

L'ANGOLO DELL'ARBORIC-ULTORE

Poiché siamo in inverno, arriva la neve e con essa la probabilità che si verifichino cedimenti di rami o alberi interi dovuti al peso aggiuntivo della neve stessa. Può accadere quindi che, al fine di individuare se esiste un responsabile dei danni provocati dalla caduta del vegetale, ci venga richiesto di determinare se la nevicata ed il conseguente cedimento erano prevedibili o meno.

VALUTARE IL CARICO AGGIUNTIVO DELLA NEVE SU UN ALBERO

Luigi Sani, *Laboratorio di Studi sull'Albero*
gifor@gifor-net.it

La neve costituisce spesso un importante carico aggiuntivo in quanto può determinare il cedimento strutturale di un albero sia per ribaltamento della zolla sia per rottura del tronco o dei rami. Ciò può accadere sia in alberi ben bilanciati, a causa del notevole aumento del peso determinato dalla neve che si deposita sui rami e fra le foglie (se presenti), sia in alberi inclinati e/o con chioma asimmetrica, dove l'aumento del peso dovuto al depositarsi della neve incrementa in modo sensibile l'eccentricità del carico e quindi la sollecitazione. Il punto di applicazione di questa forza, se intesa unitariamente, è individuabile nel baricentro della chioma.

Tuttavia il carico da neve non deve essere sopravvalutato in quanto, in presenza di vento, la neve tende a staccarsi dalla chioma e depositarsi al suolo. Diversamente la formazione di ghiaccio sui rami non si riduce con l'aumentare dell'intensità del vento e quindi spesso determina rotture o cedimenti anche più significativi.

Modellazione del fenomeno

La stima del carico di neve su un albero è particolarmente complessa in quanto dipende strettamente dalla sua architettura, che è assai difficile da modellizzare in modo chiaro e semplice e dalla natura intrinsecamente dinamica del fenomeno, in quanto il carico di neve dipende dalla temperatura, dalle condizioni della neve, dal vento che agisce sul manto nevoso e da altre variabili ancora. Nel processo di modellazione del fenomeno si possono assumere diverse semplificazioni necessarie per rendere possibile un'analisi efficace del problema ed ottenere soluzioni senz'altro approssimate ma chiare e coerenti.

In primo luogo si assume che il carico agisca in direzione verticale determinando quindi, in sostanza, una sollecitazione di compressione e sia perciò riferito alla proiezione orizzontale della superficie della chioma.



Carico unitario della neve q_0 [kN/m²]

Dato un evento nevoso, la massa della neve m_n [kg] che perviene a terra nell'unità di superficie è:

$$m_n = h_n \cdot \rho_n$$

dove h_n [m] è l'altezza della neve caduta così come registrata nella stazione meteo di riferimento o misurata a terra in campo aperto, ρ_n [kg/m³] è la densità media della neve.

Il carico unitario q_0 [kN/m²], cioè la forza esercitata dalla neve per unità di superficie, è quindi:

$$q_0 = m_n \cdot g$$

dove g [m/s²] è l'accelerazione di gravità che vale approssimativamente 9.8

Densità della neve ρ_n [kg/m³]

La densità della neve dipende dalle condizioni di umidità e temperatura potendo variare, indicativamente, da 100 a 600 kg/m³ in relazione al suo grado di trasformazione. Neve fresca e molto soffice e asciutta può quindi avere un peso anche di 6 volte inferiore rispetto a neve bagnata e completamente trasformata. Com'è noto, l'acqua allo stato liquido, alla densità massima che si verifica a 4°C di temperatura, ha un valore di densità assoluta pari a 1000 kg/m³.

Carico della neve Q_n [kN]

Il carico della neve Q_n [kN] sulla chioma, cioè la effettiva forza esercitata dal manto nevoso che si deposita sull'albero, può essere valutata ricorrendo a formulazioni che modellano la problematica a diversi livelli di approssimazione. In sostanza, la relazione generale che può essere assunta per la determinazione del carico della neve è fornita dalla seguente espressione:

$$Q_n = q_0 * EAI_{ch} * C_F * C_E * C_T$$

dove EAI_{ch} [m²] è l'effettiva area di insidenza della chioma "vista" dalla neve, C_F è il coefficiente di forma, C_E è il coefficiente di esposizione e C_T è il coefficiente termico.

