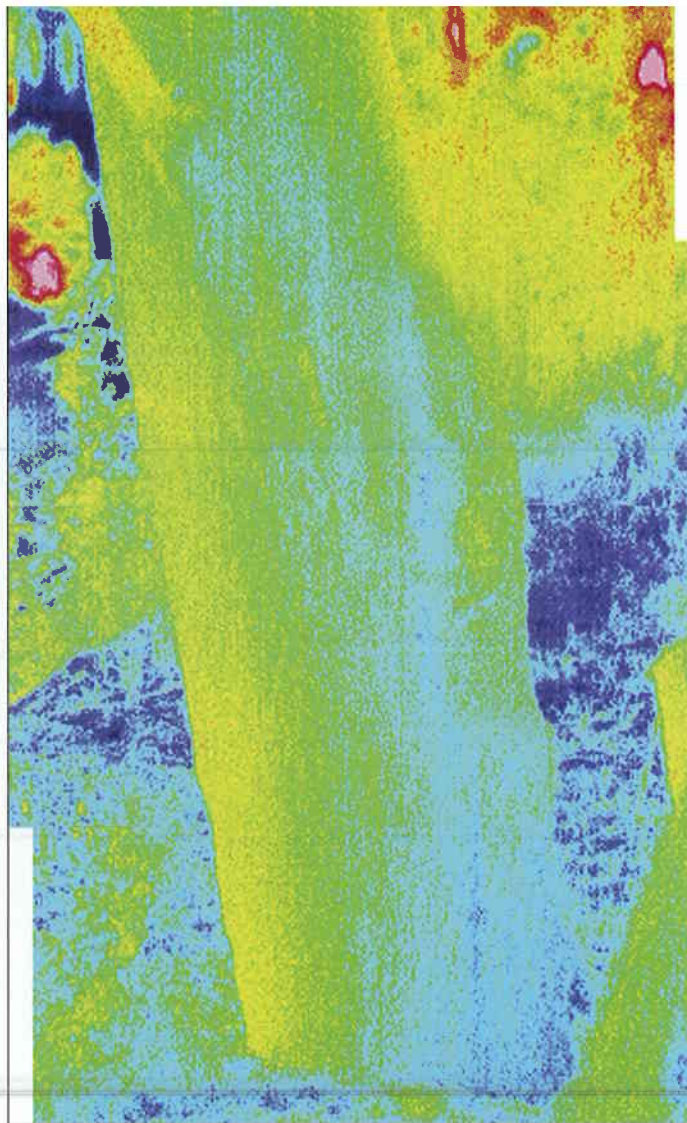


zione spostata sulla sinistra rispetto alla ripresa termografica alcune settimane dopo l'abbattimento. Si nota chiaramente la parte frontale fortemente deteriorata a livello del terreno, la presenza di un forte danno sul lato sinistro e di un danno su quello destro. Un leggero scavo nel terreno ha mostrato come, nel lato verso l'osservatore, il danno aumentasse verso la parte centrale del tronco.

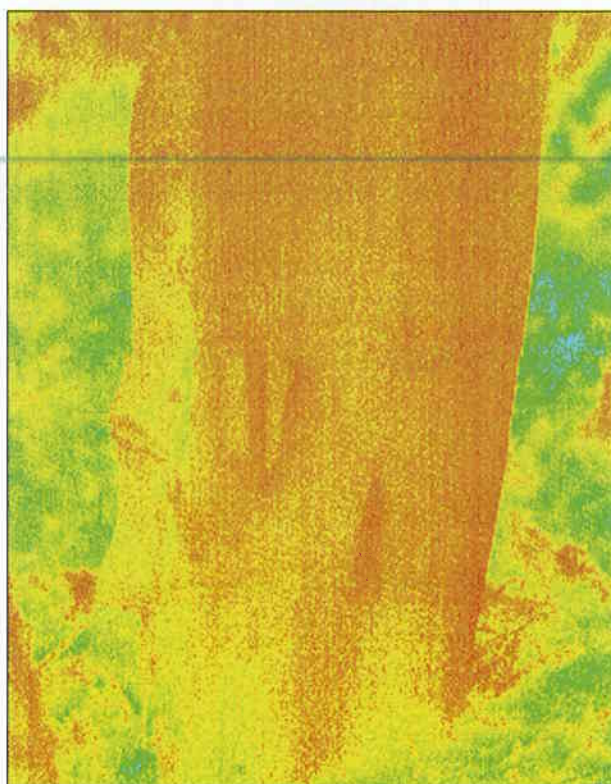
Sono stati anche esaminati dei cipressi (*Cupressus sempervirens* L.) siti in Villa Sciarra: uno, la cui foto è mostrata in figura 26, presenta solo una piccola apertura a circa 50 cm da terra, che si vede appena al di sopra della recinzione e alcuni lembi di corteccia staccata. La termografia relativa al lato sinistro dell'albero mostra (Fig. 27) l'esistenza di un'altera-

zione che dalla base risale lungo il tronco (colori blu, celeste e verde) mentre il lato destro appare meno danneggiato (colore giallo, Fig. 28). La verifica, eseguita estraendo una carota a partire dal lato destro ha mostrato infatti, foto di figura 29, la presenza di una alterazione più vicina alla superficie del lato sinistro del tronco.

L'indagine termografica di un secondo cipresso, che mostrava una piccola cavità a livello del terreno (Fig. 30), quasi nascosta dall'erba presente, rivelava invece una importante alterazione



