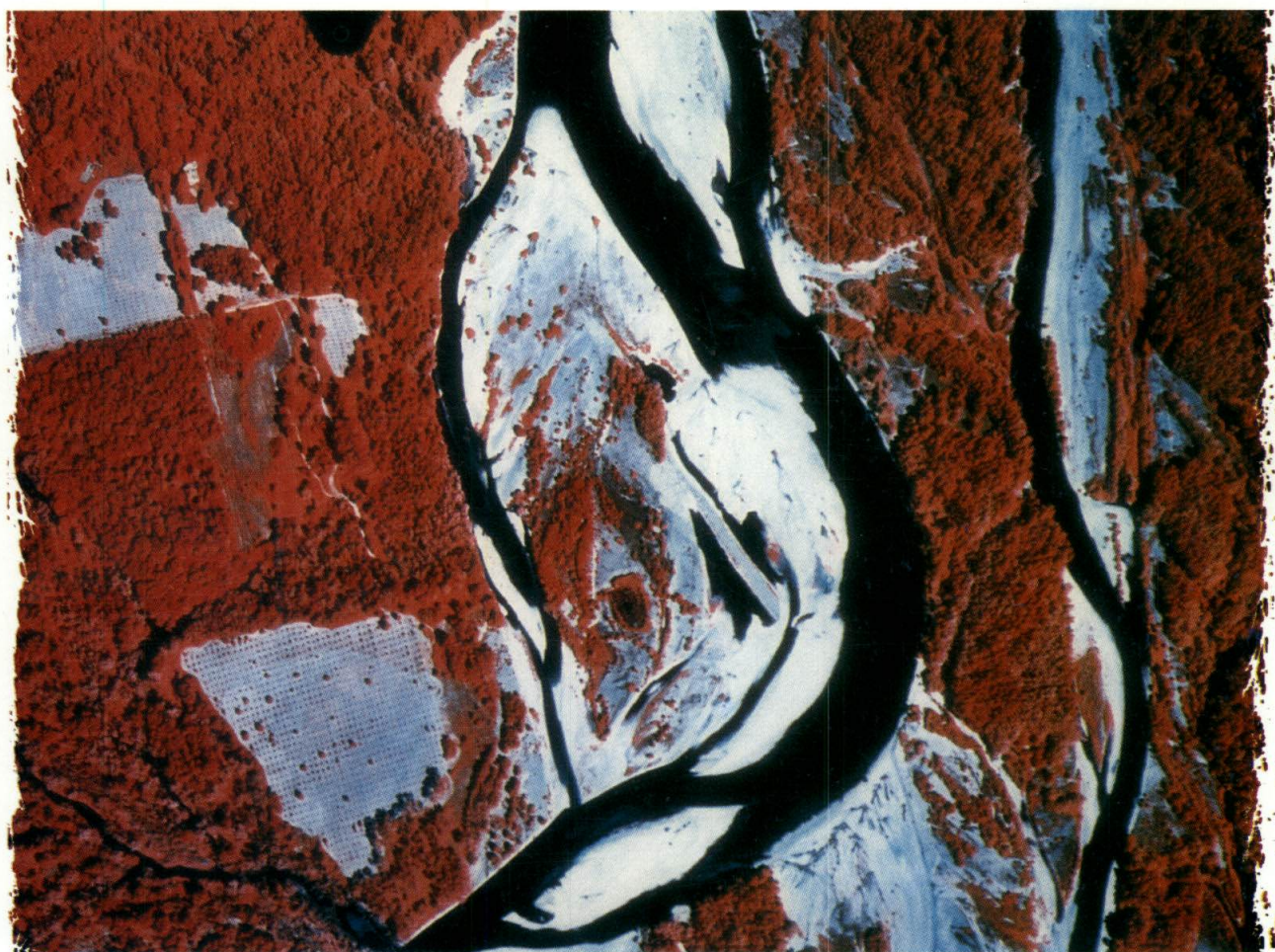


**Monitoraggio dello stato di salute
della vegetazione boschiva mediante
tecniche di telerilevamento
all'Infrarosso Falso Colore
nella Valle del Ticino**



Parco



Ticino

**Monitoraggio dello stato di salute della vegetazione boschiva
mediante tecniche di telerilevamento all'Infrarosso Falso Colore
nella Valle del Ticino**



**Monitoraggio dello stato di salute
della vegetazione boschiva mediante
tecniche di telerilevamento
all'Infrarosso Falso Colore
nella Valle del Ticino**





Lo studio è stato realizzato da:

Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino
Via Isonzo, 1 - 20013 Pontevecchio di Magenta (Mi)
Tel. 02/972101 - fax 02/97950607
E-mail: parcoticino@endoxa.it
Internet: www.parcoticino.it



In collaborazione con:

Compagnia Generale Ripreseeree S.p.A. (C.G.R.)
Via Cremonese, 35/a
43100 Fontana Parma
Tel. 0521/994948 - Fax. 0521/992803
E-mail: info@terraitaly.com
Internet: www.terraitaly.com



Finanziato da:

Regione Lombardia - Assessorato al Territorio ed Urbanistica
Via Fabio Filzi, 22 - 20123 Milano
Tel. 02/67655744
Internet: www.regione.lombardia.it

Coordinatore e responsabile scientifico: **Dario Furlanetto** (Parco Ticino)

Progettazione, Editing ed Elaborazioni cartografiche: **Compagnia Generale Ripreseeree S.p.A.**

Fotointerpretazione e testi: **Enrico Martini** (C.G.R.)

Redazione: **Angela Manuela Vailati** (Parco Ticino)

Hanno inoltre collaborato:

Ilenia Canova (Parco Ticino)
Marina Lanticina (Parco Ticino)
Gabriella Penna (Parco Ticino)

Progetto grafico, impaginazione, fotolito e stampa:
fcm - grafica pre stampa digital offset color - s.n.c.
Via Clerici, 69 - 20010 Marcallo con Casone (Mi)

Le immagini aeree riportate nel presente volume sono state eseguite dalla Compagnia Generale Ripreseeree S.p.A. nel Luglio 2000 e sono autorizzate alla divulgazione con Aut. SMA N° 1-743 del 17.10.2001

Settembre 2001

Prefazione



on l'approvazione della Legge Regionale 10/1999, avente ad oggetto: "Piano Territoriale d'Area Malpensa. Norme speciali per l'aerostazione intercontinentale di Malpensa 2000" la Regione Lombardia si è prefissata, all'interno delle finalità essenziali, due obiettivi prioritari di carattere ambientale:

- a) realizzare programmi di compensazione ambientale in aree naturali ed in aree degradate ricadenti nel territorio del Parco della Valle del Ticino;
- b) realizzare programmi di riqualificazione diretti alla riduzione di situazioni di particolare disagio dei nuclei abitati e dei centri storici prossimi alla sede aeroportuale.

In tale ottica la Regione Lombardia ha promosso una serie di attività ed in particolare, in collaborazione con il Parco della Valle del Ticino, significative iniziative di studio, approfondimento e monitoraggio delle componenti ambientali maggiormente sensibili agli effetti dell'inquinamento, oggetto della presente pubblicazione.

È questo un documento importante e di valore essenziale sia per l'argomento trattato sia per il metodo utilizzato: da un lato infatti affronta lo stato di salute delle aree boscate, patrimonio fondamentale per l'equilibrio di un ambiente così fortemente conurbato, dall'altro costituisce un approccio di grande valenza scientifica perché caratterizzato dall'utilizzo di varie discipline: dalla botanica, alle metodologie di rilievo aereo, a quelle di rilievo sul campo applicate in modo mirato, riconfigurandole sulle caratteristiche dei boschi lombardi al fine di esaltare le specificità locali proprie dell'area della Valle del Ticino.

A tal fine in particolare il Parco della Valle del Ticino è risultato un partner che grazie alla presenza diretta sul territorio, meglio di ogni altro ha potuto garantire una conoscenza approfondita delle tematiche ambientali che in esso si sviluppano.

Tali peculiarità debbono essere salvaguardate in un'azione di equilibrio territoriale complessivo perché costituiscono la caratteristica di un territorio che la Regione Lombardia ha tutelato, per la sua importanza, già nel lontano 1974 attraverso l'istituzione del Parco.

*Alessandro Moneta
Assessore Territorio ed Urbanistica
Regione Lombardia*

Presentazione



er gli studiosi rappresentano "l'ultimo lembo della foresta planiziale", per gli addetti ai lavori sono "un patrimonio boschivo denso di biodiversità", per i residenti sono semplicemente i "boschi del Ticino", a cui essi riservano un'attenzione particolare che rasenta il culto.

A parte l'affluenza disordinata degli "stranieri" di fine settimana, migliaia di persone convivono giornalmente con loro e con il fiume, in un rapporto atavico che non fa distinzioni tra le generazioni.

Questo immenso bene che il Parco ha reso pubblico corre tutti i rischi di cui la Società consumistica è portatrice. Decine di incendi dolosi, stroncati però sul nascere da un esercito di 265 volontari antincendio attrezzati di tutto punto, tagli abusivi, malattie degli alberi da parassiti e da ultimo, solo però nel significato temporale del termine, danni da inquinamento dell'aria e da sversamento di carburante degli aerei che passano e ripassano sulle chiome verdi centinaia di volte ogni giorno.

Ad un "attacco" così organizzato e sistematico non era possibile rispondere con superficialità o pressapochismo da parte dell'Ente deputato alla tutela o, peggio ancora, invocare, impotenti, il destino cinico e baro. Il Parco ha deciso di attrezzarsi con tutti i mezzi conoscitivi possibili per avere sotto controllo lo stato di salute dei boschi e per correre ai ripari in caso di pericolosi peggioramenti.

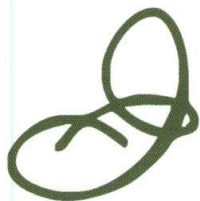
Il monitoraggio del danno fogliare attraverso rilievi aerofotogrammetrici con pellicola a raggi infrarossi, la conseguente restituzione cartografica e l'elaborazione digitale finale costituiscono il miglior sistema per conoscere, addirittura con molto anticipo rispetto a quanto può indagare l'occhio umano, l'insorgere di patologie od il peggioramento di sofferenze fisiologiche stagionali.

Quello che presentiamo è un lavoro di grande qualità che rientra fra i progetti di monitoraggio delle componenti ambientali dopo l'entrata in funzione dell'aeroporto HUB di Malpensa e che la Regione Lombardia ha finanziato.

È un servizio reso anche a Comuni e Province consorziati, oltre che a studiosi e cittadini comuni. È possibile, infatti, stralciare ed ingrandire il territorio di ciascun Comune oppure avere un quadro conoscitivo completo di tutta la valle del fiume o di una porzione di essa. Un servizio indispensabile per la pianificazione comunale, ma soprattutto per quella provinciale che ha il compito di trattare le problematiche territoriali in termini complessivi ed interdisciplinari.

Un passo in avanti significativo anche per il Parco che sta trasformandosi sempre più da Ente di mero controllo in Istituzione specializzata nella conoscenza degli elementi ambientali riferiti al territorio amministrato.

*Luciano Saino
Presidente Parco Ticino*



I monitoraggio dello stato di salute della vegetazione nei Parchi del Ticino, presentato in questo volume, è stato realizzato tramite l'applicazione di una metodica maturata da un'esperienza di ricerca condotta in Svezia, dal Dipartimento di Telerilevamento e Fotointerpretazione dell'Università di Stoccolma.

Per la realizzazione di questo studio è stato utilizzato, partendo da questa prestigiosa esperienza internazionale, un metodo innovato e adattato alle caratteristiche ed alle peculiarità del territorio italiano. In particolare è stato necessario adeguare la metodologia svedese alle complesse ed articolate realtà vegetazionali ospitate nei territori dei Parchi del Ticino, al fine di permettere la delimitazione precisa dei confini delle aree boscate caratterizzate dai differenti livelli di stress.

Tale innovazione, unitamente al perfezionato e complesso lavoro d'informatizzazione dei dati ha permesso di far raggiungere al presente studio il pregio di rappresentare un'esperienza pilota che può essere applicata al resto del territorio italiano.

Questo volume, quindi, non solo fornisce utili informazioni sullo stato di salute nei boschi dei Parchi del Ticino, costituendo così un importante strumento di gestione del territorio ad uso delle amministrazioni locali e dei pianificatori territoriali, ma rappresenta anche un interessante prototipo di riferimento per analoghi lavori su scala nazionale. È, inoltre, un lavoro destinato a docenti, studenti e ricercatori, che desiderano approfondire le proprie conoscenze riguardo ad un metodo d'analisi della qualità ambientale e delle problematiche ecologiche, tra i più sofisticati, efficaci e tecnologicamente avanzati.

Posso inoltre affermare che il lavoro qui presentato avrà ulteriori sviluppi: s'intendono, infatti, proseguire gli studi di monitoraggio riguardanti la vegetazione boschiva con la realizzazione di numerosi approfondimenti. In particolare i dati attuali saranno messi a confronto con i risultati delle passate ricerche condotte nell'anno 1994, sempre tramite pellicola all'I.R.F.C., al fine di mettere in luce il trend evolutivo delle diverse forme di stress cui sono sottoposti i boschi dei Parchi del Ticino. Saranno, inoltre, scorporate e valutate a parte le aree coltivate a pioppo, che nel presente lavoro sono state considerate parte integrante del patrimonio boschivo ma che, in realtà, ecologicamente sono comparabili a coltivazioni tipiche del nostro ambiente agricolo. Il metodo utilizzato per la valutazione dello stato di salute della vegetazione boschiva potrà, quindi, essere applicato anche alle aree coltivate a pioppo che rappresentano un importante settore della nostra agricoltura.

Desidero infine ringraziare coloro che hanno contribuito in diverso modo alla realizzazione di questo volume a partire dalle mie valide collaboratrici, Angela Manuela Vailati e Marina Lanticina. Un ringraziamento particolare, per la professionalità e la meticolosità dimostrata, al Professor Enrico Martini e all'intero staff della Compagnia Generale Ripreseeree di Parma.

*Dario Furlanetto
Direttore Parco Ticino*

Indice

1. Premessa	pag. 1
2. L'impiego della pellicola all'infrarosso falso colore nel telerilevamento vegetazionale	pag. 3
3. Dati tecnici	pag. 11
3.1 Principi fisici di base	pag. 11
3.2 Dalla radianza alle immagini	pag. 12
3.3 La risoluzione geometrica	pag. 12
3.4 Le caratteristiche della pellicola I.R.F.C.	pag. 13
3.5 La firma spettrale	pag. 14
4. Le indagini pregresse	pag. 19
5. Il metodo adottato nella presente indagine	pag. 21
6. Le caratteristiche della ripresa	pag. 29
7. Precisazioni metodologiche	pag. 31
8. Analisi sintetica dei risultati e commento critico	pag. 35
9. Il problema delle infestanti	pag. 47
10. La situazione dei Comuni lombardi	pag. 51
Riferimenti bibliografici	pag. 105

1. Premessa



La fotografia all'infrarosso, inizialmente impiegata per identificare oggetti mimetizzati, ha trovato tutta una serie di applicazioni, nell'ultimo trentennio, soprattutto nello svolgimento d'indagini sulla "lettura" del territorio e sulla qualità ambientale dei vari ecosistemi.

Le radiazioni infrarosse sono state distinte in "vicine", "intermedie" e "lontane": le prime sono prossime alla luce rossa, corrispondono a lunghezze d'onda di 800-900 nm ("nm" = nanometro = miliardesimo di metro) e, come vedremo tra breve, consentono di valutare lo stato di salute delle piante con un anticipo di diversi anni rispetto all'occhio umano; le ultime hanno lunghezze d'onda comprese tra 8.000 e 12.000 nm, corrispondono all'infrarosso termico e forniscono lo spunto ad applicazioni scientifiche e militari (congegni di puntamento sensibili al calore emesso dai corpi e così via).

Nel 1987 la Compagnia Generale Riprese aeree S.p.A. di Parma, (C.G.R.), decise di svolgere una ricerca sulle potenzialità applicative dell'infrarosso falso colore (pellicole per riprese da alta quota) in un territorio italiano scelto come campione. Si optò per la Liguria dove, in collaborazione con l'Assessorato regionale all'Urbanistica, furono identificate le problematiche da approfondire e le aree sulle quali concentrare la sperimentazione.

In Liguria un parassita del pinastro (o pino marittimo, *Pinus pinaster*), l'Emittente *Matsucoccus feytaudi*, giunto nell'estremo Ponente dalla contigua Costa Azzurra, in un decennio aveva provocato danni gravissimi, devastando intere pinete. Esiste un tempo di latenza tra l'arrivo del parassita e la comparsa dei primi sintomi di sofferenza a livello di chiome degli alberi, tempo di latenza che può giungere addirittura a sei anni, dopo di che per i pini non vi è più scampo. Era quindi importante, per la predisposizione di opportuni interventi di lotta fitosanitaria e di ricupero ambientale, riuscire ad individuare l'effettivo confine tra le pinete indenni e quelle infestate ed anche la reale estensione di queste ultime.

Si optò allora per un'indagine volta ad appurare se all'infrarosso falso colore l'aggressione del *Matsucoccus feytaudi* sui pinastri fosse percepibile prima che lo stato di sofferenza degli esemplari risultasse avvertibile all'occhio umano. Furono campionate due aree: Monte Bignone (entroterra di San Remo, provincia d'Imperia) e Sciarborasca (entroterra di Cogoleto, provincia di Genova), località, quest'ultima, in cui i parassiti erano stati introdotti con un incauto ed improvvido trasporto di legname infetto.

Su quelle aree furono effettuate le riprese aeree; successivamente venne costituito un gruppo di studio di cui fecero parte Leif Wastenson, Direttore del Dipartimento di telerilevamento e fotointerpretazione dell'Università di Stoccolma, Enrico Martini, docente di botanica e di geobotanica presso

l'Università di Genova, e vari specialisti della stessa C.G.R. Venne svolto un proficuo lavoro di interpretazione dei fotogrammi scattati e si realizzarono tre differenti tipi di elaborati cartografici:

1) Una carta della vegetazione reale (sulla base di una legenda costituita da 19 voci relative al territorio studiato).

2) Una carta dei danni agli esemplari di specie arboree (con cinque classi di danneggiamento).

3) Una carta della combustibilità delle fitocenosi (con cinque classi di rischio accorpanti 29 tra situazioni vegetazionali ed aree variamente antropizzate).

Il materiale elaborato, integrato da sintesi di sperimentazioni effettuate negli Stati Uniti, in Svezia, nel Lazio e in Africa, costituì il nucleo principale di un libro dal titolo "*Se il bosco muore*", edito dalla stessa C.G.R. La ricerca sulle aree infestate dal *Matsucoccus* consentì di appurare che effettivamente la pellicola all'infrarosso falso colore permetteva la diagnosi precoce della presenza del parassita; era sufficiente esaminare le fotografie aeree allo stereoscopio ed identificare le alterazioni di colore delle estremità dei rametti giovani, alla periferia della chioma degli alberi (ad occhio nudo tutta la chioma appariva uniformemente verdeggianti).

Da allora ulteriori lavori basati sull'applicazione di questo metodo d'indagine furono svolti; si segnala, in particolare, una ricerca effettuata sulle valli Bòrmida (Liguria-Piemonte), su 53.500 ettari di superficie (immagini fotointerpretate da Enrico Martini), ricerca condotta nell'ambito di un'indagine multidisciplinare patrocinata dal Ministero dell'Ambiente e dalla Regione Liguria.

Della collaborazione di Enrico Martini ci si è avvalsi anche nel presente lavoro, per quanto attiene alla fotointerpretazione e alle nozioni di ecologia vegetale, oltre che per la stesura del testo, mentre lo staff tecnico della C.G.R. ha svolto gli altri compiti e precisamente la stesura dei piani di volo, l'esecuzione delle riprese aeree ed il loro sviluppo, il riporto sulla cartografia della fotointerpretazione, la successiva digitalizzazione delle carte, la preparazione della parte iconografica ed il coordinamento generale delle differenti attività. All'ottimizzazione del testo finale (specie in riferimento al Capitolo 3) ha collaborato Riccardo De Paulis (C.G.R.).

2. L'impiego della pellicola all'infrarosso falso colore nel telerilevamento vegetazionale



Tra i vari metodi impiegabili per identificare i tipi di vegetazione arborea e per valutarne lo stato di salute, il telerilevamento fotografico da aeromobile con pellicola all'infrarosso falso colore (*InfraRed False Color - I.R.F.C. -*) è il migliore (in combinazione con una verifica sul campo), per la possibilità che viene offerta al pianificatore territoriale di rilevare estese superfici in breve tempo, per il potere risolutivo, che può essere spinto fino a poco più di un decimetro (in indagini quale quella sulla valle del Ticino), e infine per la possibilità d'individuare il livello di stress in cui versano gli alberi con un anticipo di diversi anni rispetto all'occhio umano.

Questo metodo ha il grande vantaggio di coprire territori estesi in un arco temporale molto ridotto, "congelando" una situazione della vegetazione arborea in cui l'influenza dei fattori esterni generali (essenzialmente di tipo climatico e meteorologico) può essere ritenuta costante.

Quanto al telerilevamento satellitare, i satelliti di ultima generazione hanno acquisito un potere di risoluzione dell'ordine di un paio di metri (ampiamente sufficiente per la pianificazione territoriale); tale risoluzione risulta ancora oggi insoddisfacente rispetto a quella ottenibile dal rilievo aereo. Occorre, inoltre, effettuare una serie di passaggi per coprire soddisfacentemente una regione estesa, elemento che impedisce la contemporaneità della ripresa, infine, il rilevamento satellitare comporta l'analisi di risposte spettrometriche, con valutazione statistica di probabilità, elaborate tramite algoritmi di interpolazione; questo tipo di valutazione non consente di identificare le realtà indagate col medesimo livello di certezza che è consentito, invece, dalle fotografie aeree.

Tutto considerato, il rilevamento all'I.R.F.C. da aeromobile risulta il mezzo d'indagine più idoneo oggi esistente sia per realizzare carte della vegetazione e dell'uso del suolo, sia per censire i livelli di stress a carico della vegetazione arborea. Un'alternativa è rappresentata dal sensore aerotrasportato MIVIS, apparecchiatura la cui sigla deriva dalla dicitura "*Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer*"; uno strumento costituito da quattro spettrometri in grado di riprendere simultaneamente le radiazioni riflesse dalla superficie terrestre nelle lunghezze d'onda dal visibile all'infrarosso termico.

L'apparecchiatura dispone di 102 bande investigative, con copertura spettrale compresa tra 430 e 12.700 nm: 20 bande coprono il visibile tra 430 e 833 nm, 8 registrano nell'infrarosso vicino, tra 1.150 e 1.550 nm; 64 bande coprono l'infrarosso medio, tra 2.000 e 2.500 nm; 10 bande registrano nell'infrarosso termico, tra 8.200 e 12.700 nm.

L'impiego di questa strumentazione, per quanto riguarda i livelli di stress della vegetazione arborea, è in fase di ricerca sperimentale. È previsto un



approfondimento proprio in relazione al territorio dei Parchi del Ticino, a proposito dei quali si dispone già di dati relativi all'intera asta fluviale.

Il notevole vantaggio offerto da questa strumentazione, rispetto alle normali pellicole ed ai rilevamenti satellitari, è la grande risoluzione spettrale. Con una normale pellicola all'infrarosso, per ciascun punto del terreno, si ottiene una sola informazione che rappresenta la media delle risposte di quel punto nelle lunghezze d'onda che vanno da 800 a 1.200-1.300 nm; il sensore MIVIS, invece, fornisce 5 valori differenti per le lunghezze d'onda comprese tra 750 e 1.000 nm (bande dalla 15 alla 20) ed ulteriori 8 valori (bande dalla 20 alla 28) per le lunghezze d'onda comprese tra 1.000 e 1.500 nm, permettendo di dettagliare in modo molto maggiore l'informazione spettrale; consente, inoltre, di avere a disposizione un'informazione correlata alla temperatura degli alberi (tramite i valori rilevati con le 10 bande dell'infrarosso termico), che è un parametro molto importante, poiché è noto che, in presenza di sofferenza della vegetazione, la temperatura tende ad aumentare. Per contro va segnalato che la normale pellicola fotografica ha ancora una risoluzione spaziale migliore (il MIVIS ha un pixel sul terreno di 3 metri).

Per quanto riguarda l'impiego dell'I.R.F.C., ad una serie di pregi peculiari si contrappongono alcuni aspetti problematici.

Un motivo di pregio di notevole importanza è dato dalla capacità di perforare in misura incredibile la foschia atmosferica. Questa prerogativa dipende dal fatto che la pellicola all'infrarosso falso colore è sensibilizzata per registrare le lunghezze d'onda (nell'ambito del rosso) che meglio penetrano foschia e fumi. Certe immagini, infatti, risultano di una nitidezza assoluta, dando l'impressione che tra l'aereo e il suolo non esista atmosfera (con il proprio carico di vapore acqueo, pulviscolo ed inquinanti); ne deriva una grande leggibilità delle foto aeree, assai migliore di quella delle immagini riprese alla luce normale (figura 1).

Un secondo motivo di pregio è dato dalla possibilità di discernere nettamente varie specie arboree, le chiome dei cui esemplari, alla luce naturale, tendono invece a confondersi.

Le variazioni pur modeste di riflettività alla luce visibile danno come risultato risposte assai diversificate nel campo dell'infrarosso: è un dato di fatto, ad esempio, che un leccio, un pino, un abete appaiono rosso scuro, una latifoglia (in generale) rosa più o meno carico, con le eccezioni della roverella, che risulta invece rosa pallido, e del salice bianco, che ha una tonalità bianco-rosata. La gamma cromatica che viene presentata da un manto boschivo su una pellicola sensibile alle radiazioni tra 800 e 900 nm fornisce un ottimo mezzo per realizzare carte della vegetazione reale particolarmente precise. Trattandosi, ovviamente, di una pellicola "falso colore", compiuta un'analisi preliminare dei tipi vegetazionali quali appaiono all'infrarosso, è necessaria una fase di verifica sul terreno, per essere certi di aver identificato le specie in base alla loro resa cromatica. E' anche vero che molte latifoglie appaiono di colore rosa-rosso e non possono essere distinte in base all'unico parametro della tonalità cromatica presentata dalle chiome.



Figura 1

La capacità della pellicola all'I.R.F.C. di perforare la foschia atmosferica è straordinaria. L'immagine è stata scattata nella prima decade di luglio: tra l'aereo (che volava a 1.350 m s.m.) e il suolo sembra non esistere l'atmosfera, con il suo carico di vapore acqueo, pulviscolo ed inquinanti.

Un elemento diagnostico aggiuntivo (di grande importanza!) è rappresentato dalla morfologia della chioma quale risulta dall'osservazione allo stereoscopio: è possibile, ad esempio, distinguere così un castagno da un faggio, anche se la resa cromatica delle due specie è molto simile.

Un ulteriore pregio dell'I.R.F.C., sicuramente quello più straordinario, è costituito dalla correlazione che esiste tra tonalità cromatica e livello di stress dei singoli esemplari arborei. Un albero in buone condizioni di salute dà, in genere, una notevole risposta all'infrarosso, apparendo di un bel colore rosa-rosso; se però il suo stato di salute è compromesso, la chioma acquista una tonalità rosata smorta, quindi un colore ocra. In situazioni di compromissione più grave si constata un viraggio verso il verde-grigiastro; un esemplare prossimo al collasso, infine, assume un color cenere (a questo punto, però, i danni dovrebbero apparire anche ad occhio nudo, quanto meno a livello di diafanizzazione della chioma se non di clorosi delle foglie). La precocità della diagnosi sullo stato di salute degli esemplari arborei (corrispondente, rispetto all'occhio umano, ad un anticipo anche di un decennio), rappresenta un notevole vantaggio per il pianificatore territoriale, data la possibilità che viene offerta di individuare per tempo le realtà vegetazionali più fragili e vulnerabili, votate ad un più precoce deperimento, permettendo di concentrarvi risorse ed interventi.

Non si sa quale sia la causa della comparsa delle colorazioni ocra, verde, grigio, cenere, delle chiome di alberi in cattivo stato di salute: non può trattarsi di un diminuito tenore di clorofilla poiché la sofferenza, in tal caso, apparirebbe immediatamente, dato che la clorosi del fogliame è percepibile direttamente dall'occhio umano. Si suppone che vi sia un'alterazione del velo d'acqua che tappezza le cellule del palizzata e del lacunoso a livello di mesofillo fogliare (approfondiremo questo argomento tra breve), e si ipotizza che questo danneggiamento porti ad una riflessione più marcata delle radiazioni che il nostro occhio percepisce come tonalità da ocra a cenere. Nell'individuare i danni incipienti, lo stereoscopio si rivela un ausilio insostituibile: a volte, esaminando una foto aerea, un esemplare può apparire di una bella tonalità rossa, mentre, ad un forte ingrandimento, le estremità dei rami possono rivelare colori ocra o verdi. Può trattarsi di un sintomo legato ad uno stato di sofferenza temporaneo, dovuto, ad esempio, a siccità, oppure della fase iniziale di una patologia più grave (come nel caso, già ricordato, dell'aggressione di *Matsucoccus feytaudi* su *Pinus pinaster*).

Rimane il problema di individuare la fonte del danno: si può, a questo punto, procedere per induzione. Un colore verde generalizzato su un lembo di territorio può equivalere all'effetto di un incendio (visibile, d'altronde, anche ad occhio nudo). Un danno sugli esemplari di un'unica specie è, in genere, da correlare ad un attacco parassitario. Una sofferenza che coinvolga esemplari contigui di più specie arboree, a differente livello di stress, inseriti in ambiti in buone condizioni complessive, può configurarsi come un episodio iniziale di moria del bosco "per danni di nuovo tipo" (piogge acide ed altri fattori nocivi). Un danneg-

giamento di alberi situati lungo crinali e su versanti a solatio, mentre migliore appaia lo stato della vegetazione arborea negli impluvi e sui pendii a bacio, può essere sintomo di uno stress da deficienza idrica collegata ad una fase di siccità protratta. Ovviamente non si può prescindere da una verifica sul terreno, quanto meno a titolo orientativo.

Un ultimo pregio, che dovrebbe essere attentamente valutato dai Direttori del verde pubblico nei centri urbani, è l'eccezionale precisione della risposta dell'I.R.F.C. a livello di individuazione di stati di stress delle alberature di viali, parchi, giardini, aiuole arborate (figura 2), ed anche del verde arboreo privato, sul quale, di regola, l'analisi dei tecnici comunali non può estendersi.

La pellicola all'I.R.F.C., comunque, presenta alcuni aspetti problematici: si tratta di una tecnologia che richiede un alto livello di competenza e di specializzazione, ed anche una lunga serie di prove sperimentali, se si vogliono ottenere i migliori risultati possibili.

La risposta cromatica dell'infrarosso, inoltre, è molto legata all'altezza a cui vola l'aereo: la ripresa da una quota medio-alta riduce i costi (esistono stereoscopi ad altissima efficienza), ma comporta inevitabilmente un affievolimento cromatico che è proporzionale alla quota stessa. Con l'aumento dell'altezza sul livello del mare, si afferma una dominante sempre più bluastra, dovuta al fatto che il vapore acqueo atmosferico tende ad assorbire la radiazione infrarossa riflessa dalla Terra. L'impressione del fotogramma deve quindi essere corretta con l'uso di appropriati filtri che solo una serie di prove sperimentali è in grado di assicurare.

