

AperTO - Archivio Istituzionale Open Access dell'Università di Torino

Indagini anemometriche per la progettazione, la gestione, la cura e l'analisi del verde arboreo

This is the author's manuscript

Original Citation:

Availability:

This version is available <http://hdl.handle.net/2318/1638501> since 2017-05-25T15:53:29Z

Terms of use:

Open Access

Anyone can freely access the full text of works made available as "Open Access". Works made available under a Creative Commons license can be used according to the terms and conditions of said license. Use of all other works requires consent of the right holder (author or publisher) if not exempted from copyright protection by the applicable law.

(Article begins on next page)



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO

This is an author version of the contribution published on:

Questa è la versione dell'autore dell'opera:

[Acer, 32(1), 2016]

ovvero [Gonthier et al., pagg. 33-39]

The definitive version is available at:

La versione definitiva è disponibile alla URL:

[http://www.ilverdeeditoriale.com/acer_pres.aspx]

Indagini anemometriche per la progettazione, la gestione, la cura e l'analisi del verde arboreo

Paolo Gonthier, Guglielmo Lione e Luana Giordano

Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari (DISAFA), Università degli Studi di Torino, Largo Braccini 2, 10095 Grugliasco, TO.

paolo.gonthier@unito.it

1. Il vento come fattore ecologico

La distribuzione e la crescita delle specie vegetali sono determinate in larga misura da fattori climatici (Pignatti 1998). Il diagramma della temperatura media e della piovosità totale di ciascun mese dell'anno (i.e. diagramma termo-pluviometrico) rappresenta lo strumento più comunemente utilizzato per descrivere il clima di una stazione (Pignatti 1998). La semplicità di questo approccio grafico, di cui esistono numerose varianti (e.g. Walter e Lieth, Bagnouls e Gaussen, Péguy), è alla base del suo ampio utilizzo in ambito ecologico (Oliver 2005). Inoltre, la temperatura e la piovosità sono parametri meteorologici agevolmente misurabili in campo, facilmente reperibili da banche dati istituzionali e la cui elaborazione quantitativa generalmente non pone particolari difficoltà (Oliver 2005). Tuttavia, la sola conoscenza dell'andamento termo-pluviometrico può non essere sufficiente a caratterizzare una stazione sotto il profilo climatico.

Il vento, ad esempio, è un parametro meteorologico che può influenzare le specie vegetali a diversi livelli, alterandone anche significativamente le interazioni con gli altri organismi e con l'ecosistema (Grace 1988). Il vento è un fattore determinante per la distribuzione delle specie, per la variabilità genetica e per la biodiversità, in particolare per le piante dotate di polline, frutti o semi che si disperdono per via aerea (de Langre 2008). Tuttavia, anche gli inoculi degli agenti patogeni, il fogliame infetto, gli aerosol marini e i gas inquinanti sono veicolati dal vento, che pertanto può incidere negativamente sulla salute delle piante (Meredith 1973; Hau 2006). Un clima eccessivamente ventoso può inoltre favorire l'insorgenza di stress idrici causati da un incremento dell'evapotraspirazione (Grace 1988). Anche la crescita, la morfologia e l'anatomia delle piante arboree possono essere modificate sostanzialmente dall'azione prolungata del vento (Grace 1988). È noto come gli alberi, nel lungo periodo, rispondano dinamicamente alle sollecitazioni meccaniche mediante un adattamento dell'architettura della chioma e della forma del fusto (Fig. 1), sviluppando contemporaneamente tessuti legnosi dotati di peculiari caratteristiche fisiche e strutturali, evidenti a livello macroscopico e microscopico (de Langre 2008). Forma ellittica, eccentricità e curvature del fusto, differenziazione di legno di reazione, chioma asimmetrica e chioma "a bandiera" sono alcune delle caratteristiche che possono contraddistinguere alberi sottoposti ad una regolare azione del vento (de Langre 2008). Il vento rappresenta anche una delle

principali minacce per la stabilità meccanica degli alberi, in particolare se questi presentano danni pregressi (e.g. fori praticati da insetti o uccelli, cretti da gelo), malattie a carico delle branche principali, del fusto o delle radici (e.g. carie e marciumi) o peculiarità intrinseche dei tessuti legnosi (e.g. inclusioni di corteccia) (Mattheck et al. 1994). A seconda delle circostanze, queste minacce possono concretizzarsi in eventi di varia natura, che spaziano dalla caduta di rami e rametti al cedimento di branche principali, fino a fratture del fusto e allo sradicamento dell'albero intero (Mattheck et al. 1994) (Fig. 2). Anche le foglie, i frutti o gli strobili sollecitati dal vento possono rappresentare un pericolo per cose e persone se si distaccano dalle porzioni superiori di piante di considerevole altezza; si pensi ad esempio alle foglie di palma, alle pigne dei pini mediterranei, alle ghiande e alle castagne.