27



28

29

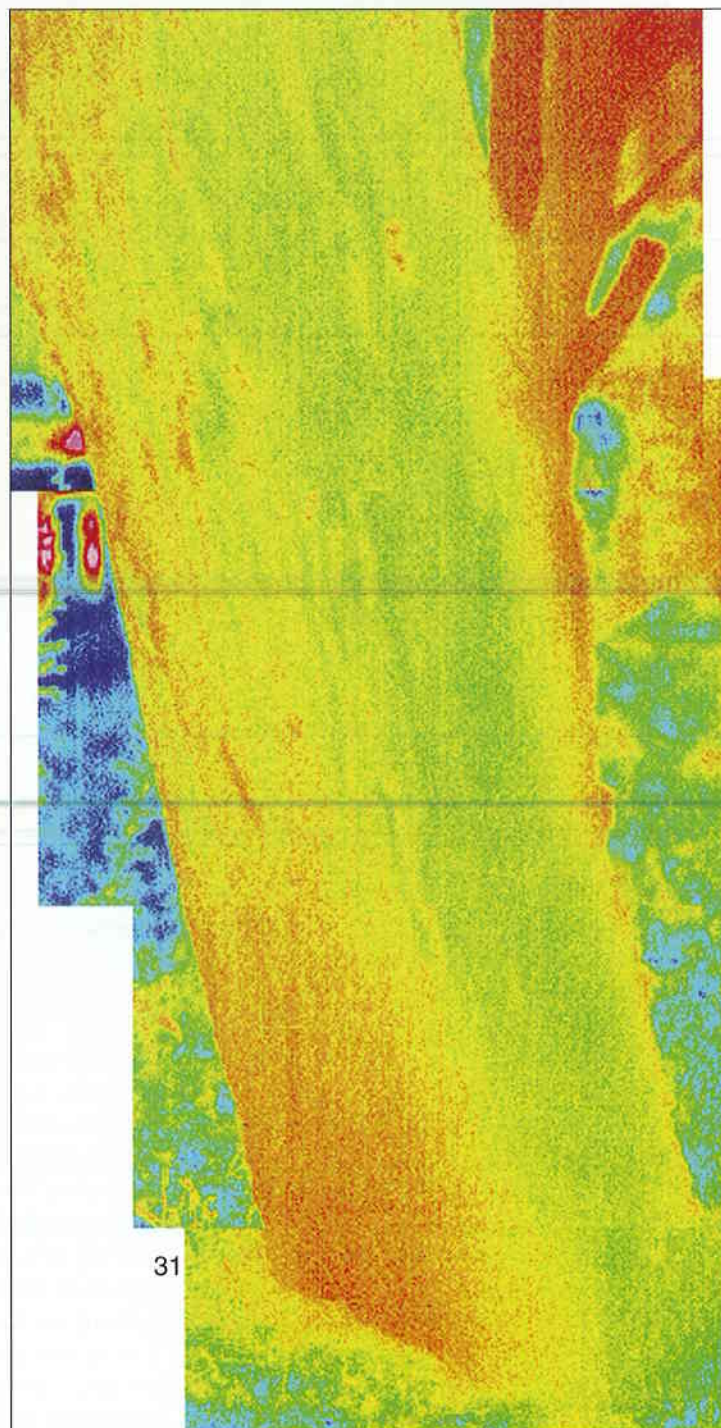


30



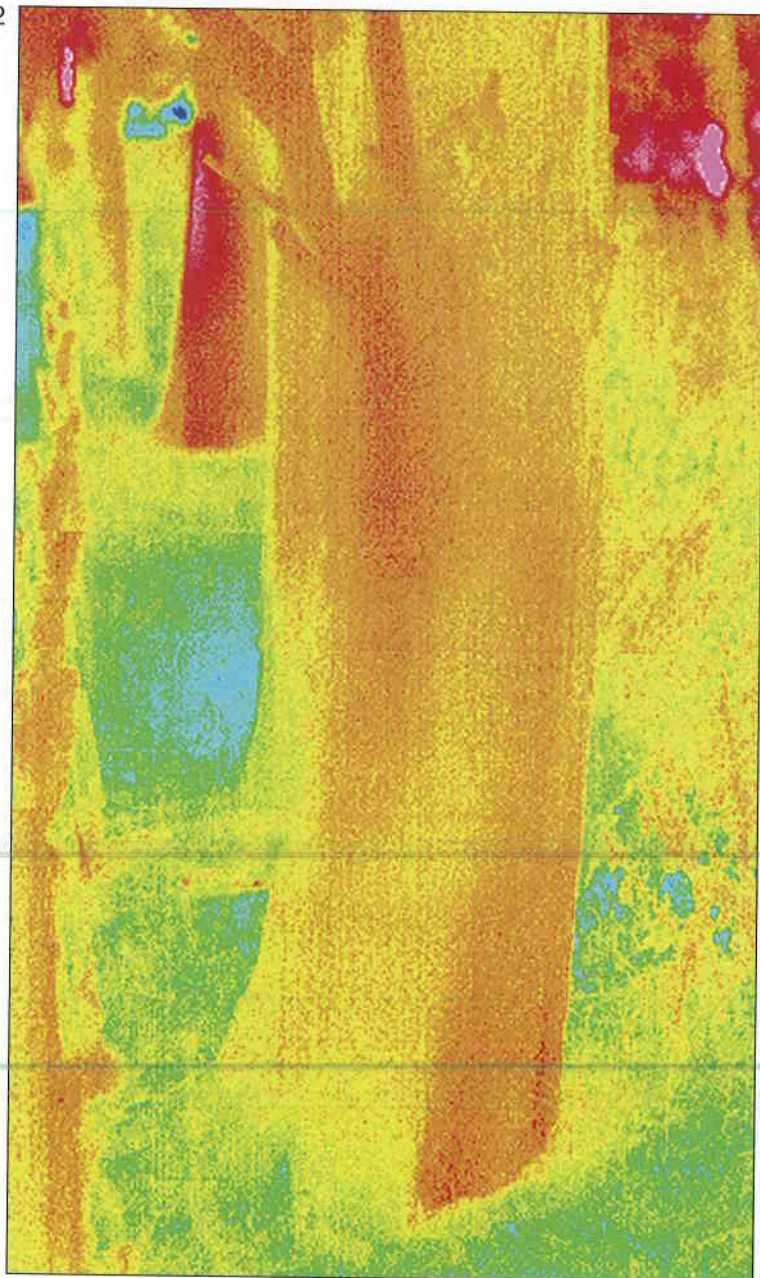
(resa in colore verde), lungo il lato sinistro del tronco, che dalla base si estendeva oltre i rami più bassi (Fig. 31); anche l'altro lato era interessato da un'alterazione ma di minore entità (colore giallo, Fig. 32). La pianta è stata ritenuta instabile ed è stata abbattuta. Questa volta il caso ha voluto che si arrivasse sul posto ad abbattimento appena eseguito per cui sono state possibili delle indagini sulla

ceppaia e sui topi presenti. La foto di figura 33 mostra la situazione trovata: una ceppaia alta 50 cm e in secondo piano, capovolto, il topo sovrastante anch'esso alto 50 cm. Si vede la presenza di due cavità



31

32



che risalgono lungo il tronco: quella di destra appare più importante di quella di sinistra e tutta la parte centrale del tronco è decolorata; si nota chiaramente la barriera di compartimentazione creata in seguito alla ferita che ha prodotto le cavità. Una volta capovolto il toppe vicino alla ceppaia, si è visto che la cavità di sinistra proseguiva ancora verso l'alto mentre quella di destra si era ri-

dotta ad una piccola zona di tessuto fortemente decolorato. Fatta tagliare la ceppaia a livello del terreno, il toppe basale è stato sezionato longitudinalmente e poi ancora in modo da consentire l'ispezione della cavità che si trovava sul lato sini-

33



35



36



stro: il tessuto si è aperto senza sforzo come un libro, mostrando l'interno fortemente danneggiato, figura 34. L'esame dei topi successivi, foto di figura 35, rivela la presenza di una decolorazione

nella zona centrale, confermando quanto evidenziato dalla Termografia. Non si è potuta scavare la ceppaia in quanto la pianta si trovava quasi al bordo di una palificata doppia (opera di consolida-

mento delle scarpate, eseguita secondo i dettami dell'Ingegneria Naturalistica). Nel tentativo di visionare lo stato dei tessuti più profondi, si è fatto togliere un blocco di legno, mediante un ta-

37



38



glio inclinato verso il centro della ceppaia. La foto di figura 36 mostra chiaramente che la cavità si allarga nella parte ipogea della metà anteriore della ceppaia ma non interessa l'altra metà. Questo è stato verificato successivamente estraendo, in tre punti della superficie di taglio, delle carote (non mostrate) che hanno evidenziato la presenza di tessuti decolorati ma non alterati; utilizzando invece una sonda metallica, lunga 105 cm, inserita in più punti nella ca-

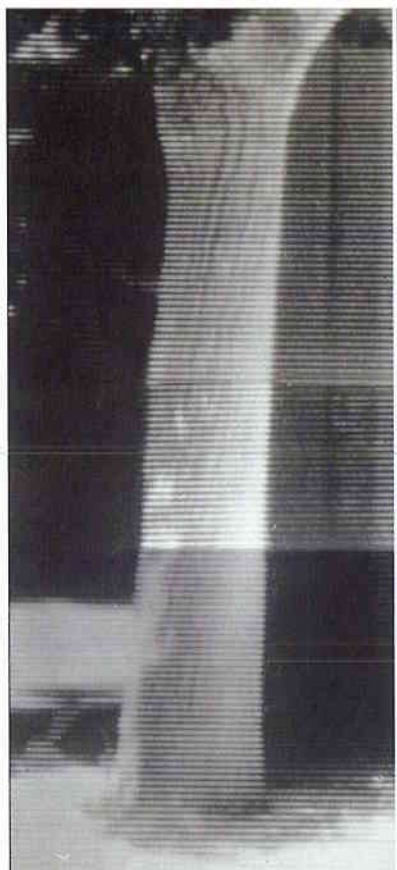
vità, si è potuta confermare l'esistenza dei tessuti ipogei ancora consistenti (Figg. 37 e 38), soprattutto nel lato sinistro della ceppaia.