Rispetto ad una pellicola per luce visibile, quella all'I.R.F.C. mostra un maggiore contrasto, fatto che può causare una perdita d'informazioni a livello di zone d'ombra dovute alla presenza di nuvole, che schermano il suolo dai raggi luminosi, o di ripidi rilievi che proiettano la loro ombra sul terreno sottostante. In una certa misura il problema può essere ovviato dall'impiego di particolari filtri.

Le apparecchiature da utilizzarsi per il trattamento del materiale fotografico impressionato richiedono una taratura accuratissima: lo sviluppo in laboratorio della pellicola all'I.R.F.C. deve essere controllato da una rigida standardizzazione della composizione dei liquidi di sviluppo, dei tempi, della temperatura, della velocità di passaggio attraverso la sviluppatrice continua. Le tolleranze sono ridotte al minimo e le precauzioni sono indispensabili per evitare interferenze sulle tonalità cromatiche da parte di fattori estranei, dovuti al trattamento: il mancato rispetto dei parametri ottimali porterebbe, infatti, a risultati cromaticamente inaffidabili.

La pellicola all'I.R.F.C. ha una latitudine di esposizione molto limitata e una gamma estesa di sensibilità spettrale, che deve essere "tagliata" con un filtro per le lunghezze d'onda indesiderate (quale, ad esempio, quella corrispondente al blu), mentre la sensibilità all'infrarosso (difficile da controllare a livello

Figura 2
La significatività dell'indagine all'I.R.F.C. applicata al verde urbano è davvero rimarchevole: risaltano, con particolare evidenza, tutti gli alberi che presentano un elevato livello di stress (tonalità grigiastre), in contrapposizione a quelli integri. All'occhio umano le chiome appaiono tutte verdeggianti. La fredda asetticità dell'I.R.F.C. potrebbe fare piazza pulita delle sterili polemiche tra difensori ad oltranza degli alberi e gestori del verde pubblico. Oltretutto verrebbe censito anche lo stato di salute del verde privato, di difficile accesso.





di fabbricazione), si deteriora col tempo ed esige condizioni ottimali di immagazzinamento.

La tecnologia dell'infrarosso falso colore è basata, come si è visto, sulla comparsa di colorazioni delle chiome degli alberi da porre in relazione con differenziati livelli di stress; in realtà, in un fotogramma all'I.R.F.C., man mano che dalla porzione centrale ci si sposta verso la periferia, si constata l'affermarsi di un processo di "vignettatura" che tende ad accentuare verso toni più cupi le tonalità cromatiche sia del manto arboreo sia degli altri particolari del paesaggio.

Questo aspetto negativo è ovviabile con la semplice procedura di scattare, durante il volo, un gran numero di fotogrammi, con una percentuale elevata di copertura dello stesso territorio da parte di fotogrammi adiacenti (70-75% di copertura tra due fotogrammi consecutivi, 40% di copertura tra due fotogrammi non immediatamente consecutivi); in tal modo è possibile, poi, al fotointerprete, concentrare la propria analisi sulla porzione centrale, trascurando quelle periferiche adiacenti ed ignorando le zone agli angoli di ogni singolo fotogramma. Un'ottima percentuale di sovrapposizione deve essere anche garantita tra fotogrammi di strisciate adiacenti.

Le fotografie all'I.R.F.C. vanno scattate in un periodo limitato dell'anno, preferibilmente tra la seconda decade di giugno e la prima di settembre (comprese). In primavera, il fogliame delle caducifoglie appare, di regola, in ottimo stato, poiché le piante non sono ancora state esposte, in misura apprezzabile, a stress di varia natura (dalla siccità ai parassiti, dalla carenza di elementi chimici importanti nelle soluzioni circolanti nel terreno al dispendio energetico legato alla fruttificazione e alla sintesi di zuccheri che devono costituire le riserve alimentari degli embrioni racchiusi nei semi). Dopo la metà di settembre, invece, la chioma delle caducifoglie può iniziare a percepire l'approssimarsi della cattiva stagione e questo fatto, unitamente a danni (temporanei e reversibili) dipendenti dall'essersi presentata una stagione estiva particolarmente siccitosa (con ingiallimento, arrossamento, accartocciamento, avvizzimento precoce del fogliame), può indurre colorazioni aberranti rispetto a quelle assunte tipicamente come effetto di stress ambientali obiettivi.

Un ulteriore aspetto che va tenuto presente è l'inutilità della pellicola all'I.R.F.C. nel censimento qualitativo degli arbusteti e dei prati: risultati probanti si ottengono solo con la vegetazione arborea o con giovani esemplari di specie arboree che abbiano raggiunto un portamento quanto meno altoarbustivo o arborescente.

Ovviamente, maggiore è la scala dei fotogrammi migliore è la leggibilità del territorio: è vero che esistono stereoscopi ad alta efficienza, ma è anche vero che un notevole risparmio di tempo (per la conclusione delle indagini) e di fatica (per il fotointerprete) è garantito dalla disponibilità di foto a scala di 1:6.000 / 1:8.000 (quale si ottiene effettuando le riprese da 900-1.200 metri di quota relativa, se si impiega una focale di 150 mm).

A titolo di conclusione si sottolinea che l'elaborazione di cartografie della vegetazione reale, dell'infiammabilità e della combustibilità delle fitocenosi, dello stato di salute dei boschi, rimane una premessa fondamentale per una lungimirante pianificazione territoriale. Al giorno d'oggi una lunghissima fase di sfruttamento delle cenosi boschive (soprattutto per il prelievo di legname), seguita dall'abbandono, l'alternarsi di lunghi periodi siccitosi e di precipitazioni anomale, d'inusitata intensità, copiosità e frequenza, l'impatto di ingenti masse di inquinanti, per lo più acidificanti, i frequenti incendi, le devastazioni provocate da rovinosi parassiti, hanno portato ad un progressivo ed esteso deperimento dei boschi.

Un volo per conseguire una copertura all'infrarosso falso colore appare quindi una scelta strategica raccomandabile per giungere ad una conoscenza approfondita delle problematiche esistenti, in anticipo rispetto a quanto è percepibile dall'occhio umano, con individuazione precisa e puntuale delle zone "sensibili" del territorio: una scelta idonea a consentire di impostare un efficace programma di risoluzione delle criticità, nell'interesse della comunità sotto il profilo economico ed ecologico.

3. Dati tecnici

Al fine di chiarire alcuni dei concetti finora espressi e per meglio introdurre il significato di "firma spettrale" si ritiene opportuno definire, in maniera molto sintetica, alcuni concetti fondamentali sul telerilevamento fotografico.

3.1 Principi fisici di base

In generale il telerilevamento è definibile come l'insieme delle tecniche e delle strumentazioni che ci permettono l'acquisizione a distanza di dati riguardanti il territorio e l'ambiente, nonché delle metodologie per la loro successiva elaborazione ed interpretazione.

Si possono distinguere due tipi di strumentazioni utilizzabili a tale scopo: una prima classe che fornisce misure di calore, di temperatura, di radianza ecc., ed una seconda che fornisce elementi qualitativi che non esprimono direttamente una misura, ad esempio un'immagine fotografica. Tutte le grandezze fisiche in gioco (misurabili e non) si riferiscono al comportamento della materia in rapporto alla sua capacità di emettere o riflettere energia elettromagnetica; questa forma di energia, le cui leggi fisiche vengono esplicitate nella "Teoria elettromagnetica della luce" o "teoria di Maxwell", si manifesta sotto forma di onde elettromagnetiche, che a loro volta sono identificate dalla loro caratteristica "lunghezza d'onda" (o dal suo inverso, la "frequenza"). L'insieme continuo delle radiazioni, da quelle che hanno lunghezza d'onda di 10^{-6} metri, a quelle con lunghezza d'onda superiore, fino 105 metri, costituiscono lo "spettro elettromagnetico" (figura 3).

Si distinguono onde lunghe, medie, corte (usate nelle radiocomunicazioni), onde ultracorte (impiegate nella televisione), microonde (applicate nei radar),

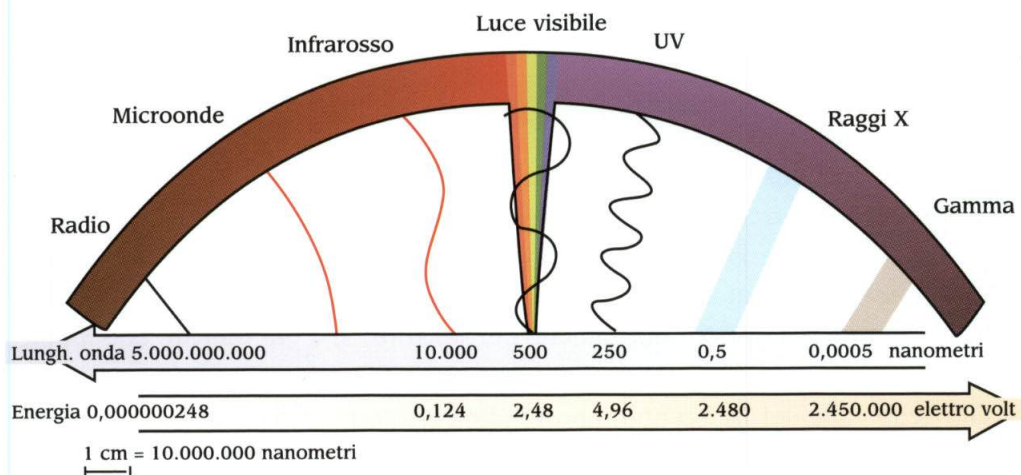


Figura 3
Spettro elettromagnetico
(www.hyperborea.com)

onde infrarosse, onde visibili, onde ultraviolette, raggi x, raggi gamma e raggi cosmici. I nomi con cui sono definite le varie regioni dello spettro corrispondono alle tecniche sperimentali di produzione e di rivelazione delle onde in questione.

I dati telerilevati misurano la quantità di energia riflessa ed emessa da una superficie unitaria di terreno in un determinato intervallo di lunghezza d'onda (questa grandezza è definita radianza).

Nel telerilevamento fotografico, si impiegano pellicole sensibili a quella parte dello spettro che va dal visibile all'infrarosso vicino: in termini di lunghezza d'onda, si tratta del segmento compreso tra circa 350 nm e 900 nm, limite massimo di sensibilità delle emulsioni.

3.2 Dalla radianza alle immagini

Per sistema fotografico si intende un insieme strumentale comprensivo di: ottica, camera, pellicola e sviluppo, finalizzato ad acquisire e produrre immagini; nel caso particolare del telerilevamento le immagini devono essere adatte per un uso quantitativo, non solo per il loro contenuto geometrico, ma anche e soprattutto per la dinamica delle densità e il loro significato spettrale.

Il termine "immagine" nel telerilevamento ha un significato onnicomprensivo; viene infatti impiegato per definire un qualsiasi supporto visivo risultante dall'interazione tra l'energia elettromagnetica che proviene da una generica superficie e un sistema di registrazione sia fotosensibile (immagine fotografica), sia non fotografico (immagine termica, radar ecc.). L'immagine contiene solo quelle caratteristiche elettromagnetiche che ricadono nell'intervallo di operatività del sensore; così oggetti uguali, o addirittura lo stesso oggetto, possono presentare una diversa immagine se diversa è, ad esempio, la sensibilità della pellicola impiegata con più sensori fotografici, oppure se cambia il canale utilizzato in una registrazione termica, o ancora con il variare della lunghezza d'onda degli impulsi inviati da un radar.

3.3 La risoluzione geometrica

Tutte le immagini sono descrivibili in termini di proprietà tanto geometriche, quali scala e risoluzione, quanto spettrali come tono e contrasto, colore, tessitura, struttura, forma.

La scala di un'immagine è definita dal rapporto tra distanze misurate sull'immagine e corrispondenti distanze dei punti omologhi ritrovati sul terreno. È questa una caratteristica legata alla fase di ripresa e dipende dalla lontananza dell'oggetto dalla piattaforma (altezza di volo oppure distanza orizzontale) e dalle configurazioni ottico-meccaniche del sensore. Si è già rilevato che il potere di risoluzione a terra della pellicola all'I.R.F.C. è pari, per un territorio quale quello della valle del Ticino (in rapporto alle caratteristiche del volo effettuato) a poco più di un decimetro.

In effetti la risoluzione geometrica di un'immagine, ovvero la capacità di discriminare oggetti a differente contrasto, è data da un valore numerico che indica la distanza minima al di sotto della quale due distinti elementi puntiformi appaiono come un unico oggetto. Se il valore di risoluzione dell'immagine viene moltiplicato per il fattore di scala, si ottiene la risoluzione a terra del sistema utilizzato. Un'indicazione di massima si può avere dividendo l'inverso della scala di ripresa per il potere risolutivo del sistema (espresso in linee per millimetro ma variabile a seconda del contrasto del soggetto) e moltiplicando per 1.000 il risultato ottenuto.

Applicando il calcolo allo studio sulla valle del Ticino, eseguito con pellicola Kodak Aerochrome Infrared Film 2443 (potere risolutivo di 63 linee per millimetro, per oggetti a forte contrasto) ad una scala media del fotogramma di 1:8.000, si ottiene: $G.R.D. = 8.000/63 \times 1.000 = 0,127$ m, quindi poco più di un decimetro.

Questo valore è da prendere come dato di riferimento indicativo, in quanto è ricavato da prove sperimentali su oggetti a forte contrasto (strisce bianche e nere contigue) ed è un valore medio della pellicola, il cui comportamento non è costante in ogni punto; tuttavia dà un'indicazione del livello di dettaglio cui può pervenire un'immagine in funzione della pellicola impiegata.

3.4 Le caratteristiche della pellicola I.R.F.C.

In generale la struttura dei materiali fotosensibili ed in particolare delle pellicole I.R.F.C. può essere così riassunto:

- *Base o supporto* della pellicola (plastica o acetato flessibile);
- *Emulsione* (spessore tra 5 e 30 micron) che consiste di sali d'argento sensibili alla luce sospesi in una gelatina trasparente ed assorbente;
- *Rivestimento antialone* per assorbire la luce diffusa e riflessa all'interno dell'emulsione e della base.

L'esposizione alla luce causa modificazioni fisiche nell'emulsione, creando un'immagine latente che si rende visibile solo dopo che la pellicola esposta è stata sviluppata e fissata, attraverso un trattamento chimico. Dopo il risciacquo in acqua e l'essiccazione si ottiene il negativo: ossia l'immagine trasparente (traslucida) caratterizzata da valori tonali inversi rispetto a quelli del soggetto ripreso.

Nelle pellicole I.R.F.C. l'emulsione è composta da tre strati, dalla base verso l'esterno, sensibili rispettivamente al rosso, al verde e all'infrarosso. Un filtro giallo scuro sovrapposto alle tre emulsioni permette l'assorbimento del blu.

La sensibilità ed il contrasto della pellicola I.R.F.C. sono prestabiliti dal produttore. Il suo sviluppo in laboratorio è controllato da una stretta standardizzazione della composizione dei liquidi di sviluppo, tempi, temperatura e velocità di passaggio attraverso la sviluppatrice continua.

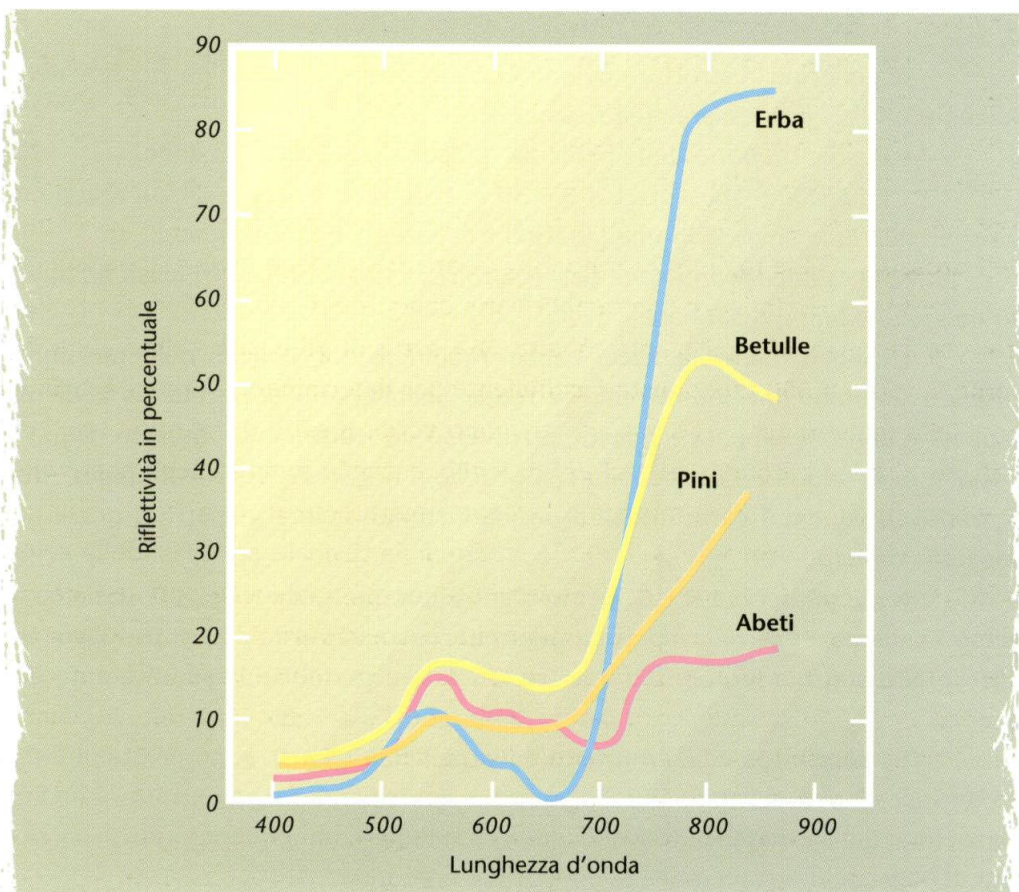
La pellicola all'infrarosso è sensibilizzata in modo da registrare le onde più lunghe di luce rossa che penetrano maggiormente la foschia e i fumi: questa pellicola, quindi, dimostra una maggiore versatilità d'impiego rispetto alle pellicole tradizionali; al contrario, il suo maggior contrasto può causare una perdita d'informazioni in alcune zone per l'eventuale presenza di nubi o di ombre estese.

3.5 La firma spettrale

È pratica comune del telerilevamento identificare gli oggetti telerilevati per mezzo di un grafico, conosciuto come firma spettrale, che riporta l'andamento della riflettività dell'oggetto in funzione della lunghezza d'onda. Quello che i nostri occhi identificano come un unico colore in verità non è che la sintesi di un'interazione molto complessa, che deriva dalla proprietà delle superfici di riflettere le radiazioni elettromagnetiche in maniera diversa a seconda della lunghezza d'onda, producendo in tal modo una curva di riflettività, detta appunto firma spettrale di riflettività.

Il telerilevamento nelle cosiddette bande ottiche si interessa proprio allo studio e alle misure delle caratteristiche di riflessione delle superfici in genere, al fine di identificare superfici di iso-comportamento, che dovrebbero corri-

Figura 4
Andamento del grafico della riflettività delle foglie di varie piante in funzione della lunghezza d'onda della radiazione incidente nel campo del visibile e dell'infrarosso vicino.



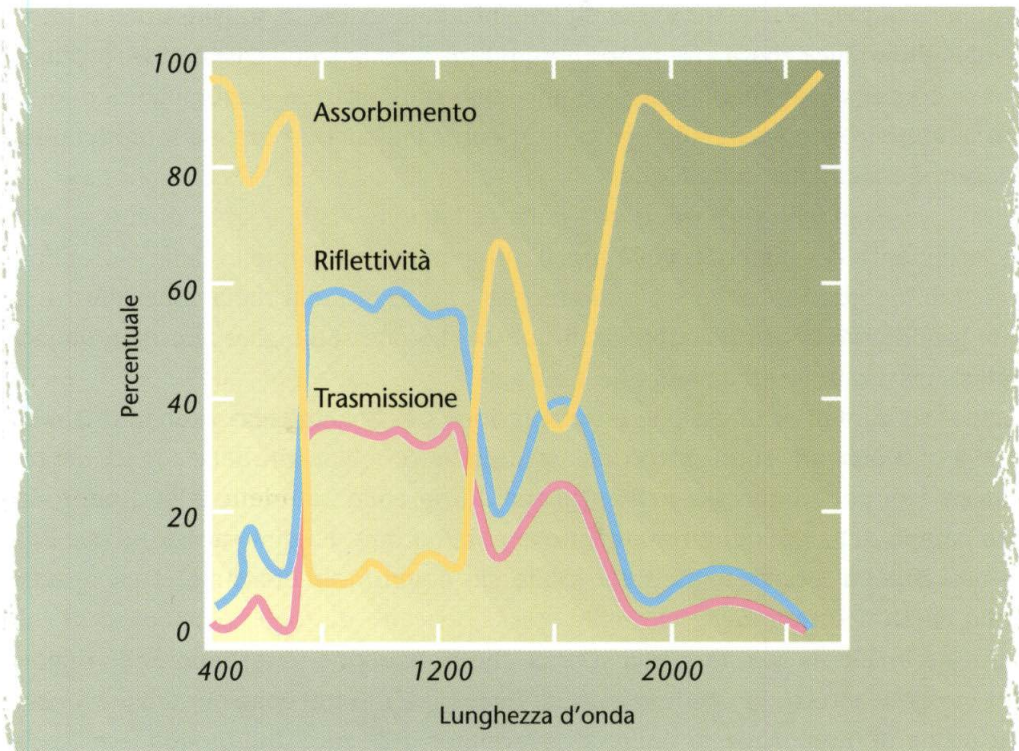


Figura 5
Firma spettrale di riflettività, trasmissione e assorbimento della parte superiore di una foglia di oleandro (adattata da Knipling, 1967).

spondere a oggetti al suolo di natura simile.

La figura 4 esemplifica questo concetto in modo semplice e mostra perché l'impiego dell'I.R.F.C. è particolarmente indicato per gli studi sulla vegetazione. Ponendo in ascissa le lunghezze d'onda e in ordinata la riflettività in percentuale, si constata che non sussiste molta differenza tra le curve delle varie foglie nel campo del visibile, fino a circa 700 nm; la differenza tra le curve nell'infrarosso, dove le foglie riflettono maggiormente, diviene invece appariscente e permette di discriminare con facilità varie categorie di piante. Si noti, tra l'altro, che la curva di ogni pianta mostra una sorta di gibbosità nella banda del verde, intorno a 550 nm; questa è sufficiente per determinare la tonalità cromatica delle foglie e far sì che esse ci appaiano verdi. Il salto di riflettività nell'infrarosso varia a seconda dei vari tipi di foglie, essendo minimo negli abeti, che, in effetti, appaiono di una tonalità rossa particolarmente scura all'I.R.F.C.

Risale al principio del '900 lo studio della risposta spettrale della vegetazione alla luce. L'energia luminosa che giunge ad una foglia può seguire tre percorsi differenti: venire riflessa, assorbita o trasmessa (cioè riemessa dopo aver attraversato la foglia). Un esempio del modo in cui venga suddivisa questa energia incidente su una foglia per varie lunghezze di onde spettrali che vanno dal visibile all'infrarosso medio, viene illustrata nella figura 5.

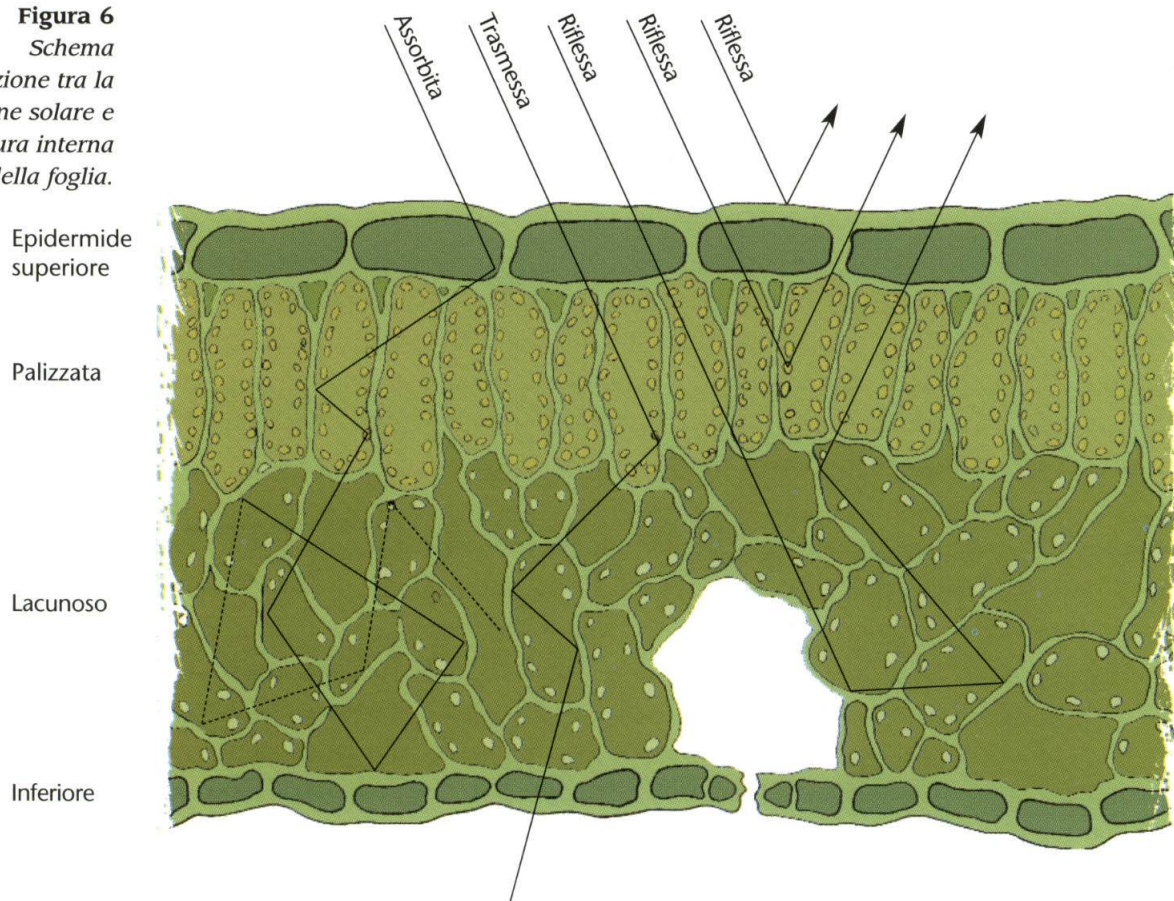
La curva per l'energia trasmessa segue la forma della curva dell'energia riflessa ad un livello minore, anche se le foglie di alcune specie trasmettono più energia di quanta ne riflettano. La curva che descrive l'assorbimento di ener-

gia, per contro, è l'inverso e il complemento delle curve di trasmissione e riflettività; la somma delle tre curve ad ogni punto di lunghezza d'onda, per il principio di conservazione dell'energia è uno. Una raffigurazione semplificata di questo fenomeno compare nella figura 6, in cui si indicano i percorsi ipotetici della radiazione incidente sulla foglia.

I bassi valori di riflettività nella radiazione visibile sono dovuti all'alto assorbimento dei pigmenti delle foglie, principalmente a quello delle clorofille *a* e *b*. Tali pigmenti tuttavia sono altamente trasparenti alla radiazione infrarossa e la grande riflettività delle foglie in questa regione sembra essere determinata dalla struttura interna delle foglie stesse.

I minimi di riflessione e trasmissione per le lunghezze d'onda di 1.450, 1.950, e 2.500 nm sono dovuti all'assorbimento dell'acqua delle foglie; questo fattore è di poco interesse nell'infrarosso fotografico in quanto è al di fuori del suo campo di azione (che rimane attorno ai 900 nm). La dimostrazione che l'alto assorbimento delle foglie nel visibile sia dovuto alle clorofille ci viene data dalla curva spettrale delle clorofille stesse, estratte da foglie per mezzo di solventi organici. Da questa curva si nota che le clorofille assorbono nelle regioni del violetto, intorno a 400 nm e assai intensamente nel rosso e nell'infrarosso tra 600 e 800 nm. Questa energia assorbita è utilizzata dalla foglia per il processo di fotosintesi. Il minor assorbimento delle clorofille nel regione del verde, quindi la loro relativamente maggiore riflettività nel visibile, e la già citata gib-

Figura 6
Schema
di interazione tra la
radiazione solare e
la struttura interna
della foglia.



bosità nel verde, fanno sì che le foglie appaiano verdi alla vista e sulle pellicole a colori. Un'altra evidenza che le clorofille sono responsabili dell'alto assorbimento e della bassa riflessione della radiazione visibile da parte delle foglie, emerge dallo spettro di riflettività di foglie eziolate, che, pur non avendo clorofille perché cresciute al buio, esibiscono la stessa curva di riflessione delle foglie verdi con un grande salto di riflettività nella regione dell'infrarosso. Il processo di trasmissione e assorbimento della radiazione solare attraverso una foglia richiede l'attraversamento di questa e, dato lo stretto rapporto esistente tra riflettività, trasmissione e assorbimento, si deduce che anche lo spettro della riflettività è determinato dalla struttura interna della foglia.

La foglia presenta una disposizione ordinata di cellule, rivestite ognuna da una parete celluloso-pectica. La parete delimita il protoplasma, formato da un nucleo e da un citoplasma ricco di organuli subcellulari, tra cui i cloroplasti.

Le superfici superiore e inferiore di una foglia corrispondono ad uno strato, di regola unicellulare, chiamato epidermide, coperto da uno strato di cutina e cere detto cuticola. L'insieme dei tessuti posti tra l'epidermide superiore e quella inferiore è chiamato mesofillo; in una tipica foglia "dorsoventrale", ben più frequente in natura rispetto alle foglie "unilaterali", si distinguono, nel mesofillo, un tessuto "a palizzata" e sotto di esso uno "lacunoso" o "spugnoso". Le cellule del palizzata sono oblunghe, regolari e ravvicinate; il numero di cloroplasti è elevato, anche più di 50 per cellula. La struttura del lacunoso o spugnoso è lassa con amplissimi spazi intercellulari e cavità piene d'aria; le cellule hanno meno cloroplasti rispetto a quelle del palizzata e quindi un minore contenuto in clorofille.

Generalmente soltanto una piccola parte della radiazione incidente è riflessa dalla superficie esterna della foglia: la cuticola e l'epidermide sono quasi trasparenti alle radiazioni visibile e infrarossa; la loro trasparenza è stata evidenziata da studi in cui l'epidermide era stata rimossa dalla foglia e sottoposta a misure di trasmissione della radiazione. Una spessa cuticola o un fitto rivestimento di peli (particolarmente per le foglie di specie tipiche di zone desertiche), accentuano la riflettività della foglia principalmente nella parte visibile dello spettro. La dispersione interna della radiazione che dà origine alla riflettività è causata dagli organuli cellulari che sono delle stesse dimensioni delle lunghezze d'onda della radiazione incidente, in particolare dai cloroplasti. La teoria che gode di maggiore credito al momento è che la riflessione abbia luogo all'interfaccia tra pareti cellulari e masse d'aria entro il tessuto spugnoso. Questo interfaccia corrisponde a un cambio di indice di rifrazione (da 1, per l'aria, a 1,3 per le pareti cellulari idratate) e l'evidenza che contribuisca alla riflettività è data da esperimenti nei quali le masse d'aria di alcune foglie sono state eliminate sotto vuoto o i cui spazi sono stati saturati con acqua. In entrambi i casi la riflettività delle foglie è diminuita.