Figura 1. Esempio di adattamento dell'architettura della chioma e della forma del fusto per effetto del vento dominante.



Figura 2. Alcuni casi di alberi schiantati e sradicati per effetto del vento combinato con la presenza di carie del legno e marciumi radicali. Il rischio è particolarmente grave in centri urbani e in popolamenti forestali a vocazione protettiva (a protezione di centri abitati).

2. Analisi anemometriche e loro applicazioni in arboricoltura

Sono molte le situazioni in per cui può rendersi necessario eseguire delle analisi anemometriche (i.e. analisi del vento) in arboricoltura, tra cui:

- la scelta delle specie ecologicamente più idonee ad essere impiantate;
- la determinazione delle distanze di impianto da strutture, infrastrutture e manufatti;
- la progettazione di viali, giardini e filari frangivento;
- la valutazione del rischio connesso alla possibilità di caduta di rami, foglie, frutti e pigne;
- le valutazioni fitostatiche;

- l'esecuzione di perizie commissionate in seguito a schianti di alberi o di loro parti, per quanto attiene all'individuazione dei fattori determinanti o favorevoli lo schianto e alla prevedibilità dello stesso;
- la predisposizione e l'attuazione di misure di contenimento di malattie fogliari;
- l'ottimizzazione della somministrazione di trattamenti fitosanitari, compresi quelli per via endoterapica considerato che il vento è un fattore che agisce sull'evapotraspirazione e conseguentemente sulla traslocazione del prodotto fitosanitario

L'esecuzione di indagini anemometriche presenta però alcune difficoltà di carattere tecnico rispetto alle corrispettive analisi termo-pluviometriche. Infatti, a differenza di piovosità e temperatura, la velocità del vento è una grandezza vettoriale, e come tale è definita da modulo, direzione e verso (Fратиanni et al. 2007). Il modulo si misura comunemente in m/s, km/h o nodi (kn o kts), oppure mediante una scala ordinale nota come scala Beaufort (Tab. 1) (Fратиanni et al. 2007). La scala Beaufort è uno strumento particolarmente utile poiché consente di collegare empiricamente la velocità del vento agli effetti che questo esplica a terra o in mare tramite un punteggio da 0 a 12 (Tab. 1). Nella pratica si tende inoltre a distinguere la velocità media dalla velocità massima del vento, denominata raffica (Fратиanni et al. 2007).

Tabella 1. Scala Beaufort per la classificazione del vento in base alla velocità ed agli effetti prodotti a terra e in mare (da Fратиanni et al. 2007, modificato).

CLASSE DELLA SCALA BEAUFORT	DEFINIZIONE	VELOCITÀ			EFFETTI A TERRA	EFFETTI IN MARE
		m/s	km/h	kn		
0	calma	0-0,2	0-0,9	0-1	nessuno	nessuno
1	bava di vento	0,3-1,5	1-5	1-3	il movimento del fumo indica la direzione del vento	lievi increspature dell'acqua
2	brezza leggera	1,6-3,3	6-11	4-6	si percepisce il vento sul viso e il fruscio delle foglie	onde di piccole dimensioni ma visibili
3	brezza tesa	3,4-5,4	12-19	7-10	movimento continuo di foglie e rametti, le bandiere più piccole sventolano	le creste delle onde iniziano ad infrangersi
4	vento moderato	5,5-7,9	20-28	11-16	polvere e frammenti di carta si sollevano	onde piccole ma allungate
5	vento teso	8,0-10,7	29-38	17-21	gli arbusti con foglie iniziano ad ondeggiare	aumenta la lunghezza delle onde, sporadici spruzzi
6	vento fresco	10,8-13,8	39-49	22-27	le branche degli alberi ondeggiano, e diventa difficile tenere un ombrello aperto	onde con creste di schiuma bianca
7	vento forte	13,9-17,1	50-61	28-33	gli alberi ondeggiano, e procedere camminando controvento risulta faticoso	le onde aumentano di dimensione e la schiuma tende ad assumere un aspetto sfilacciato
8	burrasca moderata	17,2-20,7	62-74	34-40	la forza del vento provoca il distacco di rami e rametti dagli alberi,	onde di altezza media con creste che si rompono e

