



COMUNE DI FIRENZE

Consiglio di Quartiere 4

Assessorato alla Partecipazione Democratica,
ai Rapporti con i Quartieri, Nuovi Stili di Vita e Consumo Critico

In collaborazione con ARSIA
e Laboratorio congiunto Università Impresa GEMMA VERDE

Macchine per la manutenzione del verde

Firenze 7 - 8 maggio 2009

Limonaia di Villa Strozzi - Via Pisana, 77

Con il contributo di:



Atti pubblicati da



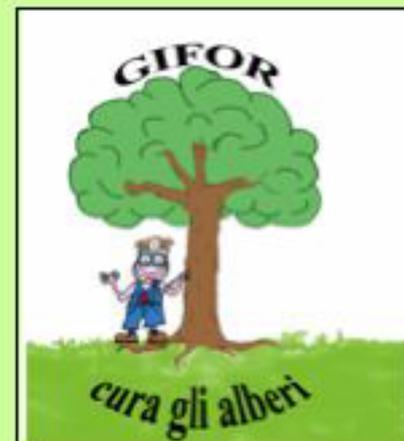
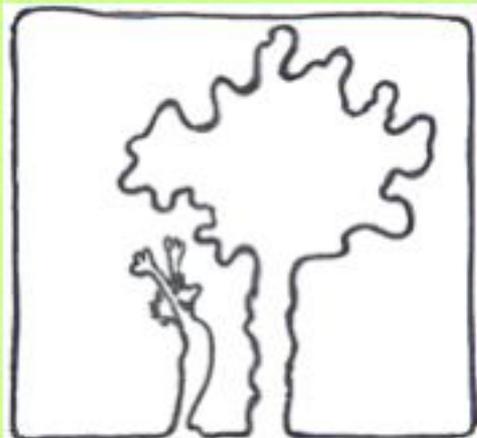
Consiglio di Quartiere 4
Assessorato alla Partecipazione Democratica Nuovi Stili di Vita e Rapporti con i Quartieri
ARSIA
Laboratorio congiunto Università Impresa GEMMA VERDE

Macchine per la manutenzione del verde

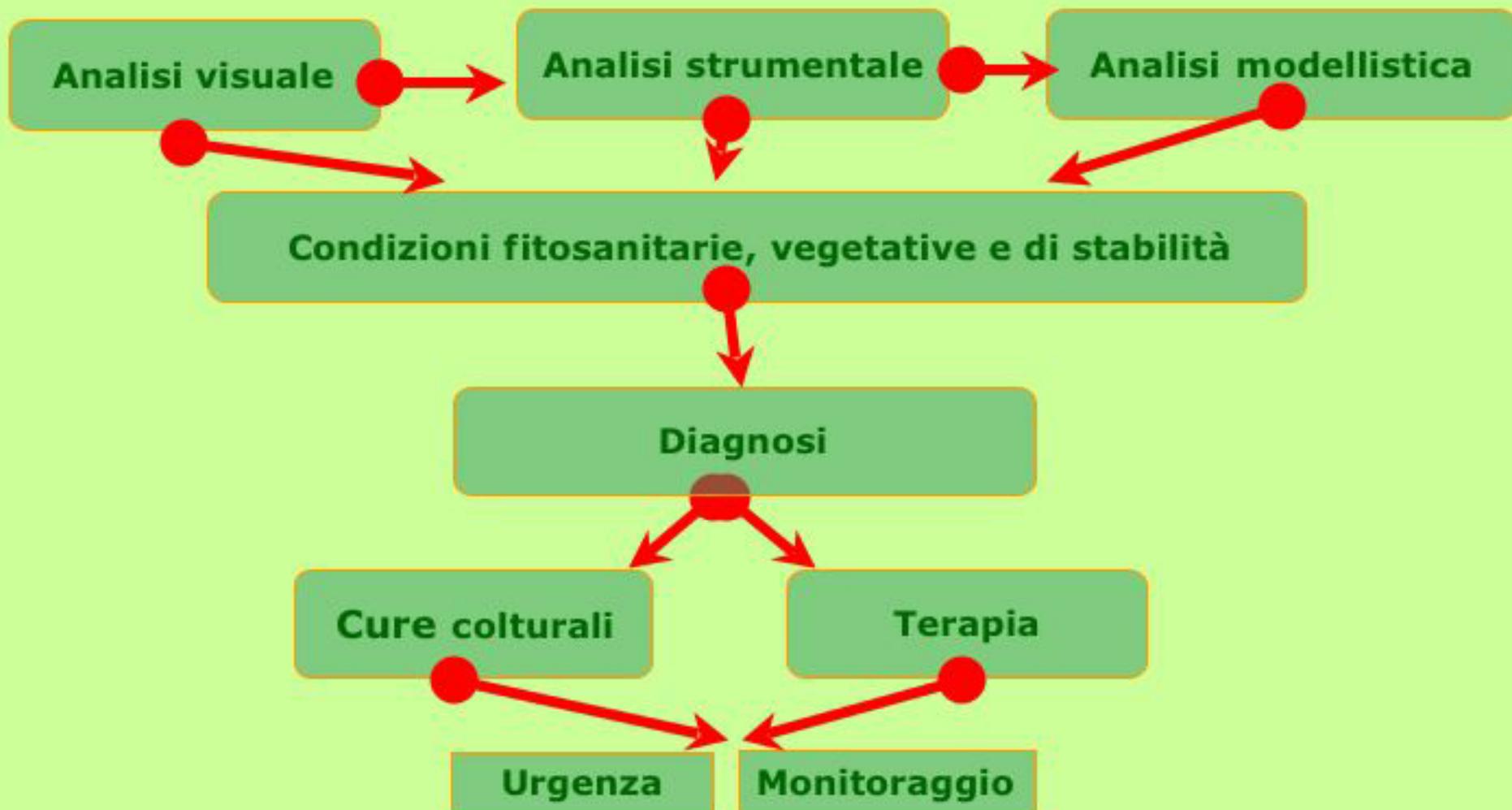
Limonaia di Villa Strozzi., Firenze, 7-8 maggio 2009

STRUMENTI E METODI INNOVATIVI NELLA VALUTAZIONE DELLA STABILITÀ DEGLI ALBERI

Dott. For. Luigi Sani, Dott. For. Mario Moschi, Prof. Marco Vieri



PROCEDIMENTO DIAGNOSTICO DELLA VTA



ANALISI STRUMENTALE

Dopo la valutazione visuale, il valutatore ha gli elementi per esprimere il giudizio e per desumere da questo le cure colturali e l'eventuale terapia.

Se il quadro non è chiaro si sottopone l'albero a ulteriori indagini strumentali dei punti con difetti correlati alla propensione al cedimento.

L'analisi strumentale è una integrazione della valutazione visuale, ma non è la valutazione.

L'evidenza strumentale deve essere interpretata alla luce dell'analisi visuale ed è finalizzata a corroborare (non a determinare) il giudizio di stabilità.

Tutte le tecniche strumentali (oltre a essere ancora molto imprecise) danno infatti un dato parziale.

INTEGRAZIONI STRUMENTALI: tipologie e modalità operative

- Verifica con trapano densitometrico o simili
- Verifica con metodologie (ultra) soniche
- Ispezione delle radici con Air Spade
- Prove di trazione controllata
- Analisi delle frequenze di oscillazione