Area di insidenza della chioma EAI_{ch} [m²]

L'area di insidenza della chioma è data dalla proiezione di tutta la chioma su un piano parallelo a quello di campagna e passante per il colletto. In realtà l'effettiva area di insidenza della chioma dipende dalla direzione del vento e cioè, in sostanza, dall'angolo che questo forma con la normale all'albero, per cui sarebbe:

$$EAI_{ch} = AI_{ch} * \cos(\alpha)$$

Coefficiente di forma C_F [-]

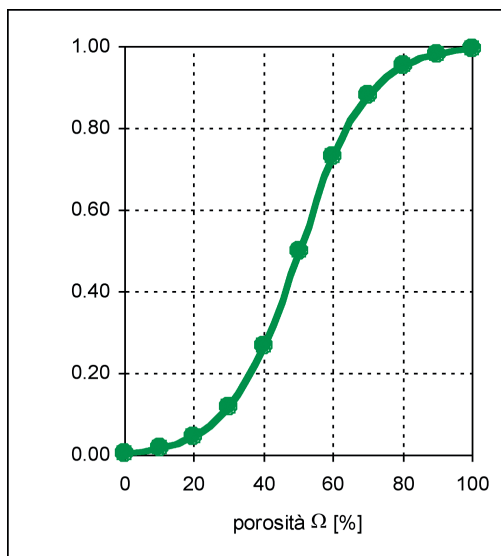
Il coefficiente di forma determina la quota parte di neve che rimane sulla chioma in rapporto alla quantità di neve caduta. Esso dipende dalla densità della chioma, dalla densità e forma dei rami e dalla densità, forma e capacità di immagazzinamento delle foglie. Analiticamente il coefficiente di forma è quindi individuato dalla seguente espressione:

$$C_F = C_{th} * C_{rm} * C_{fg}$$

dove:

C_{th} è il coefficiente di densità della chioma, che dipende dalla sua porosità Ω [%]. Questo contributo può essere euristicamente determinato mediante la:

$$C_{th} = 1 / (1 + e^{(-0.1 * (\Omega - 50))})$$



C_{rm} è il coefficiente che tiene conto dell'architettura morfologica dei rami e che dipende dal loro angolo di inserzione, dalla densità e dalle dimensioni (Xiao et al., 2000).

Assumendo che i rami hanno forma lineare e che la loro inclinazione rispetto allo zenith è normalmente distribuita, per cui è $N(u, \sigma^2)$ dove u è la media e σ è la deviazione standard, i rami possono essere divisi in due gruppi.

Il primo gruppo (R_{drip}) riguarda quei rami che presentano un angolo inferiore a 45° o maggiore di 135°; per essi il flusso di neve tende preferenzialmente a non depositarsi sul tronco ma a cadere quindi al suolo.

L'altro gruppo raccoglie invece i rami ($R_{intercept}$) il cui angolo di inserzione è fra 45 e 135°, nei quali la neve tende invece ad essere intercettata. Determinata o stimata quindi la media e la deviazione standard dei rami è possibile stimare (ricorrendo alla funzione di distribuzione normale, che è disponibile su tutti i fogli elettronici) la percentuale di rami afferente ai due gruppi.

Avendo a disposizione una stima dello *Stem Area Index* (SAI [-]) e delle dimensioni dei rami, assumendo che anche questi si distribuiscono normalmente rispetto alla media, è quindi possibile determinare il coefficiente di riduzione della quantità di neve che può depositarsi.

$$C_{rm} = SAI * R_{intercept} * r_{med}^2 * \text{tg } \varphi$$

Per quanto riguarda le foglie, se presenti, è possibile seguire un procedimento analogo, determinando così il coefficiente C_{fg} in funzione della percentuale di foglie in grado di intercettare il flusso della neve.

Si deve in tal caso tenere conto, oltreché dell'angolo di inserzione e delle dimensioni, anche della rugosità della foglia e della sua "rigidità" in quanto tali variabili influiscono sensibilmente sulla capacità di "trattenere" la neve.

Molto spesso questi aspetti devono essere valutati non tanto a livello di singola foglia quanto per il cluster, cioè l'insieme di foglie portate da un rametto che, grazie alla loro disposizione e morfologia, permettono il depositarsi della neve anche su strutture filiformi, come ad esempio gli aghi del pino.

Quello presentato è un modello analitico non particolarmente complesso ma che comunque richiede una serie di dati normalmente non disponibili nella pratica professionale.