					camminare controvento non è possibile	originano spruzzi di notevole entità
9	burrasca forte	20,8-24,4	75-88	41-47	il vento provoca sporadiche cadute di tegole e altri lievi danni a edifici e manufatti	grosse onde con abbondante schiuma e produzione di spruzzi tale da ridurre la visibilità
10	burrasca fortissima (tempesta)	24,5-28,4	89-102	48-55	stradicamento di alberi e danni strutturali importanti a edifici e manufatti	onde altissime con creste a pennacchio, il mare tende ad assumere una colorazione biancastra
11	fortunale (tempesta violenta)	28,5-32,6	103-117	56-63	vasti danni agli edifici	le onde possono nascondere alla vista navi di media altezza, il mare è ricoperto da banchi di schiuma
12	uragano	$\geq 32,7$	≥ 118	≥ 63	danni estesi e profondi agli edifici	il mare è completamente bianco

Sebbene esista una definizione formale di direzione e verso di una grandezza vettoriale, nella pratica corrente è consuetudine indicare col termine direzione la provenienza del vento rispetto alla ghiera di una bussola orientata, adottando quindi i gradi sessagesimali misurati in senso orario partendo da N (Fratianni et al. 2007). In alternativa, la direzione del vento può essere semplicemente espressa dal settore di provenienza (e.g. N, NE, SSW) (Fratianni et al. 2007).

3. Rappresentazioni e strumenti grafici

Per agevolare le analisi anemometriche è possibile adottare delle rappresentazioni grafiche che, in analogia con i diagrammi termo-pluviometrici, riassumono le informazioni rilevanti ai fini di una data applicazione. A titolo esemplificativo, verranno di seguito illustrate alcune tra le possibili rappresentazioni-tipo: scatterplot, boxplot e diagrammi polari. I dati utilizzati per costruire i grafici dimostrativi sono stati tratti dalle banche dati ARPA Piemonte relativamente alla stazione anemometrica di Caselle Torinese (TO) (ARPA Piemonte 2015) o sono stati simulati al calcolatore.

3.1. Scatterplot

Lo scatterplot è un grafico nel quale l'asse delle ascisse rappresenta il tempo e l'asse delle ordinate il modulo della velocità del vento. Ogni registrazione dell'anemometro è visualizzata come un punto sul piano cartesiano. Sullo scatterplot è anche possibile indicare mediante una retta orizzontale la velocità del vento in occasione di un evento di particolare interesse (e.g. schianto di una branca). Questa velocità si può considerare poco frequente, e quindi potenzialmente più pericolosa per la stabilità meccanica degli alberi, se la retta corrispondente si colloca verso la porzione superiore del grafico e se sono pochi i punti che la sovrastano. Il grafico di esempio (Fig. 3) mostra la raffica di vento giornaliera registrata dal 1 gennaio 2004 al 31 agosto 2014 (punti in grigio). Le rette orizzontali indicano invece una raffica di 4,5 m/s (in verde) e di 15 m/s (in rosso), corrispondenti ad un vento di classe 3 e 7 secondo la scala Beaufort (tratteggiata in blu). Dalla

disposizione dei punti si nota come la raffica abbia un andamento periodico, con massimi primaverili e minimi invernali ricorrenti. Su una serie storica sufficientemente lunga è quindi possibile stimare quali possano essere i mesi di maggiore rischio per il verificarsi di schianti o cedimenti. Se il grafico rappresentasse la velocità media del vento, si potrebbero trarre anche informazioni sui periodi tendenzialmente più ventosi, in cui le piante potrebbero essere maggiormente soggette a stress idrico per l'aumento dell'evapotraspirazione, specialmente in concomitanza di siccità prolungata (de Langre 2008). Queste considerazioni potrebbero essere rilevanti per una razionale pianificazione degli interventi di messa a dimora delle piante o per valutare la possibilità di effettuare irrigazioni di soccorso in contesti particolarmente fragili, quali parchi o giardini di pregio. Dalla posizione delle rette e dal numero di punti sovrastanti si può arguire che, rispetto alla serie storica delle raffiche, un vento di classe 3 sia un evento ordinario, mentre un vento di classe 7 sia molto meno comune. Questo, tuttavia, non deve indurre a ritenere che una raffica di classe 3 non possa provocare danni. Un albero con alterazioni strutturali in stadio avanzato potrebbe infatti risultare vulnerabile anche ad un vento non particolarmente intenso. Pertanto, le valutazioni di carattere anemometrico non possono prescindere da un'accurata considerazione delle condizioni di salute dell'albero, della sua morfofisiologia, nonché di eventuali anomalie che possano pregiudicarne la stabilità.