Un'altra specie, esaminata ancora con un diverso tipo di apparecchiatura, è il tiglio (*Tilia* spp.) che si trova all'interno di una proprietà privata. Si tratta di un'indagine eseguita nel 1987 su un'alberata di 29 esemplari quasi secolari, con un diametro medio di 55 cm ed un'altezza di 6 - 8 m (tutte

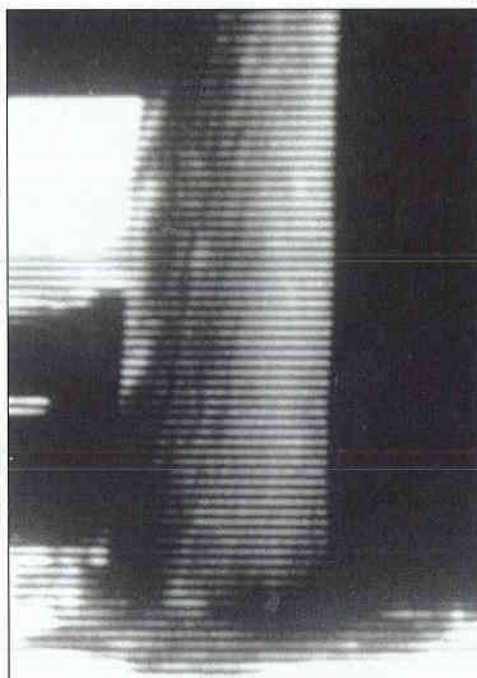
le piante presentavano i segni di una pesante capitozzatura subita in passato). Sei esemplari furono fatti abbattere ed i danni riscontrati, esaminando l'apparato radicale e sezionando i tronchi, confermarono la diagnosi di instabilità e quindi i risultati dell'esame termografico. Nelle figure che seguono vengono, però, presentate le immagini termiche relative alla situazione trovata all'epoca in una delle piante lasciate in piedi e quelle che ne mostrano la situazione attuale, riprese con lo strumento ora in uso. Nella foto di figura 39 si vede com'era la pianta: l'unico danno visibile sul tronco era la cavità all'impalcatura dovuta alla perdita di una branca principale, ben evidente anche nella figura 40. Il mosaico delle termografie in bianco e nero (Fig. 40), fotografate direttamente sullo schermo del vecchio apparecchio, mostra l'esistenza di un'alterazione che dalla base risale verso l'alto, interessando anche le branche residue. La presenza dell'alterazione è rivelata dalla

39

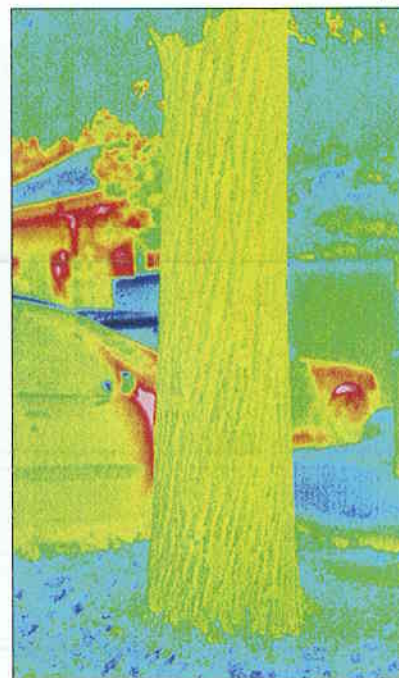




40



41



42

non omogenea distribuzione del grigio lungo il tronco. L'alterazione è più forte alla base, suggerendo anche l'esistenza di un danno radicale ma il lato destro del tronco risulta meno danneggiato di quello sinistro. All'epoca fu diagnosticata la presenza di un'alterazione coassiale al tronco, che dal colletto raggiungeva la zona dell'impalcatura, ma non tanto grave da richiedere l'abbattimento dell'esemplare. La figura 41 mostra una termografia della sola zona basale, da cui si deduce perfettamente la presenza del danno a livello radicale. Nella figura 42 si vede la ricostruzione dell'albero, ottenuta al computer, usando varie termografie riprese di recente che confermano in pieno quanto rilevato nelle vecchie immagini: forte danno radicale che risale lungo il tronco ed interessa le branche; la parte destra del tronco,

come in passato, risulta più consistente di quella sinistra. La situazione appare peggiorata sia lungo il tronco che a livello basale dove il danno ora interessa tutta la zona del colletto. La situazione rilevata potrebbe richiedere l'abbattimento della pianta ma il fatto che, per motivi di gestione, la chioma sia costantemente ridotta e mantenuta molto compatta (la pianta è ora poco meno alta di 6 m con un diametro, a 130 cm da terra, di 51 cm) non rende necessario tale intervento ma sono stati prescritti solo dei controlli frequenti. Si noti come sia stato possibile ritrovare la stessa posizione di ripresa scelta in passato, anche senza conoscere l'angolo di ripresa, e verificare a vista l'anda-

mento del fenomeno nel tempo.

Per verificare la situazione rilevata in questa nuova indagine, si è fatto uso di un succhiello di Pressler, prelevando tre carote a vari livelli dal terreno, in una posizione circa ortogonale rispetto a quella della ripresa termografica. Le carote mostrate nella foto di figura 43 sono molto corte in quanto il succhiello ha iniziato a girare a vuoto dopo circa 10-12 cm. Un sottile



43

Tabella 1

Carota	Altezza da terra	Direzione foro	Lunghezza carota	Spessore tessuto sano	Lunghezza tondino inserito, "L"
1	28 cm	220°	11,5 cm	8 cm	42 cm
2	91 cm	225°	8,5 cm	6 cm	39 cm
3	185 cm	190°	7,5 cm	5 cm	35 cm

tondino di ferro, infilato nel foro del succhiello, è penetrato per i centimetri indicati con la lettera "L" nella tabella 1, prima di incontrare del tessuto consistente. Dalla lunghezza del tondino entrato nel foro, sottraendo lo spessore del tessuto sano residuo rilevato dalla carota, si può valutare l'ampiezza della cavità che, come rivelato dalla Termografia, dalla base arriva all'impalcatura.

Conclusioni

Le esperienze descritte in questo articolo, effettuate in tempi e luoghi diversi, con differenti tipi di apparecchiature e su varie specie botaniche, mostrano la capacità della Termografia di rilevare alterazioni anche di minima entità e di mettere in luce quelle presenti all'apparato radicale. Queste ultime sono difficilmente rilevabili in quanto, spesso, come avviene nelle alberate cittadine, non si hanno sintomi esterni evidenti che ne potrebbero far ipotizzare la presenza ed è difficile, se non impossibile, effettuare un controllo diretto dell'apparato radicale per la presenza di pavimentazioni o di impedimenti di altro genere. La conoscenza dello stato dei tessuti radicali è, d'altro canto, importante per evitare la caduta di alberi e garantire l'incolumità dei passanti.

La Termografia, al pari degli altri sistemi di indagine, non è in grado di rilevare direttamente lo stato dei tessuti dell'apparato radicale ma permette comunque, come mostrato dalle varie esperienze riportate, di desumere la presenza di un danno radicale rilevando anomalie termiche nei tessuti della zona del colletto.

La sensibilità dello strumento consente inoltre di individuare e localizzare con molta precisione l'eventuale alterazione presente e

quindi di effettuare in modo mirato e meno dannoso possibile la successiva indagine strumentale invasiva, con gli strumenti tradizionali del metodo VTA, ove occorra la misurazione delle alterazioni rilevate.