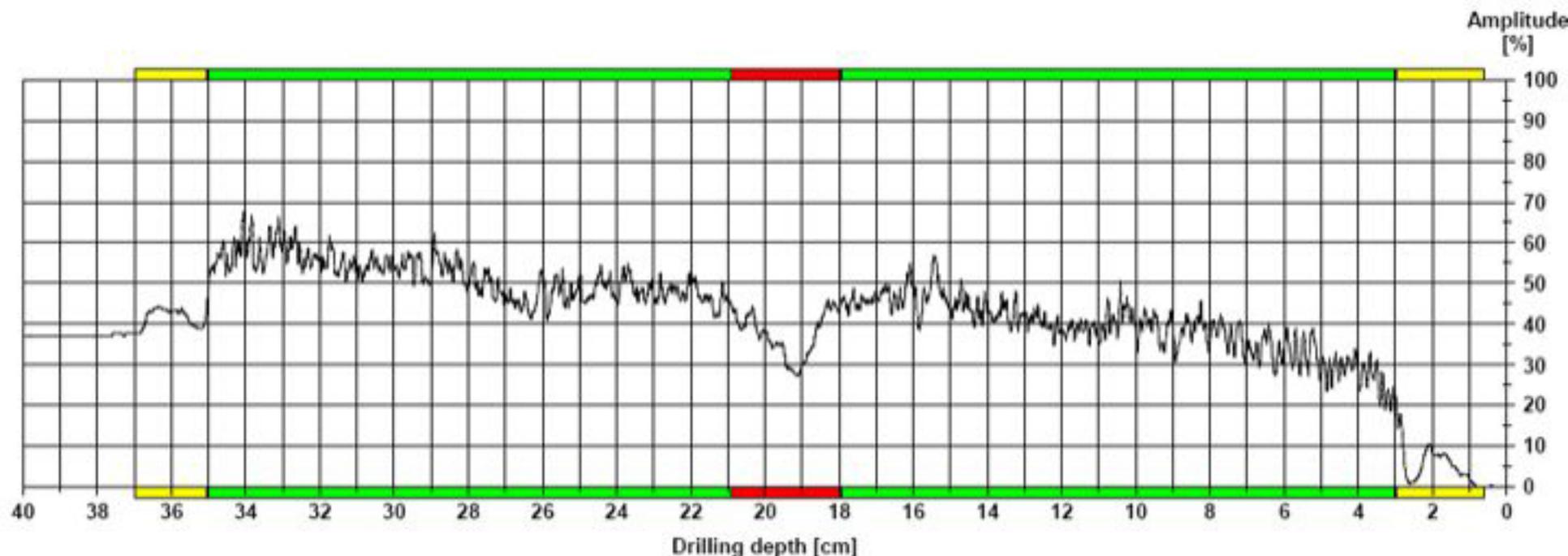
1. Individuazione dei punti critici
2. Scelta della metodologia strumentale
3. Esecuzione del rilievo
4. Interpretazione dei risultati
5. Predisposizione del referto
6. Integrazione della prova strumentale con la Valutazione di stabilità



INTEGRAZIONI STRUMENTALI: il referto

Measuring / object data

Project	: Parco di Boboli	Date	: 31.03.2009	Level	: 10,0 cm
Measurement no.	: 1	Time	: 11:04:08	Direction	: NE
Drilling depth	: 40,18 cm	Offset	: 8,3%	Object species	: Platanus
Identification	:	Avg. curve	: off	Location	: Boboli
Advance	: 40,0 cm/min (6)	Diameter	: 37,0 cm	Name	: Mario Moschi



Assessment

Red	From 18,0 cm to 20,9 cm	: discontinuità
Green	From 3,0 cm to 17,9 cm	: tracciato regolare
Yellow	From 0,6 cm to 3,0 cm	: corteccia
Green	From 20,9 cm to 35,0 cm	: tracciato regolare
Yellow	From 35,0 cm to 37,0 cm	: corteccia
White	From 0,0 cm to 0,0 cm	:

Comment

Tracciato sostanzialmente regolare. Discontinuità strutturale del legno nella zona centrale, probabilmente in connessione con il degrado da carie dell'apparato radicale.

ISPEZIONE DELLE RADICI CON AIR SPADE

può essere utilizzato per:

- scavare trincee in cui far passare una tubazione senza danneggiare le radici;
- togliere terreno di scadente qualità per sostituirlo con suolo buono;
- arieggiare un terreno compattato;
- eseguire la diagnosi delle condizioni di salute e stabilità dell'apparato radicale.



L'uso dell'Air Spade per trincee e scavi per il passaggio delle reti in piazze e viali arborati dovrebbe essere obbligatorio (specie per la P.A.) perché il maggior costo è compensato dai minori danni alle radici, con le inevitabili conseguenze sulla stabilità (e sulla responsabilità di chi li ha determinati).

ANALISI MODELLISTICA BIOMECCANICA

Un ulteriore campo di approfondimento concettuale e metodologico delle tecniche di valutazione dell'albero riguarda ciò che può essere definito come analisi modellistica di tipo biomeccanico.

L'approccio modellistico è il futuro della Valutazione di Stabilità ed è l'unico strumento che può condurre questa professione fuori dalle stregonerie e dalle superficialità oggi presenti

Però, il ricorso a formule preconfezionate può risultare fuorviante e condurre il valutatore a decisioni errate.

ANALISI MODELLISTICA

TAB. 1: VARIABILI RELATIVE AL TRONCO

<i>coefficiente di rastremazione</i>	α	-	0.9
<i>coefficiente di forma inclinazione</i>	β	-	0.4
altezza dell'albero	H	m	20.00
altezza del tronco	Htr	m	18.00
angolo del tronco rispetto alla verticale	ltr	°	5
circonferenza del tronco a 1.3 m	Gbh	m	2.1
diametro del tronco a 1.3 m	Dbh	m	0.67
<i>trunk base ratio</i>	TR	-	1.2
diametro alla base	Doh	m	0.80
lunghezza del tronco	Ltr	m	18.07
diametro in testa al tronco	Dtt	m	0.10
altezza intermedia	Hx	m	9.00
diametro intermedio	Dx	m	0.47
altezza baricentro tronco	HBtr	m	6.65
eccentricità del tronco al baricentro	Etr	m	0.37
<i>peso specifico legno fresco</i>	ρl	kg/mc	1000
<i>modulo di Young</i>	E	Mpa	6000
volume del tronco	Vtr	mc	3.61
massa del tronco	Mtr	kg	3605
peso del tronco	Ptr	N	35355
superficie del tronco	Atr	mq	7.88
<i>coefficiente aerodinamico tronco</i>	CDtr	-	1

TAB. 2: VARIABILI RELATIVE ALLA CHIOMA

Altezza della base della chioma sx	hbcsx	m	9.00
altezza della base della chioma dx	hbcdx	m	11.00
Altezza max espansione della chioma sx	hmcsx	m	16.00
Raggio max espansione chioma sx	RMCsx	m	1.00
Altezza max espansione della chioma dx	hmc dx	m	16.00
Raggio max espansione chioma dx	RMCdx	m	3.00
<i>coefficiente di forma della chioma supdx</i>	γ_{SD}	-	0.3
<i>coefficiente di forma della chioma supSx</i>	γ_{SS}	-	0.6
<i>coefficiente di forma della chioma infDx</i>	γ_{ID}	-	0.2
<i>coefficiente di forma della chioma inf_Sx</i>	γ_{IS}	-	0.5
<i>coefficiente aerodinamico chioma</i>	CDch	-	0.5
profondità della chioma	Prch	m	11.00
superficie della chioma	Ach	mq	39.91
altezza baricentro chioma	HBch	m	15.00
eccentricità baricentro chioma	Ech	m	1.49
% massa chioma rispetto al tronco	RsuT	%	40
massa della chioma	Mch	kg	1442
peso della chioma	Pch	N	14142

