

La stabilità degli alberi

VTA e SIA-SIM a confronto in due casi di studio

di GIORGIO MARESI
PAOLO AMBROSI
VALENTIN LOBIS

Gli incidenti legati alla caduta fortuita di rami ed alberi mantengono sempre viva l'attenzione delle amministrazioni e dei privati sulla problematica della sicurezza delle piante arboree. La tutela ed il miglioramento della qualità del verde urbano non possono disgiungersi dall'attenta valutazione dei rischi di caduta delle piante, effettuata da figure professionali specializzate nel settore della diagnostica, ma capaci anche di interloquire con legali ed assicuratori. Proprio per questo motivo le teorie ed i protocolli applicativi per la valutazione della stabilità degli alberi sono oggetto di un ampio dibattito che vede coinvolti ricercatori, tecnici e, in caso di incidenti, anche magistrati. L'esigenza di uniformare le procedure e di poter fornire sempre maggiore professionalità ha indotto recentemente il Gruppo di Lavoro sulla Stabilità degli Alberi della Sia Italia⁽¹⁾ a proporre un protocollo applicativo (www.isaitalia.org) basato sulle teorie di SHIGO e MATTHECK (PESTALOZZA 2002). Recentemente è stata anche presentata la metodologia proposta dalla scuola di Stoccarda (SIA = *Statics Integrated Assessment* e SIM = *Statics Integrated Method*) (WESSOLY e ENB 1998; LOBIS et al. 2002).

Con lo scopo di fornire un esempio pratico di entrambe le metodiche, in questo articolo ne vengono descritte le procedure, i risultati ed i tempi di lavoro per la valutazione di 2 piante (una conifera ed una latifolia) di particolare pregio monumentale.

MATERIALI E METODI

Piante esaminate

Sono state prese in esame due piante monumentali in due aree verdi della provincia di Trento (Tabella 1): la prima, un *Cedrus deodara* G. Don di circa 70 anni, piantato in un'aiuola di una piazza di Bezzecca, la seconda, un plurisecolare *Tilia cordata* Mill. nel parco storico della Pieve di Cavalese. Entrambi i soggetti presentano notevoli dimensioni e difetti strutturali tali da renderli oggetto di valutazione (Foto 1).

VTA - Protocollo ISA

Il protocollo ISA (*International Society of Arboriculture*) è attualmente la prima e unica proposta applicativa a livello italiano, se non europeo, di razionalizzazione e standardizzazione delle pratiche di controllo della stabilità degli alberi. Di fatto, consiste in un codice comportamentale adottato dai soci ISA come guida generale nella tutela e nella cura dell'albero (PESTALOZZA 2002). Esso si basa sull'applicazione del VTA (*Visual Tree Assessment*), così come proposto da MATTHECK, e si struttura nelle seguenti fasi:

1. **analisi visiva**, finalizzata ad individuare su tutte le componenti visibili dell'albero sintomi indicativi di difetti strutturali;
2. eventuale **indagine strumentale**, eseguita per i soggetti che manifestano la presenza di difetti strutturali;
3. individuazione del grado (**classe**) di rischio secondo la **Failure Risk Classification (FRC)**⁽²⁾;
4. definizione di **note operative** per ripristinare l'equilibrio statico della pianta indagata.

Secondo i principi definiti da MATTHECK, l'albero è considerato come una struttura portante in cui le sollecitazioni si distribuiscono su tutte le sue parti secondo l'assioma della tensione costante: radici, fusto e chioma si svi-