La riflettività delle foglie cambia con il loro sviluppo durante la stagione di crescita, diminuendo nel visibile e aumentando nell'infrarosso, per le lati-

foglie. La minor riflettività nel visibile è stata attribuita all'assorbimento di radiazione dovuta alla produzione delle clorofille. A misura che le piante invecchiano, la riflettività nel visibile aumenta, specialmente nelle zone del rosso e del verde, probabilmente a causa del deterioramento delle molecole di clorofille, mentre diminuisce nell'infrarosso, forse a causa del collasso delle strutture cellulari. Le foglie che si colorano di rosso in autunno sono ricche di pigmenti antocianici e flavonici, ed esibiscono un'alta riflettività nella zona spettrale del rosso.

Gli aghi delle conifere riflettono meno delle foglie di piante decidue tanto nel visibile quanto nell'infrarosso. La differenza è imputata alla maggior compattezza della struttura interna degli aghi. Questo effetto, però si riferisce principalmente alle piante adulte; per i pini giovani esso risulta meno accentuato.

Le foglie malate riflettono variabilmente nell'infrarosso mentre aumentano la riflettività nel visibile probabilmente per la diminuzione della clorofilla e l'alterazione del velo idrico a livello di palizzata e lacunoso.

Miceli fungini sviluppatasi sulla superficie delle foglie possono portare in alcuni casi ad un aumento della riflettività mentre gli stessi, penetrati all'interno delle foglie e avendo invaso gli spazi intercellulari probabilmente distruggendo gli interfaccia tra le pareti cellulari e le masse d'aria interne tra le cellule, portano ad una diminuzione della riflettività medesima. I vari articoli che hanno trattato le carenze nutrizionali delle piante, variazioni di salinità, deficienze idriche e così via, riportano risultati inconsistenti e variabili.

Quello che viene registrato in una ripresa aerofotografica all'I.R.F.C. di un bosco (o anche di una pianta), è certamente più complesso del rilevamento di una foglia. La quantità totale di energia che riceve la pellicola include, oltre agli effetti della foglia anche quelli legati alla riflettività di molte foglie contigue, orientate in maniera diversa, e così pure dei piccioli, dei rami, del sottobosco, del suolo (oltre alle ombre causate dalle differenti altezze cui pervengono gli esemplari arborei).

4. Le indagini pregresse

Nella valle del Ticino furono effettuati due voli, rispettivamente nel 1988 e nel 1994, con campionamento del territorio tramite pellicola all'I.R.F.C.; in entrambi i casi il committente fu l'AGIP.

Il primo campionamento si estese su un'area di 8.500 ettari, il secondo su 10.000 ettari. Le iniziative si inquadrarono in un programma di monitoraggio ambientale centrato su zone che ospitavano, e tuttora ospitano, installazioni di ricerca e prelievo d' idrocarburi.

L'indagine riguardò una porzione limitata del Parco (adiacenze dell'abitato di Turbigio, "Area Villafortuna").

Ad ogni singola foto aerea venne sovrapposto un trasparente sul quale era stata riportata una quadrettatura a maglie rettangolari, ognuna delle quali corrispondeva, sul terreno, alla superficie di un ettaro. All'interno di ogni quadretto si conteggiarono gli alberi indenni, quelli che apparivano danneggiati e quelli che risultavano molto danneggiati o morti; con semplici proporzioni si ridussero i valori assoluti in decimi. In ogni quadretto un numero di tre cifre esprimeva lo stato di salute della particella boschiva considerata: ad esempio il valore 235 (inserito in una determinata area elementare di un ettaro), stava ad indicare che su dieci alberi due erano sani, tre apparivano danneggiati, cinque risultavano danneggiatissimi o morti. Ovviamente la somma delle tre cifre doveva sempre corrispondere al numero dieci.

Completata questa fase dell'indagine, su ogni maglia elementare i tre valori vennero convertiti in un unico dato numerico, secondo il seguente schema:

■ **CLASSE I** : il terzo valore è ≥ 5

Questa categoria comprende i casi in cui metà o più degli alberi presenti sono morti o danneggiatissimi.

■ **CLASSE II** : il terzo valore è 3 o 4

Questa categoria comprende i casi in cui dal 30% al 49% degli alberi è costituito da esemplari morti o danneggiatissimi.

■ **CLASSE III** : la somma del secondo e del terzo valore è ≥ 5

Questa categoria comprende i casi in cui il 50% o più degli alberi è in varia misura danneggiato.

■ **CLASSE IV** : situazione di danno lieve.

■ **CLASSE V** : assenza di danno.

La scelta di questa metodica, utilizzata nel Nord Europa ed in particolare modo in Scandinavia, era stata soprattutto dettata dall'opportunità di adottare una procedura già applicata altrove.

Nel 1991, sempre per conto dell'AGIP, venne svolto uno studio estensivo sul paesaggio nell'ambito del quale furono impiegate, adattandole alle realtà locali, tecniche di valutazione sviluppate negli Stati Uniti per gli studi di impatto ambientale.

5. Il metodo adottato nella presente indagine

A titolo di premessa è opportuno puntualizzare che, in uno studio con pellicola all'I.R.F.C., più che di livelli di danneggiamento sarebbe corretto impiegare la dizione "livelli di stress" (in che misura un danneggiamento non percepibile dall'occhio umano ha titolo ad essere definito "danneggiamento"?). In prima approssimazione, comunque, possono essere impiegati pure i termini "danno" e "danneggiamento".

Il metodo seguito nelle due indagini precedenti e descritto nel capitolo 4 può essere applicato senza difficoltà se la vegetazione è quella propria di territori dell'Europa settentrionale, caratterizzati da un livello di antropizzazione e dalla presenza di fitocenosi ben diverse da quelle proprie dell'Area protetta del Ticino, come tra breve approfondiremo.

Sovrapporre ad una foto aerea un reticolo a maglie rettangolari (riportato su un trasparente), equivale a ripartire il territorio in aree elementari: se queste ospitano situazioni vegetazionali omogenee, il metodo è preciso e speditivo. Raramente, però, si constata uniformità di copertura vegetale, sia per la frequente eterogeneità del manto arboreo (in varia misura trasformato dall'uomo), sia per l'esistenza anche di aree a più o meno elevato tasso di antropizzazione (presenza di insediamenti, infrastrutture, manufatti, campi coltivati e così via). Il metodo della quadrettatura non consente di discernere il caso in cui un fotogramma ospiti il bosco su tutta la sua superficie da quello in cui sia presente solo una porzione esigua di manto arboreo: in questo secondo caso, per appurare che le situazioni di danno riscontrate si riferiscono non ad un ettaro di territorio bensì ad un'estensione inferiore, occorrerebbe sovrapporre alla carta dei livelli di danneggiamento una carta dell'uso e della copertura del suolo.

Nel calcolo delle superfici da ascrivere alle varie classi di danno, il metodo della quadrettatura comporta un certo livello di imprecisione. Un'area danneggiata, di media o vasta estensione, risalta nella sua disposizione spaziale, però non se ne possono conoscere i confini precisi. Porzioni di bosco danneggiato aventi una superficie ridotta (ma pur sempre superiore a quella minima cartografabile), invece, rischiano di essere omesse sulla carta dei livelli di danneggiamento: la loro esistenza può risultare stemperata all'interno delle maglie elementari del reticolo "calato" sul territorio.

Adottare il metodo della quadrettatura, quindi, può condurre ad una rappresentazione scorretta della realtà nell'eventualità di particelle, immediatamente adiacenti, nelle quali si riscontri la presenza di situazioni eterogenee: è questo il caso di due aree elementari contigue che ospitano ciascuna, ad esempio, un 30% di alberi danneggiatissimi o morti ed un 20% di esemplari mediamente danneggiati. Tale situazione potrebbe portare all'inserimento di ambedue le particelle nella terza classe di danno (una situazione che apparirebbe, tutto

sommato, accettabile, essendo intermedia tra la prima classe - danno massimo e la quinta - bosco in condizioni ideali-). La foto aerea all'I.R.F.C. potrebbe consentire di individuare, a cavallo delle due particelle, un'area continua (superiore alla superficie minima cartografabile) in cui il 100% degli alberi corrispondesse ad individui danneggiatissimi o morti: tale superficie richiederebbe di essere ascritta alla prima classe di danno. Questo stato di fatto non potrebbe essere evidenziato ove venisse applicato il metodo della quadrettatura, che comporta pur sempre un "in scatolamento" di una realtà spesso variata e mutevole in uno schema prefissato rigido e inamovibile.

Come già rilevato, il metodo della quadrettatura e del conteggio preciso del numero di alberi presenti nella maglia elementare è facilmente applicabile in un Paese dell'Europa settentrionale, caratterizzato da una ridotta presenza dell'uomo e dall'esistenza di estesissimi boschi di conifere: è facile, in questi casi, conteggiare il numero degli esemplari (ad esempio tutti di abete rosso), presenti in una maglia elementare del reticolo (premessa indispensabile per la riduzione in decimi e per l'elaborazione del numero di tre cifre che deve corrispondere alla situazione di quella determinata maglia). Tale metodo è applicabile con molta difficoltà in un Paese dell'Europa meridionale in cui uno sfruttamento pluriscolare dei boschi ha portato alla genesi, su vastissime superfici, di cedui ad esemplari coetanei ed addensatissimi, manti arborei in cui distinguere i singoli individui è assolutamente problematico.

Nel territorio dei Parchi del Ticino, ad esempio, è praticamente impossibile individuare con precisione, in una foto aerea, i singoli esemplari di un popolamento di robinie (*Robinia pseudacacia*) coetanee e ceduate e, di conseguenza, sarebbe davvero problematico effettuare il conteggio degli esemplari all'interno delle singole maglie elementari.

L'aspetto negativo più grave insito nel metodo della quadrettatura, comunque, rimane l'impossibilità di ottenere una perimetrazione precisa delle aree a diverso livello di danneggiamento.

Sulla base delle valutazioni critiche sopra esposte, si è deciso, con l'assenso della Direzione del Parco Lombardo del Ticino, di innovare il metodo d'indagine, cartografando con precisione le superfici corrispondenti alle varie classi di danneggiamento: aver individuato perimetrazioni aderenti alla realtà ha consentito di eseguire calcoli precisi di superfici. Era questo l'unico mezzo per tentare di stabilire una correlazione non opinabile tra livelli di danno della vegetazione arborea e fonti di inquinamento (es.: centri localizzati di estrazione di idrocarburi, attività di cava e così via) o direttrici principali di inquinamento (es.: corridoi di decollo e di atterraggio di velivoli, vie di comunicazione ad elevato transito di autoveicoli nell'arco della giornata). Il raggiungimento di questi obiettivi presupponeva, quindi, l'abbandono del metodo della quadrettatura.

La perimetrazione di aree omogenee di danno ha in effetti introdotto un elemento di ben maggiore aderenza dell'elaborato finale alla realtà. Era, comunque, intenzione del Parco Lombardo del Ticino l'ottenimento di un risultato

quanto più preciso possibile e tale obiettivo è messo in evidenza anche dall'aver imposto al fotointerprete l'adozione di una superficie minima cartografabile pari ad appena un quarto di ettaro: alla scala di 1: 8.000 circa, dei fotogrammi, tale superficie corrisponde ad un'estensione di 6 x 6 mm (nelle indagini precedenti la maglia elementare del reticolo era, come si è già sottolineato, pari ad un ettaro). E' apparsa quindi manifesta l'intenzione di ottenere dati puntuali sul territorio più che elementi statisticamente attendibili: invece di sapere che in una determinata parcella di un ettaro vi era una situazione di danno lieve, medio, grave o gravissimo, interessava piuttosto appurare quale fosse il perimetro effettivo entro il quale gli alberi risultassero danneggiati, in vista anche di un controllo dell'evoluzione del fenomeno.

Rispetto alle due indagini precedenti, questa ricerca ha acquisito un elemento di novità che è rappresentato dall'estendersi dello studio ai boschi dell'intero territorio dei Parchi del Ticino, su un'area complessiva assai maggiore, pari ad oltre 100.000 ettari (comprese zone limitrofe esterne all'Area protetta). Uno studio di tale portata si pone come base di comparazione per indagini future; queste potrebbero essere effettuate ad intervalli regolari di tempo, consentendo di delineare i probabili ritmi evolutivi delle situazioni di danno sulla componente arborea degli ecosistemi. In una simile ottica appare ovvio il vantaggio di poter disporre, a fini comparativi futuri, di confini precisi tra le superfici corrispondenti alle classi di danno e non di dati più o meno approssimativi a livello di maglie elementari del reticolo.

La scala adottata per la classificazione del danno nel corso delle due indagini precedenti, sotto un profilo puramente formale, può presentare limiti di chiarezza ed immediatezza di percezione: la prima classe è ascritta alla situazione peggiore, la quinta a quella migliore. In realtà, nel linguaggio comune, il primo livello è sempre quello corrispondente alla situazione migliore ("prima scelta", "prima qualità", "prima classe", "primo arrivato al traguardo"), e non viceversa. Si è pertanto preferito invertire i valori numerici: l'assenza di danno è stata fatta corrispondere alla classe I; la situazione peggiore alla V; le classi II, III, IV identificano situazioni intermedie tra le estreme, via via più degradate (figura 7).

Fatta questa premessa, si sono perimetrare aree omogenee di danno sulla base di condizioni più o meno uniformi riscontrate sulle foto aeree secondo i seguenti criteri distintivi:

- I classe:** individui sani, all'apparenza senza il minimo stress, oppure presenza anche di alberi sotto lievissimo stress ma in netto subordinate e dispersi qua e là nel tessuto del manto arboreo indenne (figura 8).
- II classe:** individui sani mescolati ad altri in condizioni di lievissimo o lieve stress (i secondi in percentuale subordinata, cioè inferiore al 50%). Il sintomo di lieve o lievissimo stress è dato da un affievolimento della tonalità rosata o rossa del colore delle fronde oppure dalla comparsa di un colore arancione, ocra, biancastro delle fronde (a seconda delle specie), mentre all'osservazione allo stereoscopio, a forte

Figura 7

*Un paesaggio
all'apparenza
idilliaco: un laghetto,
prati, boschi;
in realtà gli alberi
presentano differenti
livelli di stress.
Risultano delimitati
gli ambiti corrispon-
denti alle classi I
(esemplari indenni),
II (danno lieve),
IV (danno grave),
superiori
ad un quarto
di ettaro;
le superfici
rimanenti ricadono
nella III classe
(danno medio).*





Figura 8
In posizione centrale un lembo boschivo composto da esemplari indenni (I classe); in basso a sinistra una situazione ascrivibile alla II classe (danno lieve).

ingrandimento, la chioma appare lievemente arricciata o parzialmente accartocciata (sintomo, per lo più, di sofferenza da siccità, danni reversibili in avvenire). Esemplari con danni più seri possono essere presenti ma in misura modestissima e su estensioni sempre inferiori alla superficie minima cartografabile (figura 9).



Figura 9
Esempio di II classe di danno: individui sani misti ad altri a lievissimo stress (questi ultimi, in prevalenza, nella porzione inferiore destra dell'area boschiva); un solo esemplare in cattive condizioni presso il vertice sinistro dell'appezzamento.

III classe: abbondanza di individui in condizioni di lieve o lievissimo stress, mescolati ad altri (in percentuale subordinata) di colore ocra o verdastro, senza però che allo stereoscopio appaiano cospicue diafanizzazioni delle fronde o perdite di porzioni di chioma. Scarsità di esemplari sani, che appaiono dispersi nel tessuto del manto arboreo. La classe corrisponde ad un livello di danneggiamento medio (figura 10).

IV classe: abbondanza di individui sotto grave stress, di colore verdastro o grigiastro spento, con diafanizzazione della chioma o perdita di porzioni della chioma stessa, dominanti su altri in condizioni di lieve o lievissimo stress. Presenza del tutto sporadica di individui sani. La classe corrisponde ad un livello di danneggiamento grave (figura 11).

V classe: dominanza di individui in pessime condizioni, che appaiono di colore grigio spento-cenere, con diafanizzazione della chioma e perdita di porzioni della chioma stessa. Presenza di individui morti, a porzione subaerea scheletrita in quanto priva di fogliame. La classe corrisponde ad un livello di danneggiamento gravissimo.

A titolo di anticipazione si sottolinea che le classi di danno ora descritte trovano un'ottima corrispondenza nel materiale fotografico esaminato, con l'eccezione della quinta classe, riscontrata in misura assolutamente sporadica su superfici pari o appena superiori all'area minima cartografabile. A ragion veduta si è evitato di fotointerpretare l'area di "spagliamento" del Rio Arno (nel quale confluiscono i reflui del depuratore di Sant'Antonino), essendo tale zona sede di intervento di bonifica che ne sta mutando completamente l'assetto.

Figura 10
Un esempio di III classe di danno: individui in condizioni medie di stress misti ad altri lievemente danneggiati; gli esemplari in ottime condizioni risultano dispersi nel tessuto arboreo complessivo



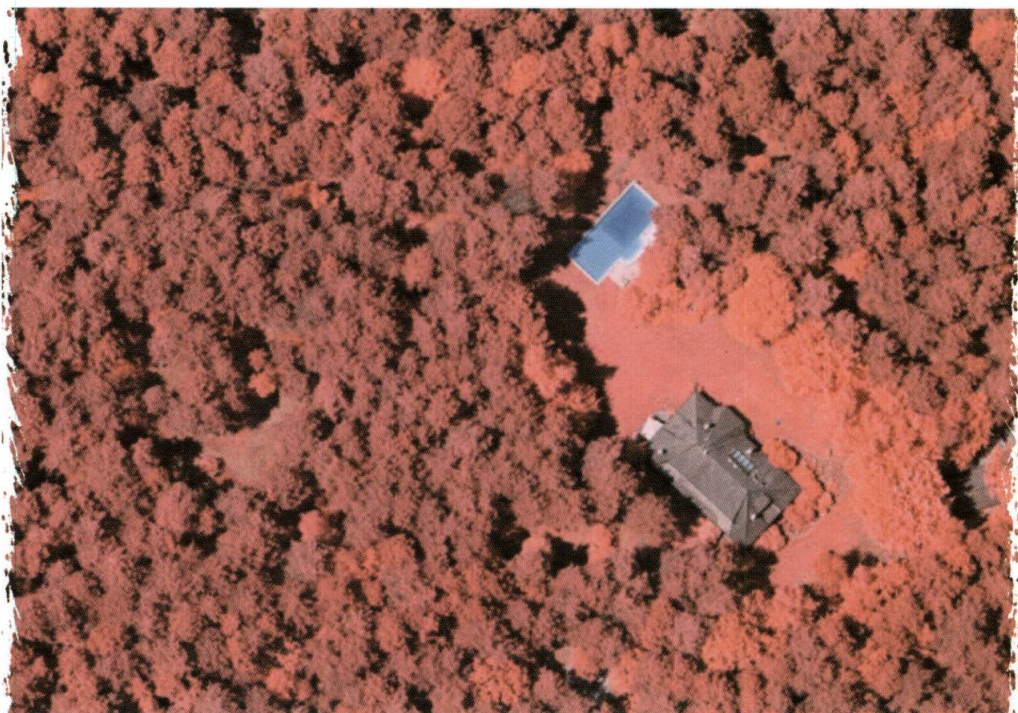


Figura 11
IV classe di danno: Alberi sotto grave stress nettamente dominanti su altri, sporadici, in condizioni migliori; a destra dell'edificio esemplari indenni o quasi, su una superficie inferiore al quarto di ettaro (prescelta come area minima cartografabile).

Occasionalmente si è constatata la presenza di singoli individui o di piccoli gruppi di individui morti o morenti: questi casi, del tutto eccezionali, hanno riguardato per lo più àmbiti ripari, ad immediata contiguità dell'acqua, in cui episodi di piena possono aver condotto a morte alcuni esemplari arborei, oppure alberi che, in disequilibrio con le condizioni ecologiche dei luoghi (es.: pini silvestri), hanno subito, fino alle estreme conseguenze, la concorrenza di altre forme arboree, le quali, trovandosi in migliore sintonia con i parametri ambientali, sono risultate provviste di più accentuate doti competitive.

6. Le caratteristiche della ripresa

La ripresa all'I.R.F.C. è stata effettuata tenendo in considerazione tutto quanto indicato in precedenza.

Le caratteristiche principali di questa ripresa sono così riassumibili:

Quota media di volo assoluta:	1.350 metri
Quota media di volo relativa:	1.200 metri
Pellicola utilizzata:	Kodak Aerochrome 2443
Camera fotogrammetrica utilizzata:	Leica RC30
Focale utilizzata:	150 mm
Numero complessivo di fotogrammi:	996
Dimensioni dei fotogrammi:	23 x 23 cm
Scala media del singolo fotogramma:	1:8.000

La ripresa è stata effettuata nella prima decade di luglio 2000. I voli sono stati resi particolarmente difficoltosi per l'elevato traffico aereo che fa capo all'aeroporto Malpensa 2000, collocato al centro dell'area oggetto di studio. Ne è derivato un inevitabile condizionamento nella pianificazione e nell'esecuzione delle singole strisciate; in particolare la strisciata esattamente in corrispondenza della pista di atterraggio dell'aeroporto è stata effettuata ad una quota leggermente più alta perché l'Autorità di controllo non ha consentito il sorvolo alla stessa quota delle altre.

La successiva fotointerpretazione è stata eseguita con l'ausilio di uno stereoscopio WILD APT1 a doppia visione, capace di 12 ingrandimenti.

La ripresa non ha coperto interamente il Parco del Ticino poiché è stata data la priorità alle aree boscate significative; si è ampliata la copertura inserendo una porzione del territorio della provincia di Varese non inclusa nell'area protetta, mentre non è stata ripresa parte della zona meridionale del Parco (appartenente alla provincia di Pavia), nella quale non sono state individuate zone particolarmente significative per l'indagine, non ospitando aree boscate estese. Il piano di volo, i confini del parco e la perimetrazione dei Comuni interessati sono riportati nella figura 12.

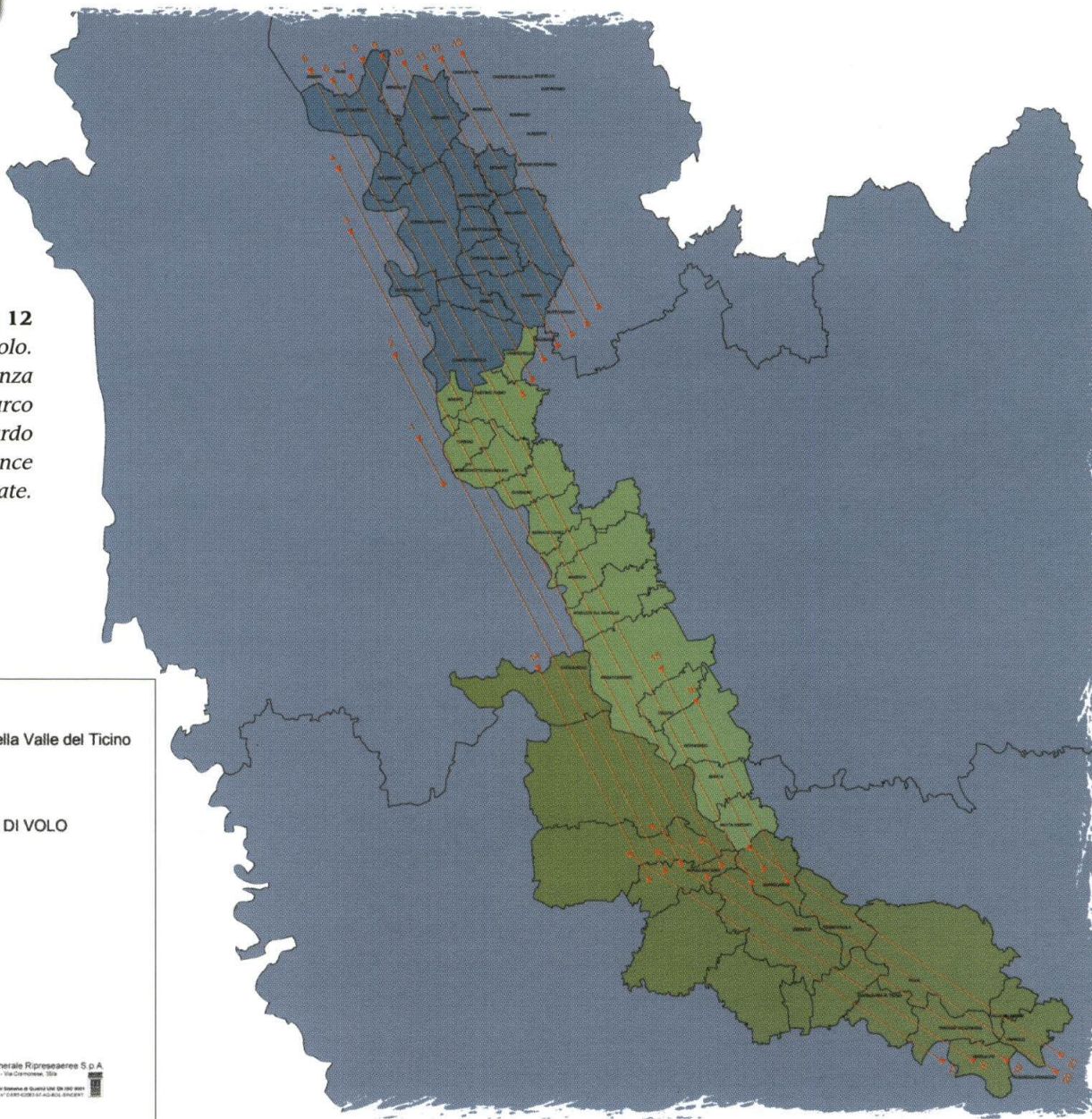
Figura 12
Piano di volo.
In evidenza
i confini del Parco
Lombardo
e le Province
interessate.

Parco Lombardo della Valle del Ticino


PROGETTO DI VOLO

Scala disegno: 1:200.000
Scala fotografica min. 6000 max. 6000
Emulsione aerea infrarossi
Camera Leica W16 300 mm

 **Compagnia Generale Ripreseeree S.p.A.**
43010 Fontana (Parma) - Via Cavour, 25/A
Certificato del Tribunale di Parma del 04/06/2004
n° 1028/00001/00001/00001



7. Precisazioni metodologiche

 ompletato lo sviluppo del materiale fotografico raccolto, prima di procedere alle operazioni di stampa, sono state effettuate prove su numerosi fotogrammi appartenenti a differenti strisciate (onde disporre preventivamente di un campionamento di situazioni molto diverse), per cercare il miglior bilanciamento del colore delle stesse stampe, al fine di ottenere le premesse per una fotointerpretazione ottimale. Durante queste prove si è provveduto principalmente a calibrare le percentuali dei colori.

L'analisi critica dei risultati ha indotto il fotointerprete ad optare per una filtrazione del giallo pari al 52,5% su tutte le foto aeree. In tal modo si sono ottenute tonalità cromatiche equilibrate e meglio leggibili allo stereoscopio, con possibilità di individuare senza problemi anche le aree caratterizzate da colori delle chiome degli alberi corrispondenti a danno lieve-medio.

Le risposte cromatiche all'infrarosso, come si è già anticipato, sono sicuramente attendibili in corrispondenza dell'area centrale del fotogramma, mentre i colori risultano esaltati man mano che ci si allontana da una visione zenitale e ci si avvicina ai bordi. Effettuata preliminarmente un'analisi critica comparativa di foto aeree consecutive (della medesima strisciata) e adiacenti (appartenenti a strisciate contigue), si è identificata su ogni fotogramma la cornice più idonea a delimitare l'area interna in cui le risposte all'I.R.F.C. risultavano attendibili. Tale criterio è stato modificato (tenendo conto rigorosamente dell'accentuazione degli effetti cromatici riscontrabili ai bordi), nel caso di fotogrammi ad elevata copertura boschiva, carenti di punti di riferimento riconoscibili sia su un fotogramma sia su quelli adiacenti. In questi casi la cornice "ideale" è stata spostata o dilatata in termini di superficie, in modo da poter disporre di punti di riferimento sicuri sui fotogrammi contigui, nei quali l'analisi sarebbe stata effettuata in tempi successivi (tutto ciò per la necessità di individuare confini delle singole aree, perfettamente corrispondenti tra un fotogramma e l'altro). Il perimetro dell'area da investigare è stato poi ricalcato su un foglio di acetato sovrapposto al fotogramma.

Il lavoro di fotointerpretazione vero e proprio si è svolto in due tappe successive: sull'acetato si sono individuati i confini delle situazioni "bosco-non bosco"; successivamente si sono attribuiti i valori di livello di danneggiamento (figura 13). Si è così operato in modo univoco in questa seconda, delicatissima, fase, garantendo uniformità di giudizio grazie anche alla continuità delle valutazioni.

L'analisi dei livelli di stress della vegetazione arborea è stata riferita sia alle aree boscate sia ai pioppeti (questi ultimi solo se di impianto non recente, in cui gli esemplari fossero sviluppati al punto da presentare un minimo di continuità tra chioma e chioma); l'indagine non è stata estesa al verde arboreo urbano inteso come verde "costruito". Nei centri abitati sono state censite le aree a vegetazione arborea che manifestasse una connotazione naturale o seminaturale (ubicata per lo più alla periferia degli agglomerati).

Figura 13
*La fotointerpretazione
ha consentito
d'individuare aree
aventi caratteristiche
omogenee.*



In certi casi il manto arboreo è separato dalla vegetazione erbacea e dalle colture da una fascia di arbusti; quando l'osservazione allo stereoscopio ha dimostrato che si trattava di lembi di vegetazione altoarbustiva o arboreescente che preludeva ad uno strato arboreo (es.: un consorzio di giovani latifoglie), oppure di zone ceduate in evoluzione verso maggiori dimensioni degli esemplari (es.: un ceduo giovane di robinia), tali aree sono state inserite nella vegetazione boschiva, in base ad un'interpretazione dinamica dell'evoluzione vegetazionale e alla certezza che tali aggruppamenti fossero destinati a raggiungere un livello arboreo in tempi relativamente brevi. Quando lo stereoscopio ha fornito un'immagine che andava interpretata come presenza di arbusti "ricostruttori", si è escluso tale tipo di vegetazione dal computo delle superfici boschive (si è già sottolineato che sugli arbusti la pellicola all'I.R.F.C. non dà risposte cromatiche affidabili).

Analogamente, le siepi non sono state inserite nel censimento se l'aspetto allo stereoscopio dava un livello di chiome basso ed omogeneo (nel qual caso era lecito pensare che si trattasse di semplici arbusti); sono, invece, state censite se al loro interno comparivano piccole chiome sporgenti su una base di vegetazione legnosa complessivamente omogenea, in quanto si è ritenuto trattarsi di formazioni almeno parzialmente arboreescenti, che preludevano, col tempo, allo sviluppo di filari di alberi.