La capacità della Termografia di individuare, da terra ed in pochi minuti, eventuali alterazioni presenti nelle diverse parti dell'albero (colletto, fusto e branche) e la sua precisione in tale rilevazione, sono aspetti fondamentali che permettono a questa tecnica di integrarsi agevolmente con gli strumenti del metodo VTA (dendrodensimetro e frattometro) nella verifica della stabilità degli alberi. In realtà, il termografo rende superfluo l'uso del martello elettronico il quale è sì in grado di rilevare la presenza di un'alterazione ma solo alla quota della sua applicazione. L'impiego della Termografia evita il ricorso a scale e piattaforme mobili per conoscere lo stato delle parti aeree delle piante, se non quando occorra utilizzare il dendrodensimetro o il Frattometro per valutare con precisione lo spessore di tessuto sano residuo o lo stato dei tessuti, anche se un "termografista" esperto è in grado di quantificare un danno con buona precisione.

Sembra quindi trovare conferma l'ipotesi, formulata in un precedente articolo, di inserire la Termografia all'interno del VTA, tra l'esame visivo e l'uso degli strumenti invasivi.

È inoltre importante sottolineare come i risultati ottenuti con l'uso del termografo (le immagini termografiche) possano essere utilizzati per effettuare comparazioni, nel tempo, dello stato fitosanitario di una pianta e dello sviluppo di eventuali alterazioni presenti. Le immagini termografiche, infatti, possono essere conservate in formato sia cartaceo che elettronico; due im-

magini termiche di una stessa pianta, riprese dallo stesso punto anche a distanza di molti anni, possono essere agevolmente confrontate per valutare con sicurezza e rapidità l'evoluzione delle alterazioni presenti, come descritto nell'indagine effettuata su un taglio.

Le termografie, corredate da fotografie delle piante esaminate, possono essere facilmente e proficuamente archiviate nelle banche dati dei sistemi informativi (SIT, GIS, SIG) degli enti che gestiscono il patrimonio arboreo di un sito; tale possibilità, legata all'utilizzo sempre più diffuso di tali sistemi informatici, permette di creare una banca di dati "visivi" sulle condizioni fitosanitarie delle piante in aggiunta ai più comuni dati cartacei. Questo costituirà un importante bagaglio storico per successive valutazioni sullo stato di salute e di stabilità delle piante esaminate.

L'impiego della Termografia risulta pertanto di particolare utilità sia per effettuare un primo screening delle alberature, allo scopo di individuare le piante con alterazioni non visibili dall'esterno e non segnalate da particolari sintomi o danni, sia per la verifica della stabilità delle piante, in sinergia con gli altri strumenti tradizionali. Tale utilizzo risulta particolarmente importante nella rilevazione delle alterazioni agli apparati radicali di piante poste in alberature stradali.

Si ringraziano l'Arch. Angela Sello e il Dr. For. Alfonso Tomè del Servizio Verde Pubblico del Comune di Trieste per aver concesso l'opportunità di eseguire la comparazione dei due sistemi di indagine.

Si ringrazia la ditta "L'idea verde" di Trieste che ha provveduto egregiamente sia all'organizzazione dell'intera ricerca che all'abbattimento delle piante del parco di Trieste.

Si ringrazia la sig.ra Isabella Del To-

sto che ha validamente collaborato nell'esecuzione dell'indagine sui tigli e sui cipressi di Roma.

NOTE

1) Si ha notizia dell'utilizzo di sistemi radar per valutare lo stato dell'apparato radicale delle piante (Hruska, J., Cermák J. e Sustek, S. Mapping tree root systems with ground-penetrating radar, *Tree Physiology*, 19, 125-130, 1999; Nicolotti, G., Godio A. e Sambuelli, L. Onde georadar, *Acer*, 4, 54-57, 1998): tale impiego allo stato attuale è inattuabile in quanto nessuno dei sistemi proposti è, per quanto a conoscenza degli autori, in grado di riconoscere una radice danneggiata da una sana. Anche se si volesse usare la tecnica soltanto per stabilire la consistenza e la distribuzione dell'apparato radicale (come sistema di screening) si avrebbero dei seri problemi o per la lunghezza dell'indagine - 36 ore a pianta tra rilievo ed elaborazione dei dati (Hruska) e 4 ore (Nicolotti), o per l'impossibilità di discriminare una radice da un disturbo - tubazioni interrate, ciottoli, detriti, ecc. (Nicolotti): ambedue i sistemi richiedono infatti la presenza di terreno sciolto, il secondo necessita addirittura che sia a grana fine ed omogenea

2) Tutti i corpi che si trovano al di sopra dello zero assoluto ($0\text{ K} = -273,14\text{ °C}$) emettono con continuità energia in tutto lo spettro elettromagnetico: il termografo ne rileva la frazione emessa nella banda dell'infrarosso termico nella quale, a circa $10\text{ }\mu\text{m}$, si ha il massimo dell'energia emessa dai corpi che si trovano a temperatura ambiente.

BIBLIOGRAFIA

A. CATENA, *Ricerche per la conservazione e la gestione del verde urbano a Roma: l'esempio di Villa Sciarra*, Tesi di laurea, Università della Tuscia, Viterbo, 2000.

A. CATENA, *Thermography shows damaged tissue and cavities present in trees*, Proceedings of the 11th International Symposium on Nondestructive Characterization of Materials, 24-28 giugno 2002a, Berlino, Germania.

A. CATENA, *L'impiego della termografia nella valutazione preliminare dello stato di conservazione dell'albero*, relazione invitata al Convegno internazionale "Valutazione di stabilità di alberi e palme: oltre il metodo", 5-7 dicembre 2002b, Sanremo.

G. CATENA, *Un albero appare molto danneggiato: lo si deve abbattere o conservare? la termografia aiuta a prendere la decisione giusta*, *Linea Ecologica*, 1, 9-14, 1997.

G. CATENA e A. CATENA, *Evidenziazione mediante la Termografia di cavità e tessuti degradati negli alberi*, *Agricoltura Ricerca*, 185, 47-64, 2000.

G. CATENA, M. CATALANO, L. PALLA e S. MAZZOLA, *Un nuovo strumento di indagine per il fitopatologo: la Termografia*, *Informatore fitopatologico*, 6, 33-37, 1989.

C. MATTHECK, *Stabilità degli alberi*, in Estratto dagli Atti del Convegno "L'albero in città, prime giornate internazionali meranesi", Merano 4-6 aprile 1995, *Acer*, 4, a12-a16, 1995.

C. MATTHECK e H. BRELOER, *Field guide for visual tree assessment (VTA)*, *Arboricultural Journal*, vol. 18, 1-23, 1994.

W. MOORE, *Outillage pour la détection de défauts internes des arbres - le point de vue du praticien. Résultats de 14 ans d'expérience*, 2^e partie, *La Forêt privée*, 240, 23-39, 1998.

A. L. SHIGO, *A new tree biology*, Shigo and Trees Associates, Durham, N. H., 1991.

BIBLIOGRAFIA SPECIFICA PER LA TERMOGRAFIA

M. CATALANO, G. CATENA e L. PALLA, *Impiego dell'infrarosso per l'individuazione di alcuni fenomeni morbosi negli alberi*, *Agricoltura*

ra Ricerca, 59, 7-16, 1986.

M. CATALANO, G. CATENA e L. PALLA, *Fotografia all'infrarosso e termografia nella patologia vegetale*, *Genio Rurale*, 2, 35-38, 1988.

M. CATALANO, G. CATENA, L. PALLA e A. TINELLI, *Un intervento sul verde storico con l'ausilio della termografia*, *Indagine fitosanitaria ed interventi applicativi di dendrochirurgia sui platani della tenuta di Castelporziano*, *Acer*, 2, 35-38, 1990.

G. CATENA, *La termografia per la salvaguardia di esemplari arborei monumentali*, *Linea Ecologica*, 6, 18-20, 1991.

G. CATENA, *Une application de la thermographie en phytopathologie*, *Phytoma*, 439, 46-48, 1992.

G. CATENA, *Utilizzazione di uno scanner termico per la diagnosi di cavità negli alberi*, *Ingegneria Agraria*, 2, 67-75, 1993.