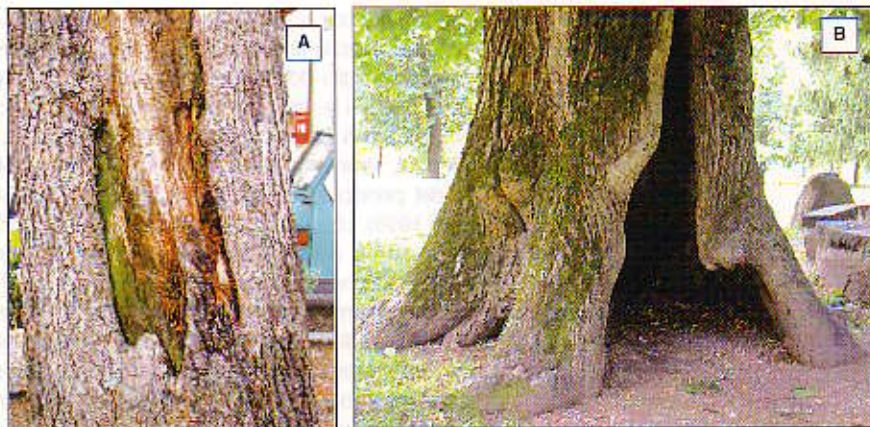


Foto 1 - Particolari dei difetti strutturali riscontrati nel cedro di Bezzecca (A) e faggio di Cavalese (B).

(1) Società Italiana di Arboricoltura, Chapter italiano dell'International Society of Arboriculture (ISA).
(2) La classificazione completa è riportata da PESTALOZZA 1998.

Specie	<i>Cedrus deodara</i>	<i>Tilia cordata</i>
Comune	Bezzecca (TN)	Cavalesse (TN)
Località	Piazza Cassoni	Parco della Pieve
Altezza (m)	24	22
Diametro a 1 m sottocorteccia (cm)	71	191
Contesto stazionale	Giardino urbano, aiuola circondata da asfalto, pianta semiprotetta dal vento per presenza di edifici	Parco pubblico, prato inerbito, pianta semiprotetta dal vento per presenza di altre piante
Condizioni suolo	Calpestato con ghiaia	Calpestato inerbito
Presenza bersagli	Significativi con passaggio continuo di pedoni e mezzi	Occasionali con presenza saltuaria di pedoni
Difetti	Ferita da fulmine	Cavità aperta

Tabella 1 - Caratteristiche degli alberi oggetto della prova.

luppiano in equilibrio col carico sopportato e qualsiasi loro alterazione può creare i presupposti per una rottura meccanica (MATTHECK e BRELOER 1998). Il VTA consiste pertanto in un controllo visivo accurato della pianta, sia degli aspetti biologici che strutturali, a cui in alcuni casi va aggiunta l'analisi strumentale dei difetti eventualmente individuati (BRELOER 1997). Gli strumenti hanno la finalità di determinare lo stato di degradazione del legno in corrispondenza dell'anomalia riscontrata, che viene considerata come punto critico per la rottura della pianta. Il rapporto t/r (parete residua su raggio) viene considerato indicativo del rischio di rottura dell'albero nel caso di alterazione o di cavità interne al fusto o ai rami: con valori del rapporto <0,3 non sussistono condizioni di sicurezza (MATTHECK e BRELOER 1998).

Sui soggetti in esame si è perciò operato con un'accurata valutazione visiva delle diverse parti delle piante (chioma, fusto, colletto): sulla base delle alterazioni riscontrate (una ferita con legno scoperto per il cedro ed una estesa cavità per il tiglio), sono stati individuati i punti critici su cui si è proceduto all'approfondimento strumentale. Questo è consistito nella valutazione della qualità meccanica del legno mediante l'impiego del Resistograph. Per le prove è stato utilizzato il modello IML RESI F400/S sviluppato sulle base delle indicazioni riportate in letteratura (MATTHECK e BRELOER 1998; BATTISTEL et al. 1998).