In tal caso è quindi necessario ricorrere a metodi semplificati, di maggiore approssimazione, in cui il coefficiente può essere stimato ricorrendo alla seguente orientativa tabella di riferimento ed interpolando i casi intermedi o estrapolando per comparazione gli altri casi possibili.

descrizione	CF
Chieme o ramificazione tabulare densa con vegetazione fogliare fitta e appressata (es. pino domestico con code di leone vigorose)	0.7
Chieme ovoidali con ramificazione variamente inclinata, chieme piramidali con ramificazione orizzontale di breve lunghezza	0.5
Chieme piramidali con ramificazione grossa tendenzialmente assurgente, reiterazioni verticali, scarsi rami fini	0.3
Alberi privi di vegetazione con abbondante ramificazione di grosse dimensioni, in posizione suborizzontale rispetto al piano campagna	0.1

Coefficiente termico C_T [-]

Il coefficiente termico può essere utilizzato per tenere conto della riduzione del carico della neve a causa del suo scioglimento per il calore prodotto dall'albero. Normalmente, in particolare per la valutazione del carico massimo, tenuto conto che questo si verifica quasi sempre immediatamente al termine dell'evento nevoso, sarà opportuno utilizzare $C_T = 1$.

Coefficiente di esposizione C_E [-]

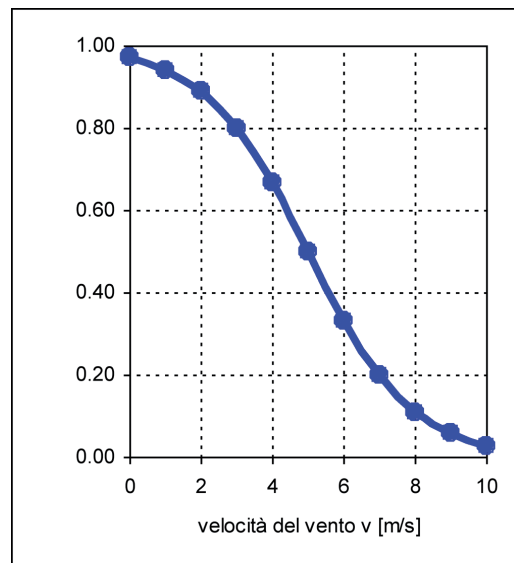
Il coefficiente di esposizione deve essere utilizzato per modificare il valore del carico della neve in copertura in funzione delle caratteristiche specifiche dell'area in cui si trova l'albero. Nella tabella seguente si riportano i coefficienti consigliati nell'Eurocodice per le diverse classi di morfologia del luogo di vegetazione.

Effetto del vento

In presenza di vento, come detto, si manifesta una riduzione della neve depositata sull'albero in misura proporzionale all'intensità del vento ma limitatamente a velocità inferiori a circa 10 m/s. Concretamente quindi il carico aggiuntivo della neve deve essere considerato presente solo fino ad una velocità del vento pari a 10 m/s per poi annullarsi oltre tale valore. Si può quindi modellizzare questo fenomeno ricorrendo ad una relazione come quella illustrata nella figura a lato.

Il carico critico

Nella pratica professionale può accadere che sia necessario determinare se il cedimento derivante da un evento nevoso deve essere considerato come un caso imprevedibile o meno. In tale situazione è necessario determinare, in primo luogo, quale sia il cosiddetto carico critico e cioè il valore del carico unitario critico della neve che può verificarsi ordinariamente in un dato luogo (e che quindi deve essere prevedibile e previsto dal gestore dell'albero nella sua misura e negli effetti che esso produce).



Questo è calcolabile ricorrendo all'analisi degli eventi notevoli. Disponendo di una quantità sufficiente ed affidabile di dati nivometrici, mediante le consuete indagini statistiche non è difficile determinare il carico critico della neve, dato un tempo di ritorno coerente con il ciclo di vita dell'albero nell'ambiente in cui esso si trova (il suo turno biologico o tecnico). Semplicemente si acquisisca il valore della massima precipitazione nevosa x verificatasi in ogni anno per un numero sufficiente di anni (almeno una trentina). Quindi si trasformino i dati di ogni anno nel loro logaritmo naturale e se ne calcoli la media e la deviazione standard. In Excel® le funzioni da usare sono

morfologia	descrizione	C_E
battuta dai venti	aree pianeggianti non ostruite, esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti	0.8
normale	aree in cui non è presente una significativa rimozione della neve a causa del vento, della morfologia o di alte costruzioni o alberi	1
riparata	aree più basse del terreno circostante o accerchiate da costruzioni o alberi più alti	1.2