TAB. 3: VARIABILI RELATIVE AL VENTO

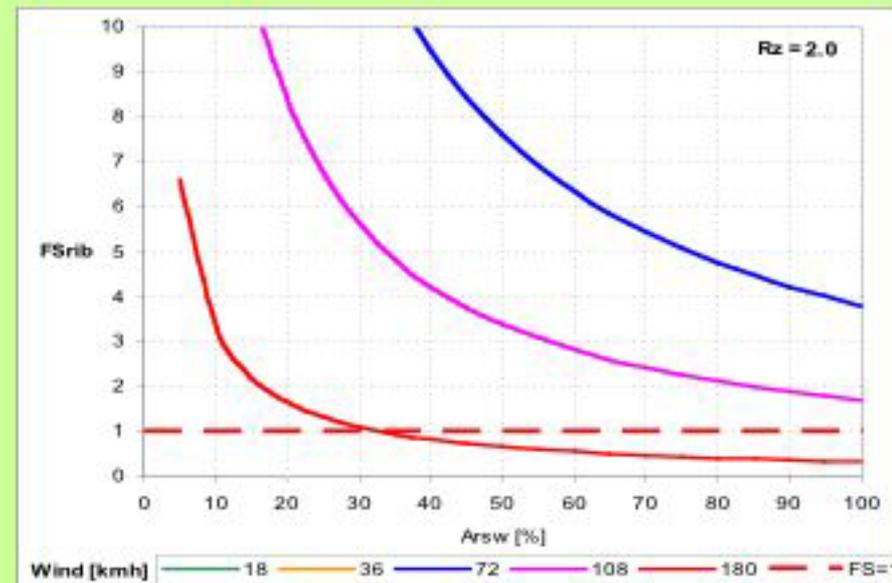
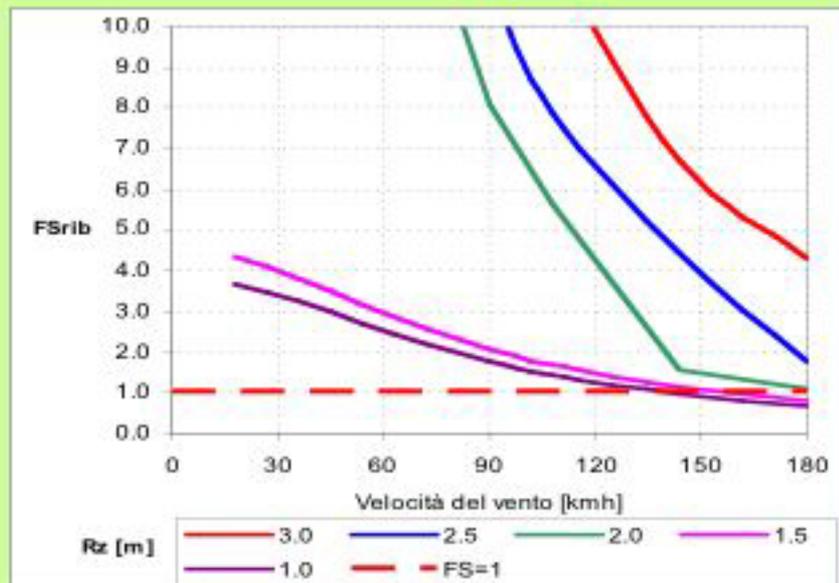
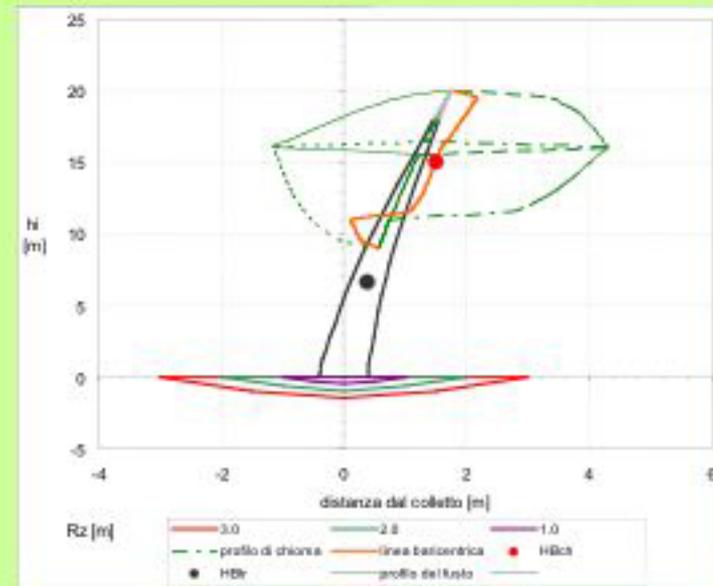
<i>densità dell'aria</i>	ρa	kg/mc	1.226
<i>indice di rugosità</i>	irs	-	0.3
<i>coefficiente di raffica</i>	ψ	-	2

TAB. 4: VARIABILI RELATIVE AL SUOLO

% massa suolo	%msol	%	40
% massa radici	%mrad	%	60
<i>peso del suolo immerso</i>	ρ_{sol}	kg/mc	1800
<i>peso specifico radici</i>	ρ_{rad}	kg/mc	1000
<i>Ancoraggio della zolla</i>	Arsw	%	30
<i>Ancoraggio del suolo</i>	Arst	%	20
<i>angolo di attrito</i>	ϕ	°	25
<i>inclinazione piano di posa</i>	β	°	5
<i>coesione del suolo</i>	c	kg/mc	20
<i>fattore di capacità portante</i>	Nc	-	8
<i>fattore di capacità portante</i>	Nq	-	3.5
<i>fattore di capacità portante</i>	Ny	-	1.8
<i>peso della zolla</i>	yzol	kg/mc	1320
<i>coefficiente di attrito del suolo</i>	η	-	1.42
<i>coefficiente di spinta attiva del suolo</i>	Ka	-	0.41
pendenza del versante	δ	°	25

Nuovi strumenti per la VTA -
L. Sani, M. Moschi, M. Vieri

ANALISI MODELLISTICA



CHIOMA

Aspetti operativi

Per una maggiore precisione la superficie della chioma può essere stimata ricorrendo all'integrazione di 4 funzioni di profilo del tipo:

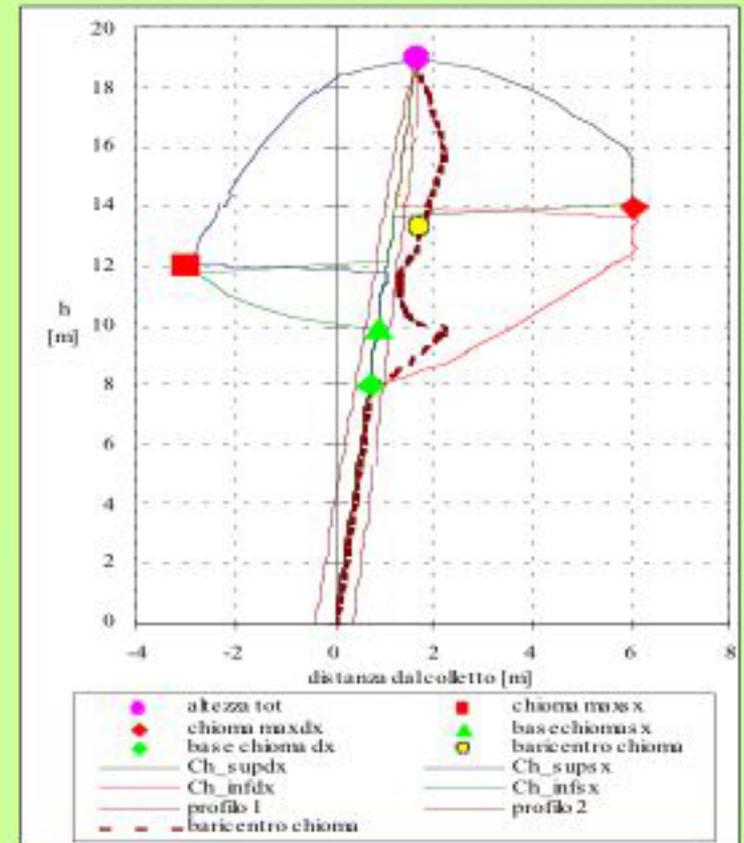
$$r_i = r_b * (1 - r_0)^\gamma$$

dove

r_i è il raggio della chioma all'altezza h_i

γ è un coefficiente di forma

Altezza della base della chioma sx	hbcsx	10.00	m
altezza della base della chioma dx	hbcdx	8.00	m
Altezza max espansione della chioma sx	hmcsx	12.00	m
Raggio max espansione chioma sx	RMCsx	3.00	m
Altezza max espansione della chioma dx	hmc dx	14.00	m
Raggio max espansione chioma dx	RMCdx	6.00	m
coefficiente di forma della chioma supdx	CFCs_D	0.6	
coefficiente di forma della chioma supSx	CFCs_S	0.4	
coefficiente di forma della chioma infDx	CFC_I_D	0.7	
coefficiente di forma della chioma inf_Sx	CFC_I_S	0.4	
Profondità chioma	PCH	11.00	m
altezza baricentro chioma	hg	13.30	m