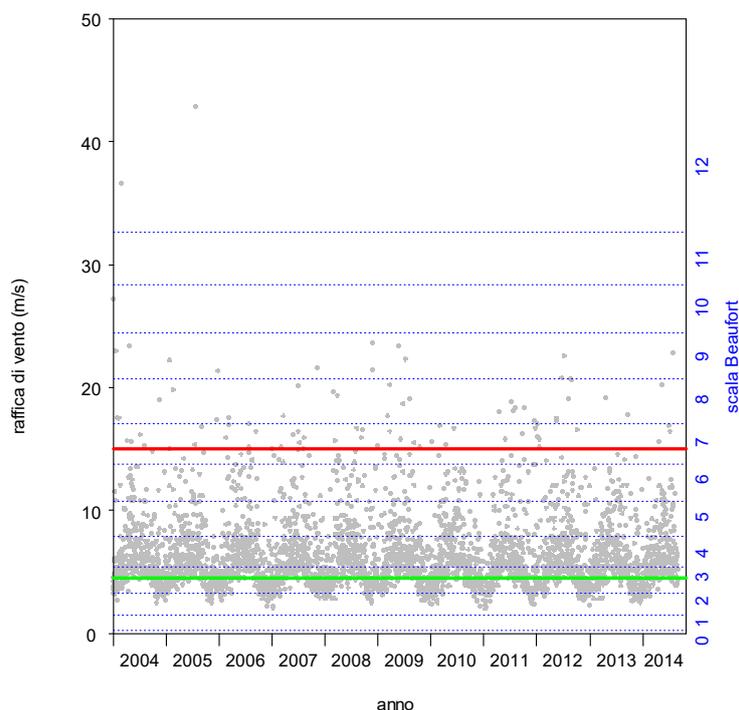


Figura 3. Scatterplot della raffica giornaliera del vento dal 2004 al 2014 (stazione anemometrica di Caselle Torinese, TO) con indicazione della velocità, espressa in m/s e in scala Beaufort. La retta orizzontale verde rappresenta una raffica di 4,5 m/s (classe 3), la rossa una raffica di 15 m/s (classe 7).

3.2. Boxplot

Il boxplot è un grafico che rappresenta sinteticamente l'intero insieme dei dati relativi alla velocità del vento in un certo intervallo di tempo. Un singolo boxplot è costituito da un segmento (i.e. mediana) che divide in due parti un rettangolo (i.e. scarto interquartile) da cui si dipartono due linee a T (i.e. baffi) (Crawley 2013). Il boxplot si estende lungo l'asse che rappresenta la velocità del vento. Le velocità incluse entro i limiti del rettangolo rappresentano il 50% dei dati analizzati, che sono concentrati intorno alla mediana e compresi tra due valori, denominati primo e terzo quartile (Crawley 2013). La mediana sostituisce la classica e più nota media aritmetica, di cui conserva sostanzialmente l'informazione pur essendo più robusta rispetto a eventuali valori estremi presenti nei dati (Crawley 2013). I baffi includono invece tutti i dati compresi tra il primo quartile $-1,5$ volte lo scarto interquartile ed terzo quartile $+1,5$ volte lo scarto interquartile (Crawley 2013). Esternamente ai baffi possono essere riportati punti isolati, che rappresentano i valori più rari ed estremi (i.e. outliers) (Crawley 2013). Per semplificare l'interpretazione del boxplot si può assumere che la mediana sia il valore della velocità del vento che caratterizza mediamente la stazione anemometrica, che la distanza interquartile rappresenti le velocità più frequenti, che i baffi includano valori meno frequenti ma comunque non particolarmente rari, e che infine gli outliers rappresentino eventi eccezionali, o perlomeno non comuni. Nell'esempio (Fig. 4), la stazione anemometrica registra mediamente brezza tesa (3,7 m/s) con il 50% dei venti compreso tra la brezza leggera ed il vento moderato (1,8-5,8 m/s) (cfr. Tab. 1). Valori inferiori a 1,8 m/s, o compresi tra 5,8 e 11,1 m/s, sono meno frequenti, ma rientrano comunque nella casistica ordinaria degli eventi. Sono invece outliers i tre episodi con venti di velocità superiore a 11,1 m/s. I boxplot possono anche essere cumulati per sintetizzare gli andamenti di una serie storica, raggruppando ad esempio i dati annualmente, mensilmente o giornalmente e seconda delle esigenze. Rispetto allo scatterplot, il boxplot organizza i dati strutturandoli quantitativamente e permettendo una determinazione più oggettiva delle velocità del vento medie, ordinarie e straordinarie. Tuttavia, questa rappresentazione è meno intuitiva e richiede una certa pratica per essere interpretata correttamente.