G. CATENA, *La termografia nelle indagini fitosanitarie di insiemi arborei*, *Linea Ecologica*, 3, 51-56, 1993.

G. CATENA e M. CATALANO, *L'utilizzazione dell'infrarosso nello studio di alcune patologie degli alberi*, *Atti della Fondazione Giorgio Ronchi*, 2, 517-527, 1994.

G. CATENA e L. PALLA, *La verifica fitosanitaria da terra mediante l'infrarosso termico*, *L'informatore Agrario*, 44, 64-69, 1989.

G. CATENA, M. CATALANO e L. PALLA, *Thermal infrared detection of cavities in trees*, *Eur. J. For. Path.*, 20, 201-210, 1990.

G. CATENA, M. CATALANO e V. PASQUINI, *Il leccio di Sermonea*, *Monti e Boschi*, 1, 11-16, 1995.

G. CATENA, L. PALLA, M. CATALANO e S. MAZZOLA, *Indagine campione sullo stato del verde urbano di Roma: seconda nota*, *Agricoltura Ricerca*, 105, 11-20, 1990.

L. PALLA, B. VERGARI, M. CATALANO, S. MAZZOLA e G. CATENA, *Check-up del verde*, *Verde Ambiente*, 5, 78-87, 1988.

A. TINELLI e G. CATENA, *Indagine sulle piante monumentali della tenuta di Castelporziano*, *Monti e Boschi*, 5, 9-13, 1991.

Thermography in the detection of root decay

(translated from *Agricoltura Ricerca*, 189, 81-100, 2002)

Tree management experts know that apparently healthy trees showing no visible sign of decay can suddenly fall also in normal weather conditions. On closer inspection, the stumps of these trees often reveal a limited root system or huge, decayed underground areas characterised by rot and cavities.

Tree stability analyses still find it hard to evaluate the health and functionality of roots in terms of their being anchored to the ground.

Urban trees, especially those that line streets, often show decayed roots as a result of excavations for technological lines, sewerage, gas or water mains, etc., or paving, or sidewalks. In each of these cases, when policies of cost-effectiveness or traffic management prevail over the respect of the minimum safety distance from the tree collar, tree roots can be easily damaged. The consequences of these actions have a direct impact on the stability of the trees concerned, as they are more or less immediately damaged at the root level. In some cases, tree stability can be directly jeopardised by cutting stabilizing roots. In most cases, after suffering more or less severe damage, roots become privileged access routes for pathogenic fungi, that may modify root tissue over time.

Root decay is hard to detect, as there are often no visible external signs. Only in some cases do fruiting bodies develop as a sign of altered tissue that can affect the tree root systems. It is fundamental for those charged with citizens' safety and tree stability to know the condition of root systems.

At present, existing apparatuses or methods (1) can detect root decay only after the main roots are unearthed; at the same time, a direct visual assessment of urban trees is very difficult, if not impossible at times, because of paving, street kerbs or asphalt.

In the past, however, Thermography allowed experts to hypothesize root decay in trees with fruiting bodies of various types and/or important cavities on the trunk and/or branches (A. Catena, 2000; G. Catena, 1997; G. Catena et al. 1989).

Fig. 1 – Fig. 2

The past experience (G. Catena and A. Catena, 2000; A. Catena, 2002a) that is shortly described hereafter recommended the use of Thermography on a row of nettle-trees in good vegetative conditions (*Celtis australis* L.) that was located on via Marzabotto in Bologna. A tree along this street suddenly inclined towards the street centre on a windy May 4th in 2002 and was felled. The picture in Figure 1 taken the day after the event shows the condition of the stump with a huge central area affected by a cavity.

The inclined tree was medium sized (trunk diameter 47cm with height of 16-18m), like the other trees along the street. The visual assessment conducted in the past on these trees did not reveal any particular symptom, apart from a slight inclination of the tree under examination, which was due to its closeness to a high building. This led the tree's surface roots to lift the surrounding ground and paving, as typical of this species.

After the tree was felled, an instrumental survey was conducted on the stump with a dendrodensimeter Resi B400, with a view to detecting the causes of the tree's sudden inclination. The survey detected an inner area of altered wood with sufficient t/R (residual wall/tree radius) values: 0.37 – 0.54 – 0.68 – 1.00. These values were not such as to classify the tree as unstable, in fact the inclination was due to root and not collar failure. A diagnosis of instability could have been issued only if the root tissue had been directly investigated, which, unfortunately was not reasonable to do, due to the few external symptoms.

As the felled tree presented root decay, but no external symptoms, all the trees along the same street were subject to a thermal imaging examination. Their good vegetative condition can be seen in the picture of Figure 2 (the Thermal apparatus used and one of the Authors can be seen in the foreground). The investigation detected a number of abnormal situations that were later confirmed also by a dendrodensimeter used below the ground level and in an inclined position, as the

measurements conducted with the apparatus in horizontal position, even a few centimetres from the ground, nearly never confirmed the presence of altered tissue revealed by Thermography, instead. The dendrodensimeter probe was introduced in the deepest tissue after a few centimetres of ground were removed in the collar region of the trees assessed.

Just like any other currently used investigation system, Thermography cannot directly reveal the condition of the root system, as it cannot “see” through the ground covering it. However, it allows experts to hypothesize root decay by detecting thermal abnormalities in the collar area. In fact, tissue decay causes a reduction or interruption of the flows of lymph and organic substances from and to the crown, generating a lower physiological activity in the surrounding tissues. Thermography highlights this reduced activity and allows experts to hypothesize the presence of decay. For example, if Thermography detects a tissue alteration at the collar level and not along the trunk, it is logical to infer the presence of root decay. The undeniable advantage that this technology offers, unlike invasive sound wave-based tools and apparatuses, is that the information collected is not relative to the point and height at which the apparatus is used, but concerns huge areas of the tree under investigation.

Most of the trees along via Marzabotto were examined. The points where the dendrodensimeter had to be used were indicated with chalk following thermal examination, that thanks to its greater rapidity of use and non-invasiveness avoided useless damage to healthy trees. In fact, Shigo (1991) and Moore (1998) documented the existence of tissue decay only a few months after dendrodensimeters, Pressler’s increment borer and penetrometers were used on trees, while impulse hammers produce slight damage (W. Moore, private communication). Mattheck’s remark is therefore appropriate, when he suggests to start the investigation with the least invasive apparatus so as not to uselessly damage a healthy tree (Mattheck, 1995). In this way, the danger of spreading pathologies is minimised.

Thermography

Thermography is a truly non invasive investigation technique that detects interruptions in tree tissues by sensing surface temperature differences in the bodies investigated from a distance. In the case of trees, tissue discontinuities due to a cavity or rot cause a variation in the thermal properties of the tissue concerned and not in the surrounding region. A different surface temperature is therefore present on the tree surface in correspondence of the two areas: the rotten or altered area is in most cases colder than the rest.

The existing temperature difference is detected thanks to an infrared (IR) camera, that senses the IR radiation emitted by the body under investigation because of its thermal content (2) and visualises it on the camera screen in real time. An actual “thermal map” is obtained in black and white or in a series of preset colour scales that allows the extension of any decay to be detected and marked. In black-and-white pictures, decay is revealed by an area that is rendered in a shade of grey darker than the surrounding healthy areas (colours in fact range from black – cold, to white – warm), whereas colour images show decay in a colour different from that of the surrounding area.

Apparatuses used in the investigation

The apparatus that is currently used for Thermography is an IR AVIO TVS 610 camera, sensitive over the 8-14 μm spectral range. The sensor that should never be cooled down is made up of a focal plane array of 320 X 240 microbolometers. The apparatus can also measure the surface temperature of the bodies studied and has a thermal sensitivity of 0.1 $^{\circ}\text{C}$ and a geometric resolution of 1.4mrad. This means that the camera can distinguish two objects having a surface temperature greater or equal to 0.1 $^{\circ}\text{C}$ and separate objects bigger than 1.4 X 1.4 cm from 10m. Figure 3 shows how the system’s geometric resolution (Instantaneous Field of View – IFOV) and the image taken (FOV) vary according to distance.