Oppure con metodi fotogrammetrici

CHIOMA

Aspetti operativi

Calcolo momento del vento

$$F_w = \frac{1}{2} \rho V^2 C_d A = q C_d A$$

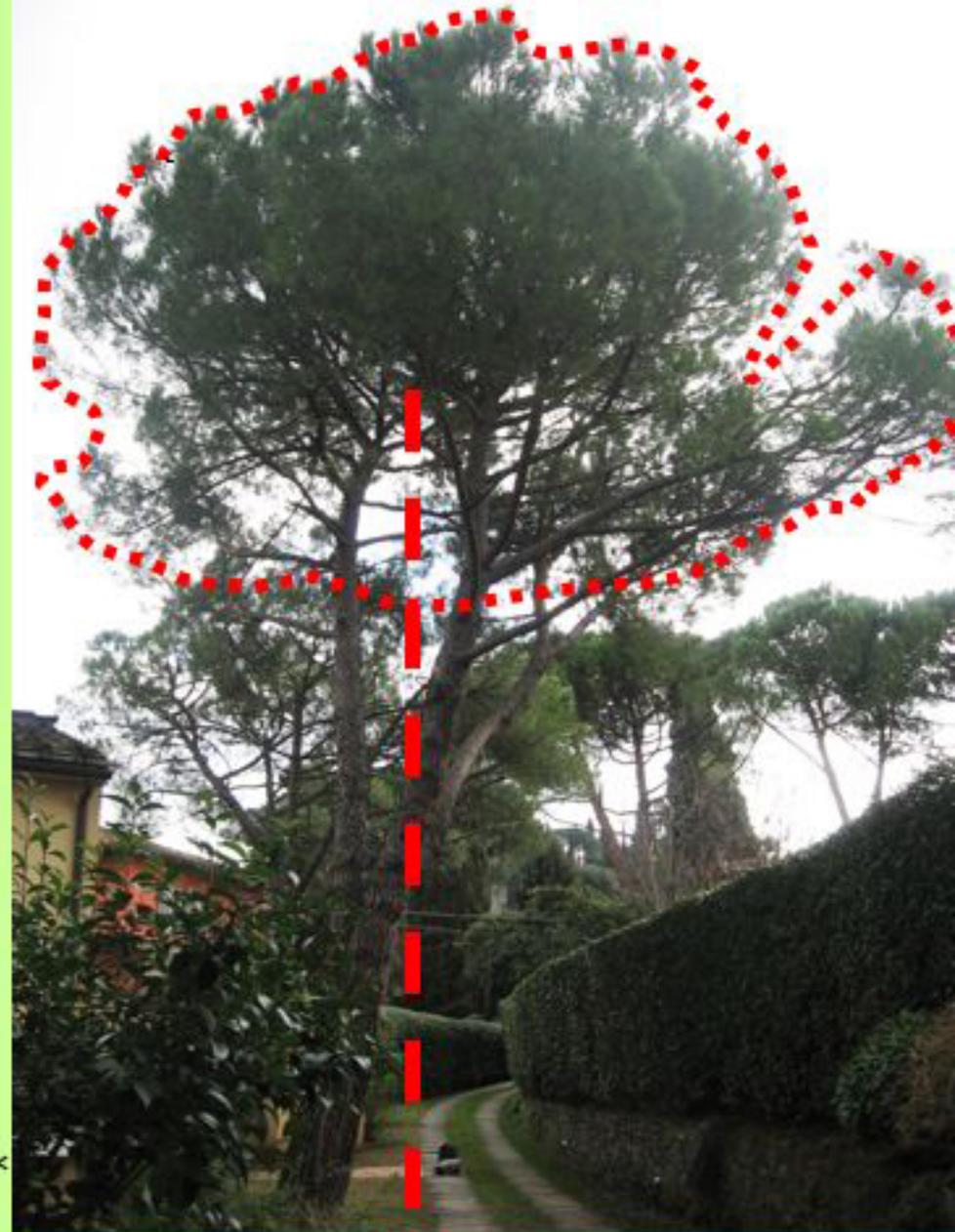
$$M_w = F_w * H_g$$

ρ e C_D non variano con la potatura
ma varia H_g (quindi V) e A

Si può calcolare la variazione % della
spinta del vento con i valori attuali e
previsti in relazione all'intervento che
si vuole eseguire

$$\text{Variaz\%} = 100 - \frac{M_w(\text{previsto})}{M_w(\text{attuale})} * 100 =$$

$$= 100 - \left[\frac{(v(hg_{\text{prev}})^2 * A_{\text{prev}} * hg_{\text{prev}})}{(v(hg_{\text{att}})^2 * A_{\text{att}} * hg_{\text{att}})} \right] * 100$$

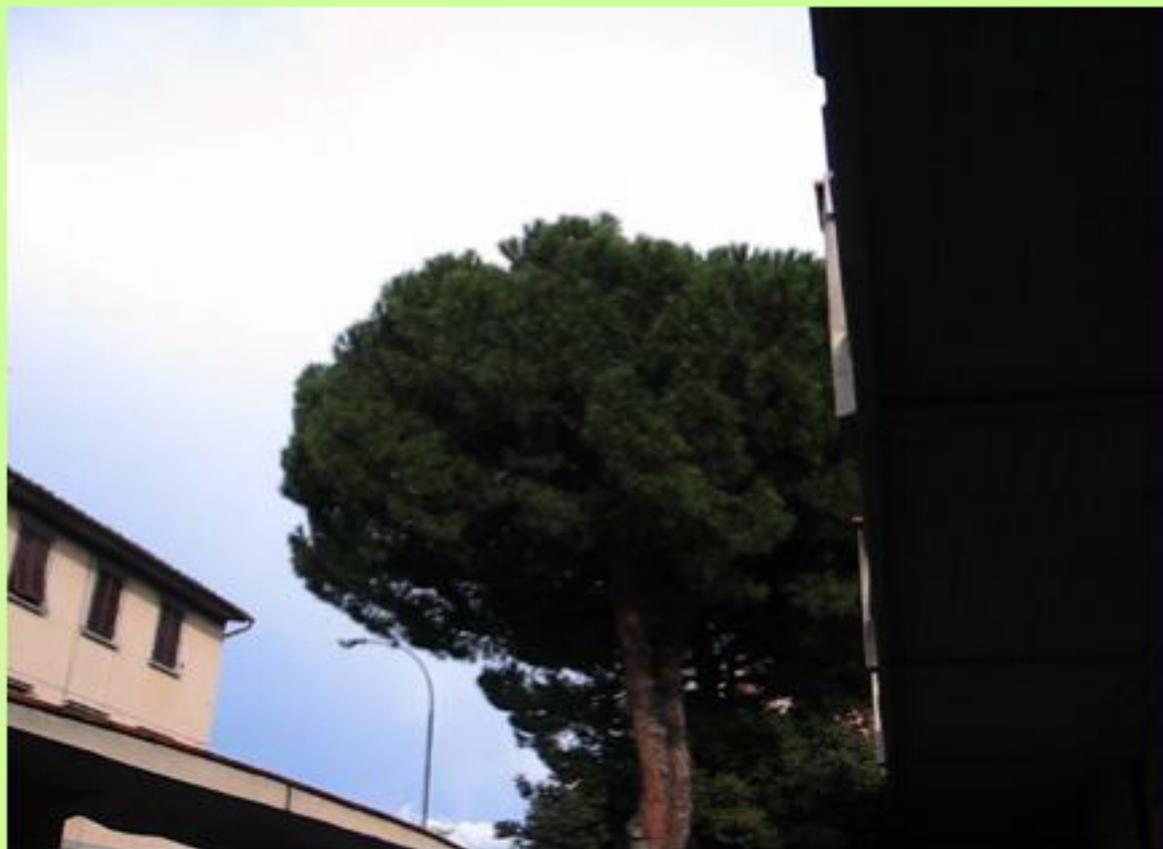


I problemi del vento

***L'albero è una struttura
flessibile che si muove
in flusso turbolento***

***Esiste una dinamica della
interazione aeroelastica***

***Che può essere studiata
confrontando gli spettri
della frequenza
di oscillazione***



ANALISI BIOMECCANICA DI UN RAMO

Si modella la branca suddividendola
in topi

diametro alla base	d(li)	cm	12
lunghezza branca	lb	m	8
lunghezza all'inserzione	lc	m	6
ampiezza branca	ab	m	1
Pchioma rispetto a Plegno	%Pr	%	15
funzione di profilo		-	elastigeom
peso specifico legno fresco	rif	kg/m ³	900
MODULO DI ROTTURA	σ_{max}	kPA	35000
Taglio parallelo alle fibre	τ_{max}	kPA	4700

lunghezza	li	m		0	0.8	1.6	2.4	3.2	4.0	4.8	5.6	6.4	7.2	8.0
diametro	d(li)	cm		12.0	11.0	10.0	8.9	7.9	6.8	5.6	4.4	3.2	1.8	0.0
superficie del toppe	St	m ²		0.09	0.08	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.00
superficie totale legno	ST	m ²	0.52	0.52	0.43	0.35	0.27	0.21	0.15	0.10	0.06	0.03	0.01	0.00
volume del toppe	vt	m ³		0.008	0.007	0.006	0.004	0.003	0.002	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000
volume totale legno	VT	m ³	0.034	0.034	0.026	0.019	0.013	0.009	0.005	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000
massa legno del toppe	ml	kg		7.5	6.2	5.0	4.0	3.0	2.2	1.4	0.8	0.3	0.0	0.0
massa legno branca	ML	kg	30.5	30.5	23.0	16.8	11.8	7.8	4.8	2.6	1.2	0.4	0.0	0.0

lunghezza normaliz. chioma	li/lc	-										0.2	0.6	1.0
ampiezza chioma	a(li)	m										0.64	0.96	0.00
superficie fogliare toppe	Sfg	m ²		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.8	0.0
superficie fogliare branca	SFG	m ²	2.0									2.0	0.8	0.0
massa rami e foglie toppe	Mrm	kg										0.1	0.0	0.0
massa chioma branca	MCH	kg	0.1									0.1	0.0	0.0
massa totale del toppe	Mb	kg		7.5	6.2	5.0	4.0	3.0	2.2	1.4	0.8	0.4	0.1	0.0
MASSA TOTALE BRANCA	MB	kg	31	30.6	23.1	16.9	11.8	7.9	5	3	1	0	0	0
peso totale toppe	Pt	N		73	61	49	39	30	21	14	8	4	1	0
PESO TOTALE BRANCA	PB	N	300	300	226	165	116	77	47	26	12	4	1	0