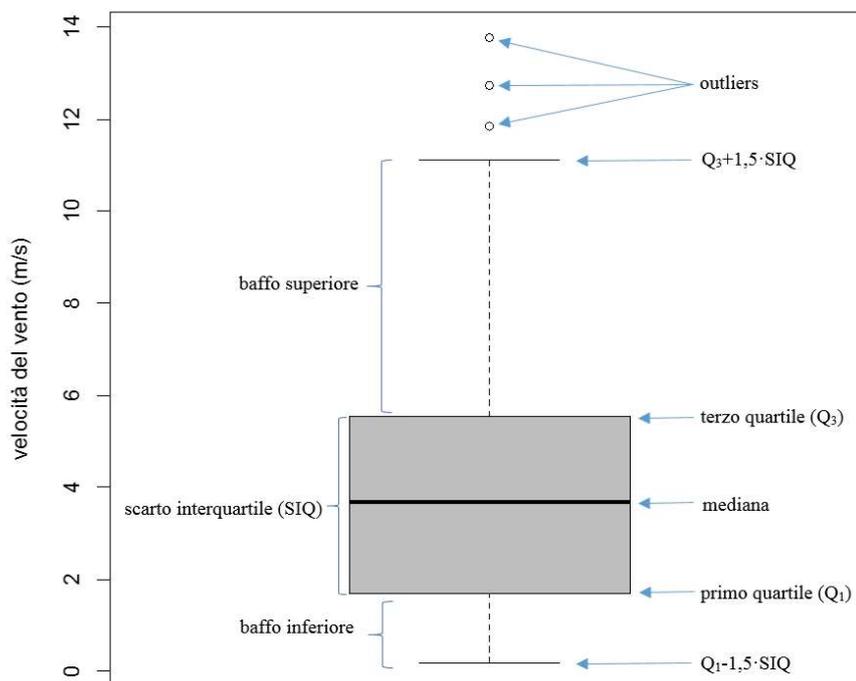


Figura 4. Generico boxplot per la rappresentazione della velocità del vento. I dati sono stati simulati estraendo casualmente 100 eventi da una distribuzione χ^2 a quattro gradi di libertà.

3.3. Diagrammi polari

I diagrammi polari sono rappresentazioni grafiche idonee per la rappresentazione della direzione del vento, ma che possono tenere in considerazione anche il tempo e la velocità (Fратиanni et al. 2007). Un generico diagramma polare è costituito da una circonferenza il cui raggio rappresenta la variabile da rappresentare (e.g. frequenza di un evento, velocità media del vento, raffica, tempo) ed il cui perimetro è suddiviso in unità angolari o settori (e.g. analogamente alla ghiera di una bussola) che indicano la direzione del vento.

Uno tra i diagrammi polari più comuni mostra la frequenza percentuale delle direzioni del vento registrate da una centralina anemometrica in un dato intervallo di tempo (Fратиanni et al. 2007). Nell'esempio (Fig. 5) sono illustrati i dati relativi alla direzione delle raffiche orarie a Caselle Torinese (TO) nel periodo compreso tra il 1 gennaio 2004 e il 31 agosto 2014. La lettura del grafico deve essere eseguita in riferimento all'area in rosso. Selezionando la direzione desiderata lungo la circonferenza esterna, si procede lungo il raggio mirando al centro fino ad incontrare il limite della suddetta area. Da questo punto si segue un percorso circolare fino ad incontrare il raggio graduato, sul quale si effettua la lettura della percentuale di raffiche provenienti dalla direzione scelta. La forma complessiva dell'area fornisce invece un quadro globale della direzione del vento misurata dalla stazione anemometrica. Nell'esempio si può osservare che i venti dominanti provengono dai settori compresi tra E e NW, mentre venti provenienti dai quadranti meridionali risultano piuttosto rari.