Frequentemente si è osservata la presenza di gruppetti o filari di alberi occupanti un'estensione modesta; sono state cartografate le situazioni che occupassero superfici pari o superiori all'area minima, censendo però solo i casi che presentavano una continuità tra chioma e chioma ed un'ampiezza che ne



Figura 14
Dai singoli
fotogrammi
le aree, di cui
alla figura 13,
sono state riportate
sulla cartografia
regionale alla scala
1:10.000 e
successivamente
digitalizzate.

consentisse la rappresentazione alla scala (1:10.000) della cartografia da derivare dalle foto aeree: parcelle o piantagioni troppo rade o troppo ristrette non sono state considerate. Fenomeni del genere sono abbastanza frequenti, ad esempio, nel caso di filari (doppi o singoli) di alberi che delimitano strade.

In generale, nel riportare sugli acetati sovrapposti alle foto aeree singoli aspetti di limitata dimensione (in ampiezza o in superficie), quali sedi stradali, aperture ad andamento rettilineo in seno a pioppeti o a lembi boschivi e così via, si è tenuto presente che il passaggio dalla scala 1:8.000, propria delle foto aeree, alla 1:10.000 della cartografia definitiva, comportava inevitabilmente un rimpicciolimento delle aree ed una rettificazione di confini più o meno articolati. Di regola, comunque, si è giunti, sulle foto aeree, ad un accurato livello di definizione delle linee di confine (per frastagliate e irregolari che queste fossero), rispettando la diversificazione percepibile alla scala 1:8.000, nell'intento di offrire una rappresentazione più aderente possibile alla realtà, indipendentemente dalle eventuali schematizzazioni successive.

A volte nel territorio oggetto d'indagine si è riscontrata la presenza di radure boschive o di distese di acqua stagnante di modeste dimensioni: queste situazioni sono state delimitate solo se di estensione pari o superiore alla superficie minima cartografabile ed in quei casi in cui era ipotizzabile che il passaggio dalla scala delle foto aeree a quella della cartografia non ponesse problemi di rappresentabilità.

In certe foto, prese con luce relativamente radente, i lembi di bosco periferici o i filari periferici di alberi, all'interno di piantagioni, hanno proiettato un'ombra nera compatta sulle adiacenze; in questi casi la linea di confine tra vegetazione

arborea e altri consorzi è stata individuata in via approssimata, all'incirca in posizione equidistante tra gli estremi. Le differenze di superficie, ove non fosse stata rispettata con la massima precisione la linea di confine, sono senz'altro irrisorie.

Un fenomeno a tratti ricorrente, cui si è già accennato in precedenza, è rappresentato dalla comparsa di una colorazione che denota lieve sofferenza delle chiome, le cui foglie, allo stereoscopio, a forte ingrandimento, sembrano accartocciate. In base ad esperienze pregresse, si ritiene di dover ascrivere tali sintomi agli effetti della siccità estiva: si tratta, verosimilmente, di fenomeni reversibili, quanto meno a distanza di tempo. Il fotointerprete ha constatato, nel corso di indagini precedenti, che era sufficiente che l'anno successivo si presentassero una primavera piovosa ed un inizio estate non particolarmente caldo perché i medesimi alberi apparissero in buone condizioni. È anche vero che non sarebbe opportuno ignorare permanentemente questi fenomeni: uno stato di sofferenza, pur reversibile, se reiterato, col tempo tende a ridurre la vitalità degli esemplari.

A volte si è riscontrato che in un'area esigua, ma superiore (complessivamente) alla superficie minima cartografabile, coesistevano due situazioni di stress nettamente diverse, tali da indurre a porre una zona nella classe I e l'altra nella classe III o IV. La causa va evidentemente ricercata nella coesistenza di esemplari di specie arboree ad esigenze ecologiche nettamente diverse, una o alcune delle quali inadonee in rapporto alle condizioni ambientali locali. E' sembrato opportuno, in questi casi, ascrivere la zona ad una classe di danno intermedia, ove si trattasse, in ogni caso, di situazioni non troppo differenziate. Dove, però, il livello di stress nella subparticella caratterizzata da condizioni peggiori fosse elevato, si è preferito ascrivere l'intera particella al corrispondente livello di danno (es.: classe IV), per sottolineare l'esistenza di un problema di una qualche gravità pur se molto localizzato e poco esteso.

Sulle rive del fiume e delle sue diramazioni, e a volte pure in zone golenali, si è constatata una copiosissima rinnovazione di salice bianco. Tali addensamenti, che in genere si presentano in uno stato di costipazione inverosimile, sono stati cartografati solo nel caso in cui (o a partire dai punti in cui) il portamento apparisse già altoarbustivo.

Con un processo di fotocopiatura a variazione di scala, le zonizzazioni, individuate sui singoli fotogrammi tramite la fotointerpretazione, sono state portate alla scala 1:10.000 e quindi trasferite sui fogli della carta tecnica regionale alla medesima scala (figura 14). Successivamente tali zonizzazioni sono state digitalizzate per creare livelli inseribili direttamente nel Sistema informativo del Parco del Ticino.

Il risultato della digitalizzazione consiste in un file nel formato SHP, compatibile con il software di gestione di Sistemi informativi territoriali ARC/Info, che contiene l'insieme di tutte le aree classificate e georeferenziate.

L'inserimento di questo strato informativo nel più complesso Sistema del Parco, ne consente la visualizzazione per livelli separati o per l'insieme di tutti i livelli, permettendo di effettuare valutazioni complesse e ricerche di dati incrociate.

In futuro saranno realizzabili rettificazioni di confini, trasferimenti di classe ed in generale tutti gli aggiornamenti che nuove indagini permetteranno di attuare.



8. Analisi sintetica dei risultati e commento critico

Preliminarmente si sottolinea che le fotografie aeree all'I.R.F.C., con la loro straordinaria nitidezza, con le loro inconsuete tonalità cromatiche e grazie all'ausilio di un tipo di visuale zenitale, hanno ancor più esaltato la suggestione estetica di certi lembi del Parco del Ticino (figura 15); lembi straordinari nella misura in cui sono incastonati in un paesaggio "padano", nel quale le coltivazioni e le urbanizzazioni raggiungono uno sviluppo preponderante, componendo un quadro complessivo caratterizzato da una grande monotonia d'insieme.

La tabella 1 sintetizza i dati finali della fotointerpretazione per quanto riguarda il numero di aree individuate e le relative superfici, in rapporto alle classi di qualità distinte sul territorio dell'Area protetta e sulle sue immediate adiacenze.

Classificazione	Area totale	N° di aree	Area minima	Area media	Area massima
	<i>Ettari</i>		<i>Ettari</i>	<i>Ettari</i>	<i>Ettari</i>
■ CLASSE I	5645	5316	0,05	1,06	252
■ CLASSE II	9399	6144	0,24	1,52	132
■ CLASSE III	10917	3227	0,27	3,38	267
■ CLASSE IV	2122	1100	0,18	1,92	85
■ CLASSE V	0,48	2	0,19	0,23	0,28
Totale	28083,48	15789			

Figura 15
Boschi del Parco del Ticino.

Tabella 1
Classificazione per aree e numero d'aree in funzione delle classi di appartenenza.

Dai dati riportati nella tabella 1 è possibile estrapolare una serie di grafici che identificano sia la percentuale di aree totali individuate, distinte per singole classi (figura 16), sia le superfici totali, espresse in ettari, classificate secondo le cinque classi (figura 17). Vengono anche riportate le percentuali delle aree fotointerpretate, distinte secondo la loro appartenenza alle quattro province dei Parchi del Ticino (figura 18).

Figura 16

Totalità delle aree fotointerpretate distinte per singole classi di danno.

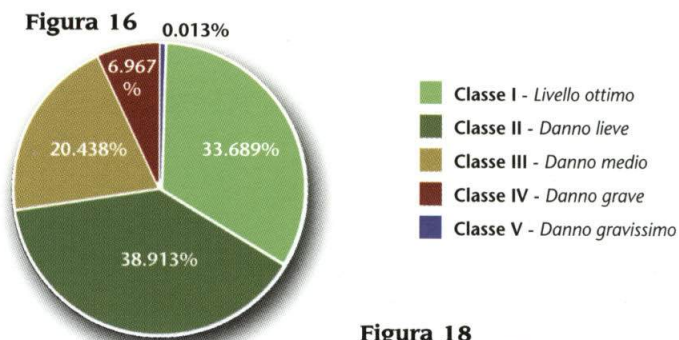


Figura 17

Aree totali, espresse in ettari, classificate per singole classi di danno.

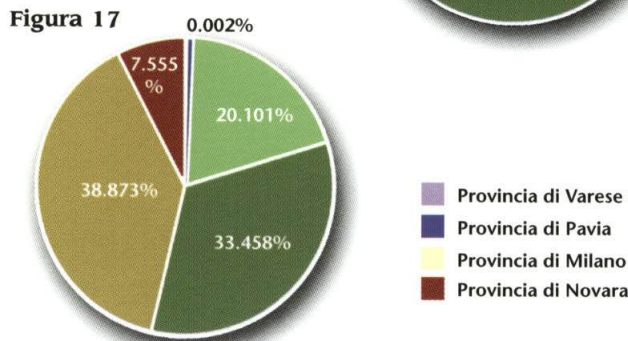
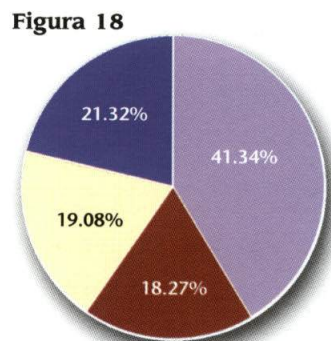


Figura 18

Percentuale di aree classificate appartenenti alle quattro province dei Parchi del Ticino.



Un raffronto tra i valori delle superfici ed il numero di aree cui queste superfici si riferiscono, consente di valutare il livello di approfondimento cui ci si è spinti nella fase interpretativa. Avere distinto su poco più di 28.000 ettari di territorio quasi 16.000 aree diverse ed avere ripartito, ad esempio, nell'ambito della prima classe, 5.645 ettari in ben 5.316 aree, sono tutti elementi che comprovano l'accuratezza dell'indagine. Anche le superfici delle aree minime cartografate (circa 0,1 ettari per le situazioni ascrivibili alla prima classe, circa 0,2 per quelle relative a tutte le altre), testimoniano un adeguato livello di approfondimento.

A prima vista l'estensione dei boschi esenti da danni potrebbe apparire soddisfacente ma solo perché l'indagine è stata estesa ai pioppeti che, al momento del volo, versavano quasi tutti in ottime condizioni di salute (problemi dovuti a siccità, eventuali carenze nutritive o parassiti, si manifestano a stagione estiva più inoltrata). È questo un elemento da tenere presente ove si decidesse, a distanza di anni, di effettuare una nuova indagine all'I.R.F.C. Sarà consigliabile, in futuro, tenere distinto il verde naturale dai pioppeti, in quanto il censimento dei livelli di stress deve essere effettuato prioritariamente sulle aree ad alto tasso di naturalità e non sulle colture, pur arboree.

Il fotointerprete ha rilevato, comunque, che gli àmbiti naturali che ospitano boschi di ottimo livello qualitativo occupano una superficie complessiva ben



minore di quella corrispondente alla prima classe, essendo cospicue, soprattutto in provincia di Pavia, le aree destinate alla pioppicoltura.

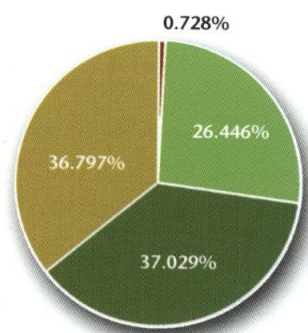
Le singole porzioni di boschi di ottimo livello qualitativo risultano, di regola, poco estese, risaltando come "macchie" all'interno di un mosaico, frammenti dispersi in un tessuto relativamente o decisamente degradato: a volte (es.: ad ovest di Bernate Ticino, a sud di Vanzaghello, a ovest di Comabbio) si riscontra la presenza di aree relativamente estese, ascrivibili alla prima classe. Nel complesso, però, non esistono nuclei boscati esenti da stress su superfici tanto ampie da risultare soddisfacenti e da consentire di parlare di una o più zone intatte di notevoli dimensioni.

È vero che a volte, soprattutto in provincia di Pavia, su interi fotogrammi compaiono soltanto zone ascrivibili alla prima o alla seconda classe: le superfici boscate, però, in questi casi, occupano estensioni modestissime, essendo inserite in un complesso di pioppeti, campi coltivati e piccoli agglomerati urbani, dove il tasso di naturalità è globalmente irrisorio (Figura 19).

Provincia	Area totale classificata	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV	Classe V
	<i>Ettari</i>	<i>Ettari</i>	<i>Ettari</i>	<i>Ettari</i>	<i>Ettari</i>	<i>Ettari</i>
■ Varese	11611,48	1462	3287	5191	1671	0,48
■ Novara	5128	744	2149	1867	368	0
■ Milano	5358	1417	1984	1918	39	0
■ Pavia	5986	2022	1979	1941	44	0

Tabella 2
 Classificazione ripartita per le singole province.

Provincia di Milano



Provincia di Novara

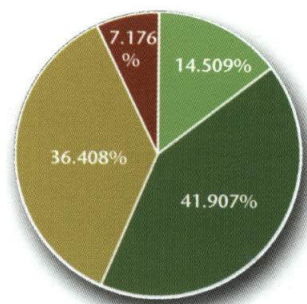
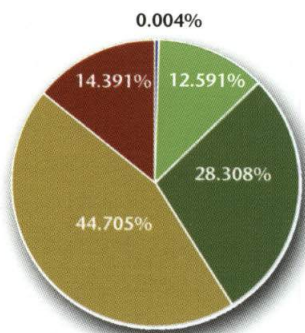
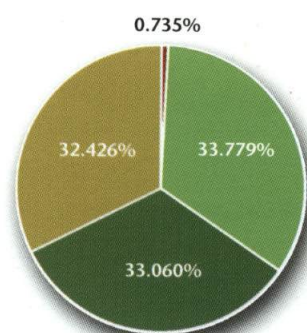


Figura 19
 Aree totali classificate ripartite per singole province.

Provincia di Varese



Provincia di Pavia



- Classe I - Livello ottimo
- Classe II - Danno lieve
- Classe III - Danno medio
- Classe IV - Danno grave
- Classe V - Danno gravissimo

In prima approssimazione è lecito accorpate i valori relativi alle prime due classi e quelli ascrivibili alle altre tre: globalmente 15.044 ettari di boschi (e pioppeti) risultano avere un livello qualitativo soddisfacente, mentre 13.039.48 presentano, invece, problemi di varia gravità. In particolare, su 28.038.48 ettari di boschi e pioppeti, ben 2.122 (una percentuale del 7,568%) sono afflitti da livelli di stress decisamente gravi (IV classe): è una situazione decisamente negativa, anche perché le problematiche si estendono su aree nel complesso molto estese (Tabella 2).

Per inquadrare correttamente il rapporto tra i vari tipi di stress cui gli alberi devono far fronte e le cause di danno effettivamente correlabili alle attività dell'uomo, vanno tenuti presenti alcuni aspetti che di solito vengono ignorati o disconosciuti e che, invece, è bene sottolineare.

Si ha la percezione di una lotta per l'esistenza assistendo (magari comodamente assisi davanti al proprio televisore) all'assalto di un carnivoro contro un branco di erbivori, mentre un verde prato genera nell'osservatore una sensazione di ordine e di serenità. Si tratta di un'impressione errata perché anche nel silenzioso e composto regno vegetale esistono drammi impietosi, non solo limitati ai casi di piante parassite o di altre carnivore.

Le varie comunità vegetali si compongono di piante "deboli" e di altre meglio dotate e "prepotenti"; le seconde, inevitabilmente, tendono a prevalere sulle prime, col risultato che le specie "deboli" dapprima riducono il numero degli esemplari, quindi scompaiono (a meno che i loro componenti, sviluppando, col trascorrere delle generazioni, particolari adattamenti agli ambienti severi per la vita, non si adattino a vivere dove le specie "prepotenti" non riescono ad insediarsi). Si tratta di un fenomeno naturale e fisiologico, proprio del divenire della vegetazione spontanea.

Fattori di nocività per la componente arborea delle biocenosi, imputabili all'uomo, danneggiano le specie meglio dotate e "prepotenti" ed accelerano la scomparsa di quelle "deboli", già poste in difficoltà (questo sempre che non si superino determinati livelli di nocività, nel qual caso tutte le specie arboree scompaiono). Fenomeni del genere avvengono nel territorio dei Parchi del Ticino come su tutta la Terra.

Confrontando i livelli di stress riscontrati nelle aree boscate estese con quelli rilevati nelle fasce ristrette di vegetazione arborea o nei filari di alberi, si constata una situazione nettamente peggiore nel primo caso. Questo fenomeno è, con tutta probabilità, da ricondurre a fattori biotici: la competizione tra i vegetali è ovviamente maggiore ove essi, su vaste superfici, crescano costipati (il fattore limitante, in questo caso, può essere la carenza di luce e di spazio per la chioma, più che la ridotta disponibilità di acqua e di principi minerali nel suolo). Si riscontra in partenza una minore costrizione per le chiome ove gli alberi siano disposti in un appezzamento di terreno lungo e stretto; essi risultano meno limitati nello sviluppo e meglio esponibili alla luce

solare, con accentuazione del processo fotosintetico rispetto agli esemplari arborei presenti in aree a maggiore costipazione.

In una zona boscata estesa, si constata, quasi regolarmente, che sui bordi lo stato di salute è migliore, mentre i fenomeni di stress sono più accentuati all'interno: si tratta della conseguenza della competizione tra i vegetali per la luce, l'acqua e gli ioni minerali nel terreno. Livelli di stress più accentuati si osservano alla periferia degli aggruppamenti arborei, nel caso di esemplari posti in prossimità di significative fonti d'inquinamento (ad esempio nelle adiacenze di un impianto industriale di grandi dimensioni).

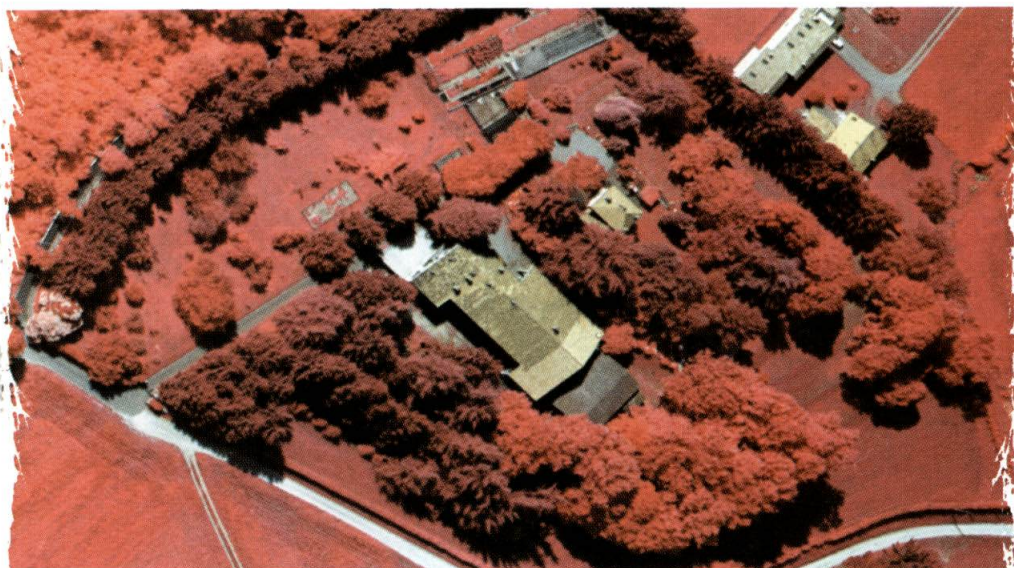
Concludendo, la competizione tra vegetali di una medesima specie, e così pure quella tra esemplari di specie diverse, rappresentano un fattore di nocività che viene costantemente ignorato o sottostimato, perfino da molti pianificatori territoriali, pur avendo un'enorme importanza. Questo dato di fatto non ci deve esimere, però, dall'inquadrare correttamente il fenomeno nelle sue linee generali, comprendendo nel quadro d'insieme anche i danni indotti da sorgenti di inquinamento e, in generale, da fonti diverse di disturbo antropico. Il soccombere dei "deboli" di fronte ai "meglio dotati e prepotenti" non ci deve autorizzare a minimizzare né, tanto meno, a legalizzare "attacchi" incombenti o in atto portati, direttamente o indirettamente, dalle attività dell'uomo.

A volte si è constatata una transizione più o meno graduale da zone integre (I classe) o a modesto livello di stress (II classe) ad altre mediamente danneggiate (III classe) e quindi ad altre gravemente danneggiate (IV classe); altre volte le aree a vario livello di stress si alternano senza un ordine apparente. Non si possono citare, a titolo di spiegazione, fattori di tipo geomorfologico locale (dato l'andamento complessivamente uniforme o con poche e modeste disomogeneità altimetriche o di orientamento dei versanti del territorio) o cause di natura climatica (il clima risulta, nel complesso, poco variato).

Si è rivelata aleatoria la ricerca di direttrici precise di flusso di inquinanti: certe "strisce" più o meno rettilinee di alberi a grave livello di stress inducevano a ritenere possibile una tale individuazione; in realtà, però, l'interpretazione di questo andamento ben presto è apparsa fallace, per la presenza di altre porzioni del medesimo bosco nelle quali il danneggiamento procedeva più o meno ortogonalmente rispetto alla direttrice precedente.

È opinione del fotointerprete che siano presenti in zona flussi ingenti di inquinanti atmosferici, la cui fonte vada ascritta soprattutto alla città di Milano (con il suo traffico ed i suoi impianti di riscaldamento), ad una rete di opifici ampiamente diffusa sul territorio e all'aeroporto di Malpensa 2000. Queste gigantesche masse di inquinanti finiscono per ricadere al suolo ed interagire con gli ecosistemi presenti ed in particolare con le fitocenosi che il territorio ospita. I livelli di danneggiamento appaiono alquanto differenziati in aree adiacenti (figura 20): con ogni probabilità più fattori contribuiscono a determinare questo effetto.

Figura 20
Lembi di verde in condizioni seminaturali, con latifoglie appartenenti alla I e II classe, coesistenti con altri, di esemplari per lo più messi a dimora, sotto grave stress (colore grigiastro - IV classe). Da notare la risposta cromatica estremamente differenziata. Globalmente manifestano maggiori sintomi di deperimento le conifere insediate dall'uomo.



In primo luogo vi è una variabilità nelle risposte all'impatto degli inquinanti legata al tipo di specie arborea presente. Le conifere, ad esempio, sono frugali ed adattabili ma risultano inidonee (nel caso del pino silvestre, del pino nero, dell'abete rosso e così via) al clima della Val Padana e per di più, trattandosi di sempreverdi, cioè di esemplari a fogliame persistente, subiscono l'impatto degli inquinanti per dodici mesi all'anno (come fenomeni di "deposizione secca" e come piogge, nebbie e nevi acide); le latifoglie, invece, come i salici bianchi, i pioppi bianchi, i carpini, le roverelle, le farnie, gli aceri e così via (per non parlare delle robinie), appaiono in migliore sintonia con le condizioni stagionali complessive e inoltre trascorrono spoglie, in uno stato di vita quasi latente ed apparentemente indenni, il periodo di massimo inquinamento atmosferico. Quest'ultimo va identificato con l'inverno, quando tante centrali termiche si attivano per il riscaldamento domestico e dei luoghi di lavoro, mentre fenomeni non infrequenti di inversione termica nell'atmosfera aggravano progressivamente la concentrazione di inquinanti nei primi strati dell'atmosfera stessa. All'interno di ogni singola specie vi è, inoltre, una variabilità individuale nella capacità di resistenza agli inquinanti: ogni esemplare arboreo (proprio come nel caso degli esseri umani) ha un proprio livello di adattabilità correlato ad un individuale corredo genetico.

Può verificarsi che un'area sottoposta a forte stress sia contigua ad un'altra in buone condizioni, pur in presenza di esemplari che è lecito ascrivere ad un'unica specie, o a specie caratterizzate da esigenze ecologiche affini (almeno in prima approssimazione), quali varie angiosperme mesòfile. Queste contiguità risultano difficili da interpretare, a meno di non ipotizzare un cambiamento di fattori edafici: ad esempio la presenza di una falda freatica che consenta di ridurre gli stress idrici o una modifica nella natura chimico-fisica dei terreni, con particolare riferimento a fattori quali tenore di argilla, livello di asfitticità, granulometria dei componenti, variazioni del livello di porosità, permeabilità, tenore di ossigeno e così via. Una differente esposizione all'impatto di sostanze inqui-

nanti contenute nell'aria non risulta in questi casi ipotizzabile, a meno che non sussistano zone più defilate, per cui la vegetazione arborea ivi ospitata non risulti, almeno parzialmente, schermata dall'impatto degli inquinanti atmosferici.

In linea di massima il perimetro delle zone più problematiche ha un andamento estremamente irregolare; di regola le aree di massimo danno presentano confini nettissimi rispetto a quelle adiacenti, mentre più sfumati appaiono i limiti tra zone a danno medio e a danno lieve.

A volte le aree più problematiche confinano con altre in cui lo stress risulta assai modesto: in certi casi si tratta di un netto passaggio da un rimboschimento di conifere ad un bosco di latifoglie. A palesare livelli elevati di stress sono le conifere, le quali, pur possedendo una notevole valenza ecologica, come si è già sottolineato non possono risultare competitive in un ambito "padano"; spesso, inoltre, al rimboschimento non è seguito un diradamento (con salvaguardia degli esemplari migliori), come sarebbe sempre auspicabile. Il risultato è stato che la forte competizione, legata alla costipazione delle chiome in poco spazio, ha condotto a livelli di stress spesso molto elevati per esemplari di specie decisamente "eliòfile" quale, ad esempio, il pino silvestre.

In altre situazioni, i confini di un'area danneggiata appaiono sfumati e tendenti più o meno gradualmente a situazioni migliori, mentre le chiome risultano tali da far supporre l'esistenza di un bosco misto: in questo caso è verosimile pensare che ci si trovi di fronte ad un episodio di deperimento del bosco per danni di nuovo tipo (piogge acide ed altri fattori di stress).

Si sono, inoltre, osservati alberi sveltanti su uno strato arboreo più basso: a volte questi mostrano una chioma diafanizzata, come se, proprio per la loro maggiore altezza, più di quelli sottostanti fossero esposti agli inquinanti portati dal vento.

Un fenomeno di difficile interpretazione è la comparsa di esemplari (singoli o a piccoli gruppi), in ottimo stato di salute, inseriti all'interno di un esteso insieme di alberi in condizioni di massimo stress: in qualche caso si tratta di individui che crescono negli impluvi, disponendo quindi di un maggiore e più regolare apporto idrico; in altri, il fatto risulta incomprensibile, a meno che non si tratti di ecotipi particolarmente idonei a resistere alle avversità ambientali e alla competizione dei propri simili. Tali esemplari dovrebbero essere riconosciuti sul terreno e, ove la supposizione venisse comprovata, se ne dovrebbe curare la raccolta dei semi o, meglio, ottenerne discendenti per micropropagazione, effettuandone poi la messa a dimora in zone particolarmente esposte all'impatto degli inquinanti atmosferici (ad esempio in aree che, per la topografia dei luoghi, tendano ad essere investite dai venti di brezza che, nei periodi in cui l'aria si sposta verso monte, portano con sé inquinanti da zone di pianura alquanto "avvelenate").

Una simile iniziativa imporrebbe uno stretto collegamento tra i Parchi del Ticino ed un Istituto di ricerca nel campo delle metodologie di propagazione dei vegetali ed anche la realizzazione di un vivaio di essenze arboree da gestire in proprio, a proposito delle quali garantire una "denominazione d'origine con-

trollata" degli esemplari (in rapporto alla nascita su terreni calcarei o silicei).

Una tale "denominazione d'origine" è stata richiesta dalla Comunità Europea ma il vivaismo italiano non ha mai affrontato il problema: vi è il fondato rischio che il mancato rispetto delle direttive comunitarie si traduca in multe costose e nell'obbligo di approvvigionamento di nuovi individui di specie arboree presso quei Paesi che, invece, si siano adeguati a tali normative (ad onta dell'assurdità di importare ecotipi locali ad esempio centroeuropei).

Si è già rilevato che a volte (raramente) si riscontrano appezzamenti di terreno ospitanti piantagioni di conifere per lo più monofitiche dove esemplari coetanei e posti a dimora ravvicinatissimi appaiono all'infrarosso, tutti o quasi tutti, sofferenti o gravemente sofferenti.

Certi esemplari mostrano due livelli differenti di danno su porzioni diametralmente opposte della propria chioma: in questi casi è legittimo ipotizzare che il danneggiamento sia operato da inquinanti trasportati da un vento che più frequentemente spira in direzione della porzione di chioma più sofferente (che fa da scudo a quella retrostante).

Per verificare la veridicità dell'ipotesi, occorre effettuare un riscontro della collocazione di eventuali fonti di inquinamento atmosferico, desumibili da una carta dell'uso e copertura del suolo a scala molto piccola (ancora meglio sarebbe disporre delle fotografie aeree, anche in luce visibile, ottenute tramite un volo d'alta quota).

In ogni caso il ricupero di qualità dei rimboschimenti a conifere è un problema non prioritario ma da non sottovalutare, sia per la grave semplificazione delle componenti di tali biocenosi (se di biocenosi è legittimo parlare), sia per il maggior livello di infiammabilità e di combustibilità che gli addensamenti di specie resinose presentano rispetto alla vegetazione delle aree adiacenti.

Non sarà male sottolineare che più un ecosistema è semplificato nelle sue componenti biotiche, più risulterà fragile ed incapace di porre in atto adeguati meccanismi compensativi di fattori di destabilizzazione (dovesse trattarsi della comparsa di un virulento parassita degli alberi o di fenomeni di inquinamento, oppure ancora di stress di natura climatica).

Le chiome dei salici bianchi adulti appaiono, all'infrarosso, di un colore bianchiccio che, in caso di stress, si scurisce: in certi casi, il viraggio di tonalità può essere posto in relazione con forme di inquinamento atmosferico o della falda superficiale; in altri, può trattarsi di una conseguenza della competizione con altre essenze destinate a prendere, col tempo, il sopravvento.

Non si può, quindi, attribuire aprioristicamente il deperimento degli esemplari (individuato in base alla colorazione all'infrarosso), a cause di degrado di derivazione antropica: si è già rilevato che è da tener presente anche un fattore naturale di primaria importanza, vale a dire la concorrenza di specie più agguerrite (ove la falda sia localizzata ad una profondità maggiore), quali farnie, carpini e gli stessi pioppi bianchi, tipici di situazioni edafiche più evolute. È doveroso ammettere che il livello di vitalità degli esemplari del salice bianco, a volte,

è difficile da valutare, specie quando i popolamenti non sono iscritti nella porzione centrale dei fotogrammi, subendo in una certa misura le conseguenze del citato effetto "vignettatura" che si accentua verso i bordi.

Nelle aree in cui il verde arboreo manifesti un grave livello di stress, nelle quali sia stato effettuato un taglio delle latifoglie (finalizzato, ad esempio, a garantire il passaggio di linee aeree elettriche o telefoniche), ed ove sia avvenuta una ricrescita per polloni basali, l'analisi all'I.R.F.C. mostra che gli esemplari ceduti, in rapida crescita, presentano un livello di stress nettamente inferiore, ostentando una migliore vitalità di quelli adiacenti non tagliati. Non sempre, però, tale situazione è stata evidenziata (delimitando due diverse classi di danneggiamento), data l'esiguità della superficie interessata (in pratica una striscia molto sottile).