ANALISI BIOMECCANICA DI UN RAMO

Si stima la sollecitazione a flessione sommando i momenti causati dalla spinta del vento e dal peso del ramo, applicando poi la:

$$\sigma_w = (MB * r) / (\pi/4 * r^4)$$

Infine si confronta con il modulo di rottura al fine di ottenere il fattore di sicurezza ($FS = \sigma_{max}/\sigma_w$)

velocità del vento di riferimento	v₀	m/s	25	90.00 kmh										
altezza di inserzione branca	H_b	m	6											
inclinazione della branca	β	°	90											
velocità del vento sul top	v_t	m/s		25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
coeff. aerodinamico	C_d	-		0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
spinta del vento	f_w	N		21	19	17	15	13	11	9	7	298	178	0
SPINTA DEL VENTO	FW	N	590	590	568	549	532	516	503	492	483	476	178	0

momento locale peso	M_t(P)	N*m		240	181	132	93	62	38	21	10	3	0	0
momento totale peso	MB(P)	N*m	780	780	540	359	227	134	73	35	14	4	0	0
momento locale vento	M_t(F_w)	N*m		472	455	439	425	413	402	393	386	381	142	0
momento totale vento	MB(F_w)	N*m	3909	3909	3437	2963	2543	2118	1705	1302	909	523	142	0
momento locale totale	M_t(B)	N*m		711	636	572	518	475	440	414	396	384	143	0
MOMENTO TOTALE	MB(B)	N*m	4689	4689	3978	3342	2770	2252	1777	1337	922	527	143	0

Sollecitazione a flessione	σ_w	MPa		27.6	30.5	34.3	39.7	47.4	58.9	77.2	109.0	170.7	259.7
Fattore di Sicurezza	FS	-		1.3	1.1	1.0	0.9	0.7	0.6	0.5	0.3	0.2	0.1

momento totale peso	MB(P)	N*m		799	543	353	216	123	63	28	10	2	0	0
momento totale vento	MB(F_w)	N*m		4127	3524	2966	2447	1963	1509	1082	676	285	-36	0
MOMENTO TOTALE	MB(B)	N*m		4926	4067	3319	2663	2086	1573	1110	685	288	-35	0

Sollecitazione a flessione	σ_w	MPa		29.0	31.2	34.1	38.2	43.9	52.1	64.1	81.0	93.3	-64.5
Fattore di Sicurezza	FS	-		1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.5	0.4	0.4	

ANALISI BIOMECCANICA DEI FUSTI CODOMINANTI

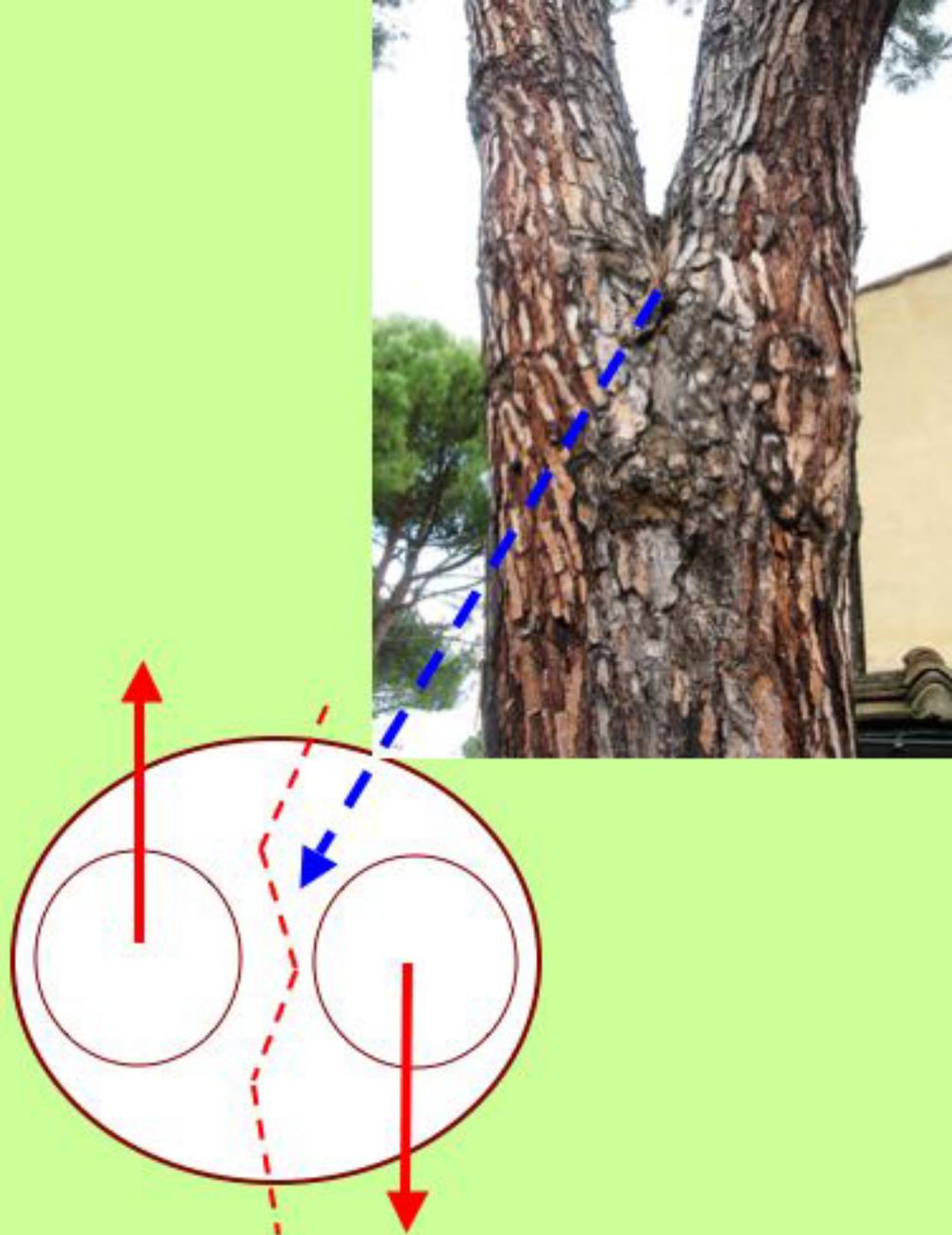
Si può valutare la capacità di resistenza dell'inserzione in un albero con fusti codominanti:

modellizzando le due chiome si può stimare il momento torsionale indotto dal vento nel caso (più gravoso) in cui i due rami oscillino con verso opposto.

La sollecitazione a taglio nella zona di inserzione è:

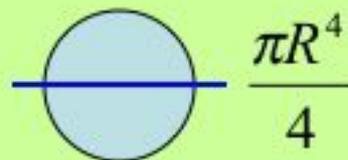
$$\tau_w = 4/3 * F_w / (\pi/4 * r^2)$$

Si può confrontare questo valore con il modulo di rottura a taglio, ottenendo il corrispondente fattore di sicurezza.

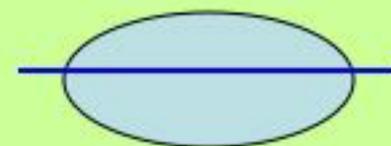


LE CAVITÀ: come si misura il modulo di inerzia?