Nel caso del cedro di Bezzecca è stata eseguita anche la tomografia sonora di una sezione interessata da carie, esame non necessario sul tiglio dove il danno presente è visibile ad occhio nudo. Si è utilizzato un tomografo PICUS (Institut für Gehölze & Landschaft Dr. Gustke e argus electronic GmbH), strumento sviluppato recentemente sulla base del principio del martello a impulsi (MATTHECK e BRELOER 1998), che individua la presenza di alterazioni e cavità tramite la ricezione di onde sonore emesse da un apposito trasmettitore. La velocità di propagazione delle onde è una misura indicativa del grado di alterazione del legno ed il risultato consiste in una tomografia assiale della sezione indagata facilmente acquisibile con apposito programma direttamente su palmare: il tomogramma bidimensionale, in vari colori e di facile lettura, rappresenta le condizioni del legno (RUST e GÖCKE 2000). Sono stati inseriti 10 sensori-trasmettitori, equidistanti lungo la circonferenza del tronco, nella zona di apparente massima larghezza della ferita. Su

ogni sensore è stato applicato un impulso con un piccolo martello prontamente rilevato dagli altri e registrato dal programma computerizzato.

SIA - SIM

Obiettivo principale del metodo SIA è quello di valutare la capacità di resistenza di un albero al carico, ossia alla forza del vento, una volta determinati parametri quali la specie botanica, l'altezza, la forma della chioma, il diametro del tronco e l'esposizione al vento. Mediante grafici di riferimento, ricavati dai modelli studiati durante le sperimentazioni all'Università di Stoccarda, è possibile confrontare il diametro del tronco con quello teorico suggerito dai modelli (WESSOLLY e ERB 1998) e valutare se è sufficiente a sopportare un carico di vento pari all'intensità 11 della scala Beaufort (valore massimo definito in termini numerici, mentre il valore 12 - uragano - è dato a scala aperta, ECCEL e FERRARI 1998) stabilendo di conseguenza un fattore di sicurezza definito come Sicurezza statica di base = S_b (LOUIS et al. 2002). Il valore S_b è stato calcolato attribuendo a ciascuna delle due piante una delle quattro forme definite (cilindro sottile, ellissoidale, sfera e cuore), quindi misurando l'altezza ed il diametro ad un metro da terra; a quest'ultimo valore è stato sottratto lo spessore stimato della corteccia. Inserendo questi parametri direttamente nella scheda riportata nel sito <http://www.cede.cz/SIA> sono stati ottenuti i valori di S_b (WESSOLLY e ERB 1998). Per il cedro il calcolo dei valori SIA è stato effettuato automaticamente dal programma computerizzato ("Analisi del carico del vento") utilizzato per l'elaborazione dei dati SIM, in quanto la specie non rientra nelle 19 disponibili in rete. Il rapporto tra diametro misurato e quello teorico ricavato dalla curva relativa alla specie considerata ha permesso di individuare il valore in percentuale di S_b . Tenendo conto dei difetti presenti è stata applicata quindi una correzione riduttiva al valore trovato secondo lo schema proposto da WESSOLLY (WESSOLLY e ERB 1998). Entrambe le piante sono state sottoposte alla prova di trazione controllata secondo la metodologia SIM. Questa si avvale dell'uso di un Elastometro, strumento che misura l'allungamento delle fibre sottoposte a trazione, di un Inclinometro che misura il grado di inclinazione raggiunto dalla struttura sotto carico e ovviamente di un Dinamometro per la misura della forza applicata. Una volta rilevati alcuni parametri della pianta come

Specie	<i>Cedrus deodara</i>	<i>Tilia cordata</i>
Esame biologico	Vitalità buona Fogliazione regolare e completa Corteccia priva di alterazioni Ramificazione regolare e ben impalcata Assenza di corpi fruttiferi fungini Assenza di patologie Accrescimenti regolari Calli di cicatrizzazione regolari	Vitalità buona Fogliazione regolare e completa Corteccia priva di alterazioni Ramificazione di sostituzione <i>post capitozzatura</i> Assenza di corpi fruttiferi fungini Assenza di patologie Accrescimenti regolari Calli di cicatrizzazione regolari
Sicurezza alla rottura	Presenza di ferita da fulmine con carie nei 5 metri basali del tronco	Cavità estesa alla quasi totalità del fusto con aperture ampie nei 2 metri basali Rami con attaccatura su tronco cavo
Sicurezza alla stabilità	Radici prive di ferite evidenti Assenza di scavi recenti Assenza di fessurazioni nel terreno	Radici prive di ferite evidenti Scavo recente vicino al colletto Assenza di fessurazioni nel terreno