In alcuni casi i pioppeti si addentrano profondamente tra lembi di vegetazione boschiva spontanea, giungendo a poche decine di metri dalla riva del fiume. Sarebbe auspicabile che i Parchi del Ticino procedessero all'esproprio di tali terreni, ne curassero la rinaturalizzazione e ripristinassero la continuità di una "fascia di rispetto" sufficientemente ampia da fungere da efficiente "ecotono", a protezione dell'ecosistema fluviale ed a garanzia di un minor livello di disturbo antropico della sua parte più "nobile", quella corrispondente al letto del corso d'acqua ed alle sue immediate adiacenze.

La scala media dei fotogrammi, pari, come si è visto, a 1: 8.000 circa non ha consentito di individuare molte delle specie arboree presenti, soprattutto a livello di latifoglie. Sono stati riconosciuti senza troppi problemi pini neri, abeti rossi, pioppi cipressini e pini silvestri (ricorrendo anche all'analisi delle modalità d'impianto delle prime tre specie, che presentano caratteri di peculiarità), mentre difficoltà insormontabili si sono verificate in corrispondenza dei boschi cedui, decisamente anonimi anche all'analisi tramite lo stereoscopio perfezionatissimo, di proprietà della C.G.R., di cui il fotointerprete ha potuto disporre. È anche vero che l'analisi era centrata sullo stato di salute dei boschi e non delle singole specie arboree.

Sempre alla scala media 1: 8.000 non è stato possibile individuare con esattezza gli attacchi di *Thaumetopoea processionea* (processionaria delle querce) che, localmente, si sono verificati: sarebbe occorso un volo più basso ed una scala maggiore.

Si è già sottolineato che in vari centri abitati è stata constatata la presenza di alberature di viali e di parchi cittadini in condizioni di stress. Le cause ascrivibili a questa situazione possono essere diverse: dalla piantagione di esemplari eccessivamente ravvicinati, per cui si è instaurata una pernicioso competizione per lo spazio, la luce, l'acqua e gli ioni minerali nel terreno, all'aridità e povertà in elementi nutritivi del substrato; dall'asfitticità del substrato stesso (data dalla contiguità dell'asfalto e dalla compattazione delle particelle del suolo), all'interazione di inquinanti dovuti al traffico e ad altre fonti di inquinazione; dalla messa in atto di potature troppo drastiche all'assenza di cure (quali

modellamenti guidati delle chiome, sfoltimento dei rigetti e così via).

Non sarà male rilevare che la precisione della risposta all'infrarosso delle alberature stradali e così pure degli esemplari di parchi e giardini rende l'I.R.F.C. un mezzo ideale per lo studio della reale vitalità del verde urbano. È un dato di fatto che il divario esistente tra gli alberi cittadini e gli eventuali lembi di vegetazione arborea naturale riscontrabili, a volte, nelle loro adiacenze, appare significativo: si giunge a casi di contiguità di aree appartenenti alla quarta classe di danno (situazione molto grave - verde urbano), e di altre di prima classe (assenza di danno - verde naturale adiacente). I fatti non dovrebbero stare in questi termini dato che, trattandosi di zone immediatamente confinanti, ad identici livelli di fattori nocivi dovrebbero corrispondere identici effetti negativi. La fragilità del verde "costruito", rispetto a quello naturale, risalta anche in quei luoghi in cui gli esemplari arborei messi a dimora nelle aree verdi risultano spaziatati e non subiscono i dannosi fenomeni di competitività cui soggiacciono, invece, gli esemplari molto addensati.

L'individuazione puntuale dei livelli di stress presentati dalle aree boschive nel territorio dei Parchi del Ticino era compito della C.G.R., mentre la loro correlazione con le realtà antropiche esistenti, soprattutto con quelle a maggiore impatto sul manto arboreo, compete invece agli Enti Parco: per un simile censimento è, infatti, necessaria una conoscenza puntuale del territorio (compresa quella relativa alla localizzazione delle fonti di inquinamento e, in generale, di degrado, ed all'entità dell'impatto delle medesime sull'ambiente).

È però lecito, a livello di relazione tecnica integratrice della cartografia che riporta le differenti classi di danneggiamento, fornire alcuni elementi generali d'interpretazione.

Come è noto, il piano di volo ha previsto una nutrita serie di strisciate dirette in senso nord-nord-ovest/sud-sud-est (strisciate 1-13 A e 14-16). Una seconda serie, corrispondente ad un minor numero di fotogrammi, è rappresentata dalle strisciate 17-21, dirette in senso ovest-nord-ovest/est-sud-est.

Nell'ambito della prima serie di voli si è riscontrato un modesto livello di danneggiamento nelle porzioni occidentali ed in quelle meridionali del territorio campionato, ed una situazione di grave o gravissimo stress su estese superfici nel resto della zona campionata.

Il territorio "coperto" dalla seconda serie di voli (quello, per intenderci, che comprende anche la città di Pavia) è risultato, nel complesso, assai meno danneggiato del precedente: è questo, tuttavia, il regno dei pioppeti e delle colture agrarie ed il tasso di naturalità appare modesto poiché i boschi coprono superfici davvero limitate.

Il massimo dello stress è stato riscontrato a nord, nord-est e nord-ovest dell'aeroporto di Malpensa 2000, che occupa una posizione baricentrica rispetto alla porzione nordoccidentale dell'Area protetta, ma livelli di sofferenza elevati sono evidenziati anche da ampie porzioni ad est e ad ovest del medesimo territorio. Altri danni sono comparsi in contiguità di determinati impianti indu-

striali, depuratori e cave (anche se sarebbe stato lecito attendersi una maggiore responsabilità di queste ultime nel determinare lo scadimento qualitativo del paesaggio vegetale). Molto modesto o, all'apparenza, inesistente è risultato, invece, l'impatto della circolazione stradale sulle strisce di terreno arborate ai lati delle principali arterie di comunicazione (anche perché frequentissimi sono gli addensamenti monofitici di robinia, specie molto adattabile e resistente, che merita, però, un discorso a parte). Pure i pioppeti hanno palesato, in linea di massima, un buono od ottimo stato vegetativo (è la regola, se si è solo all'inizio del periodo estivo poiché i problemi sorgono in seguito).

Come già sottolineato, precisissimo e davvero stupefacente si è rivelato il riscontro dei livelli di stress che l'infrarosso ha consentito di appurare, in rapporto allo stato del "verde costruito", negli agglomerati urbani: in molti casi, si sono constatati livelli di elevato danneggiamento sulle alberature cittadine, in parchi, giardini e piazze, piuttosto che nei viali alberati (questi ultimi sono apparsi, nel complesso, in buono stato). Le potenzialità offerte dall'infrarosso in questo specifico campo dovrebbero essere attentamente meditate dai pianificatori territoriali che si applichino in ambito urbano.

Tornando all'influenza sull'ambiente delle attività connesse con l'esistenza dell'aeroporto di Malpensa 2000, sarebbe immotivato affermare che tali attività non svolgano un ruolo di primo piano nel determinare condizioni di stress sulla componente arborea degli ecosistemi adiacenti: centinaia di jet quotidianamente in arrivo e soprattutto in decollo liberano un'ingente quantità di inquinanti, inevitabilmente destinati ad interferire con lo stato di salute degli alberi, e non solo di questi ultimi (figura 21). Il problema è quello di quantificare tale influenza negativa, un enigma che si sarebbe potuto risolvere con buona approssimazione ove fosse stato disponibile un censimento dei livelli di stress degli alberi nelle medesime aree, anteriore all'entrata in funzione a pieno ritmo dell'aeroporto stesso.

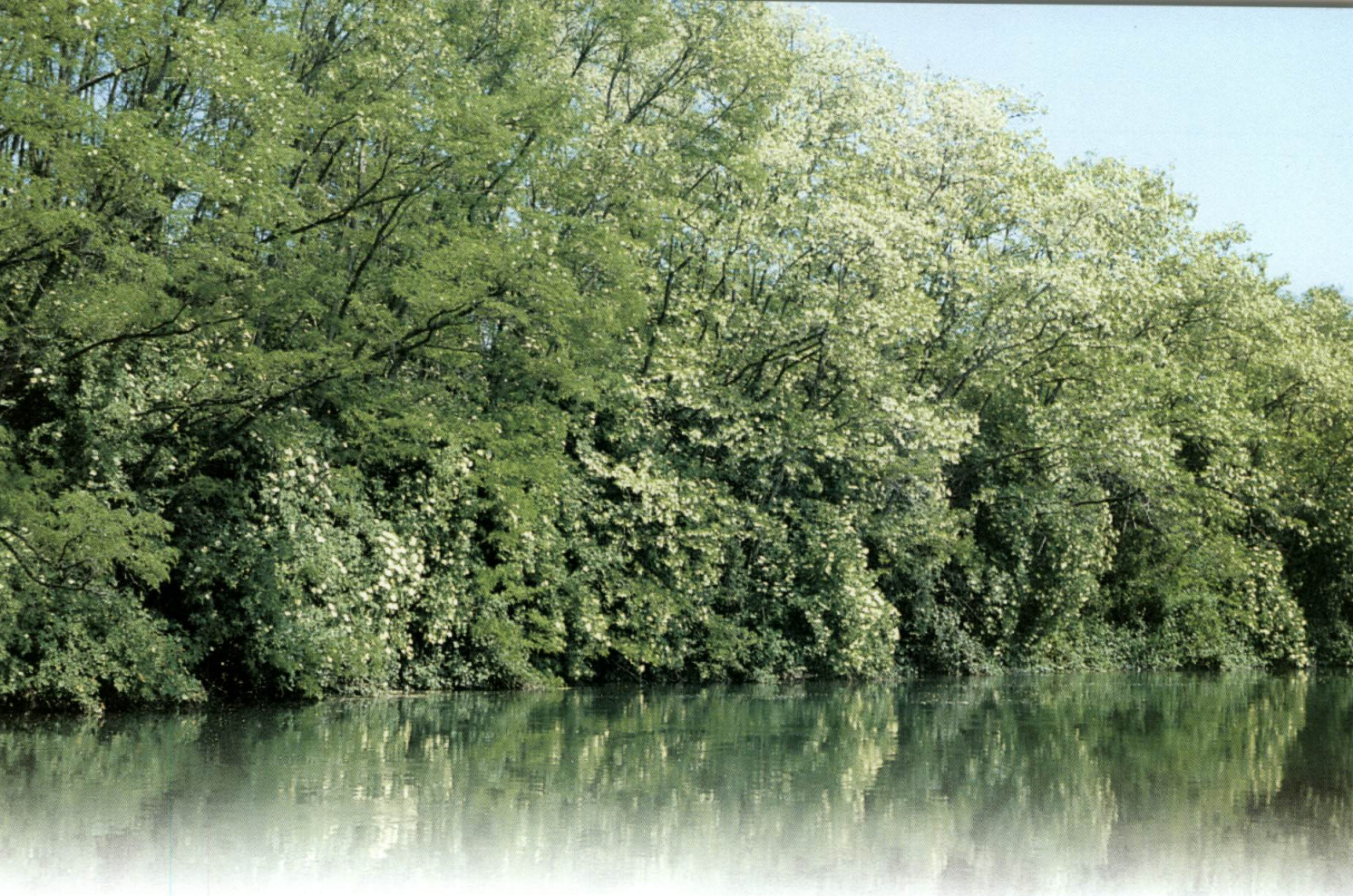
È lecito ipotizzare che in queste zone preesistesse un livello di danneggiamento equiparabile a quello (tutto sommato percepibile ma non gravissimo), rilevabile nei boschi ubicati a sud, a distanze più o meno grandi dall'area aeroportuale. Un confronto probante va pertanto rinviato ad un nuovo censimento che potrebbe essere effettuato tra quattro-cinque anni: ovviamente le condizioni sperimentali dell'indagine dovranno ricalcare il più possibile quelle dell'attuale ricerca, sia per quanto riguarda il periodo dei voli, sia per quanto attiene alle situazioni meteorologiche primaverili e di inizio estate (un inverno mite ed una primavera calda e siccitosa richiederebbero un anticipo dei voli, un inverno protratto e una primavera fredda e umida un loro posticipo).

Tornando all'attuale sperimentazione, rimane il dato di fatto che i boschi ubicati ad est, ovest e soprattutto a nord e nord-est dell'aeroporto presentano livelli di stress particolarmente elevati su vaste superfici, assolutamente non paragonabili (sotto il profilo quantitativo) a quelli rilevati a sud o, comunque, in aree distanti dall'aeroporto stesso.

Figura 21

*Comuni di Somma
Lombardo e Golasecca:
a nord, nord-est e nord-
ovest dell'aeroporto
di Malpensa 2000
si constata
un'accentuazione
dei livelli di stress
a carico
degli ecosistemi
boschivi: su vaste
superfici risulta
omogeneamente
diffusa la IV classe
di danno.
Non disponendosi
d'immagini anteriori
all'entrata in attività
dell'aeroporto,
l'impatto ambientale
effettivamente
ascrivibile
agli aeromobili
in decollo
o in atterraggio
andrà quantificato,
tra qualche anno
con una nuova
indagine all'I.R.F.C.*





9. Il problema delle infestanti

Si è accennato in precedenza che, tra le specie arboree presenti, la robinia meritava un approfondimento. Preliminarmente si rileva che tutte le forme che, con il loro sviluppo abnorme, tendono ad opporsi all'evoluzione spontanea e ordinata del manto vegetale, meritano, sotto il profilo ecologico, l'appellativo di piante infestanti.

Una particolare categoria di infestanti è quella delle specie arboree che tendono a divenire invasive: tra queste un ruolo di prim'ordine spetta appunto alla robinia (figura 22).

La robinia (o acacia, o gaggia) è una specie nordamericana importata in Europa tra il 1500 e il 1600: se ne intese sfruttare la decoratività della fioritura per impiegarla come albero ornamentale. Soltanto in seguito venne utilizzata per consolidare aree acclivi e poco vegetate.

I pregi della robinia sono:

- Il possesso di un apparato radicale esteso e di un'efficiente propagazione per stoloni.
- Il possesso di una notevole plasticità ecologica: la specie raggiunge l'optimum in vallette collinari e submontane, fresche e relativamente umide, ma può crescere anche in luoghi assolati prossimi al mare, come pure oltre i 1.000 metri di quota (sull'Appennino). Vegeta con rigoglio e senza problemi in Val Padana.
- I fiori della robinia possiedono nettari che, visitati dalle api, consentono a questi insetti di produrre un miele particolarmente pregevole.

Figura 22
*L'invasività
della robinia.*

- Trattandosi di una leguminosa, attua simbiosi con batteri azotofissatori a livello di apparato radicale, con conseguente arricchimento del terreno in azoto.
- Rami e polloni della robinia sono utili come paleria minuta.

Aspetti negativi della robinia sono:

- Uno sviluppo delle parti ipogee prevalentemente superficiale: robinie insediate su versanti in pendio nei quali uno spesso strato di terreno a forte componente argillosa poggia su una roccia madre profonda, svolgono in modo insoddisfacente il loro ruolo di consolidatrici e, con le piogge, possono franare a valle insieme ad ampie porzioni di substrato.
- Se il tronco di una robinia viene tagliato alla base, la parte ipogea attiva una miriade di gemme dormienti: al posto di un singolo esemplare si ottiene un boschetto.
- La robinia possiede tante coppie di robuste spine. Il boschetto di cui al punto precedente è, in realtà, una densa boscaglia spinosa, impenetrabile all'uomo.
- Per la sua invasività se ceduta, la robinia tende a sostituire gli alberi della flora spontanea, costituendo paesaggi vegetali che, da un punto di vista culturale, appaiono del tutto estranei alle situazioni vegetazionali italiane. Non è un caso che il nome inglese della robinia sia "black locust" ("cavalletta nera", in riferimento all'aggressività della specie ed al colore dei legumi disseccati).
- I funghi della nostra flora non stabiliscono rapporti simbiotici con le radici della robinia; se la robinia invade un castagneto, porcini, ovuli e così via, col tempo, scompaiono.
- Il polline della robinia è allergògeno.
- Il legno della robinia non è robusto: eventuali neviccate, fasi di galaverna o di gelicidio, a volte anche solo forti colpi di vento, determinano stroncature che, presenti su vaste superfici, fanno assumere al paesaggio aspetti di disordine e di degrado. La regola, in questi casi, è che si intervenga tagliando alla base il tronco dell'esemplare, con accentuazione successiva dell'invasività dell'esemplare stesso.
- Dato che le robinie sono state sovente piantate sui bordi delle strade e sulle spallette ferroviarie, e che in tali ambiti generazioni di cantonieri hanno periodicamente "pulito" il terreno con il fuoco, prassi che agevola lo sviluppo di infestanti, spesso si realizzano connubi robinia-rovo oppure robinia-vitalba, destinati a rendere i siti preclusi a chiunque per secoli.
- Proprio perché molte robinie crescono sul bordo di strade, i nettari dei fiori fissano il piombo aggiunto come additivo antidetonante alle benzine; vari campioni di miele di robinia sono risultati contenere nocive percentuali di piombo.



Considerati pregi e difetti della robinia, il giudizio complessivo sull'impiego della specie non può che essere negativo. Se gli alberi non venissero tagliati, fiorirebbero e fruttificherebbero più del ceduo, però, lontani dalle condizioni ottimali tipiche del Paese d'origine, produrrebbero semi poco vitali. La riproduzione ha un carattere di ben minore virulenza rispetto alla propagazione a seguito del taglio dei tronchi, inoltre gli esemplari entro pochi decenni perderebbero la loro vitalità. Le ceduazioni ripetute ottengono, invece, l'effetto di ringiovanire la robinia e di accentuarne la virulenza (pur nella riduzione della fioritura e della fruttificazione). Oltre a tutto si è importata la specie ma non i suoi parassiti che, nell'areale originario, in una certa misura la contrastano.

L'invasività della robinia era ben nota ad un illuminato studioso del secolo scorso, il Ferrario, il quale, nel 1881, in un suo saggio sulle brughiere lombarde, ne richiese la coltivazione in piantagioni recintate (per ottenerne paleria), *auspicando nel contempo che, della specie, venisse proibita la messa a dimora lungo le strade e le siepi ai margini dei campi*. Basta recarsi in Val Padana per constatare che milioni di esemplari di robinia costeggiano strade, autostrade, ferrovie, e perfino campi coltivati, anche in piano, dove non esista il minimo problema di consolidare pendii. I Parchi del Ticino, purtroppo, non fanno eccezione.

Sotto il profilo dei livelli di stress è doveroso ammettere che questa specie, responsabile, come si è visto, di problematicità di varia natura, appare invece quasi ideale: all'I.R.F.C. essa presenta costantemente una colorazione rosato-rossa che testimonia un ottimo stato di salute e, implicitamente, un'elevatissima resistenza alle avversità. A giudizio del fotointerprete, considerate le note precedenti, e visto che nei Parchi del Ticino si deve tendere ad ottenere un manto vegetale quanto più possibile depositario di un valore culturale, è necessario adottare una strategia volta ad ottenere una maggiore diffusione di specie spontanee idonee (farnie, carpini, roverelle, salici bianchi, pioppi bianchi e così via, a seconda delle condizioni ecologiche locali).

Un analogo giudizio complessivo negativo merita l'ailanto, originario della Cina sudorientale. Introdotto in Italia nel 1760 (ritenendosi, erroneamente, che le sue foglie fossero appetite dai bachi da seta): anch'esso impiegato nei consolidamenti dei pendii, presenta aspetti controindicati analoghi a quelli della robinia, salvo l'assenza di spinosità.

La specie è presente nel territorio dei Parchi del Ticino ma in misura nettamente subordinata a quella dell'"onnipresente" robinia. Gli esemplari ostentano all'I.R.F.C. assenza di danno.

Una specie esotica che ha dimostrato alti livelli di invasività è infine il nordamericano pruno serotino. L'indagine allo stereoscopio non consente di distinguerlo da altre forme arbustive o arboreescenti ma l'individuazione sul terreno di alcune aree che lo ospitano in abbondanza, e la successiva osservazione dei relativi fotogrammi, ha permesso di constatare che la specie, nell'analisi all'I.R.F.C., mostra di essere immune da stress.



10. La situazione dei Comuni lombardi

51

 Qui di seguito sono riportate, sotto forma di scheda, le sintesi interpretative delle Province e dei singoli Comuni appartenenti all'area del Parco Lombardo del Ticino. Queste schede sono state realizzate con l'ausilio delle Ortofoto digitali a colori del "Programma IT2000", di proprietà della C.G.R.; esse sono state rappresentate in bianco e nero per meglio enfatizzare la classificazione ad esse sovrapposta.

Tra queste schede risultano assenti i Comuni di Marcallo, Casinetta di Lugagnano e Gropello Cairoli poiché, come evidenziato anche dal piano di volo, risultano esterni all'area ripresa; però è stata inserita la scheda riguardante il comune di Buscate. Alcune aree boscate non sono state classificate in quanto ricadenti in zone soggette a vincoli militari.

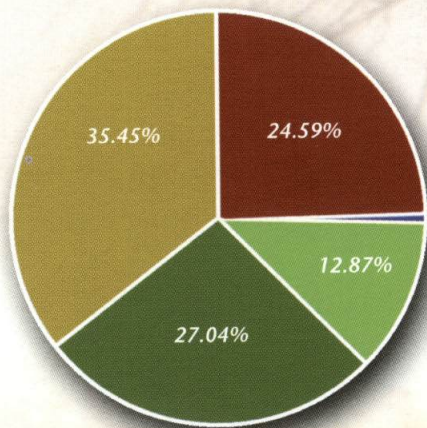
Le schede riguardanti i Comuni, appartenenti alle diverse Province, sono ordinate secondo la loro collocazione geografica da nord a sud.

Seguono, inoltre, per una visione globale della situazione boschiva dell'intera Valle del Ticino le schede dei territori appartenenti alle 4 Province dei Parchi.

Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino



Comune di Sesto Calende (Va)



- Classe I - Livello ottimo
- Classe II - Danno lieve
- Classe III - Danno medio
- Classe IV - Danno grave
- Classe V - Danno gravissimo

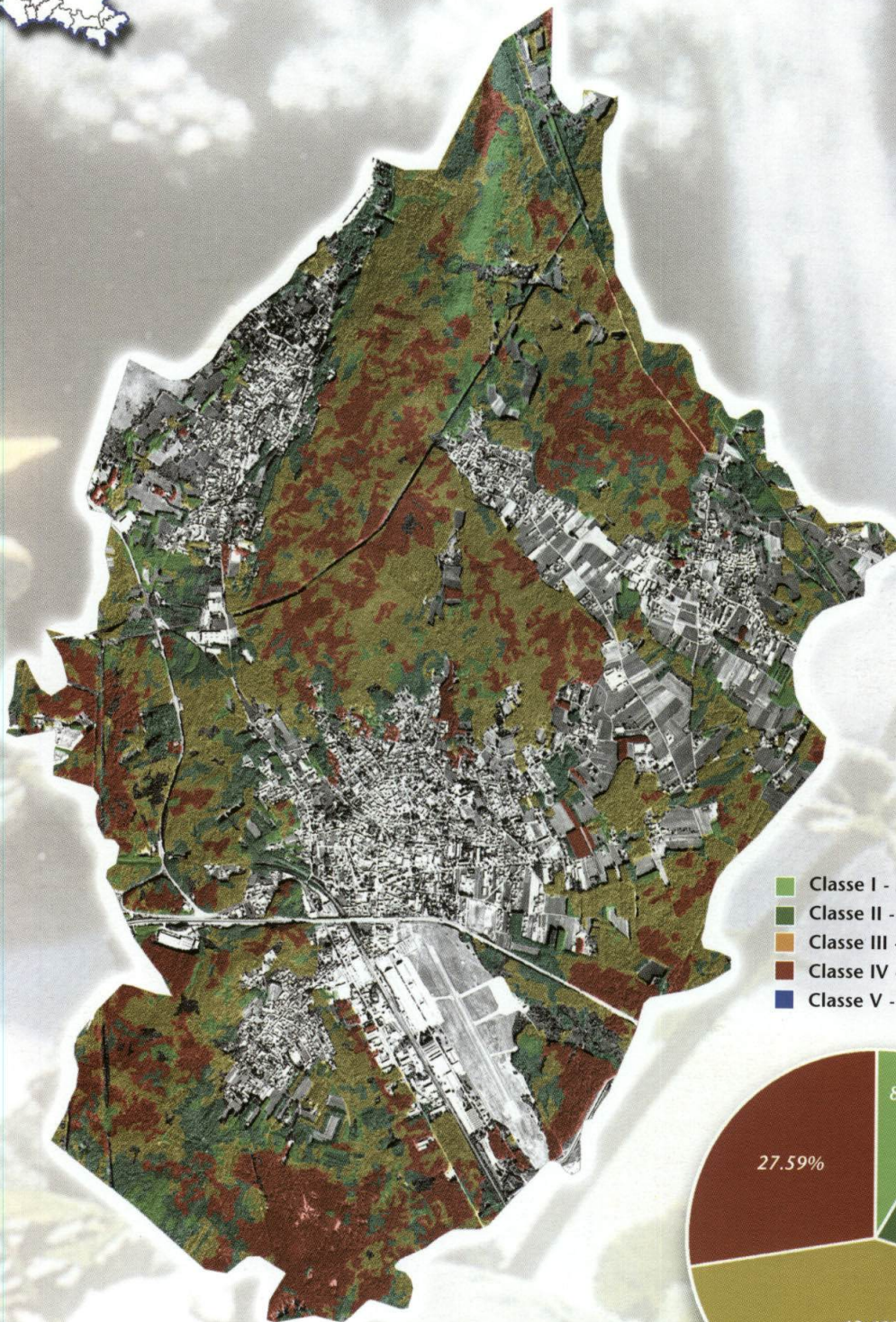




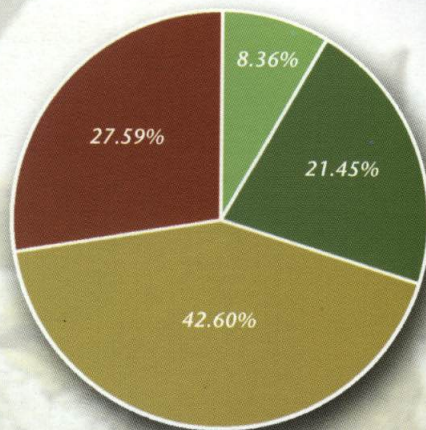
Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino




Comune di Vergiate (Va)








- Classe I - Livello ottimo
- Classe II - Danno lieve
- Classe III - Danno medio
- Classe IV - Danno grave
- Classe V - Danno gravissimo

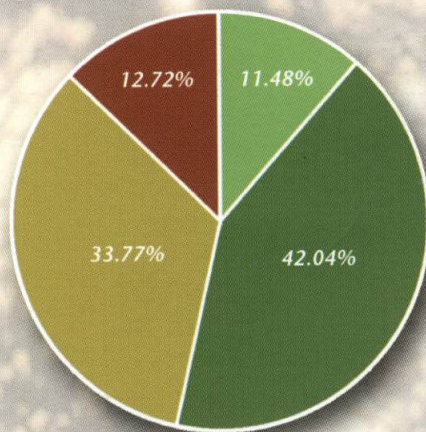


Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino

 *Comune di Golasecca (Va)*



-  Classe I - *Livello ottimo*
-  Classe II - *Danno lieve*
-  Classe III - *Danno medio*
-  Classe IV - *Danno grave*
-  Classe V - *Danno gravissimo*

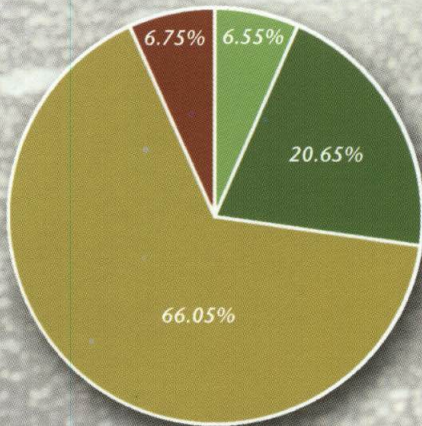


Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino

Comune di Arsago Seprio (Va)



- Classe I - Livello ottimo
- Classe II - Danno lieve
- Classe III - Danno medio
- Classe IV - Danno grave
- Classe V - Danno gravissimo



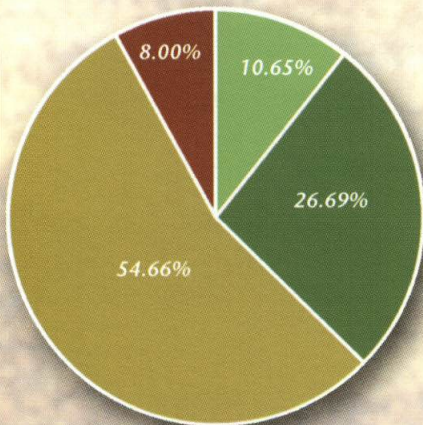
Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino



Comune di Besnate (Va)

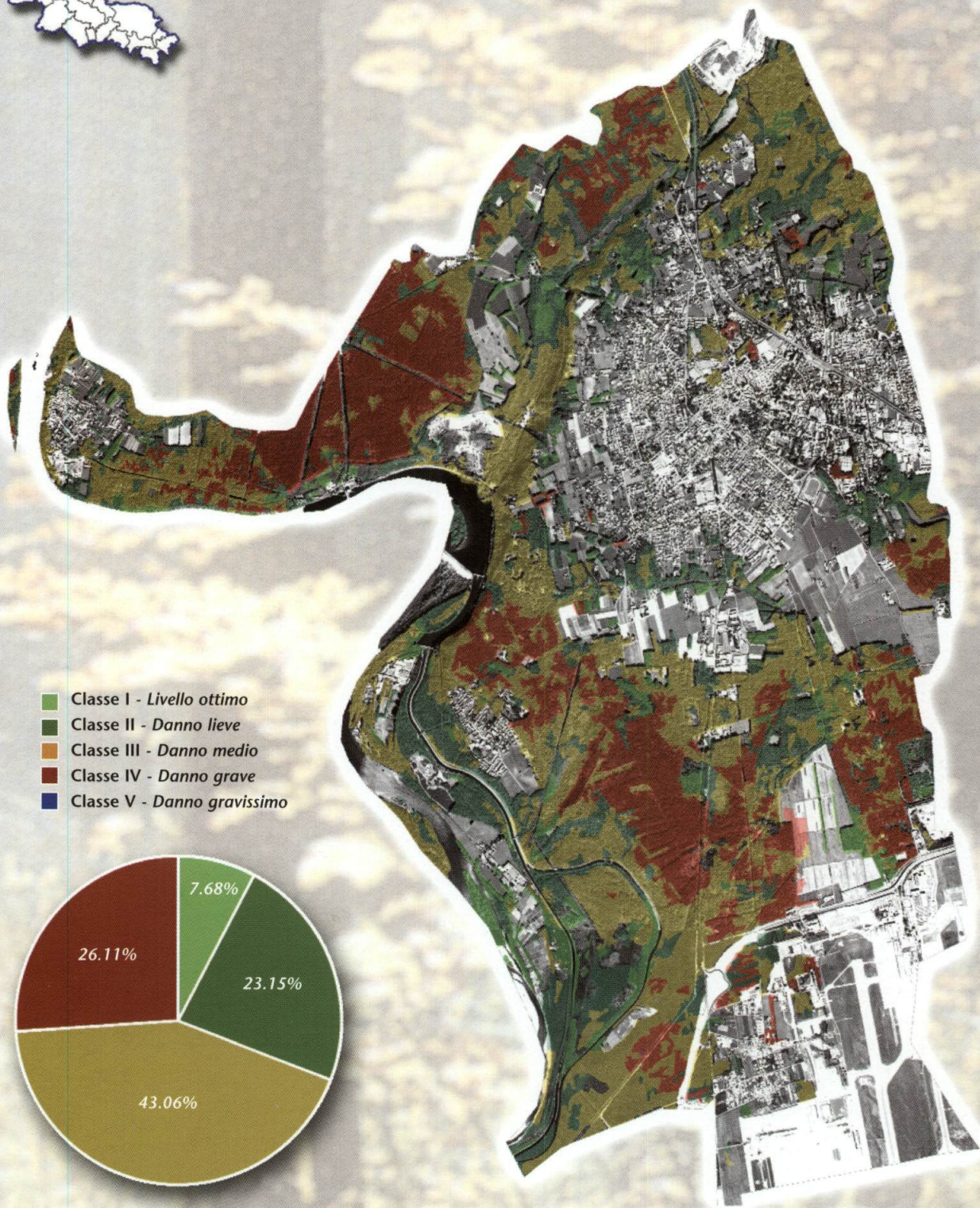


- Classe I - Livello ottimo
- Classe II - Danno lieve
- Classe III - Danno medio
- Classe IV - Danno grave
- Classe V - Danno gravissimo