- **Procedura in autocad!**
(o in altri software)



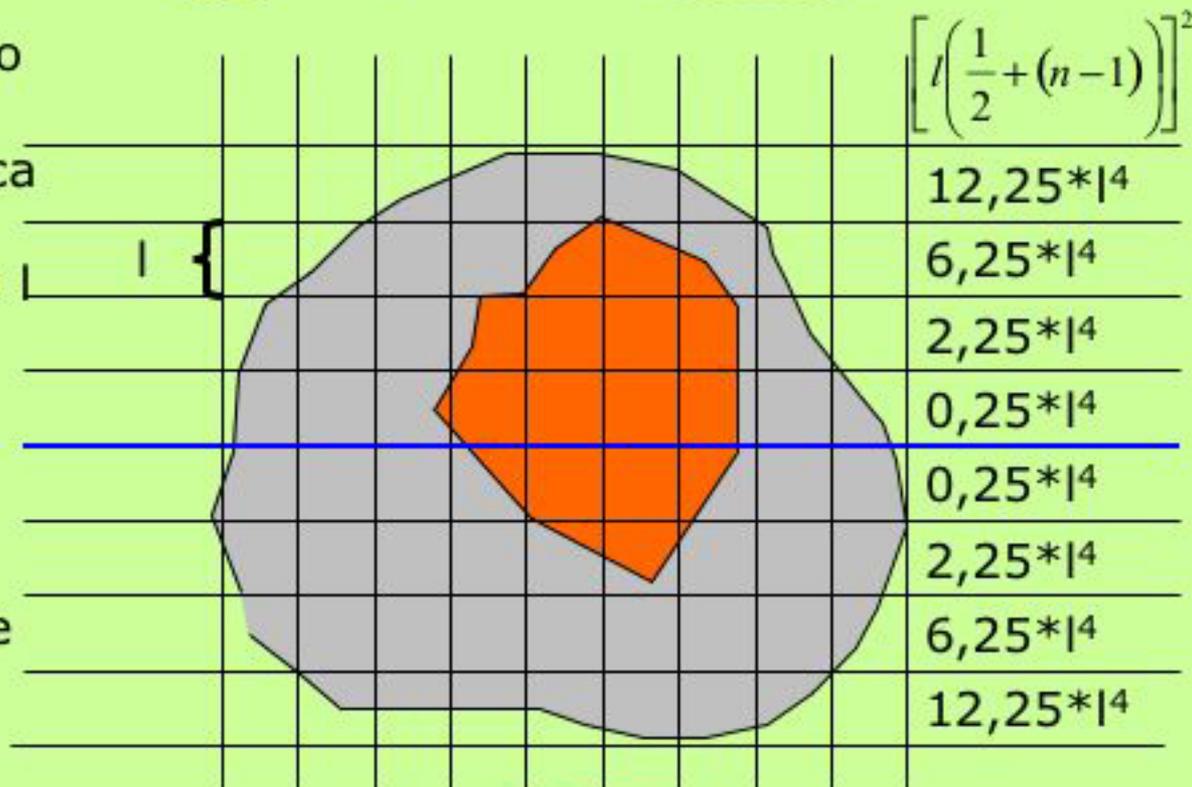
$$\frac{\pi R^4}{4}$$



$$\frac{\pi}{4} a^3 b$$

- **Metodo dei riquadri**

- Determinare l'asse neutro in condizioni di vento distribuito => forma critica
- Costruire una griglia a maglia quadrata di lato l noto il più piccolo possibile!
- Sovrapporla alla sezione del tronco in scala
- Calcolare per ogni quadratino pieno il valore di riga come contributo al modulo di inerzia I
- Stimare il contributo dei quadrati semipieni
- Sommare i contributi di tutti i quadratini



$$I = \int d^2 dA$$

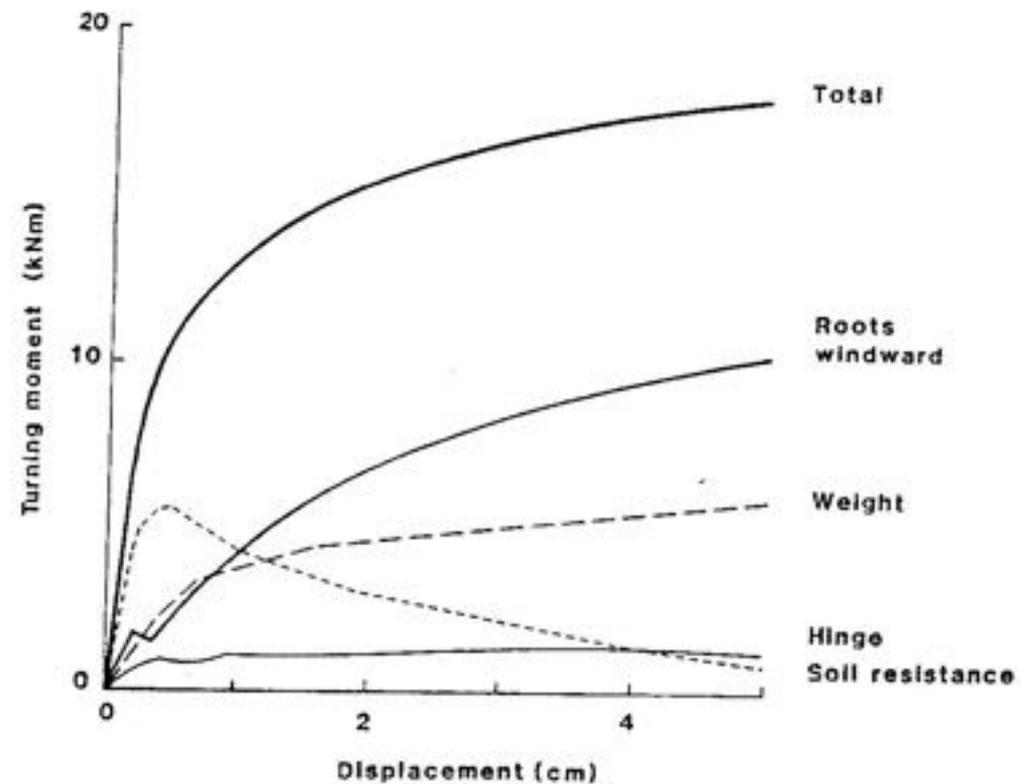
$$\left[l \left(\frac{1}{2} + (n-1) \right) \right]^2$$

APPARATO RADICALE

Analisi biomeccanica

L'AR contribuisce alla stabilità e si oppone allo sradicamento per mezzo di 4 componenti:

- peso della zolla radicale (suolo e radici che "tengono giù" la zolla);
- resistenza a taglio del suolo;
- resistenza a tensione delle radici sopravvento;
- resistenza a flessione delle radici sottovento nella zona del fulcro.



Contribuiscono a determinare la dinamica del sistema anche:

- forza peso dell'albero (a favore o contro la stabilità in relazione all'eccentricità del carico, sia in calma di vento che al variare della velocità del vento);
- carichi aggiuntivi (forzante eolica-neve-ghiaccio).

APPARATO RADICALE

Analisi biomeccanica

1) Resistenza a flessione delle radici sottovento

$$M_l = \sum_{i=1}^n \pi \sigma_i R_i^2$$

con n radici di raggio R_i e resistenza σ_i .

2) Resistenza dei sinker e delle radici sopravento allo sradicamento

$$M_s = \sum_{i=1}^m \pi \sigma_i R_i^2 x_i$$

con m radici di raggio R_i e resistenza σ_i , tirate fuori dal terreno a una distanza x_i dal fulcro

3) Resistenza della zolla radicale al cedimento per tensione con σ_t , resistenza tensile del suolo

$$M_t = \int x_i \sigma_i dA$$

4) Resistenza data dal peso della zolla rispetto al fulcro.