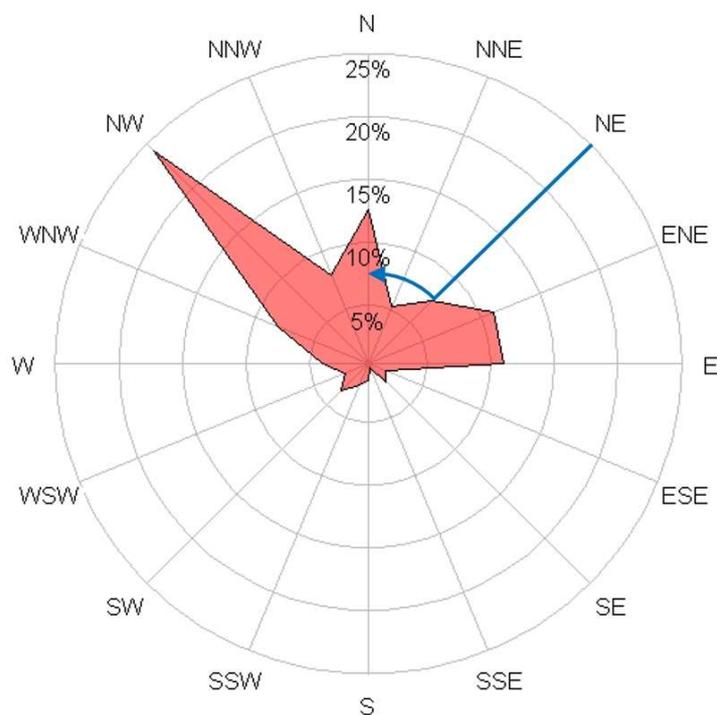


Figura 5. Diagramma polare per la rappresentazione della direzione delle raffiche orarie del vento dal 2004 al 2014 (stazione anemometrica di Caselle Torinese, TO). Il raggio graduato indica la frequenza percentuale delle raffiche provenienti da una data direzione. La freccia in blu indica, a titolo esemplificativo, come eseguire la lettura per stabilire la percentuale di raffiche provenienti da NE (7,5%).

La direzione del vento dominante in una data stazione può essere uno strumento utile per interpretare la morfologia dell'albero. Infatti, una pianta cresciuta in un ambiente caratterizzato da venti dominanti provenienti da un ristretto ventaglio di direzioni, presenterà presumibilmente asimmetrie strutturali ascrivibili all'effetto del vento stesso (de Langre 2008). Asimmetrie nello sviluppo di fusto e chioma non dovute al vento potrebbero invece indicare l'intervento di altri fattori, quali la concorrenza per la luce, eventi di natura patologica o traumatica. La direzione dei venti dominanti è inoltre un parametro da considerare nella fase di impianto di specie suscettibili agli effetti del vento stesso o ad inquinanti fitotossici da questo trasportate. Anche nella progettazione di viali alberati, nella pianificazione degli interventi sul verde urbano e, ovviamente, nella disposizione di filari frangivento il diagramma polare in oggetto può supportare i processi decisionali. Ad esempio occorre considerare che alcune specie erbacee, arbustive ed arboree sono provviste di pollini allergogeni (e.g. artemisie, nocciolo, betulla) che si diffondono per dispersione aerea prevalentemente lungo la direzione del vento dominante (Esch et al. 2001). È quindi opportuno verificare che, in caso di impianto, entro una ragionevole fascia di rispetto nella direzione opposta non vi siano aree densamente abitate o ad elevata frequentazione. Anche l'alternanza delle specie in funzione della suscettibilità a determinati patogeni può essere uno strumento pianificatorio preventivo per limitare il diffondersi di alcune malattie, specialmente

fogliari (Kowalski 2013). Molte malattie fogliari sono infatti trasmesse grazie alla riserva di inoculo presente nelle foglie cadute a terra, che tendono ad essere trasportate prevalentemente nella direzione opposta al vento dominante (Kowalski 2013). Pertanto, se la riserva di inoculo giunge in un'area sulla quale sono state messe a dimora specie non suscettibili il rischio di diffusione della malattia risulta notevolmente attenuato.