valore del carico di neve al suolo q_{ref} [kN/m ²] per stazioni a quota inferiore a 1500 m s.l.m.			
	Altitudine di riferimento a_s [m]		
	$a_s \leq 200$	$200 < a_s \leq 750$	$a_s > 750$
Zona I Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Emilia Romagna, Friuli Venezia Giulia, Veneto, Abruzzo, Marche, Molise	1.6	$1.60+3*[(a_s-200)/1000]$	$3.25 + 8.5 * [(a_s-750)/1000]$
Zona II Liguria, Toscana, Umbria, Lazio, Campania (province di Caserta, Benevento, Avellino) Puglia (provincia di Foggia)	1.15	$1.15+2.6*[(a_s-200)/1000]$	$2.58 + 8.5 * [(a_s-750)/1000]$
Zona III Campania (province di Napoli, Salerno), Puglia (esclusa la provincia di Foggia), Basilicata, Calabria, Sardegna, Sicilia	0.75	$0.75+2.2*[(a_s-200)/1000]$	$1.96 + 8.5*[(a_s-750)/1000]$

$LN(x_i)$, $MEDIA(x_1, x_2, \dots, x_n)$ e $DEV.ST(x_1, x_2, \dots, x_n)$.
La curva di probabilità nivometrica, secondo il modello lognormale, è quindi definibile calcolando, al variare del tempo di ritorno (TR da 1 a n anni), il valore della quantità di neve secondo la formula (in Excel®):
 $q_0 = INV.LOGNORM(1-1/TR;media;dev.st)$

In mancanza di specifiche indagini statistiche il carico unitario critico di neve sulla chioma può essere alternativamente determinato ricorrendo ad una procedura individuata nell'Eurocodice, attraverso il ricorso ad un valore di riferimento del carico di neve al suolo per un tempo di ritorno di 50 anni. In questo caso il valore di q_0 è:

$$q_0 = q_{ref(TR)}$$

dove:

$q_{ref(TR)}$ è il carico di riferimento della neve sulla chioma

Carico di riferimento della neve $q_{ref(TR)}$ [kN/m²]

Il carico di riferimento della neve è ottenuto mediante la seguente espressione:

$$q_{ref(TR)} = \alpha_{TR} * q_{ref0}$$

dove

α_{TR} [-] è il coefficiente di scalatura per l'opportuno tempo di ritorno ed è dato da:

$$\alpha_{TR} = 0.275 * (1 - 0.5 * \ln(-\ln(1 - 1/TR)))$$

mentre q_{ref0} [kN/m²] è il valore del carico di riferimento di base e viene dedotto dalla tabella sopra riportata.

Interazione neve - albero

Una volta dedotto il carico di riferimento della neve al suolo che deve essere assunto per la stazione in esame ed in relazione al tempo di ritorno prescelto, è semplice verificare se l'evento meteorico verificatosi deve essere considerato di natura eccezionale o ordinaria e cioè prevedibile (Sani e Marasco, 2007; Sani, 2008).

Nella prima situazione, l'eventuale verificarsi di un cedimento deve essere ricondotto ad un caso fortuito. Diversamente si deve ammettere che l'evento nevoso verificatosi (e quindi la quantità di neve depositata sull'albero) presenta un tempo di ritorno inferiore al ciclo di vita dell'albero, per cui ne deve essere previsto il possibile accadimento e quindi gli effetti che da esso possono derivarne.

Risolto questo aspetto di natura oggettiva sulla prevedibilità o meno del fenomeno è però opportuno precisare che, a questo punto, deve "salire in cattedra" l'arboricoltore esperto di valutazione di stabilità e di analisi biomeccanica dei cedimenti per determinare se quella rottura, dovuta come causa ultima alla neve depositatasi sull'albero, si è originata in presenza di difetti morfologici o di altra natura che erano o meno prevedibili e correggibili con le tecniche analitiche e le pratiche colturali proprie dell'Arboricoltura come oggi la si pratica.

BIBLIOGRAFIA

- Sani L., 2008 - *Valutazione integrata dell'albero. Manuale ad uso pratico per il rilevamento delle condizioni vegetative, fitosanitarie e di stabilità degli alberi in ambito urbano*. Nicomp L.E. Firenze.
- Sani L., Marasco P.L., 2007 - *I danni provocati dalla caduta di alberi. L'approccio tecnico al principio di responsabilità*. Rivista del Consulente Tecnico XXII (3): 55-61.
- Xiao Q., Mc Pherson E.G., Ustin S.L. Grismer M.E., 2000 - *A new approach to modeling tree rainfall interception*. Journal of Geophysical Research, 105 (D23): 29,173-29,188.