The image of the body under investigation is formed in real time (1/30s) on the 5'' LCD screen of the portable apparatus that weighs less than 3 kg, with screen, lenses and batteries included. A single battery, like those used for portable TV cameras may provide up to 4 hours of autonomy, according to the model. The apparatus can be operated by a single operator and assess the aerial parts of trees up to 20-25m from the ground. Greater distances may prevent initial decay from being spotted, because of the reduced resolution (Fig. 3) and the small size of the parts under investigation would have on the screen. A telephoto lens can be successfully used, if needed.

Fig. 3

Images (thermograms) can be stored onto a Compact Flash card (a 16 Mb card can contain up to 80 thermograms), to be later directly downloaded on PC to be processed with the proprietary software of the PE series that turns .iri proprietary files into .jpg, .bmp or .avi files that can therefore be imported onto any text and image-processing software. The PE software also allows the preparation and print of thermal images and photographs, texts and tables.

Previously used thermal cameras were made up of a TV camera containing the sensing element – generally InSb (indium antimonide), the cooling system (liquid nitrogen, Stirling pump, etc.), and scanning system, while a separate driving unit contained a built-in monitor in black and white at first, and colour then. Its resolution and thermal sensitivity were similar to those of today's apparatuses; the main disadvantage of these early apparatuses resided not only in their huge weight and bulk, but also in the impossibility to record images that in older models had to be directly taken on screen. Thanks to the digital era, components were miniaturised to dramatically reduce the weight and bulk of the apparatus and to record images onto magnetic cards so that they could be later processed on a PC.

The results offered by Thermography were confirmed by an IML RESI B400 dendrodensimeter equipped with a steel probe that could be introduced in a tree by 40cm. The probe was powered by two electric engines fuelled by an external battery. An engine rotated the probe at a constant number of revolutions, while the second pushed the probe at a constant speed. An external processor recorded the power used by the two engines to overcome the resistance opposed by the tissue to the probe on a continuous perforated form graduated in cm. Consequently, a 1:1 graph showed the presence of altered tissue or cavity and their distance from the surface. In the case of healthy tissue, resistance remains constant or increases as the probe further penetrates the trunk, depending on the different tree species, while damaged tissue produces a more or less flat or decreasing graph. A flat graph is indicative of a cavity (lack of tissue, and consequently negligible or inexistent resistance to the probe). This tool too is equipped with a proprietary software that allows graphs to be downloaded onto a PC and graphically processed.

A Pressler's increment borer was used to control results. This apparatus is made up of a 40cm long hollow steel cylinder with a 12mm diameter that is threaded at one end so as to be introduced in the tree under investigation. Once the desired depth has been reached, an appropriately shaped thin steel slab, the so-called "extractor", that brings with it the core when extracted, is introduced in the hollow cylinder. The core allows experts to assess the consistency and condition of tissue.

In Trieste, the tissues extracted with a Pressler's increment borer were assessed for their consistency also with an IMI Fractometer. This apparatus was developed by Prof. Mattheck (1994) to study the level of tissue alteration caused by fungi. The Fractometer is constituted by a machine with a small hammer that rests on the core positioned in an appropriate holder and extracted with a Pressler's increment borer; the hammer is connected to an angle indicator and a spring that gives enough strength to the Fractometer to exert pressure on the core. Thanks to the rotation of the machine, the internal spring charges the hammer while increasing the pressure exerted on the sample of tissue. The force exerted is recorded on a graduated scale, as a consequence, once the core is broken, the angle and the rupture load can be read. The combination of these two values, compared with those

included in the tables developed by Mattheck himself, allows any tissue alteration of the lignin and cellulose to be detected; in fact, low loads correspond to cellulose damage, whereas lignin alteration is present with huge angles.

Investigation methods

In Bologna, 61 of the 75 *Celtis australis* on via Marzabotto were first assessed with Thermography and then with the classic VTA method, only using a B400 Resistograph, as Thermography had already detected the size of internal decay, therefore it would have been totally unnecessary to use the impulse hammer that can do the same, but only at the height at which it is applied and cannot investigate underground tissue.

The dendrodensimeter was also applied to the 14 remaining trees. These unevenly aged trees had medium diameters, 40-50cm, at a height of 1.3m from the ground, and were 15-18m high.

Nearly all the nettle-trees didn't show external symptoms or decay, while their crowns were thick and balanced. Only a tree had two small cavities in the main branches, due to pruning scars. As regards this tree, Thermography revealed the existence of alterations that started from the wounds and reached the collar area. Three other trees showed fruiting bodies of the *Ganoderma* species; two of these trees were close to the tree that had inclined (one on the same street side, and the other on the opposite side), while the third tree wasn't so close and showed fruiting bodies along a wound that started in the collar region and went up the trunk for about 2m. Girdling roots were found in all the trees, either above or below ground level. Out of the 61 trees assessed, 13 had to be felled, due to their severely altered root systems.

Over half of the unstable trees (i.e. 7 out of 13) was positioned on either side of the street in a short section, in proximity to the tree felled following its inclination. In this section, two other nettle trees presented fruiting bodies of the *Ganoderma* species in the collar area. It can therefore be thought that mycelium was present in the ground and attacked the trees, thus damaging their root systems.

Trieste's Municipal Park Service, in the persons of Architect Angela Sello and Forester Alfondo Tomé, required an assessment of a monumental tree in "Muzio de Tommasini" park. An interesting research work was conducted to compare the results obtained by separately using Thermography and the traditional VTA method on the field. The instrumental analysis was immediately followed by cutting the trees deemed unstable: this allowed felling operations to be followed and guided so as to better highlight the correspondence between the data provided by the tools and the conditions found in trees. The investigation was made possible thanks to the direct involvement of agricultural technician Andrea Biro Zoltan who organised and coordinated the work and felled the trees when necessary.

Below is a description of this investigation on a horse-chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) that allowed the precision and sensitivity of Thermography in detecting small alterations to be proved.

In Rome, two cypresses (*Cupressus sempervirens* L.) were recently assessed, one of which was felled because deemed unstable. Thermal images of a lime tree (*Tilia* spp.) are also presented, as this tree was part of a line of trees already studied with a different thermal camera back in 1987. Of the 29 trees examined, 6 were felled, as they were deemed strongly unstable. The images of that time were confronted with today's to show the possibility to exactly assess the evolution of tissue decay over time by simply comparing thermal images. Finally, the case of an holm-oak (*Quercus ilex* L.) is presented. This tree was analysed with another apparatus, had decay at the root level and was felled because deemed dangerous.

Results

Some examples of healthy or slightly damaged trees are presented and discussed hereafter, as well as of trees with important decay that were assessed during various investigations.

Bologna

Nettle-tree n. 20 was medium sized, 16m high with a trunk diameter of 64cm at 1.3m from the ground. The vegetative conditions of this tree were average, while from the phytosanitary point of view, the tree showed clear alterations documented by the presence of fruiting bodies of *Ganoderma* spp. at the collar and trunk level, at about 50cm from the ground (Fig. 4). The collar presented girdling roots, while no other symptoms or damage were present in the epigeal areas, with the exception of pruning wounds on the branches that had not anyway caused any significant internal alteration.

Fig. 4 – Fig. 5

The presence of *Ganoderma* fruiting bodies, a sign of significant white and butt rot, already revealed the existence of alterations, that could not be located *a priori* and whose extension was unknown. Thermography highlighted a huge alteration, especially at the collar level, that extended up the trunk though with a smaller intensity, and mainly affected the main cylinder (colour blue, light blue and green), thus revealing a significant alteration at the root level.

In consideration of the rot-related fungi, the Resi B400 dendrodensimeter was applied to a number of points in the collar area, especially below ground level, with a given inclination, so as to assess the tissue located well below the ground level. The four instrumental tests carried out on different points of the collar (70°, 100°, 230° and 310° North – Figure 6) revealed the presence of a huge internal alteration, with a remaining wall that proved sufficient in 3 tests and nearly nonexistent in the fourth test: this led experts to deem the tree unstable and suggest felling it.