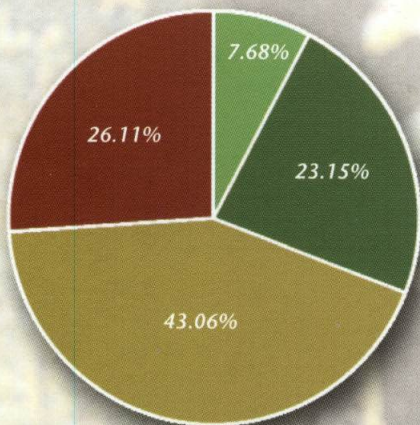


Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino

Comune di Somma Lombardo (Va)



- Classe I - *Livello ottimo*
- Classe II - *Danno lieve*
- Classe III - *Danno medio*
- Classe IV - *Danno grave*
- Classe V - *Danno gravissimo*



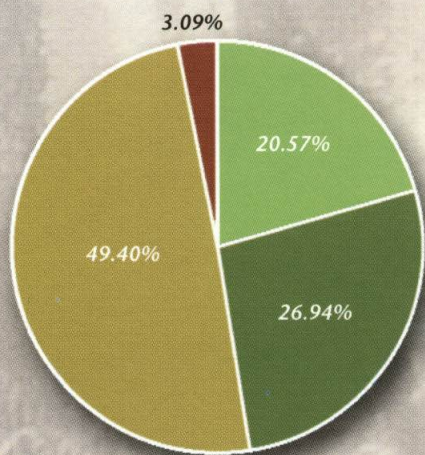
Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino



Comune di Gallarate (Va)

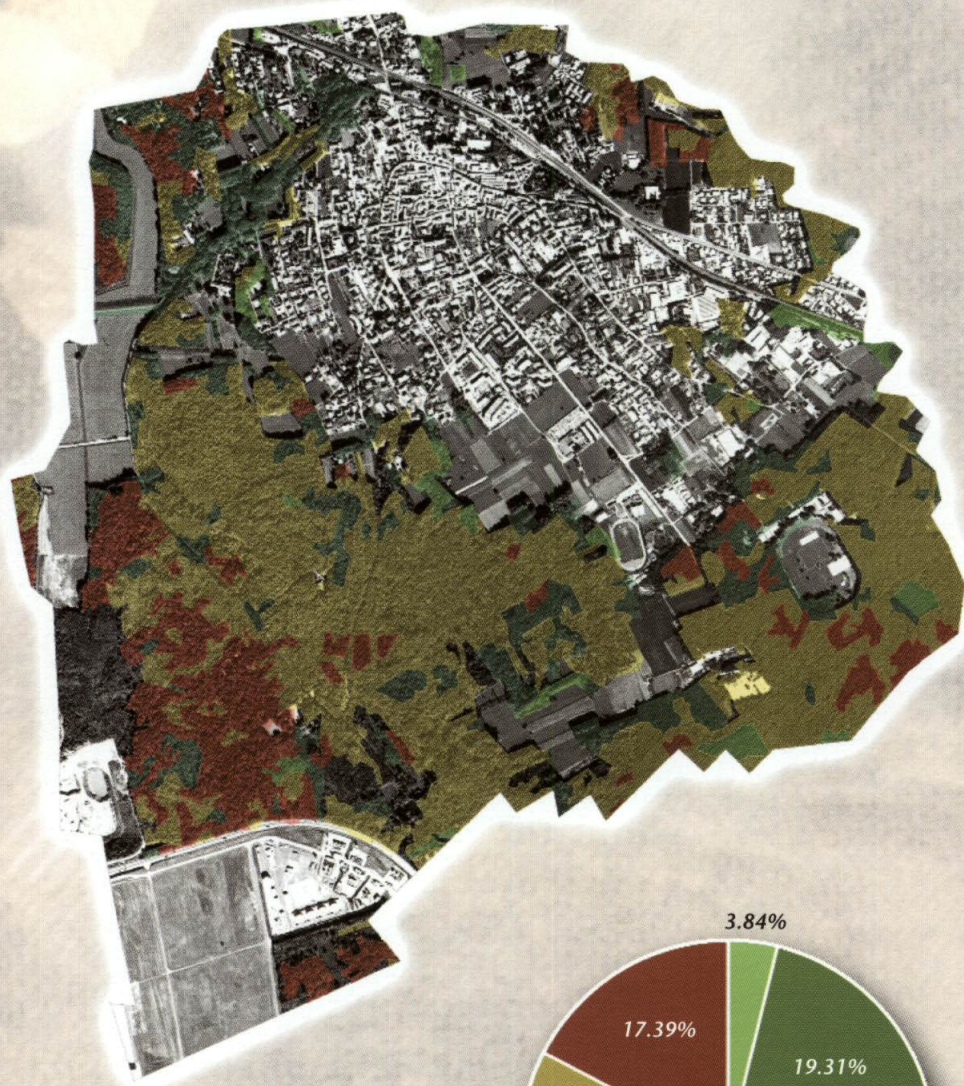


- Classe I - *Livello ottimo*
- Classe II - *Danno lieve*
- Classe III - *Danno medio*
- Classe IV - *Danno grave*
- Classe V - *Danno gravissimo*

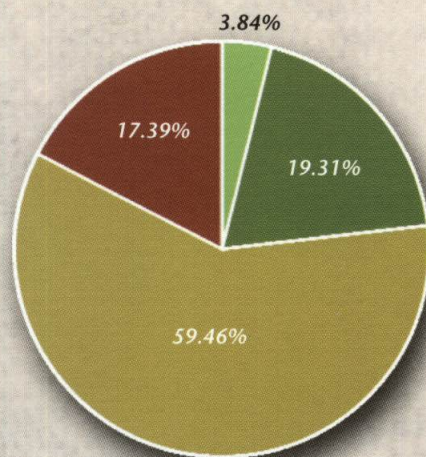


Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino

Comune di Casorate Sempione (Va)



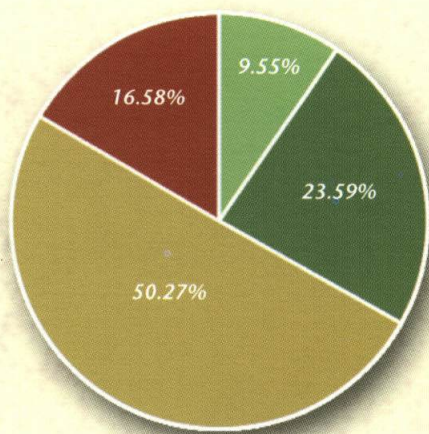
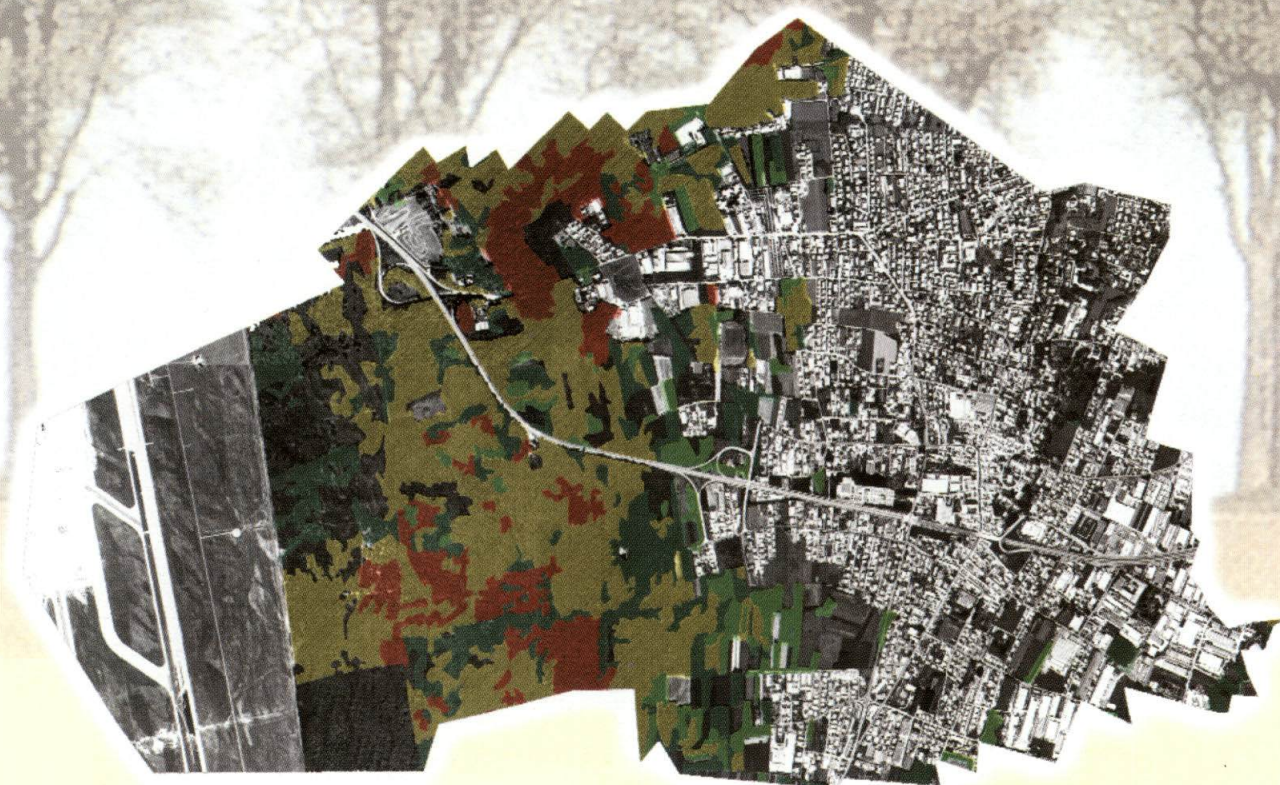
- Classe I - *Livello ottimo*
- Classe II - *Danno lieve*
- Classe III - *Danno medio*
- Classe IV - *Danno grave*
- Classe V - *Danno gravissimo*



Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino



Comune di Cardano al Campo (Va)

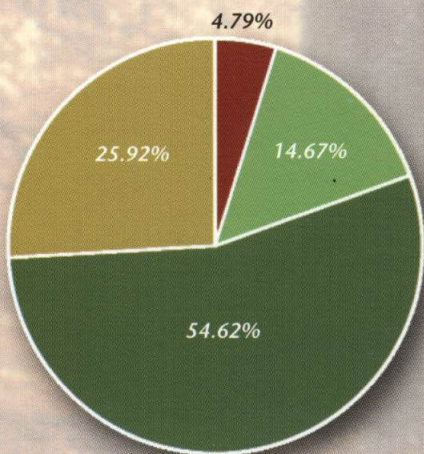


- Classe I - Livello ottimo
- Classe II - Danno lieve
- Classe III - Danno medio
- Classe IV - Danno grave
- Classe V - Danno gravissimo


Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino

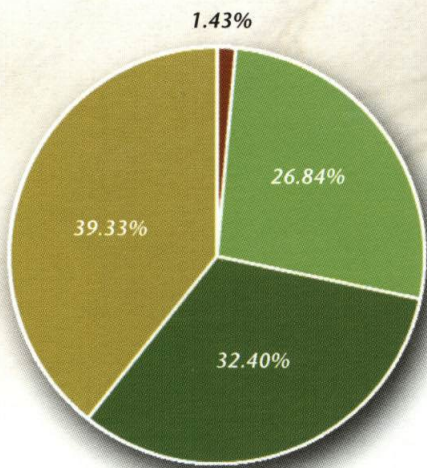
Comune di Vizzola Ticino (Va)






- Classe I - *Livello ottimo*
- Classe II - *Danno lieve*
- Classe III - *Danno medio*
- Classe IV - *Danno grave*
- Classe V - *Danno gravissimo*



Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino

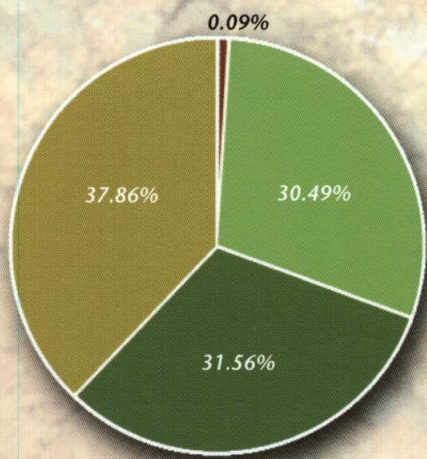
 *Comune di Samarate (Va)*



-  Classe I - Livello ottimo
-  Classe II - Danno lieve
-  Classe III - Danno medio
-  Classe IV - Danno grave
-  Classe V - Danno gravissimo

Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino

Comune di Ferno (Va)



- Classe I - Livello ottimo
- Classe II - Danno lieve
- Classe III - Danno medio
- Classe IV - Danno grave
- Classe V - Danno gravissimo



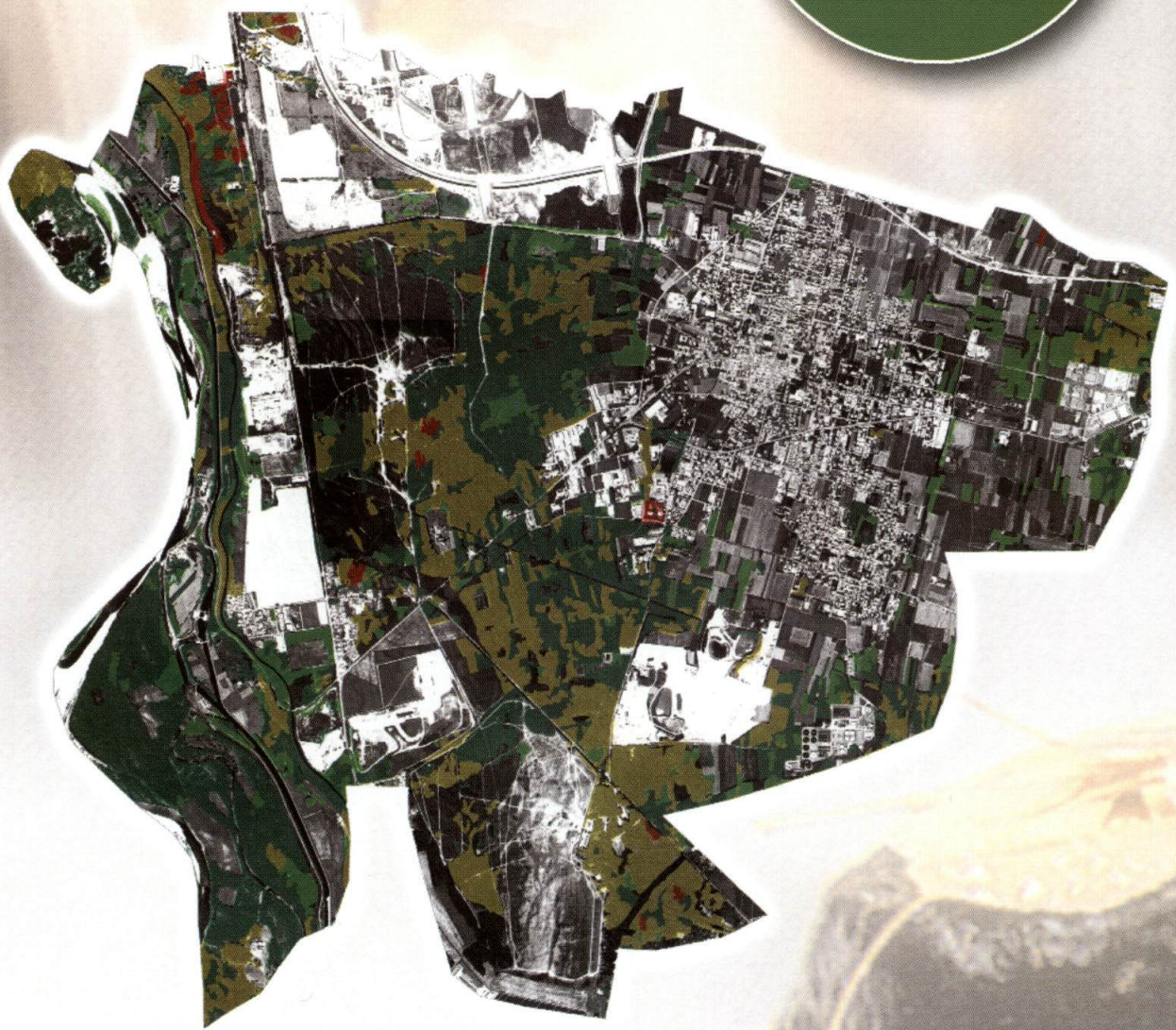
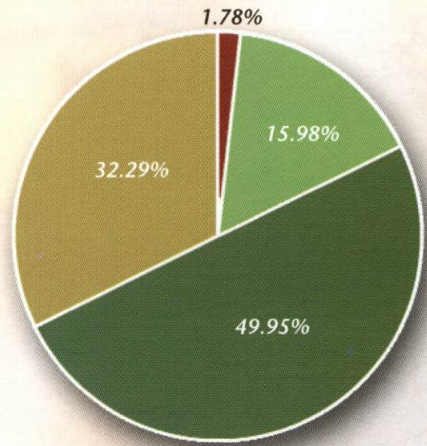


Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino



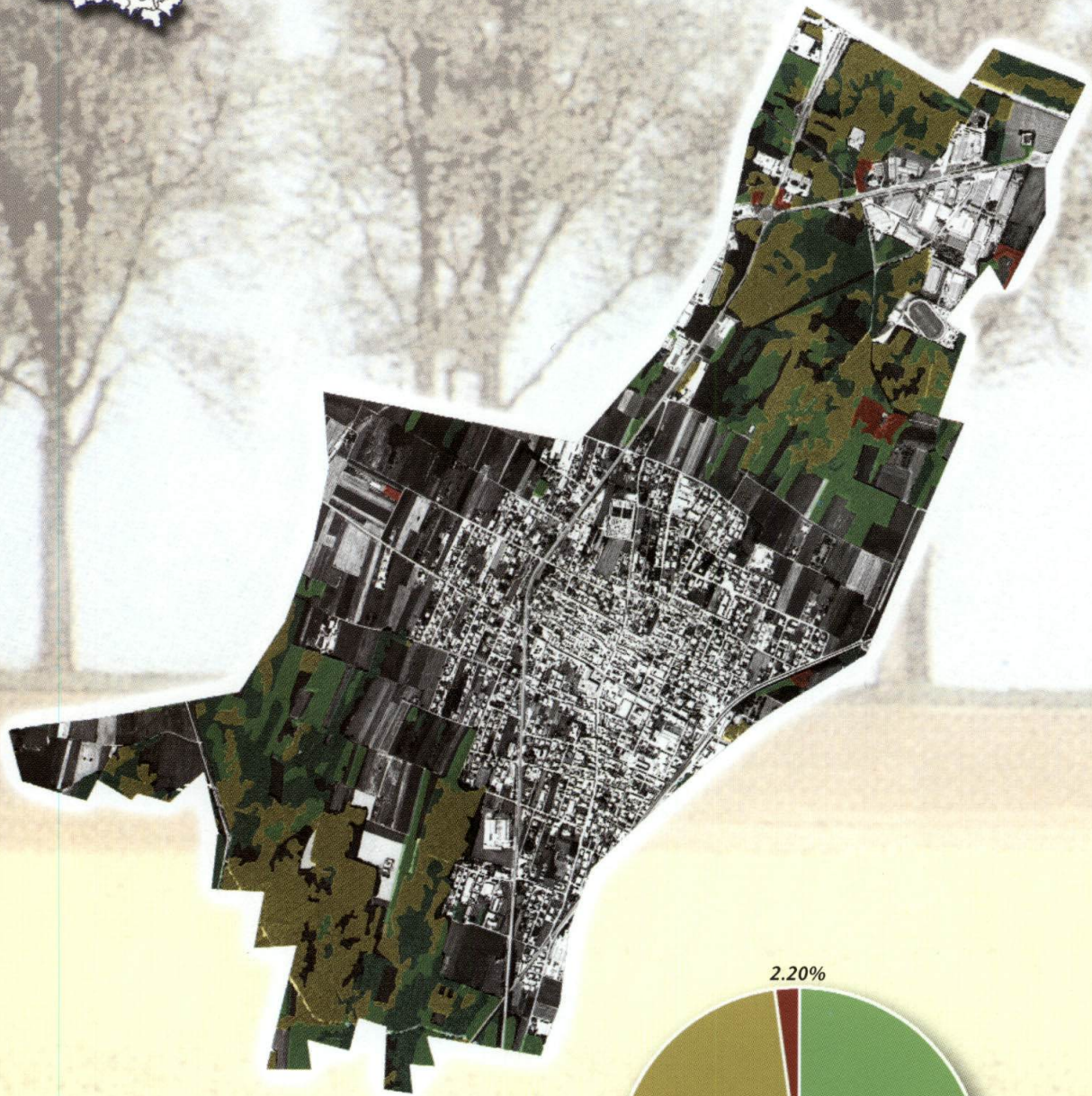
Comune di Lonate Pozzolo (Va)

- Classe I - *Livello ottimo*
- Classe II - *Danno lieve*
- Classe III - *Danno medio*
- Classe IV - *Danno grave*
- Classe V - *Danno gravissimo*

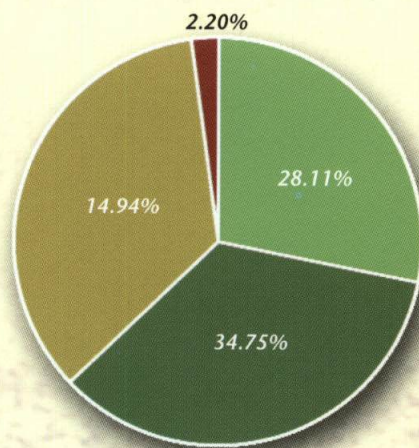


Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino

Comune di Vanzaghello (Mi)



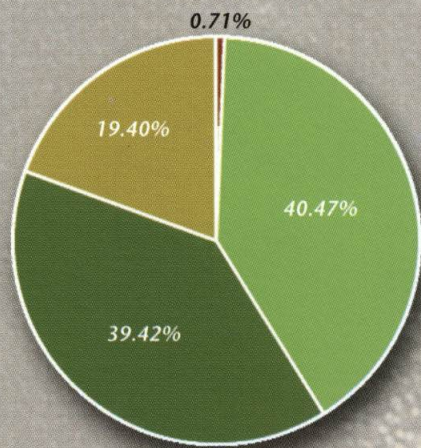
- Classe I - Livello ottimo
- Classe II - Danno lieve
- Classe III - Danno medio
- Classe IV - Danno grave
- Classe V - Danno gravissimo



Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino



Comune di Castano Primo (Mi)




- Classe I - Livello ottimo
- Classe II - Danno lieve
- Classe III - Danno medio
- Classe IV - Danno grave
- Classe V - Danno gravissimo








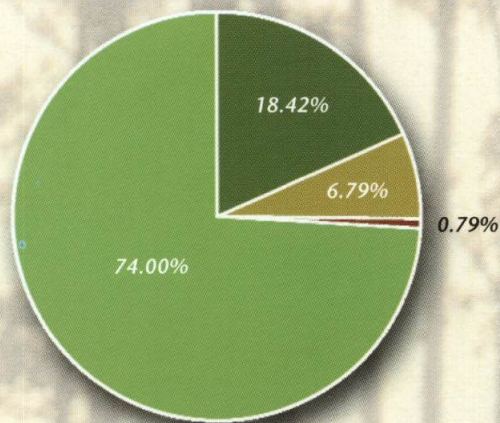
Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino




 *Comune di Buscate (Mi)*








-  Classe I - *Livello ottimo*
-  Classe II - *Danno lieve*
-  Classe III - *Danno medio*
-  Classe IV - *Danno grave*
-  Classe V - *Danno gravissimo*

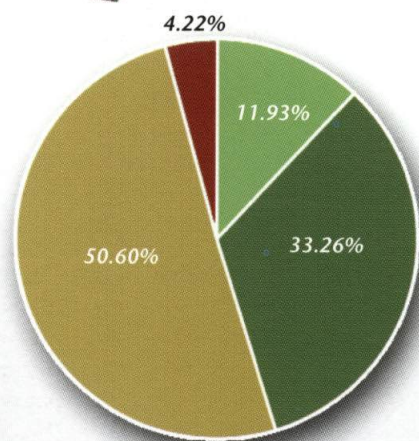


Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino


 *Comune di Nosate (Mi)*








-  Classe I - *Livello ottimo*
-  Classe II - *Danno lieve*
-  Classe III - *Danno medio*
-  Classe IV - *Danno grave*
-  Classe V - *Danno gravissimo*

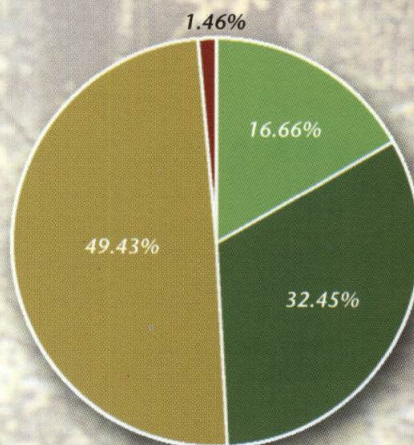


Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino

 *Comune di Turbigo (Mi)*



-  Classe I - *Livello ottimo*
-  Classe II - *Danno lieve*
-  Classe III - *Danno medio*
-  Classe IV - *Danno grave*
-  Classe V - *Danno gravissimo*



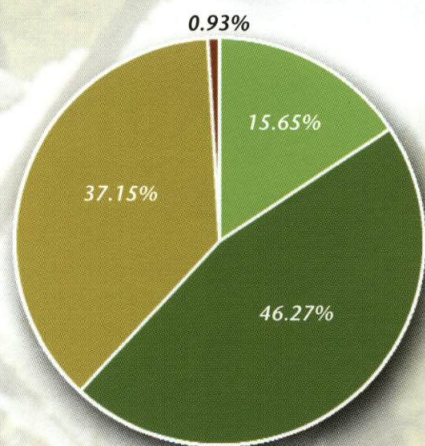
Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino



Comune di Robecchetto con Induno (Mi)



- Classe I - Livello ottimo
- Classe II - Danno lieve
- Classe III - Danno medio
- Classe IV - Danno grave
- Classe V - Danno gravissimo



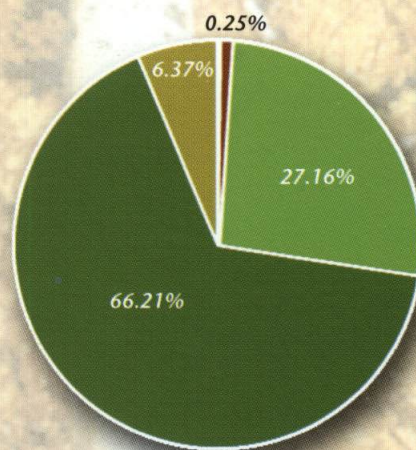
Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino



Comune di Cuggiono (Mi)



- Classe I - *Livello ottimo*
- Classe II - *Danno lieve*
- Classe III - *Danno medio*
- Classe IV - *Danno grave*
- Classe V - *Danno gravissimo*

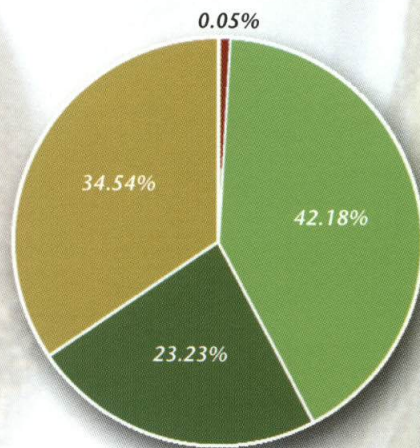


Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino

Comune di Bernate Ticino (Mi)