Tabella 2 - Risultati del VTA eseguito sulle due piante esaminate (modificato da MATHECK e BREUER 1998).

altezza e diametro, con il programma computerizzato (Analisi del carico del vento) in cui si considerano anche le componenti aerodinamiche delle chiome definite nella Tabella di Stoccarda (Loss *et al.* 2002) ed i fattori topografici (morfologia del terreno), vengono calcolate la Sicurezza di rottura (**Sr**) e la Sicurezza statica (**Ss**) dell'albero. **Sr** indica la resistenza del legno nel tronco e nelle branche principali, mentre il valore di **Ss** fornisce la resistenza al ribaltamento e si ottiene confrontando i valori misurati dall'inclinometro con quelli riportati nella curva generalizzata di ribaltamento calcolata da WESSOLLY e ERB (1998). Le formule applicate utilizzano M_r = momento di ribaltamento, M_s = momento di carico simulato e M_f = momento flettente calcolato per il colletto.

I risultati della valutazione vengono espressi come valori percentuali rappresentanti il rapporto M_r/M_f , suddivisi in 3 classi di sicurezza. Per ciascuno dei tre valori **Sb**, **Sr**, ed **Ss** il minimo accettabile corrisponde a 150%. Sopra questo valore la pianta viene considerata stabile. Valori compresi tra 100% e 150% richiedono un'attenta valutazione delle condizioni ambientali ed in special modo dell'esposizione ai venti dominanti presenti in zona, al fine di definire i criteri operativi per riportare la pianta in un adeguato range di sicurezza. I valori inferiori a 100% risultano assai critici. In quest'ultimo intervallo ricadono le piante che presentano gravi alterazioni a livello morfologico e strutturale.

Dopo aver posizionato gli Elastometri in corrispondenza dei punti critici (nei nostri casi su entrambi i lati della ferita sul cedro e sull'attaccatura delle branche nel tiglio) e l'inclinometro sul colletto, si è applicata ad un cavo posto nel terzo superiore della chioma una forza crescente tramite paranco manuale (Tirfor), registrando nel contempo i dati rilevati dagli strumenti. Nel caso del tiglio la prova è stata ripetuta sulle 2 branche principali. I valori ottenuti sono stati elaborati con il programma messo a punto dalla scuola di WESSOLLY.

La valutazione visiva e l'indagine strumentale sono state eseguite nel giugno 2002; l'applicazione del SIA e le prove SIM sono state effettuate nel mese di dicembre

2002 su entrambe le piante⁽³⁾. Sono stati anche calcolati i tempi necessari per l'esecuzione di ciascuna operazione.

RISULTATI

VTA - Protocollo ISA

La valutazione visiva delle piante è schematizzata nella Tabella 2 secondo la nomenclatura proposta da MATHECK e BREUER (1998).

Il difetto strutturale presente sul cedro consiste in una ferita aperta con carie superficiale, provocata da fulmine ed estesa per circa 5 metri con una larghezza massima di 40 cm a circa 140 cm da terra,

Tale ferita interessa il toppe basale pur senza raggiungere il colletto, mentre nella parte superiore del tronco appare cicatrizzata completamente. L'origine può essere fatta risalire ad un fulmine caduto circa 15 anni fa. Non sono stati rilevati altri difetti su chioma, tronco, colletto e radici.