In determinate circostanze può rendersi necessario conoscere la velocità e la direzione del vento in funzione del tempo. Questa informazione si può dedurre da un'altra tipologia di diagramma polare in cui il raggio indica il tempo, la circonferenza la direzione del vento e una scala di colore la sua velocità espressa secondo le classi Beaufort. I punti relativi a ciascuna misura sono collegati nel diagramma da una spezzata che, se seguita dal centro verso i margini della circonferenza, fornisce l'andamento temporale di direzione e velocità.

Nell'esempio di Fig. 6 sono rappresentate la velocità e la direzione del vento misurate dalla stazione anemometrica di Caselle Torinese ogni 10 minuti, tra le 00.00 e le 14.50 del giorno 08/03/2014. Nella fascia oraria tra le 06.00 e le 09.00 è possibile notare come si sia verificato un repentino cambio di direzione, molto differente dalle oscillazioni registrate nelle fasce precedenti e successive¹. Questa osservazione potrebbe rivelarsi utile in ambito peritale. Lo schianto di una branca o di un albero potrebbe, infatti, essere legato ad un improvviso cambiamento di direzione del vento. Inoltre, confrontando questo diagramma con il grafico di Fig. 3, è possibile valutare se il vento abbia sollecitato l'albero da direzioni consuetudinarie o da direzioni meno frequenti. Occorre infatti rammentare che, come menzionato in precedenza, l'albero è morfologicamente e strutturalmente adattato al vento dominante, e potrebbe pertanto mostrare una resistenza inferiore a venti poco frequenti, specialmente se molto intensi. Tuttavia, nel caso specifico, il vento nelle fasce orarie considerate non sembra essersi discostato significativamente dalle direzioni abituali (Fig. 3). Inoltre, anche i valori assunti dalle velocità prima e dopo la virata, collocandosi tra la bava di vento e la brezza tesa, non sembrano essersi attestati su livelli tali da destare allarme per la stabilità meccanica degli alberi.

¹ Nella lettura del diagramma bisogna prestare attenzione a non confondere le oscillazioni di direzione con la distanza relativa tra i punti, che tende ad aumentare (a parità di direzione) se i punti sono più lontani dal centro.

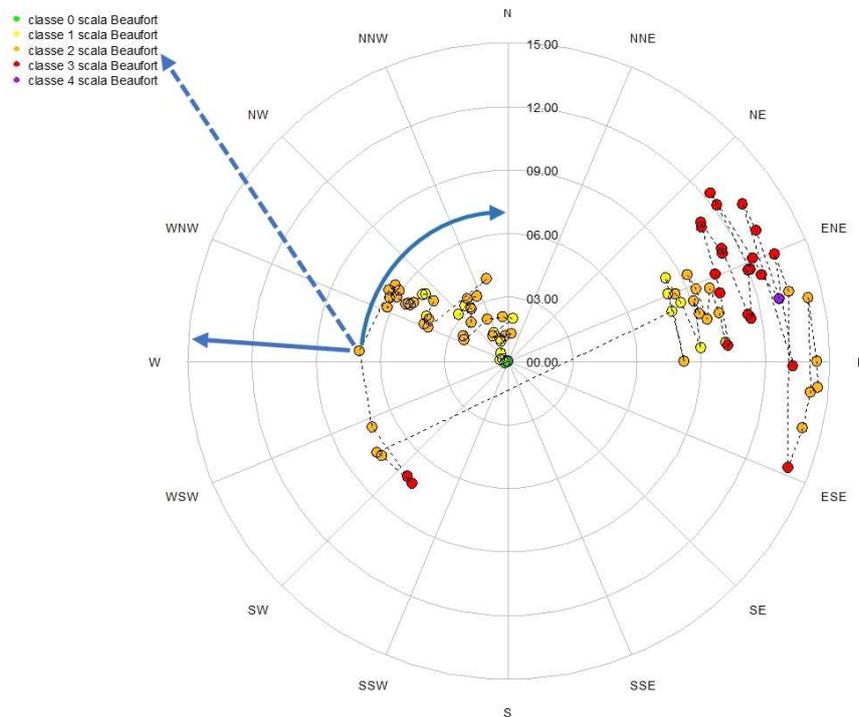


Figura 6. Diagramma polare per la rappresentazione della direzione e della velocità del vento misurate ogni 10 minuti tra le 00.00 e le 14.50 del giorno 08/03/2014 (stazione anemometrica di Caselle Torinese, TO). Ogni punto rappresenta una misura della centralina, identificata dall'ora (riportata sul raggio), dalla direzione (indicata sulla circonferenza) e dalla velocità (espressa in scala Beaufort con colori differenziati per classe come da legenda). Le frecce indicano come eseguire la lettura del diagramma per un punto qualsiasi (nella fattispecie ore 07.00, direzione W, classe 2 della scala Beaufort).