Fig. 6

The cutting operation took place a few weeks after the static instrumental test and left a 50cm high stump; the cutting surface shows dark wood that affects a huge internal area of the trunk, by contrast, healthy tissues are light coloured and located in the external area of the surface (Fig. 7). The collar alteration proved bigger than those visible in the picture (that were located at 50cm from the ground).

In order to assess the roots of this tree and visually control the alterations detected by the apparatuses, the kerb around the tree and about 30cm of the superficial ground layers were removed after the felling operation. It was possible to observe that certain huge roots near the fruiting bodies were completely altered, therefore they couldn't keep the tree anchored to the ground (Fig. 8).

In this case, the presence of internal alterations was easy to hypothesise also after visual assessment, because of the present fruiting bodies; the dendrodensimeter confirmed the existence of alterations and allowed them to be quantified. The Thermal camera, on its part, allowed significant tissue alteration in the collar areas to be pre-emptively detected.

Fig. 7 – Fig. 8 – Fig. 9

Nettle-tree n.39 was medium-sized, 18m high with a trunk diameter of 59cm at 1.3m from the ground. The tree's vegetative conditions were good and no significant external symptoms or damage was visible: a significantly ribbed collar and trunk were observed (Fig. 9) as well as a slight inclination of the trunk towards the street centre, that was probably due to the tree's closeness to high buildings that had pushed this tree to look for sunlight. At about a metre from the base, the street paving showed signs of excavations executed some years previously; it can be inferred that during excavations, some roots were damaged, even if at that time it was not possible to reveal the number and diameter of the damaged roots.

Thermography revealed that this tree presented a diffused alteration at the collar level, especially on the left (colour blue, light blue and green) that went from the base and up the trunk though with a smaller intensity (Fig. 10).

Three instrumental tests were conducted on the collar at about 70°, 340° and 160° North – figure 11; the measurements were conducted from 2 to 10cm below the ground level, after removing earth manually. The first test conducted at 70° North at about 10cm below the ground level and with the

apparatus in inclined position did not detect any alteration; the second test conducted at 340° North, 6cm below the ground level with inclined apparatus, revealed a 2cm healthy wood wall, while the third test conducted at 160° North and 2cm below the ground level revealed an alteration after 17cm of healthy wall, with inclined apparatus. The presence of extended decay below the ground level that at least in one point nearly reached the cortical tissue, led experts to deem the tree unstable and to recommend its felling.

Fig. 10 – Fig. 11 – Fig. 12

The cutting operation took place a few weeks after the static instrumental assessment. Only a 10cm high stump was left of the tree; on the cutting surface, a clear alteration of internal tissue is observed (Fig. 12).

Thermography can not only reveal important and diffuse alteration, but can also highlight initial decay of small nature, as described below.

Nettle-tree n. 4 was medium-sized, 17.5m high with a trunk diameter of 62cm at 1.3m from the ground. The vegetative conditions of this tree were good and it didn't show any significant external symptoms or damage (Fig. 13); in fact only some pruning wounds were observed at the branch and bifurcation level, though they didn't seem to have led to any internal tissue alteration.

The thermal investigation, Figure 14, only shows small limited signs of alteration in the central part of the collar (rendered in green in the image): the uniform red-orange colouring should be observed in the rest of the tree base. The blue-light blue colouring of the bark at the ground level is due to the fact that the tree is wet, as it can be inferred from the picture of Figure 13. The same goes for tree n. 8: on the day before the investigation, it had in fact rained.

Fig. 13 – Fig. 14 – Fig. 15

A dendrodensimeter was used at the collar level after thermal investigation for small alterations. Three exams were conducted in the following positions: 160°, 230° and 100° North (Fig. 15); the first and second measurements were made at 7 and 10cm from the ground, with the tool inclined and no alteration was detected, while the third measurement revealed a small 4-cm alteration after 31cm of sound wood. The latter measurement was made with inclined apparatus 8cm below the ground level after the collar was dug up, in order to investigate the deepest tissues.

After thermal and instrumental analyses, the tree did not show any stability problem, as the alteration found was minimal if compared to the tree size. Anyway, it should be observed that also without external symptoms or damage, Thermography revealed an initial or small alteration, anyway, located in the deepest collar tissue.

The thermogram of a healthy tree shows a uniform colouring on the tree surface: Figure 16 shows an example relative to another nettle-tree located on the same street, i.e. n.8 (Fig. 17). The tree presents a uniform red-orange colouring: as already mentioned the parts touching the ground are rendered in blue-light blue and green, because wet. The absence of decay was demonstrated thanks to a dendrodensimeter: the relative graphs are regular (Fig. 18).

Fig. 16 – Fig. 17 – Fig. 18

Trieste

The case of a horse-chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) is presented in Figure 19 with a strip of altered tissue that goes up the trunk. The decay rendered in yellow-green extends from about 10cm to 30cm from the left side of the trunk and is bigger between 15 and 20cm, light blue area; an operator is photographed while using a Pressler's increment borer.

The dendrodensimeter, on the contrary, showed no damage, Figure 20. Consequently, a core of tissue was extracted with a Pressler's increment borer at 148cm from the ground. The tissue was examined with a Fractometer: the results obtained, shown in Figure 21, revealed the presence of alteration at the initial stage between 15cm and 27cm, with partial cellulose destruction. Unfortunately, a picture of the area subject to instrumental tests cannot be published, however, the

trunk did not show any symptom that, failing the thermal investigation, would have required an invasive investigation.

Fig. 19 – Fig. 20 – Fig. 21

A thermal investigation is in no way connected to the type of thermal apparatus used or the tree species; an example of this is provided below with thermograms of some trees (conifers and broad-leaved trees) that were then felled with thermal imaging apparatuses different from the one currently in use. The method was successfully applied also to palm trees (A. Catena, 2000; G. and A. Catena, 2000; A. Catena 2002b).

Rome

The holm-tree (*Quercus ilex* L.) in Figure 22 located in a privately-owned area had a hugely unbalanced crown and presented very deteriorated stumps attacked by wood-eating insects and located at the bifurcation level where formerly huge branches used to be. Figure 23 shows a detail of the trunk base, from which a buttress had been cut in the past probably to better accommodate the marble-chip flooring that can be seen at the tree base. The black-and-white thermogram (Fig. 24) clearly shows the collar area with a huge region rendered in a shade of grey darker than the rest of the trunk: this reveals the existence of altered tissue that affects both sides of the trunk and moves upwards. The tree was felled and Figure 25 shows the picture of the stump, shot from the left of the point in which the thermogram was taken a few weeks after the tree was cut. At the ground level a strongly deteriorated frontal area can be observed, as well as a severely decayed region on the left and right side. Removing a few centimetres of ground showed that decay increased towards the central part of the trunk, on the observer's side.

Fig. 22 – Fig. 23 – Fig. 24 – Fig. 25

Cypresses (*Cupressus sempervirens* L.) located in Villa Sciarra were also studied: one (Figure 26) shows a small opening at 50cm from the ground, that can be barely seen from the fence and some bits of detached bark. The thermogram relative to the left side of the tree shows (Fig. 27) an alteration that from the base moves up the trunk (colours blue, light blue and green), while the right side appeared less damaged (colour yellow, Fig. 28). A core extracted from the right side, picture of Figure 29, revealed the presence of decay close to the left side of the trunk.

Fig. 26 – Fig. 27 – Fig. 28 – Fig. 29

The thermogram of another cypress showed a small cavity at the ground level (Fig. 30), that was almost totally hidden by the grass, and revealed an important alteration (rendered in green), along the left side of the trunk that went from the base to the lower branches (Fig. 31); the other side as well had a smaller alteration (yellow, Fig. 32). The tree was deemed unstable and felled.