Il tronco del tiglio appare completamente cavo per tutta la sua altezza. Sono evidenti i segni di vecchi interventi di dendrochirurgia consistiti in slupature⁽⁴⁾ le quali possono aver alterato le barriere difensive della pianta favorendo nuovi fenomeni di carie nei tessuti legnosi superstiti. La cavità comunica con l'esterno attraverso aperture anche estese nella zona basale, nonché nella parte apicale del tronco stesso, dove i grossi rami si dipartono dal bordo di una capitozzatura.

L'esecuzione del VTA ha richiesto circa 15 minuti per ciascuna pianta.

Cedro - Resistograph

I risultati dell'analisi strumentale sul cedro di Bezzocca con l'uso del Resistograph sono riportati nella Tabella 3, mentre nella Figura 1 sono indicati i punti di sondaggio e l'estensione della carie all'interno del tronco. La

(3) SIA, SIM, VTA e PICUS non sono vincolati alle condizioni stagionali. Il Resistograph è stato utilizzato in estate proprio per escludere eventuali interferenze date dalla quiescenza. Al riguardo però non esistono attualmente dati pubblicati.

(4) Ripuliture dei tessuti degradati.

Profillo	R1	R2	R3	R4	R5
Altezza da terra	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m
Circonferenza	241 cm	235 cm	232 cm	221 cm	204 cm
Larghezza ferita	33 cm	30 cm	7 cm	28 cm	10 cm
Profondità del legno cariato	9,5 cm	0,5 cm	4,5 cm	11 cm	11 cm

Tabella 3 - Esito dei sondaggi eseguiti col Resistograph sul cedro.

profondità massima misurata per i tessuti cariati è di 11 cm, con un andamento irregolare alle diverse altezze: il legno nella ferita non appare molto degradato anche se, in prossimità del punto R5, è stata riscontrata la presenza di un formicaio. Non si sono reputate necessarie ulteriori prove anche in questa zona in quanto al di sopra di essa si era in presenza di legno sano senza sintomi di difetti. Inoltre ulteriori sondaggi lungo il fusto avrebbero inutilmente danneggiato la pianta: la profondità misurata dal Resistograph è stata volutamente presa in corrispondenza della ferita aperta. La larghezza interna della carie non dovrebbe superare la larghezza esterna della ferita per i processi di compartimentazione.

L'esecuzione dei cinque sondaggi ha richiesto 45 minuti.

Cedro - Tomografia sonora

Il PICUS è stato impiegato ad una altezza da terra di 139 cm, dove la ferita al controllo visuale appariva più larga. Il risultato acquisito ed elaborato al computer è presentato nella Figura 2: dall'esame dell'immagine la profondità massima dell'alterazione del legno è stata pari a 17 cm.

L'uso dello strumento ha richiesto circa 40 minuti, al termine dei quali si poteva disporre della tomografia bidimensionale della sezione indagata.

Tiglio - Resistograph

Nella Figura 3 è indicata la posizione dei rilievi con il Resistograph sul tilgio di Cavalese. I dati acquisiti sono riportati in Tabella 4. I sondaggi sono stati eseguiti a 1 m da terra lungo gli assi cardinali. Si evidenzia come la parete residua raggiunga un valore minimo di soli 11 cm, pari a 7 cm togliendo la corteccia che non ha capacità portante. Lo spessore misurato non raggiunge mai valori superiori ad un terzo del raggio.

Il tronco del tilgio è risultato alto in media 3 metri mentre l'altezza totale della pianta, data dalle grosse branche presenti, è stata misurata in 22 m.

SIA-SIM

SIA - Cedro

Dal confronto tra diametro misurato sotto corteccia (71 cm) e quello teorico (61 cm), si è ottenuto un valore di Sb pari a 223%.

La teoria di WESSOLLY (WESSOLLY e ERB 1998) suggerisce per il tipo di difetto individuato una correzione di Sb dell'80% e del 55% sulle due direzioni assiali, come illustrato in Figura 4.

E' stata adottata la correzione dell'80% perché corrispondente alla direzione principale del vento, OE per l'area considerata.