4. Accorgimenti e cautele per una corretta interpretazione dei dati

Le analisi anemometriche eseguite avvalendosi di strumenti grafici possono rappresentare una risorsa utile in vari contesti applicativi, ma occorre tuttavia adottare alcune cautele per eseguire correttamente l'interpretazione dei dati.

Se non si dispone di un anemometro ben tarato *in situ*, i dati di velocità e direzione del vento andranno reperiti dalla stazione meteorologica più vicina, la quale però può distare anche parecchi chilometri o non essere rappresentativa. Correnti locali dovute a peculiari condizioni climatiche, geomorfologiche e ambientali, oltre che a fenomeni di turbolenza, possono rendere i dati a disposizione poco affidabili per la stazione in esame.

Gli strumenti grafici forniscono indicazioni di massima che integrano, ma non sostituiscono, valutazioni quantitative eseguite su base statistica. Ad esempio, un boxplot indica quali sono i possibili outliers, ma non permette di effettuare considerazioni probabilistiche sui singoli eventi. Per quanto riguarda le applicazioni dei diagrammi anemometrici in ambito peritale è opportuno ribadire che ogni caso deve essere valutato singolarmente, tenendo in considerazione non solo il vento, ma anche la localizzazione dell'albero ed eventuali traumi e malattie. Inoltre, in concomitanza del verificarsi di uno schianto, può essere utile effettuare delle verifiche sul vento

delle settimane che hanno preceduto l'episodio. Una forte sollecitazione non necessariamente provoca il cedimento immediato delle branche o il ribaltamento di alberi, ma può indebolire i tessuti legnosi aumentando il rischio che tali eventi si verifichino successivamente, anche a seguito di sollecitazioni non particolarmente intense.

Bibliografia

- Crawley M.J., 2013. *The R book* - 2nd edition. John Wiley and Sons Ltd., Chichester: pp. 1076.
- de Langre E., 2008. Effects of wind on plants. *Annual Review of Fluid Mechanics* 40: 141-168.
- Esch R.E., Hartsell C.J., Crenshaw R., Jacobson R.S., 2001. Common allergenic pollens, fungi, animals, and arthropods. *Clinical Reviews in Allergy and Immunology* 21: 261-292.
- Fратиани S., Cagnazzi B., Cremonini R., Bosco F., Gai V., 2007. Il vento in Piemonte. Arpa Piemonte - Università di Torino - Dipartimento di Scienze della Terra, Torino: pp. 112.
- Grace J., 1988. Plant response to wind. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 22/23: 71-88.
- Hau B., de Vallavieille-Pope C., 2006. Wind-dispersed diseases. In: Cooke B.M., Gareth Jones D., Kaye B. (eds), *The Epidemiology of Plant Diseases* - 2nd edition. Springer, Nederlads, pp. 387-416.
- Kowalski T., 2013. Foliar diseases of broadleaved trees. In: Gonthier P., Nicolotti G. (eds), *Infectious Forest Diseases*. CABI, Wallingford: pp. 488-518.
- Mattheck C., Lonsdale D., Breloer H., 1994. *The body language of trees: a handbook for failure analysis*. H.M. Stationery Office, London: pp. 240.
- Meredith D.S., 1973. Significance of spore release and dispersal mechanisms in plant disease epidemiology. *Annual review of phytopathology* 11.1: 313-342.
- Oliver J.E., 2005. *The encyclopedia of world climatology*. Springer, New York: pp. 854.
- Pignatti S., 1998. *I boschi d'Italia: sinecologia e biodiversità*. UTET, Torino: pp. 667.

Risorse online

ARPA Piemonte, 2015. Banca dati Meteorologica, URL <http://www.arpa.piemonte.it/banca-dati-meteorologica>