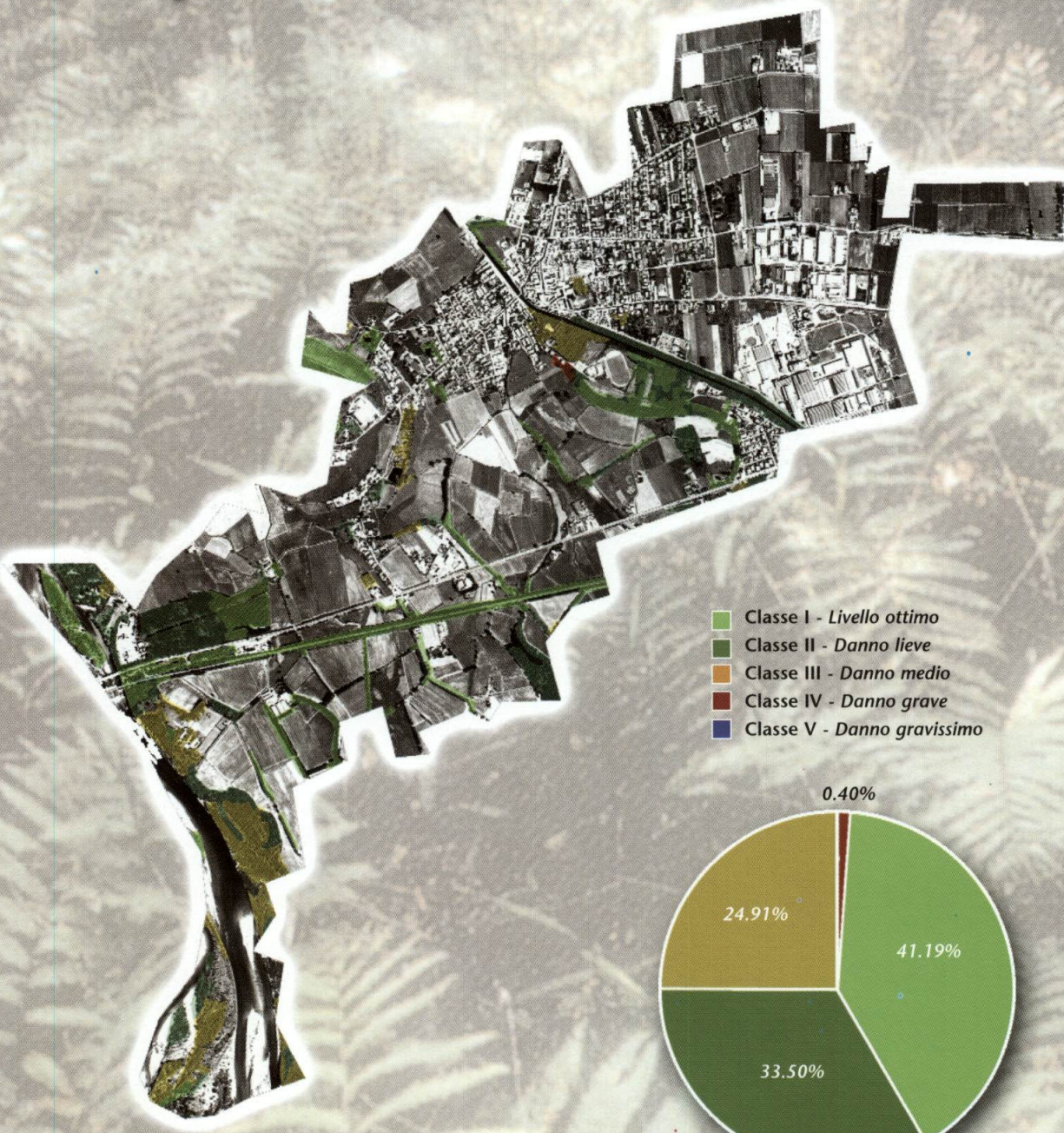


- Classe I - *Livello ottimo*
- Classe II - *Danno lieve*
- Classe III - *Danno medio*
- Classe IV - *Danno grave*
- Classe V - *Danno gravissimo*

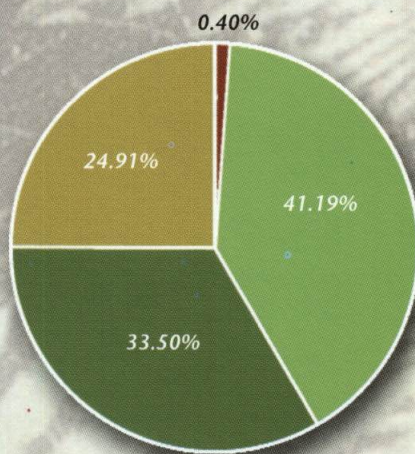


Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino

Comune di Boffalora Ticino (Mi)



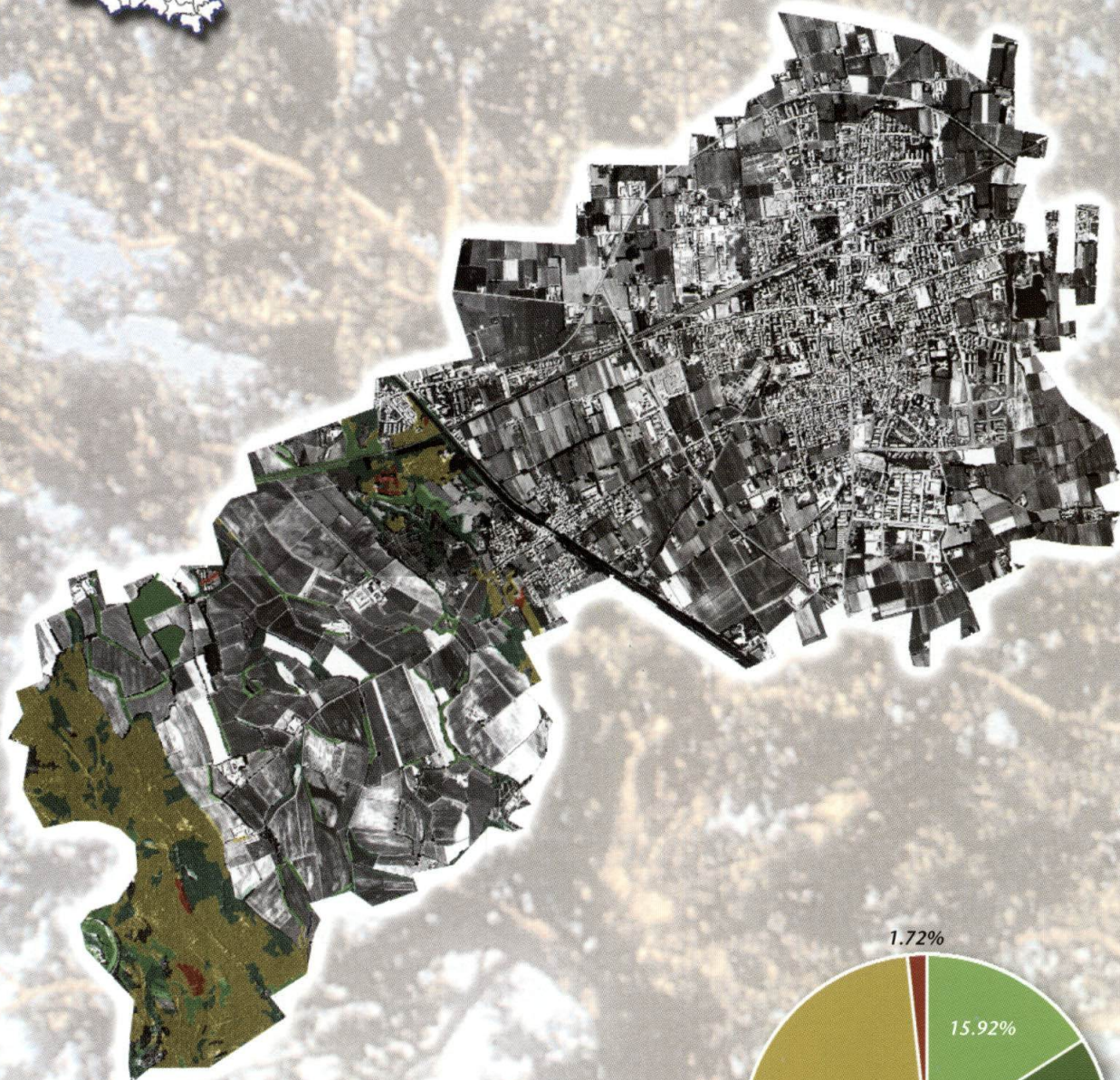
- Classe I - Livello ottimo
- Classe II - Danno lieve
- Classe III - Danno medio
- Classe IV - Danno grave
- Classe V - Danno gravissimo



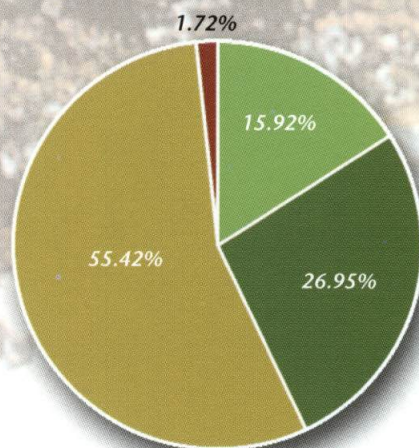
Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino



Comune di Magenta (Mi)



- Classe I - *Livello ottimo*
- Classe II - *Danno lieve*
- Classe III - *Danno medio*
- Classe IV - *Danno grave*
- Classe V - *Danno gravissimo*

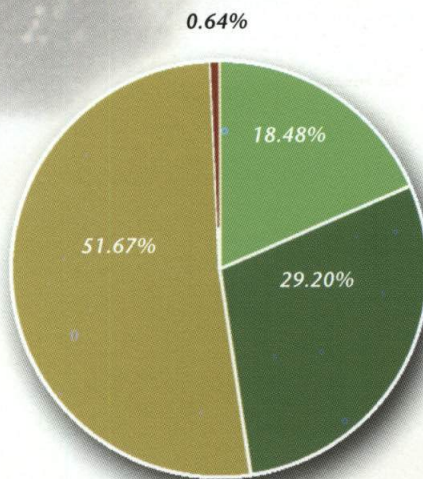


Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino

Comune di Robecco sul Naviglio (Mi)



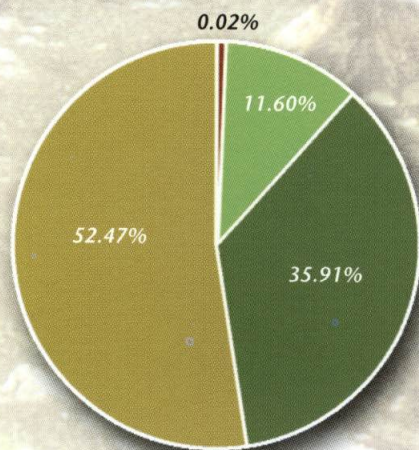
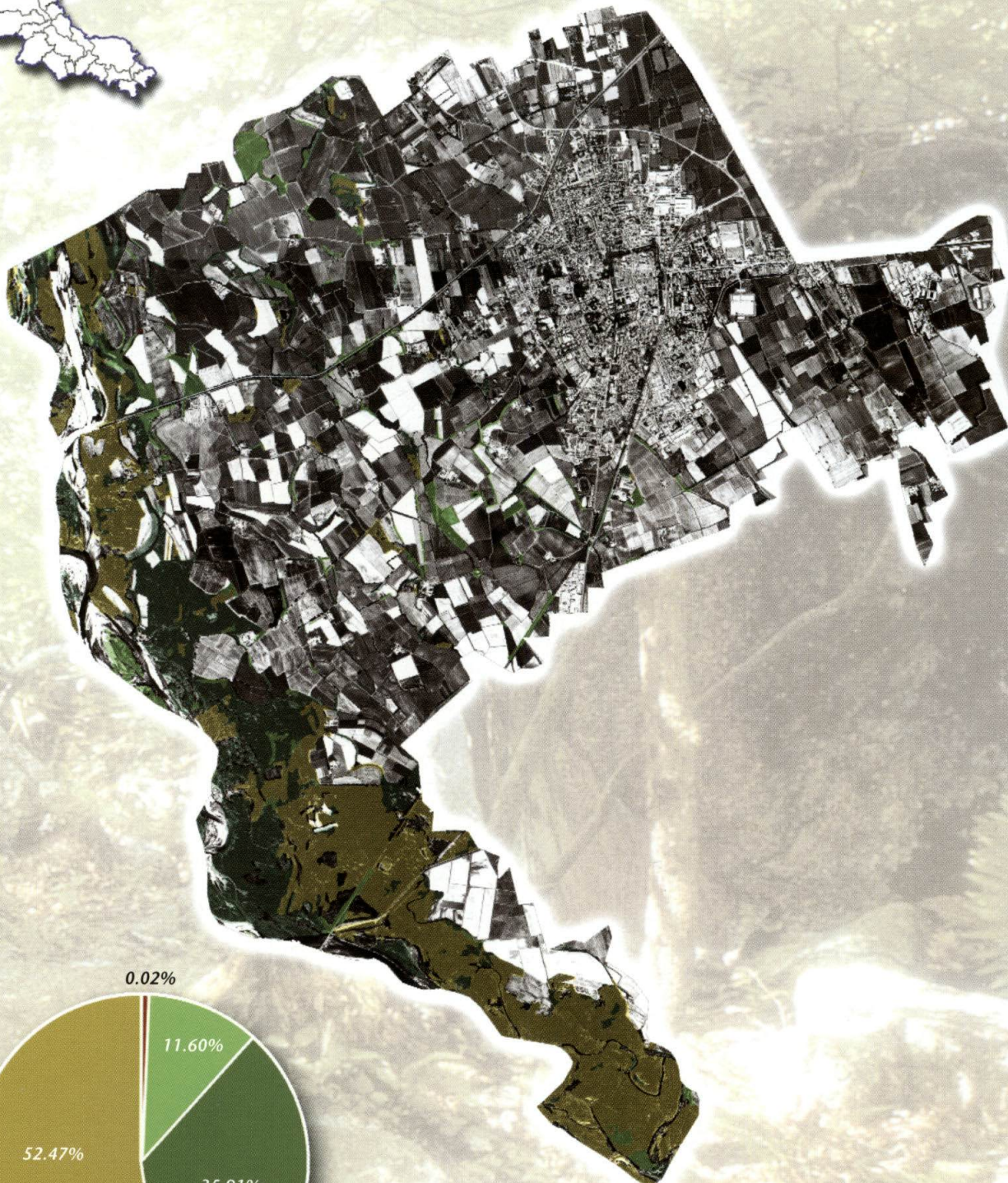
- Classe I - *Livello ottimo*
- Classe II - *Danno lieve*
- Classe III - *Danno medio*
- Classe IV - *Danno grave*
- Classe V - *Danno gravissimo*



Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino




Comune di Abbiategrasso (Mi)








- Classe I - Livello ottimo
- Classe II - Danno lieve
- Classe III - Danno medio
- Classe IV - Danno grave
- Classe V - Danno gravissimo

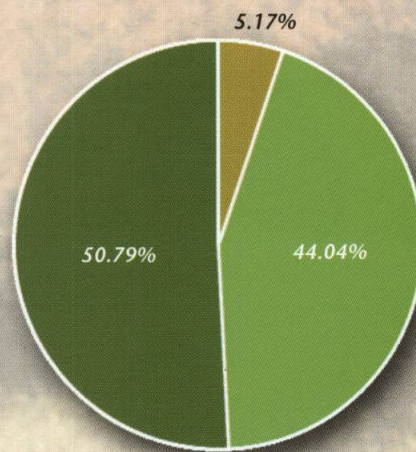


Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino

 *Comune di Ozzero (Mi)*

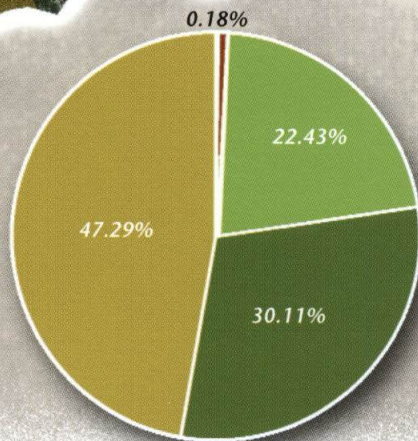







-  Classe I - *Livello ottimo*
-  Classe II - *Danno lieve*
-  Classe III - *Danno medio*
-  Classe IV - *Danno grave*
-  Classe V - *Danno gravissimo*



Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino


 *Comune di Morimondo (Mi)*

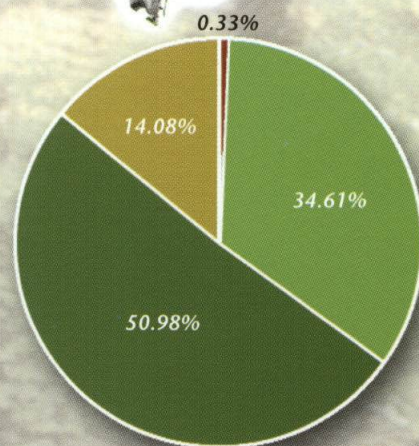







-  Classe I - Livello ottimo
-  Classe II - Danno lieve
-  Classe III - Danno medio
-  Classe IV - Danno grave
-  Classe V - Danno gravissimo



Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino

 *Comune di Besate (Mi)*

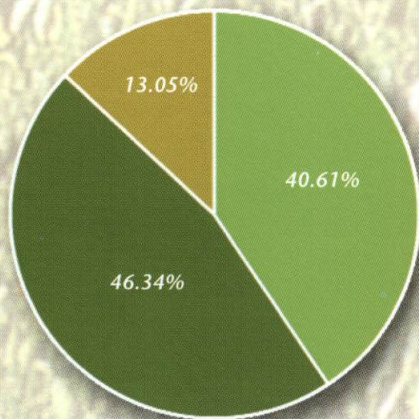


-  Classe I - Livello ottimo
-  Classe II - Danno lieve
-  Classe III - Danno medio
-  Classe IV - Danno grave
-  Classe V - Danno gravissimo

Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino



Comune di Motta Visconti (Mi)



- Classe I - Livello ottimo
- Classe II - Danno lieve
- Classe III - Danno medio
- Classe IV - Danno grave
- Classe V - Danno gravissimo



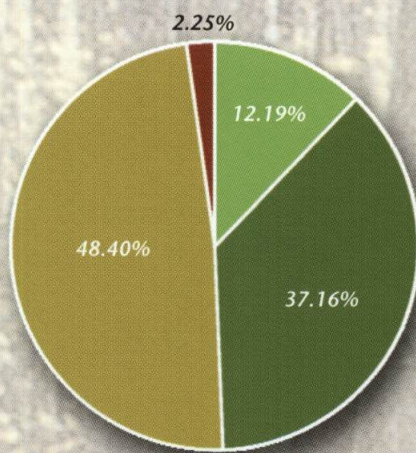
Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino



Comune di Cassolnovo (Pv)



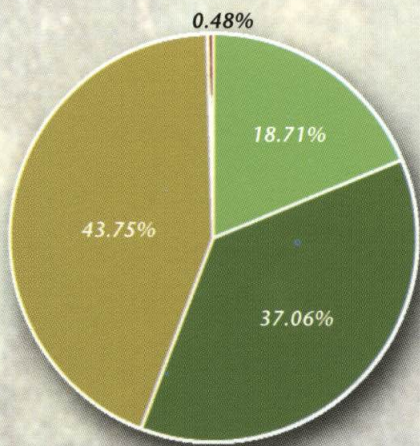
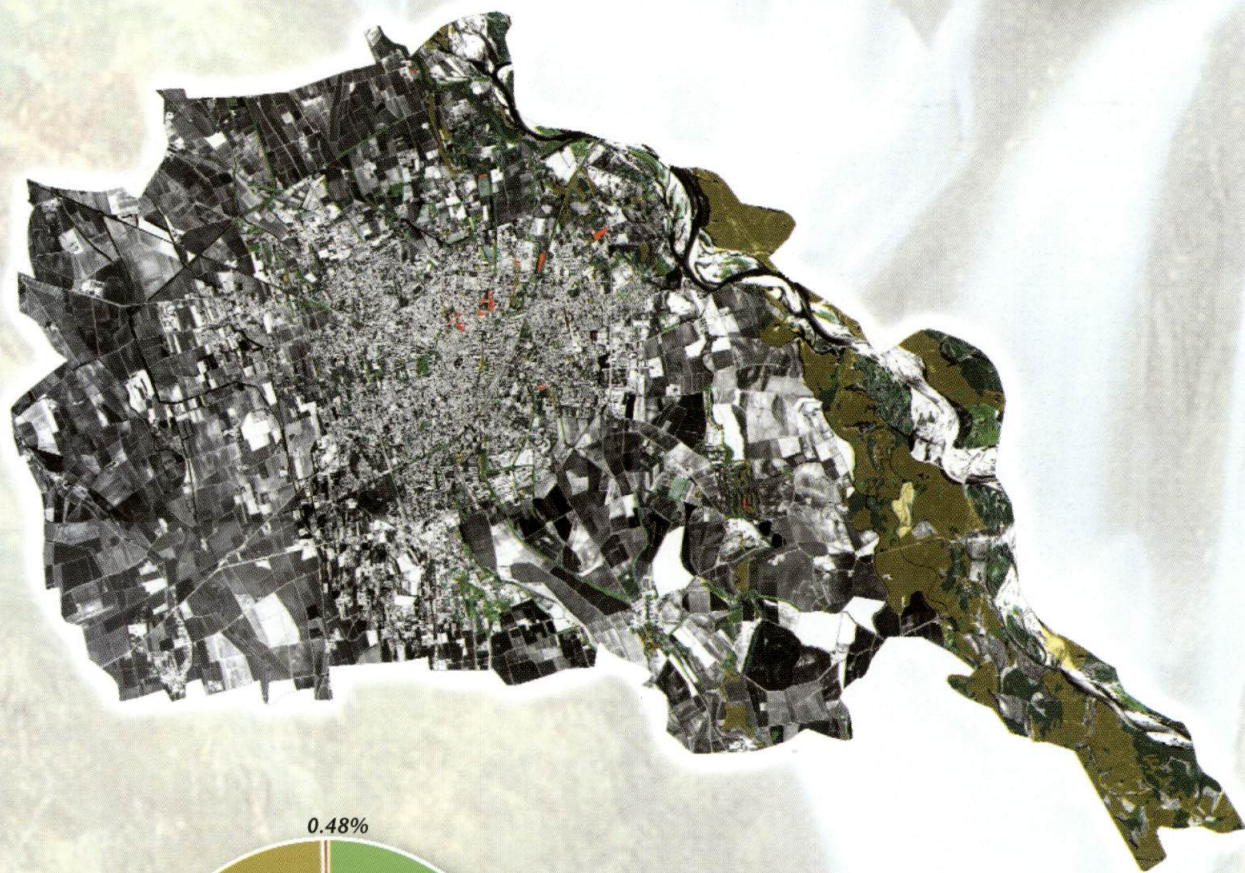
- Classe I - *Livello ottimo*
- Classe II - *Danno lieve*
- Classe III - *Danno medio*
- Classe IV - *Danno grave*
- Classe V - *Danno gravissimo*



Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino



Comune di Vigevano (Pv)



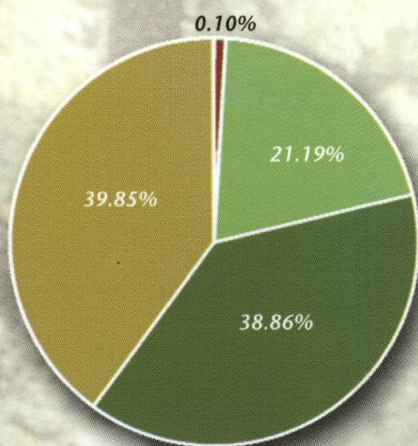
- Classe I - Livello ottimo
- Classe II - Danno lieve
- Classe III - Danno medio
- Classe IV - Danno grave
- Classe V - Danno gravissimo



Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino



Comune di Gambolò (Pv)



- Classe I - Livello ottimo
- Classe II - Danno lieve
- Classe III - Danno medio
- Classe IV - Danno grave
- Classe V - Danno gravissimo



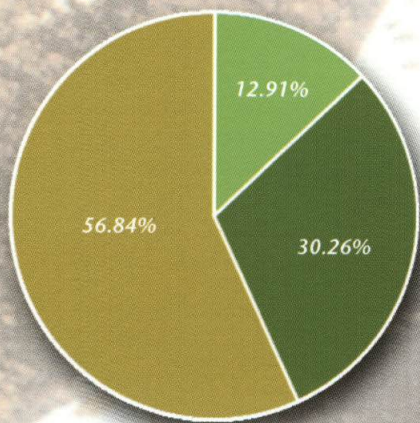
Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino



Comune di Bereguardo (Pv)



- Classe I - *Livello ottimo*
- Classe II - *Danno lieve*
- Classe III - *Danno medio*
- Classe IV - *Danno grave*
- Classe V - *Danno gravissimo*



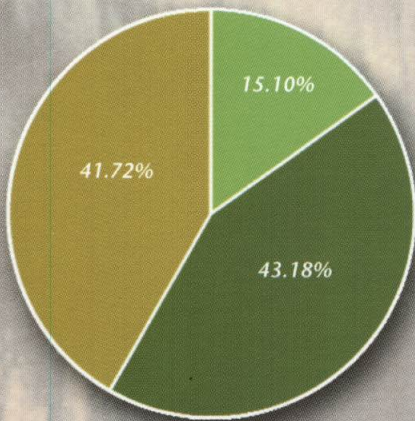
Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino



Comune di Borgo S. Siro (Pv)

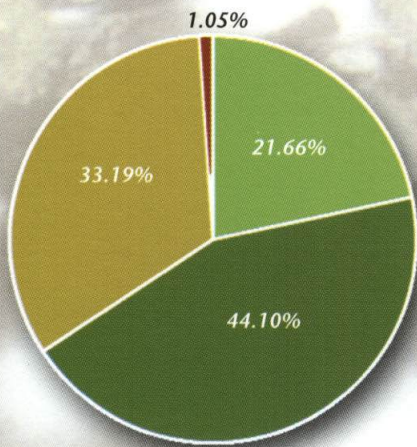
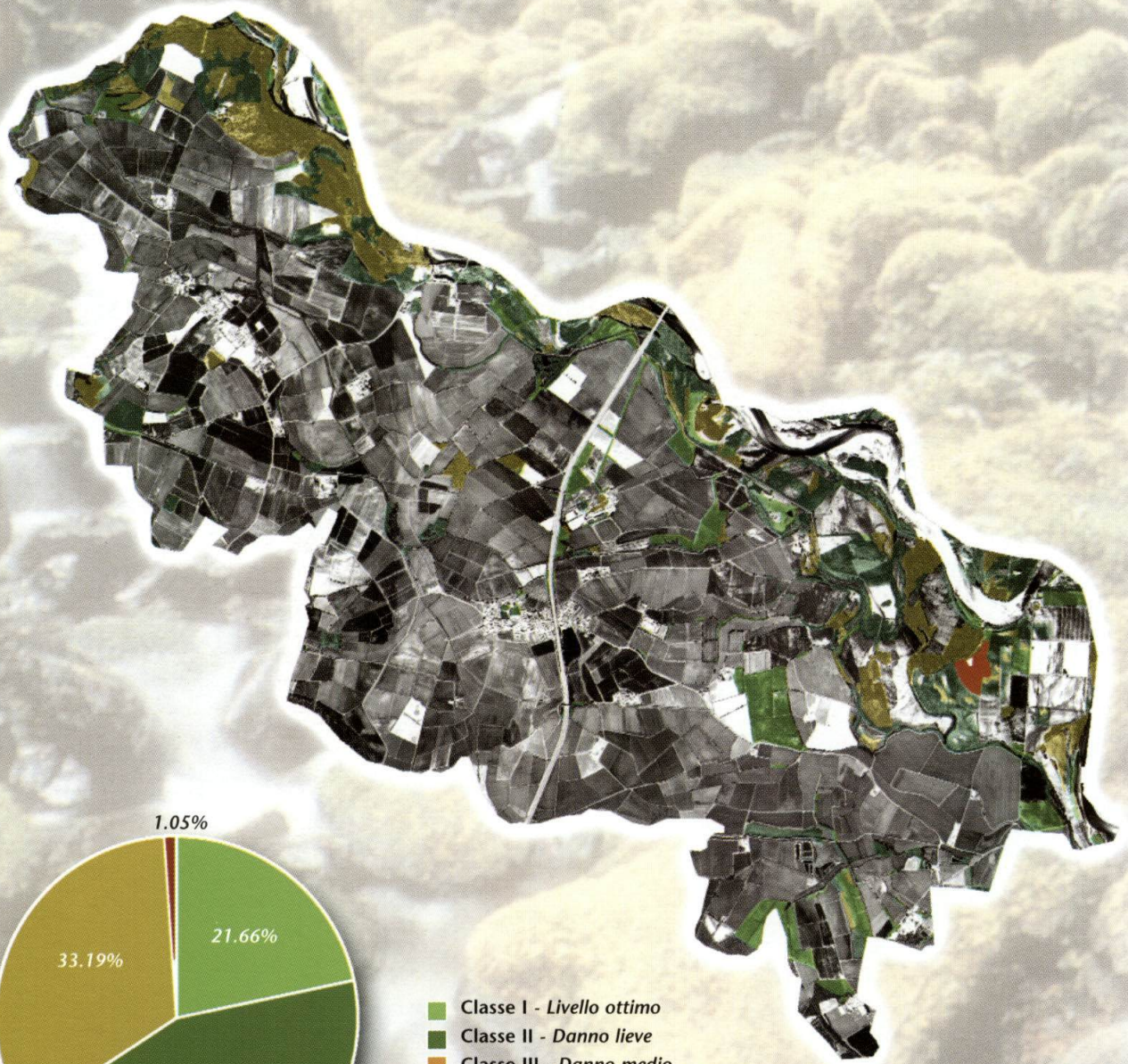


- Classe I - *Livello ottimo*
- Classe II - *Danno lieve*
- Classe III - *Danno medio*
- Classe IV - *Danno grave*
- Classe V - *Danno gravissimo*



Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino

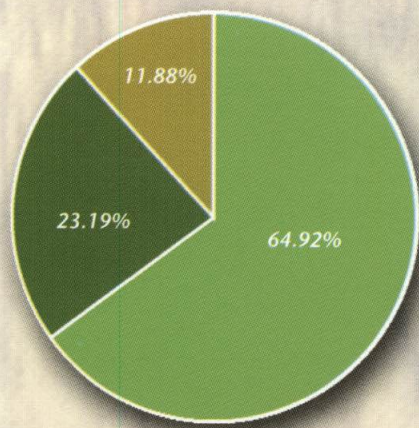
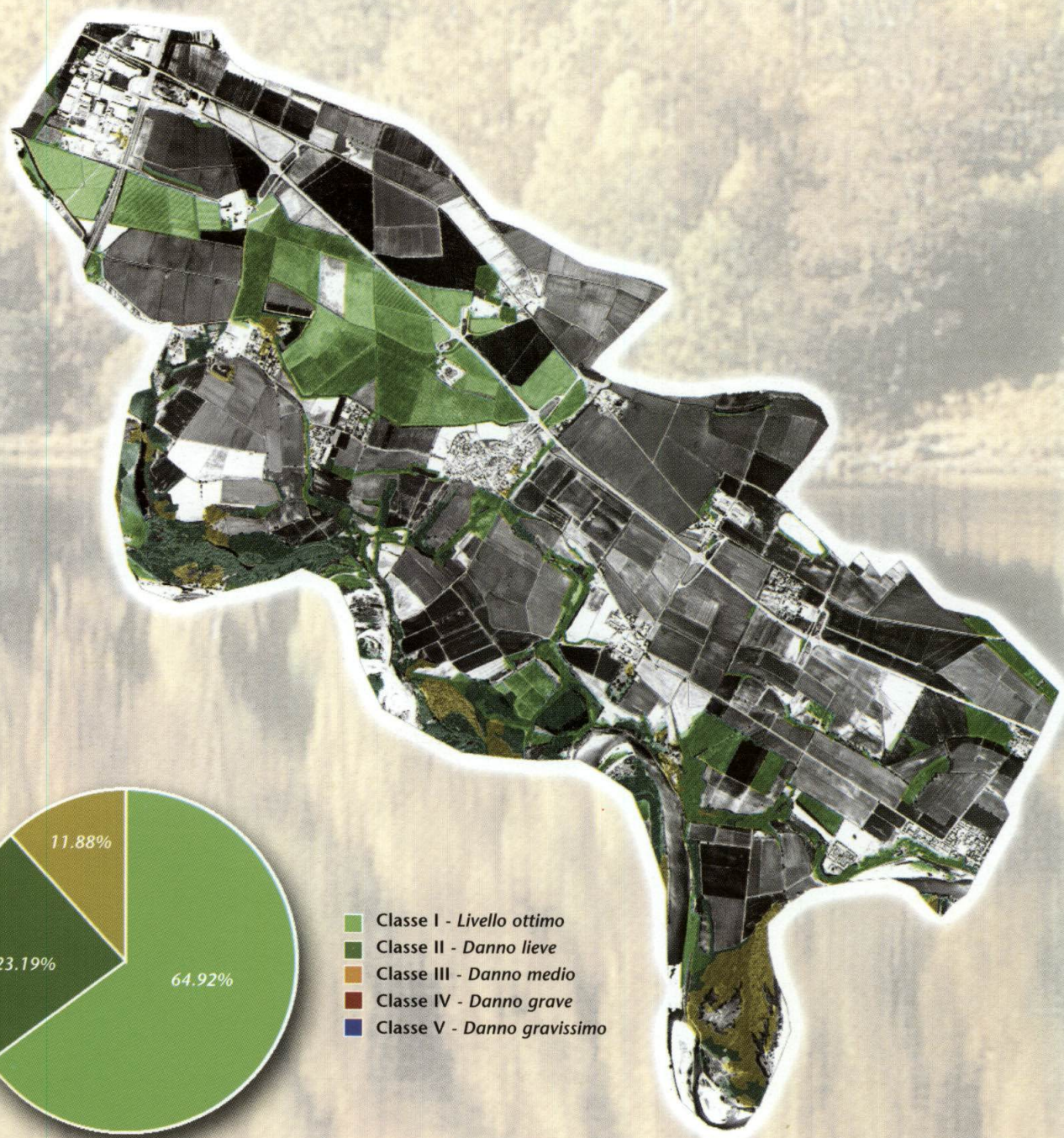
Comune di Zerbolò (Pv)