Il calcolo ha richiesto circa 5 min.

$$Sb = 223\%$$

Riduzione del fattore di sicurezza per la presenza di

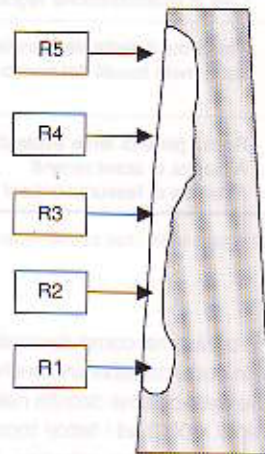


Figura 1 - Posizionamento dei sondaggi col Resistograph sul tronco del cedro e ricostruzione grafica della situazione interna attraverso i valori trovati coi profili.

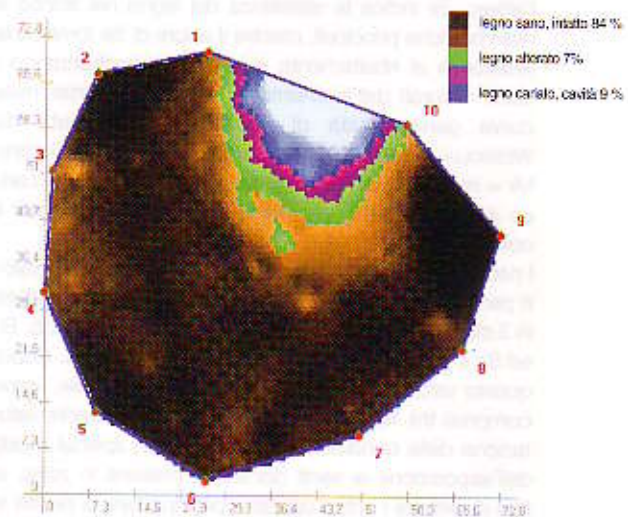


Figura 2 - Esito della tomografia sonora mediante PICUS.

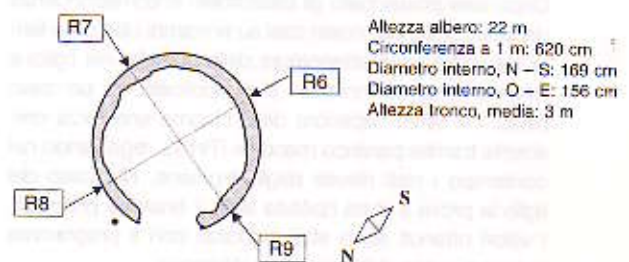


Figura 3 - Punti di sondaggio sul fusto del tilgio di Cavalese ed alcuni dati dendrometrici della stessa pianta.

Profilo	R6	R7	R8	R9
Altezza da terra	1 m	1 m	1 m	- 1 m
Posizione	Sud	Est	Nord	Ovest
Spessore parete residua (totale)	11,5 cm	20,6 cm	15,0 cm	18,8 cm
Spessore della corteccia	4,5 cm	3,2 cm	3,5 cm	4,0 cm

Tabella 4 – Esito dei sondaggi eseguiti col Resistograph sul tiglio.

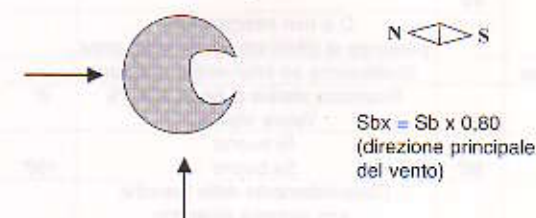


Figura 4 – Rappresentazione grafica della valutazione SIA effettuata sul cedro.