Fig. 30 – Fig. 31 – Fig. 32

This time, experts appeared on scene right after the tree was felled, consequently the stump and logs were studied. The picture in Figure 33 shows the 50cm stump and behind that the 50cm overlaying log. Two cavities moving up the trunk are observed: the one on the right is wider than that on the left and all the central part of the trunk is discoloured; the compartmentation barrier which developed following the wound that originated the cavities can be clearly seen. Once the log close to the stump was put upside down, it was possible to observe that the left cavity continued up, while the one on the right had shrunk to a small area of strongly discoloured tissue. The stump was cut at ground level, the base log was sectioned lengthwise twice so as to allow an inspection of the left cavity; the tissue opened flat without opposing resistance, and presented a strongly damaged internal part, Figure 34. The analysis of the subsequent logs revealed the presence of decolouration in the central area, thus confirming the data obtained from Thermography. The stump was not dug up, as the tree was nearly on the edge of a line of poles (erected to consolidate a scarp according to ecological engineering rules). In an attempt to view the condition of deep tissues, a block of wood was removed by cutting the stump towards the centre. The picture of Figure 36 clearly shows that the cavity expands to the hypogeous frontal half of the stump, but does not affect the other half. This was verified at a later stage by extracting cores (not shown) from three points of the cutting

surface that revealed decoloured, but not altered tissue; a 105cm metal probe was introduced in a number of points in the cavity to confirm the thinness of hypogeous, resistant tissue (Fig. 37 and 38), especially on the left of the stump.

Fig. 33 – Fig. 34 – Fig. 35 – Fig. 36 – Fig. 37 – Fig. 38

Another species studied with a different apparatus was a lime tree (*Tilia* spp.) located in a private property. The investigation was conducted in 1987 on a line of 29 nearly secular trees having an average diameter of 55cm and a height of 6-8m (all trees had been heavily pillarded in the past). Six trees were felled and the decay found after examination of the roots and sectioning of the trunk confirmed the diagnosis of instability and therefore the results of the thermal examination. The figures below present the thermograms taken with the apparatus used in the first investigation relative to the situation found at the time in one of the trees not felled and to the present situation. The picture in Figure 39 shows the tree at the time of the first investigation: the only visible damage was a cavity at the bifurcation level due to the loss of a branch, also evident in Figure 40. The mosaic of black-and-white thermograms (Fig. 40) directly taken on the screen of the old apparatus shows another alteration that goes from the base and up the trunk, affecting also the remaining branches. The presence of the alteration is revealed by the non uniform distribution of grey along the trunk. The alteration is stronger at the base, this also suggests the existence of root damage but the right side of the trunk is less damaged than the left. At the time of the first investigation, an alteration coaxial to the trunk was diagnosed from the collar to the branches, but this was not serious enough to require that the tree be cut. Figure 41 shows a thermogram of the base, where the presence of root decay can be perfectly inferred. Figure 42 shows a computerised reconstruction of the tree made with various recently taken thermograms that fully confirm what the old images had revealed: consistent root decay moves up the trunk and affects the branches; the right part of the trunk, like in the past, is more solid than the left. The situation seems worsened both along the trunk and at the base where decay now affects all the collar area. The situation found may require felling the tree, but, due to management reasons, the crown is constantly trimmed and kept very compact (the tree is now less than 6m high with a diameter of 51cm at 130cm from the ground), consequently felling is not required, however, the tree shall be frequently monitored. It should be noticed that it was possible to find the same shooting position as in the past, without knowing the shooting angle, and visually control the evolution of the phenomenon over time.

Fig. 39 – Fig. 40 – Fig. 41 – Fig. 42

The situation found by this new investigation was assessed through a Pressler's increment borer, taking three cores in a position at a right angle with that of the thermal image. The cores shown in Figure 43 are very short as the borer lost its grip after 10-12cm. A thin iron probe, introduced in the borer's hole, penetrated for a number of centimetres indicated with "L" in table 1, before encountering resistant tissue. The size of the cavity that, as detected by Thermography, goes from the base to the bifurcation, can be measured by subtracting the thickness of the residual healthy tissue found by the core from the length of the iron probe introduced in the hole.

Fig. 43 – Table 1

Conclusions

The experiences described in this article were carried out at different times and places, and with different apparatuses on different botanical species, but they all show the capacity of Thermography to reveal even very small alterations and highlight root decay. The latter is often difficult to detect, as trees do not show visible external symptoms indicative of damage, and it is difficult if not impossible to directly assess the root system because of existing paving or obstacles of other type, as in the case of urban trees. It is important to know the condition of root tissue to prevent trees from falling and to grant the safety of passers-by.

Just like other investigation techniques, Thermography cannot directly reveal the condition of the root system, however, it detects root decay, as shown above, by spotting thermal abnormalities in the collar area.

The tool's sensitivity allows any alteration to be precisely detected and located and consequently, subsequent instrumental investigation with the traditional VTA method to be conducted in a more targeted and less damaging way, in case the alterations found require measuring.

The capacity of Thermography to detect any alteration in the various parts of the tree (collar, trunk and branches) from the ground and in a few minutes and its precision are fundamental aspects that integrate this technique with the other apparatuses of the VTA method (dendrodensimeter and Fractometer) in assessing tree stability. Thermography makes other electronic hammers unnecessary, as they can detect alterations only at the height at which they are applied. A tree's aerial parts can be studied by Thermography without resorting to mobile ladders or platforms, that only come into play when a dendrodensimeter or Fractometer are used to precisely measure residual healthy tissue or the condition of tissue, even though a thermal imaging expert can accurately quantify any damage from a thermogram.

Consequently, the hypothesis formulated in a previous article seems confirmed, i.e. Thermography should be introduced in the VTA, between the visual assessment and the use of invasive apparatuses.

Moreover, it is essential to underline that the results obtained with thermal imaging (thermograms) can be used to make comparisons of the phytosanitary condition of a tree and the evolution of any alterations over time. In fact, thermograms can be stored on paper and electronically; two thermograms of the same tree taken from the same angle also a few years apart can be easily compared to precisely and quickly assess the evolution of the alterations present, as described in the investigation on the lime tree.

Thermograms accompanied by pictures of the trees under investigation can be easily stored in the databases of tree management IT systems (SIT, GIS, SIG); this possibility, linked to the more and more common use of IT systems, allows visual, besides normal paper-based databases on the phytosanitary conditions of trees to be created. This will constitute an important historical archive for subsequent assessments on the conditions and stability of the trees under investigation.

The use of Thermography is therefore particularly useful both for an early assessment of urban trees, the detection of alterations not visible from the outside and not marked by particular symptoms or damage, and the stability assessment, in addition to other traditional tools. This proves particularly important in detecting root decay in urban trees.

NOTE

- 1) Radar systems are also used to control the root condition in trees (Hruska J., Cermak J. and Sustek, S. Mapping tree root systems with ground-penetrating radar, *Tree Physiology*, 19, 125-130, 1999; Nicolotti G., Godio A. and Sambuelli L., *Onde georadar*, *Acer*, 4, 54-57, 1998): this use is not practicable at present, as none of the systems proposed can, according to the authors, tell a healthy from a decayed root. Even if the technique was used only to identify the consistency and distribution of the root system (as screening system), problems would arise due to the duration of the investigation – 36h per tree including measurement and data processing (Hruska) and 4h (Nicolotti), or the impossibility of recognising a root from noise – underground pipes, pebbles, detritus, etc. (Nicolotti): both systems require loose ground, the second even needs thin and uniform ground.
- 2) All the bodies at a temperature above absolute zero ($0\text{ K} = -273,14\text{ }^{\circ}\text{C}$) continuously emit energy in all the electromagnetic spectrum: the thermal camera senses the fraction emitted in the spectral range of thermal infrared in which, at about $10\mu\text{m}$, the energy emitted by bodies at ambient temperature reaches its maximum.