- Classe I - Livello ottimo
- Classe II - Danno lieve
- Classe III - Danno medio
- Classe IV - Danno grave
- Classe V - Danno gravissimo

Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino

Comune di Torre d'Isola (Pv)



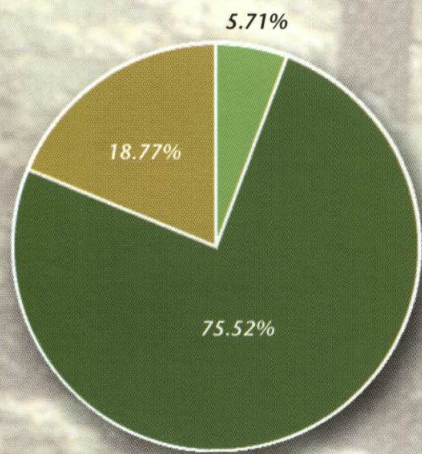
- Classe I - Livello ottimo
- Classe II - Danno lieve
- Classe III - Danno medio
- Classe IV - Danno grave
- Classe V - Danno gravissimo



Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino



Comune di Garlasco (Pv)

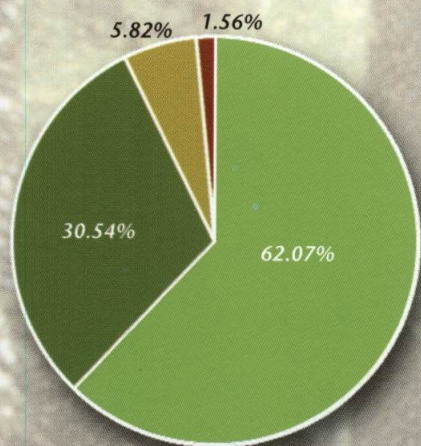


- Classe I - Livello ottimo
- Classe II - Danno lieve
- Classe III - Danno medio
- Classe IV - Danno grave
- Classe V - Danno gravissimo



Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino

Comune di Pavia



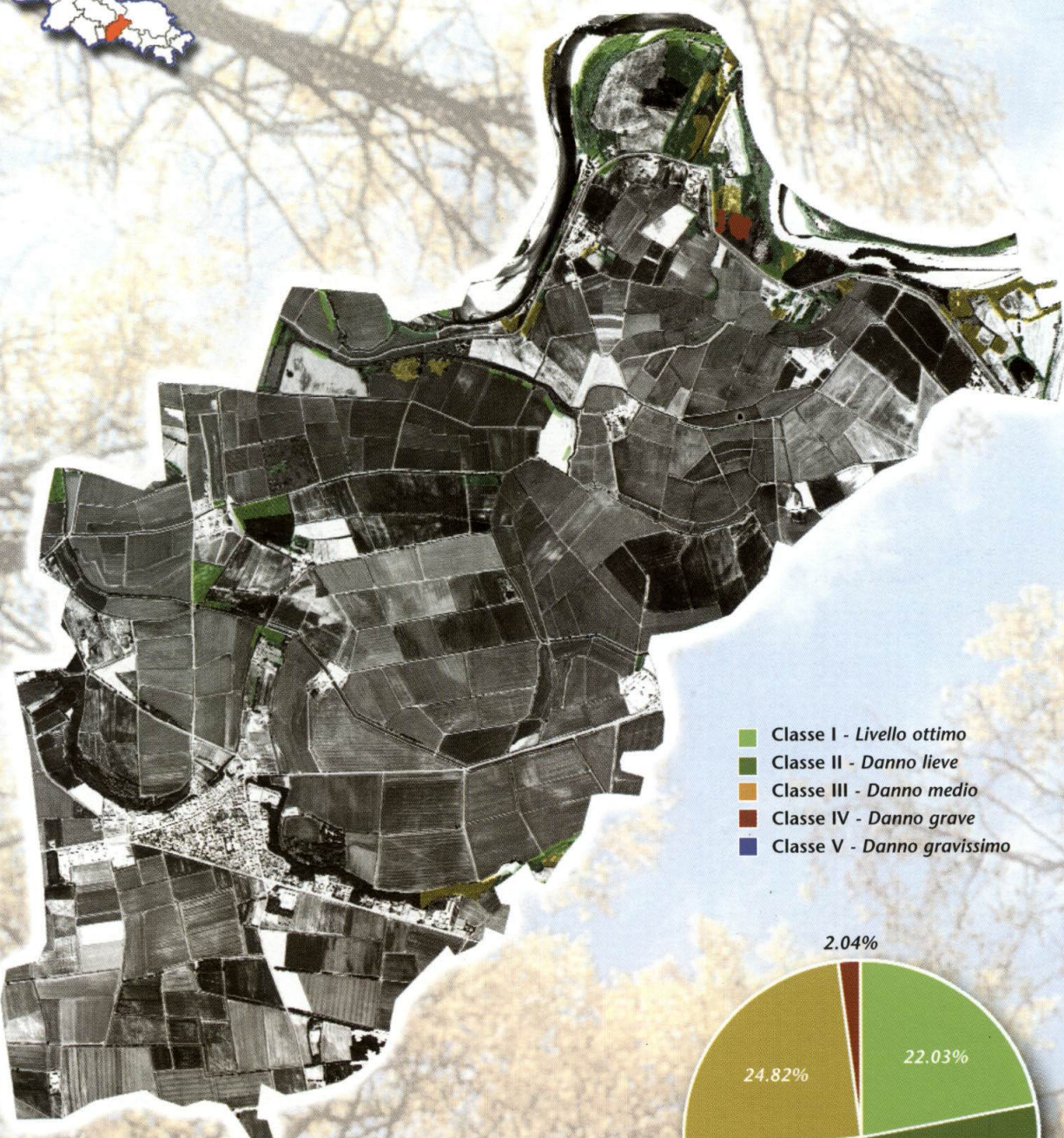
- Classe I - Livello ottimo
- Classe II - Danno lieve
- Classe III - Danno medio
- Classe IV - Danno grave
- Classe V - Danno gravissimo



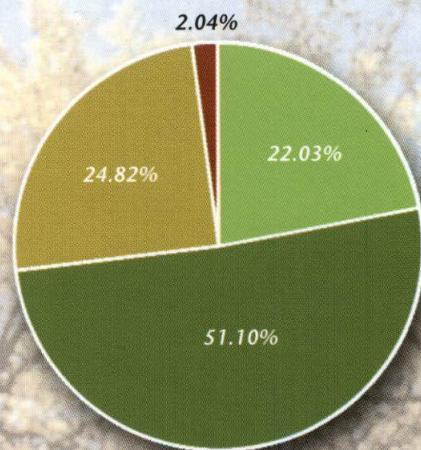
Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino



Comune di Carbonara Ticino (Pv)



- Classe I - *Livello ottimo*
- Classe II - *Danno lieve*
- Classe III - *Danno medio*
- Classe IV - *Danno grave*
- Classe V - *Danno gravissimo*



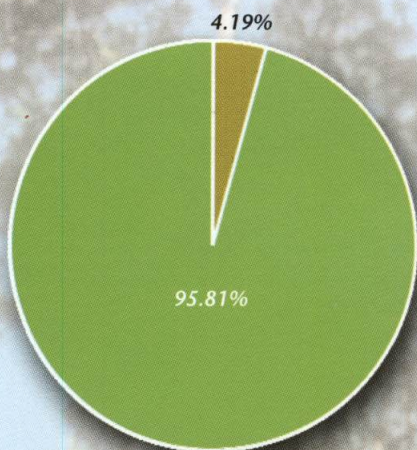
Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino



Comune di Villanova d'Ardenghi (Pv)

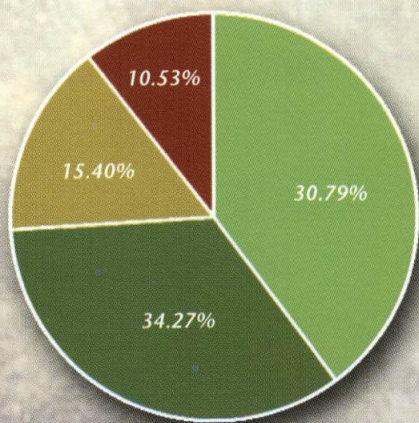


- Classe I - Livello ottimo
- Classe II - Danno lieve
- Classe III - Danno medio
- Classe IV - Danno grave
- Classe V - Danno gravissimo



Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino

Comune di S.Martino Siccomario (Pv)



- Classe I - Livello ottimo
- Classe II - Danno lieve
- Classe III - Danno medio
- Classe IV - Danno grave
- Classe V - Danno gravissimo

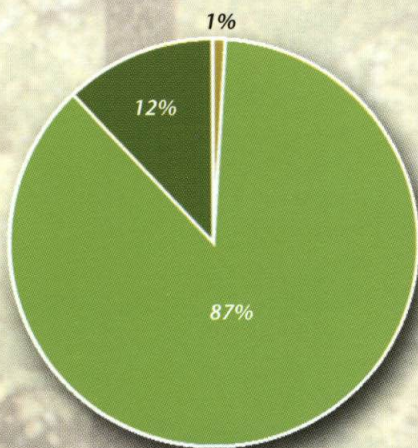
Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino

Comune di Valle Salimbene (Pv)



Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino

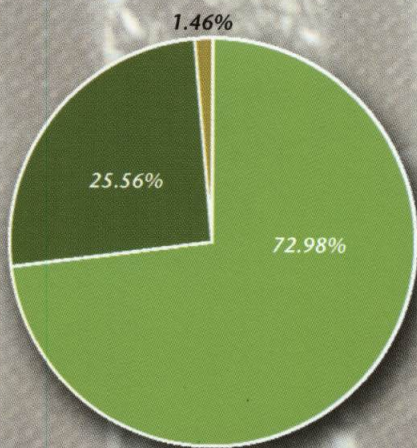
Comune di Travacò Siccomario (Pv)



- Classe I - Livello ottimo
- Classe II - Danno lieve
- Classe III - Danno medio
- Classe IV - Danno grave
- Classe V - Danno gravissimo

Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino

Comune di Linarolo (Pv)



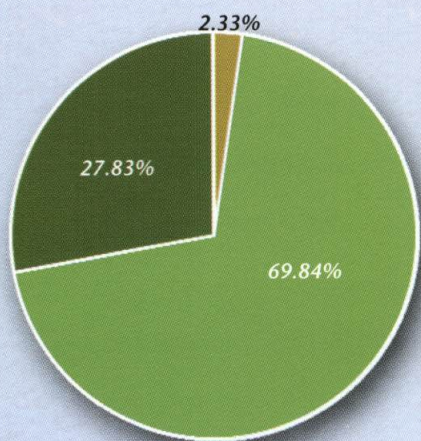
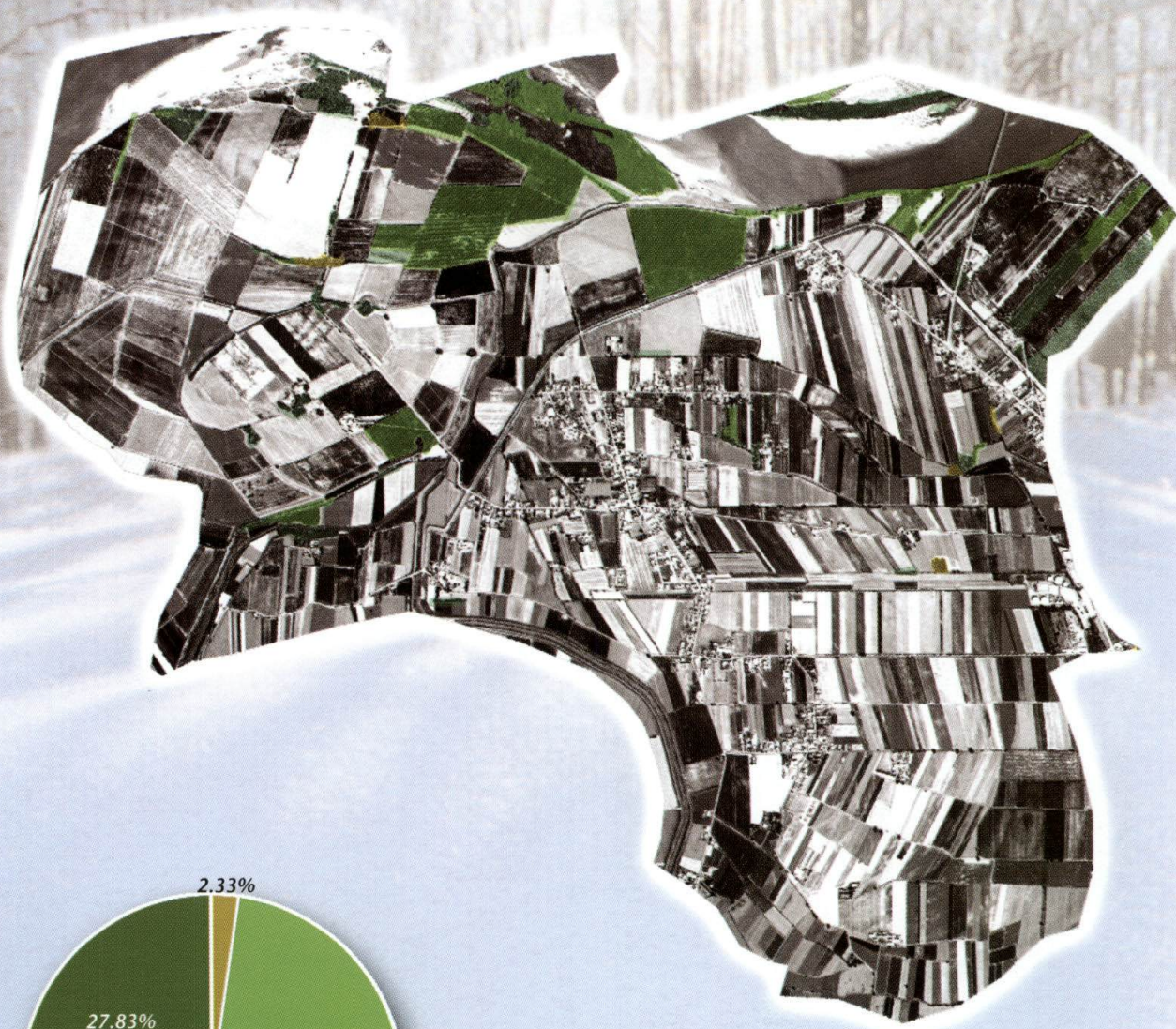
- Classe I - Livello ottimo
- Classe II - Danno lieve
- Classe III - Danno medio
- Classe IV - Danno grave
- Classe V - Danno gravissimo



Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino




Comune di Mezzanino (Pv)

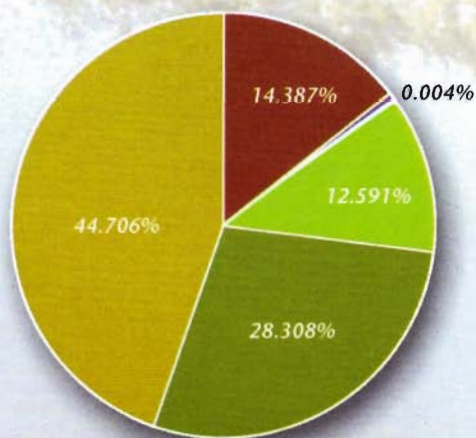







- Classe I - Livello ottimo
- Classe II - Danno lieve
- Classe III - Danno medio
- Classe IV - Danno grave
- Classe V - Danno gravissimo

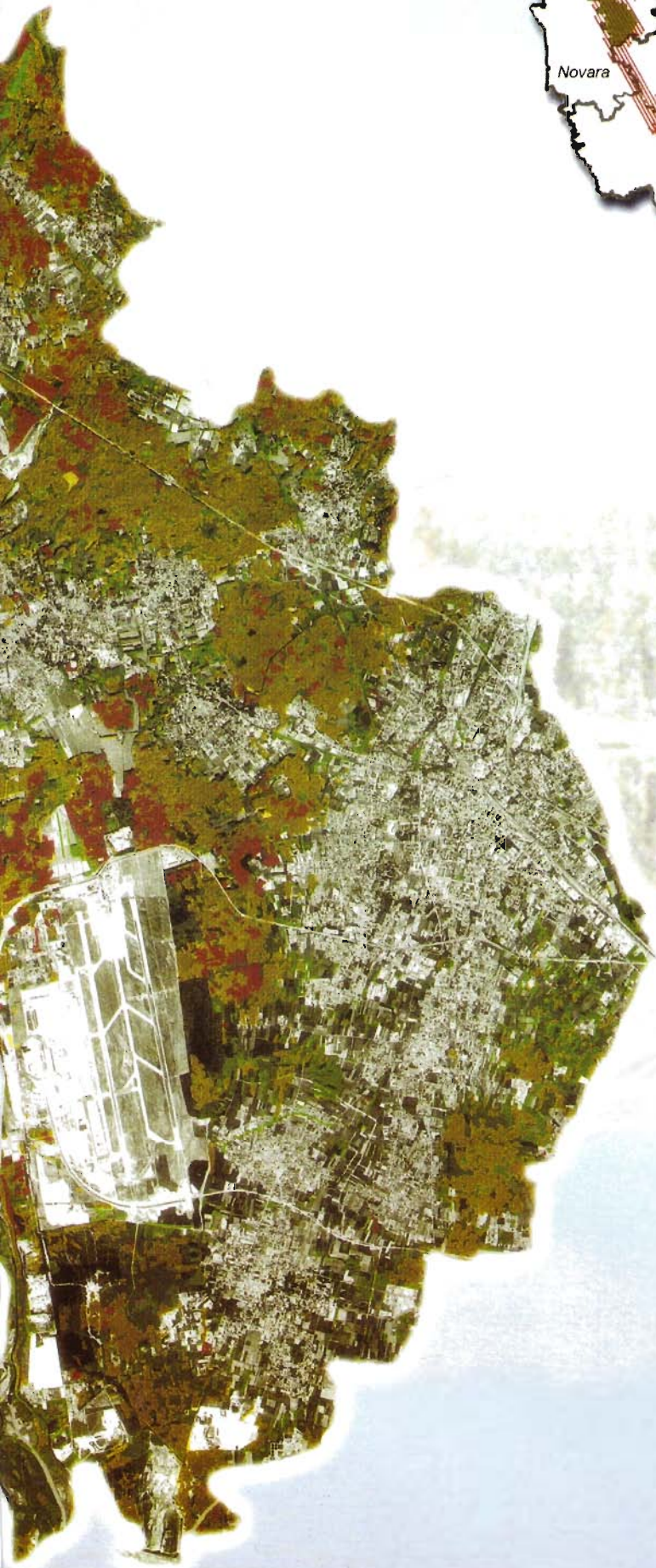




Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino

 *Provincia di Varese*




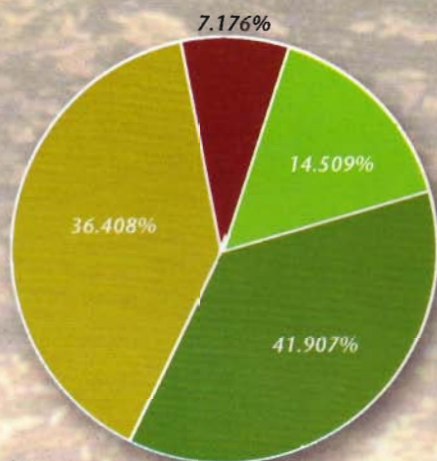
-  Classe I - Livello ottimo
-  Classe II - Danno lieve
-  Classe III - Danno medio
-  Classe IV - Danno grave
-  Classe V - Danno gravissimo








-  *Piano di volo*
-  *Confini del Parco
nella provincia di Varese*

Consorzio Parco Naturale Piemontese della Valle del Ticino

 *Provincia di Novara*



-  Classe I - *Livello ottimo*
-  Classe II - *Danno lieve*
-  Classe III - *Danno medio*
-  Classe IV - *Danno grave*
-  Classe V - *Danno gravissimo*




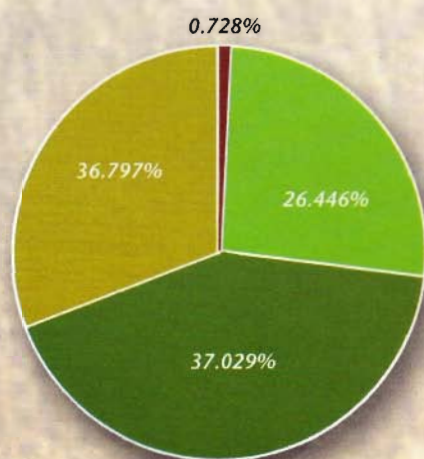
— Piano di volo






■ Confini del Parco
nella provincia di Novara





Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino

 *Provincia di Milano*



-  Classe I - Livello ottimo
-  Classe II - Danno lieve
-  Classe III - Danno medio
-  Classe IV - Danno grave
-  Classe V - Danno gravissimo

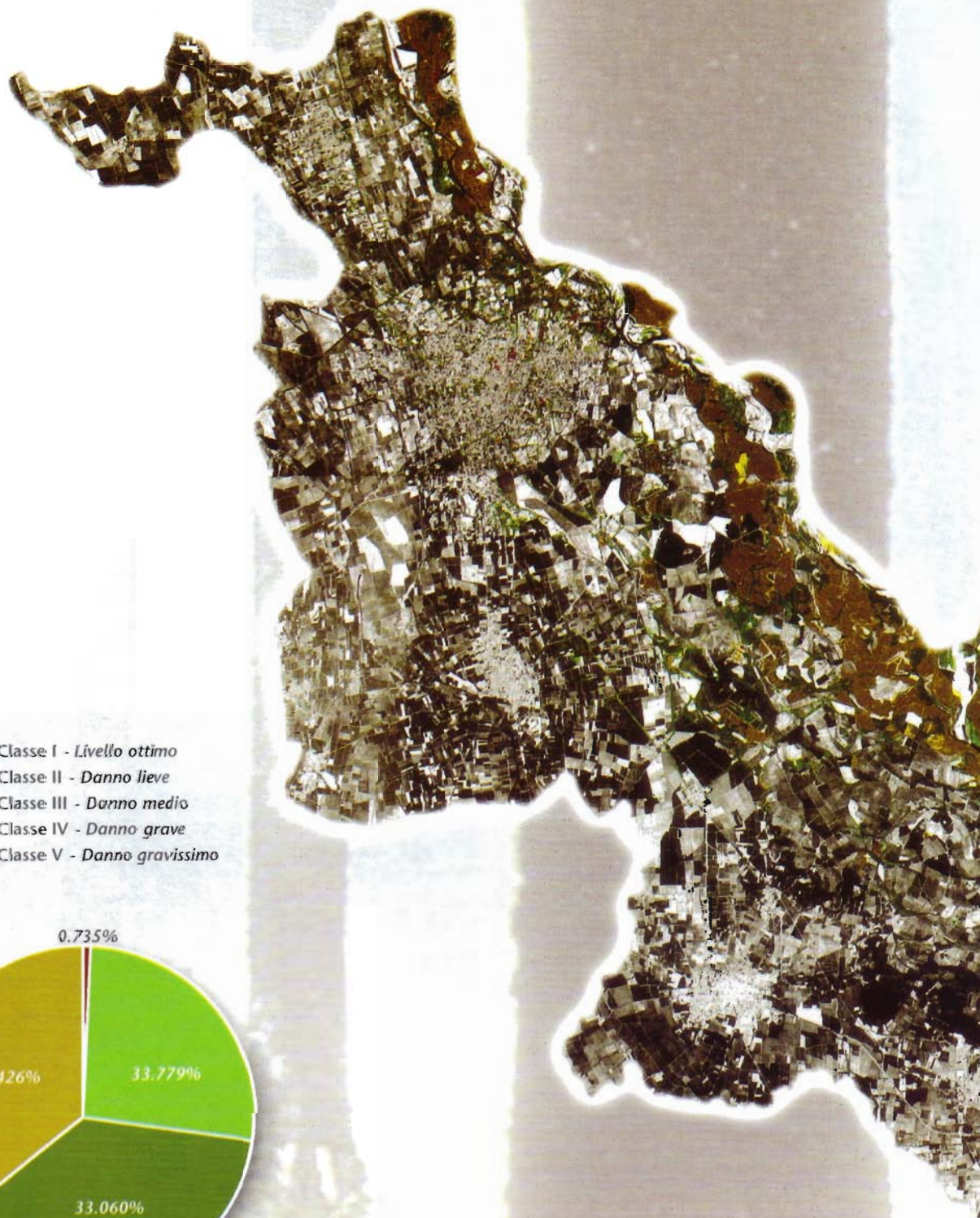







-  *Piano di volo*
-  *Confini del Parco
nella provincia di Milano*

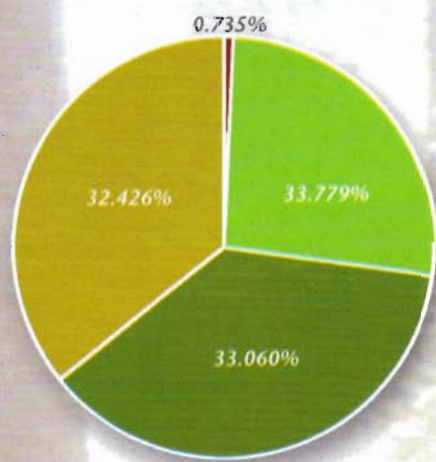


Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino

 *Provincia di Pavia*



-  Classe I - *Livello ottimo*
-  Classe II - *Danno lieve*
-  Classe III - *Danno medio*
-  Classe IV - *Danno grave*
-  Classe V - *Danno gravissimo*





— Piano di volo

■ Confini del Parco
nella provincia di Pavia



RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- CASTAGNOLI A., GIUSTI E., MARCHETTI M., MARTINI E., MELEGARI A., 1989 - *Se il bosco muore*, Compagnia Generale Ripreseeree, Parma.
- FLEMING J. F., 1980 - *Standardization techniques for aerial colour infrared film. The interdepartmental Committee on air surveys*, Ottawa.
- FRITZ N. L., 1967 - *Optimum methods for using infrared sensitive color film, in Color Aerial Photography in the Plant Sciences and Related Fields: a Compendium* Am. Soc. for Photogrammetry and Remote Sensing, Falls Church, Va.
- KNIPLING E. B., 1967 - *Physical and physiological basis for differences in reflectance of healthy and diseased plants, in Color Aerial Photography in the Plant Sciences and Related Fields: a Compendium* Am. Soc. for Photogrammetry and Remote Sensing, Falls Church, Va.
- MARTINI E., 1989 - *Assetto vegetazionale della Liguria. Cartografia di analisi, tipologia delle fitocenosi, problematiche ecologiche. In: Studi propedeutici al Piano Territoriale di Coordinamento Paesistico. Regione Liguria.*
- MARTINI E., senza data - *La vegetazione spontanea per il recupero ambientale in Liguria. In: Opere e tecniche di ingegneria naturalistica e recupero ambientale. Regione Liguria.*
- WASTENSON L., ALM G., KLEMAN J., WASTENSON B., 1987 - *Swedish experiences on forest damage inventory by remote sensing methods*, Int. J. Imag. Rem. Sens. IGS, V. 1.



PUBBLICAZIONI TECNICHE E SCIENTIFICHE DEL CONSORZIO PARCO LOMBARDO DELLA VALLE DEL TICINO:

- Progetto "Carta pedologica": I suoli del Parco Ticino. *L'Abbiatense*, 1991, Ersal - Regione Lombardia e Consorzio Parco Ticino.
- Progetto "Carta pedologica": I suoli del Parco Ticino. *Settore Settentrionale*, 1992, Ersal - Regione Lombardia e Consorzio Parco Ticino.
- Progetto "Parco Pulito", 1993, Consorzio Parco Ticino.
- *Il Ticino: studi e proposte sull'assetto idrogeologico e sull'uso del territorio della valle fluviale*, 1994, Consorzio Parco Ticino - Autorità Bacino del Po.
- *La qualità dell'aria nel Parco Regionale Lombardo della Valle del Ticino. Monitoraggio dell'aria effettuato mediante analisi dei licheni*, 1995, Consorzio Parco Ticino.
- Progetto "Carta pedologica": I suoli del Parco Ticino. *Settore Meridionale*, 1996, Ersal - Regione Lombardia e Consorzio Parco Ticino.
- *Strumenti per lo sviluppo dell'agricoltura sostenibile. Esempio di applicazione del Regolamento CEE 2078/92*, 1996, Consorzio Parco Ticino, Carrefour.
- *Gli insediamenti rurali del Parco del Ticino*, 1998, Consorzio Parco Ticino.
- *Le marcite*, 1998, Consorzio Parco Ticino.
- *Aree demaniali dei fiumi e dei laghi: dall'abbandono alla gestione conservativa*, 1999, Consorzio Parco Ticino, Carrefour Lombardia, Commissione Europea, Regione Lombardia.
- *Atlante della biodiversità nel Parco del Ticino*, 1999, Consorzio Parco Ticino.
- *Ricerca sulla fauna ittica del fiume Ticino*, 1999, G.R.A.I.A., Consorzio Parco Ticino.
- *Monitoraggio della qualità dell'aria mediante licheni nella Valle del Ticino*, 2000, Consorzio Parco Ticino.
- *La qualità delle acque del fiume Ticino*, 2001, Consorzio Parco Ticino.
- *Censimento degli impianti di depurazione presenti nel territorio del Parco del Ticino*, 2001, Consorzio Parco Ticino.
- *Specie esotiche introdotte attraverso gli aeroporti. Analisi dei rischi e delle misure di controllo*, 2001, Consorzio Parco Ticino.

La redazione raccomanda per la citazione bibliografica di questo volume la seguente dizione:

AA.VV., 2001 - Monitoraggio dello stato di salute della vegetazione forestale mediante tecniche di tele-rilevamento nella Valle del Ticino. Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino.

Il contenuto anche parziale della presente pubblicazione può essere riprodotto solo citando il nome degli autori, il titolo del lavoro e il Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino.