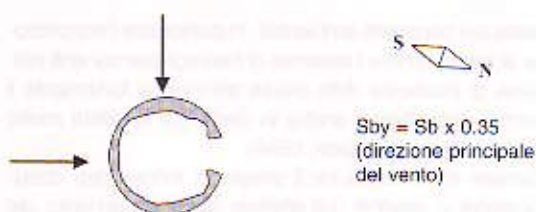


Figura 5 – Rappresentazione grafica della valutazione SIA effettuata sul tiglio.

legno cariato:

$$Sbx = 178,4\%$$

SIA - Tiglio

Il diametro del tronco del tiglio è risultato pari a 191 cm sottocorteccia. Per l'altezza misurata di 22 m il diametro calcolato con le curve teoriche è stato di 64 cm. Con tali dati è stato possibile ricavare un valore di Sb pari a 2658%. La direzione dominante del vento segue l'orientamento EO della valle: il fattore di riduzione proposto dal WESSOLLY per il tipo di cavità presente e per la direzione assiale considerata è pari a 0,35, per cui Sb risulta pari a 930%.

Il calcolo ha richiesto 5 minuti.

$$Sb = 2658\%$$

per la presenza di cavità e legno cariato:

$$Sby = 930\%$$

SIM - Cedro

Per individuare il punto più debole della pianta, sono

state effettuate sette prove posizionando 3 Elastometri ad altezze diverse sui bordi della ferita, a quote diverse tra 0 e 5 m.

I valori di Ss sono risultati sempre nel range ottimale di sicurezza, mentre per Sr si è ottenuto un valore critico all'altezza di 3,8 m.

Nella Tabella 5 sono riportati i più bassi valori rilevati. Le misure hanno richiesto circa 90 minuti.

SIM - Tiglio

Le prove di trazione hanno riguardato i punti più deboli della struttura arborea ossia l'attacco delle due branche principali. L'Elastometro è stato perciò posizionato sui loro punti di inserzione.

I valori trovati sono risultati tutti in un adeguato range di sicurezza, essendo superiori al 150%.

L'indagine strumentale ha richiesto circa 150 minuti (Tabella 6).

DISCUSSIONE

Nella Tabella 7 vengono riassunti i risultati delle valutazioni effettuate. Il VTA definisce entrambe le piante come problematiche per la presenza di difetti strutturali, ma l'analisi strumentale dà indicazioni precise solo per il cedro dove dimostra un'estensione limitata dei tessuti cariati. Il rapporto t/r risulta superiore a 0,3, garantendo stabilità alla rottura secondo MATTHECK. La classe di rischio⁹⁾ individuata risulta pertanto essere la classe C, nella quale afferiscono piante che per dimensioni e difetti possono diventare problematiche anche nel breve periodo: pertanto richiedono controlli visivi e strumentali periodici. Il tiglio appare invece troppo alterato dalle carie e dai precedenti interventi di dendrochirurgia: in questo caso l'analisi col Resistograph ha un valore puramente dimostrativo in quanto è possibile constata-

(5) *Classi di rischio (sintetizzato da PESTALOZZA 1998):*

A => pianta sana priva di difetti,

B => piante con lievi difetti a livello visivo e strumentale,

C => piante con gravi difetti verificabili strumentalmente,

C-D => piante con difetti assai accentuati con necessità di interventi,

D => piante con gravi difetti non recuperabili e ad alto rischio di caduta e schianto.

	Misura a 3,80 m
Ss	287%
Sr	70%
Mf	214 kNm
Fatt. aerodinamico	0,18 per cedro con chioma normale
Fatt. topografico	0,22 zona peri-urbana
Direzione carico	Sud Sud-Ovest

Tabella 5 – Risultati della prova SIM effettuata sul cedro: in grassetto i valori critici (11 scala Beaufort).

	Branca 1 (misura a 3,80 m)	Branca 2 (misura a 4,33 m)
Ss	172%	165%
Sr	190%	443%
Mf	57 kNm	129 kNm
Fatt. aerodinamico	0,20 per tiglio con chioma normale	
Fatt. topografico	0,25 zona campagna aperta	
Direzione carico	Sud-Ovest	

Tabella 6 – Risultati della prova SIM effettuata sul tiglio (11 scala Beaufort).