$$M_w = mgx_r$$

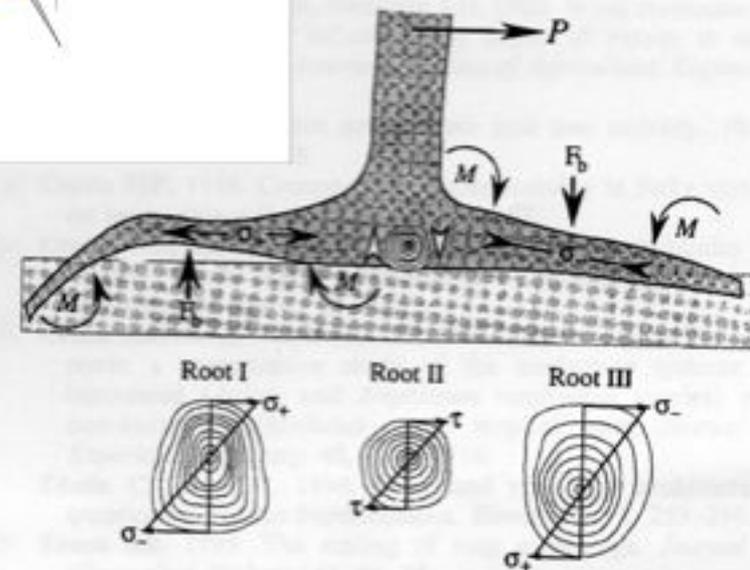
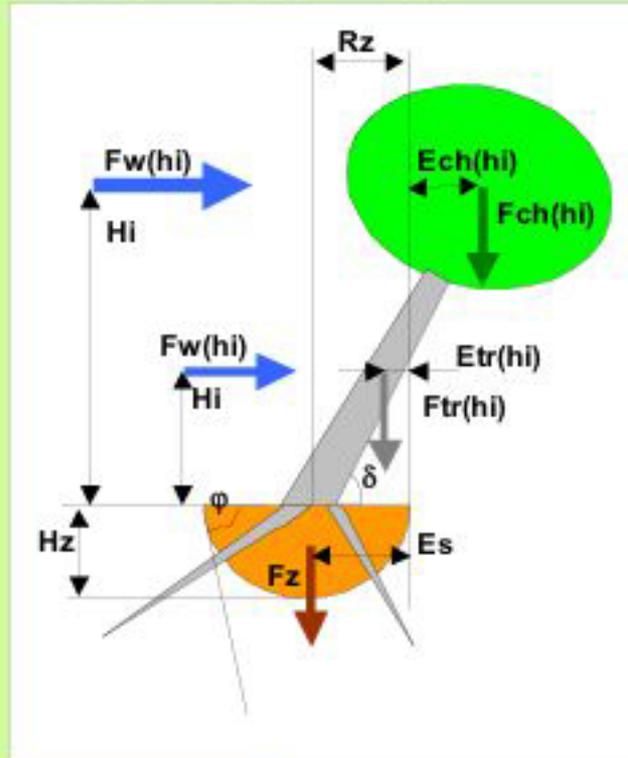
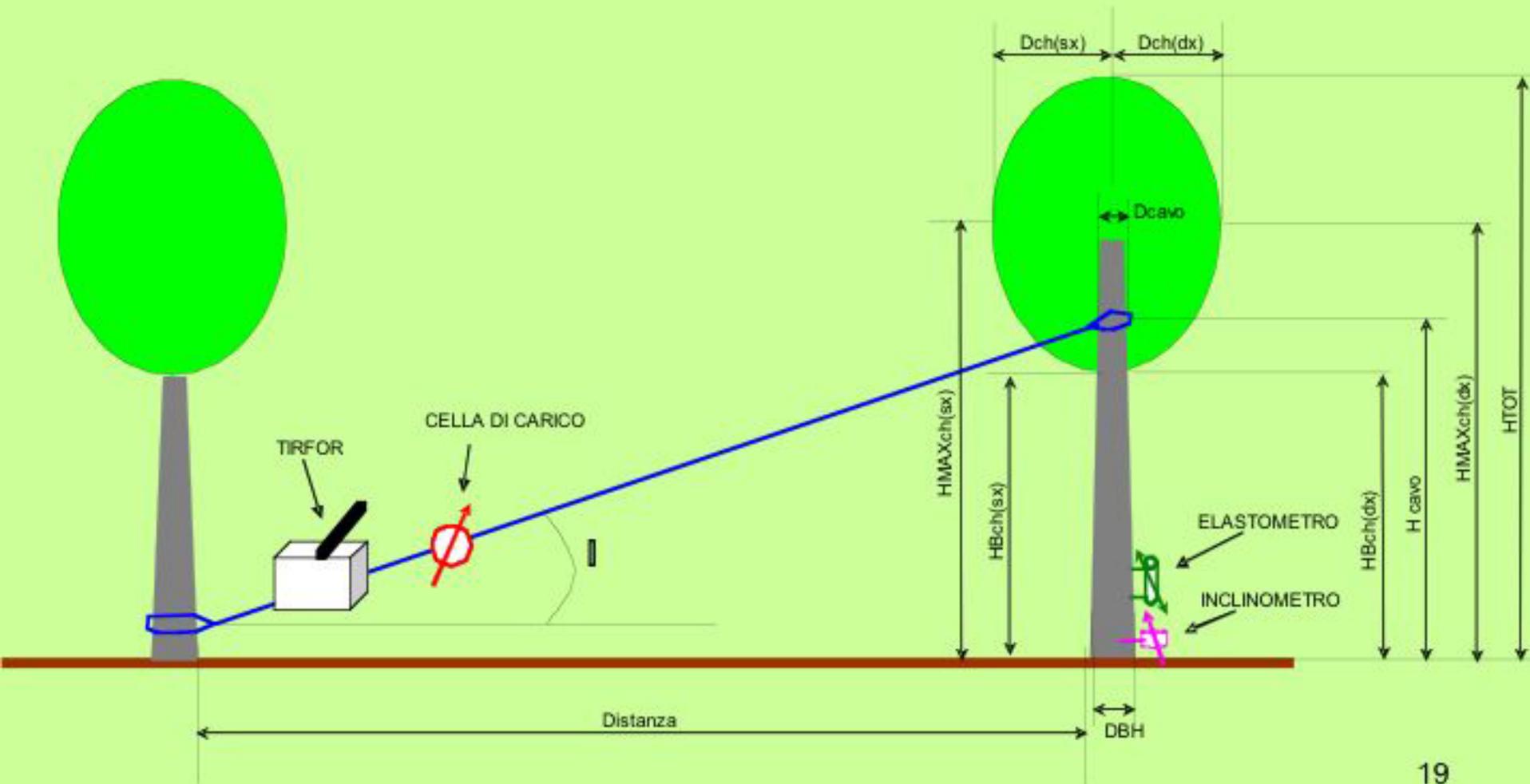


Fig. 8. Presumed loading conditions for a tree trunk and root system.

PROVE DI TRAZIONE CONTROLLATA

Possono essere utilizzate per:

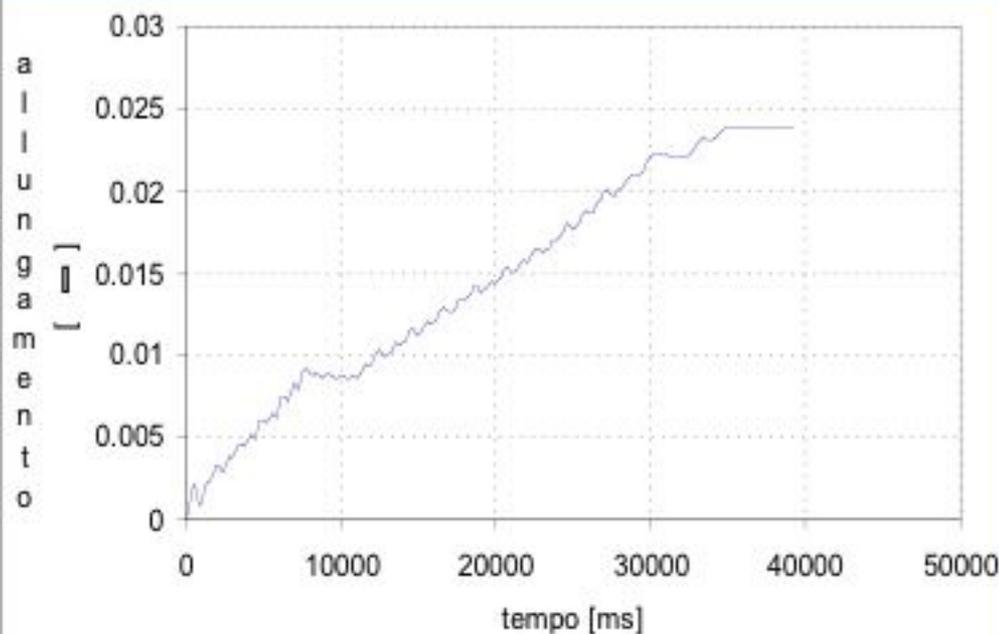
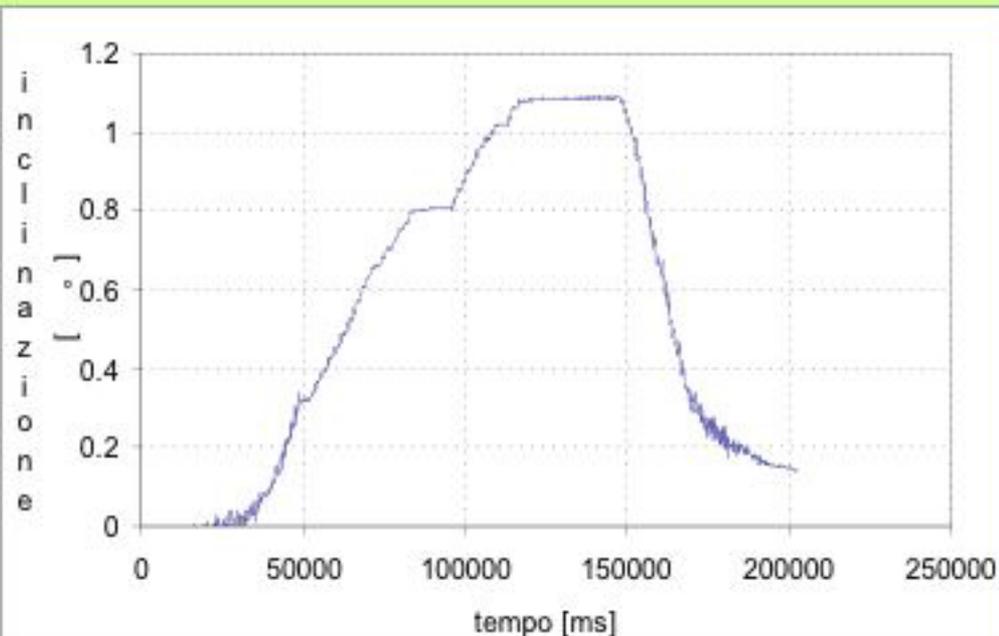
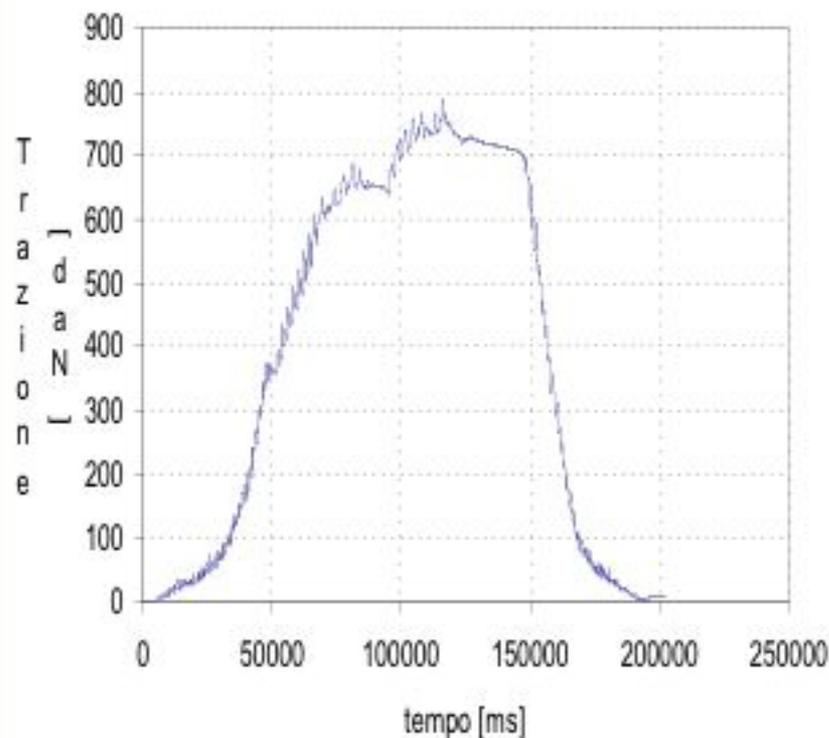
- Verifica della propensione al ribaltamento della zolla
- Verifica della propensione al cedimento del tronco



PROVE DI TRAZIONE CONTROLLATA

Si misura contemporaneamente:

- La trazione esercitata dal tirfor
- L'inclinazione della zolla radicale
- L'allungamento delle fibre del legno



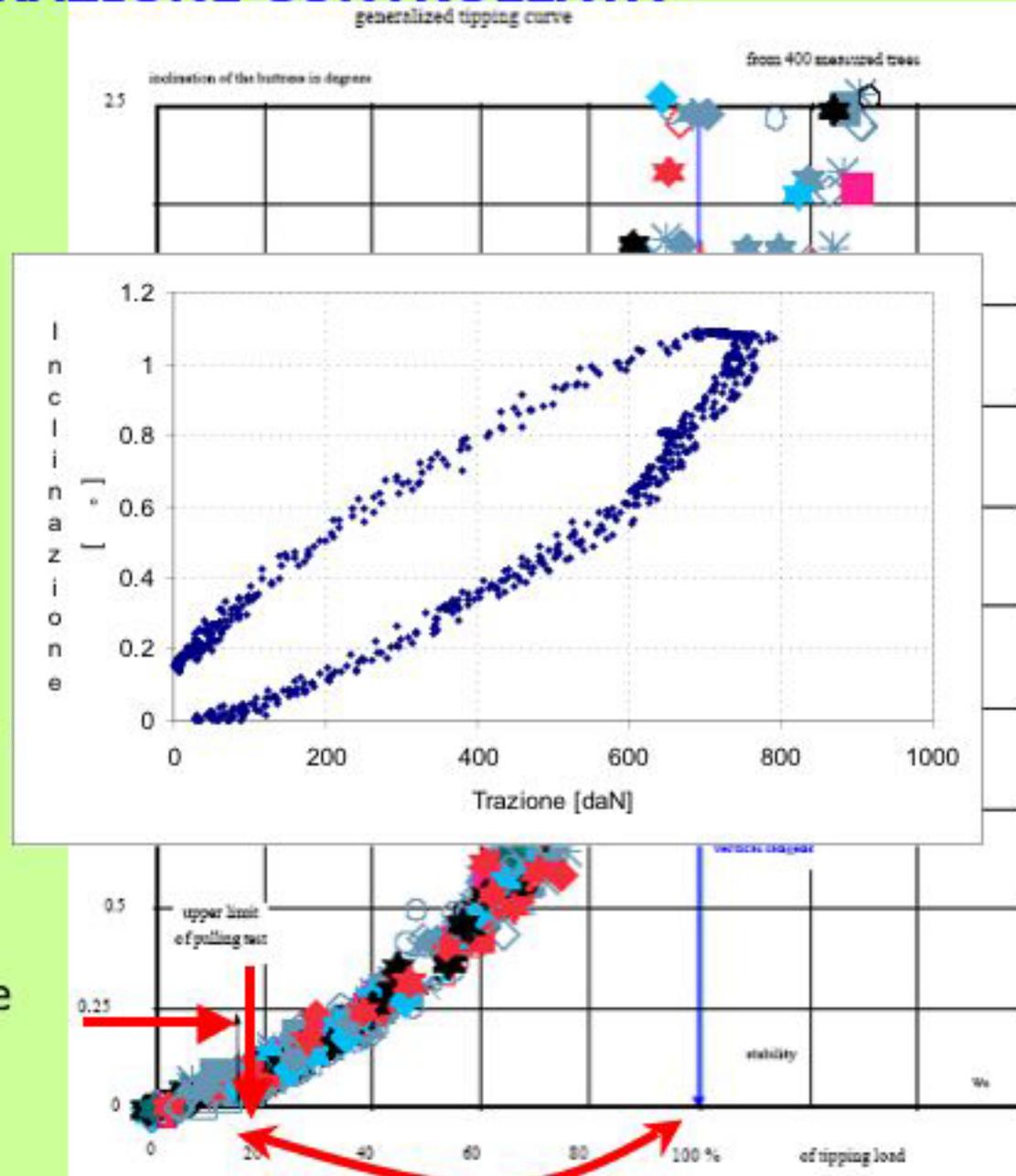
PROVE DI TRAZIONE CONTROLLATA

Abbiamo dati per capire:

- L'inclinazione della zolla radicale in funzione della trazione esercitata
- Si confronta con la curva tipo (tipping curve) per determinare il carico necessario per ribaltare la zolla
- Si stima la velocità del vento (o il peso della neve) che determinano il carico individuato per il ribaltamento della zolla

$$v = \sqrt{\frac{2F_w \max}{\rho C_d A h_g \phi}}$$

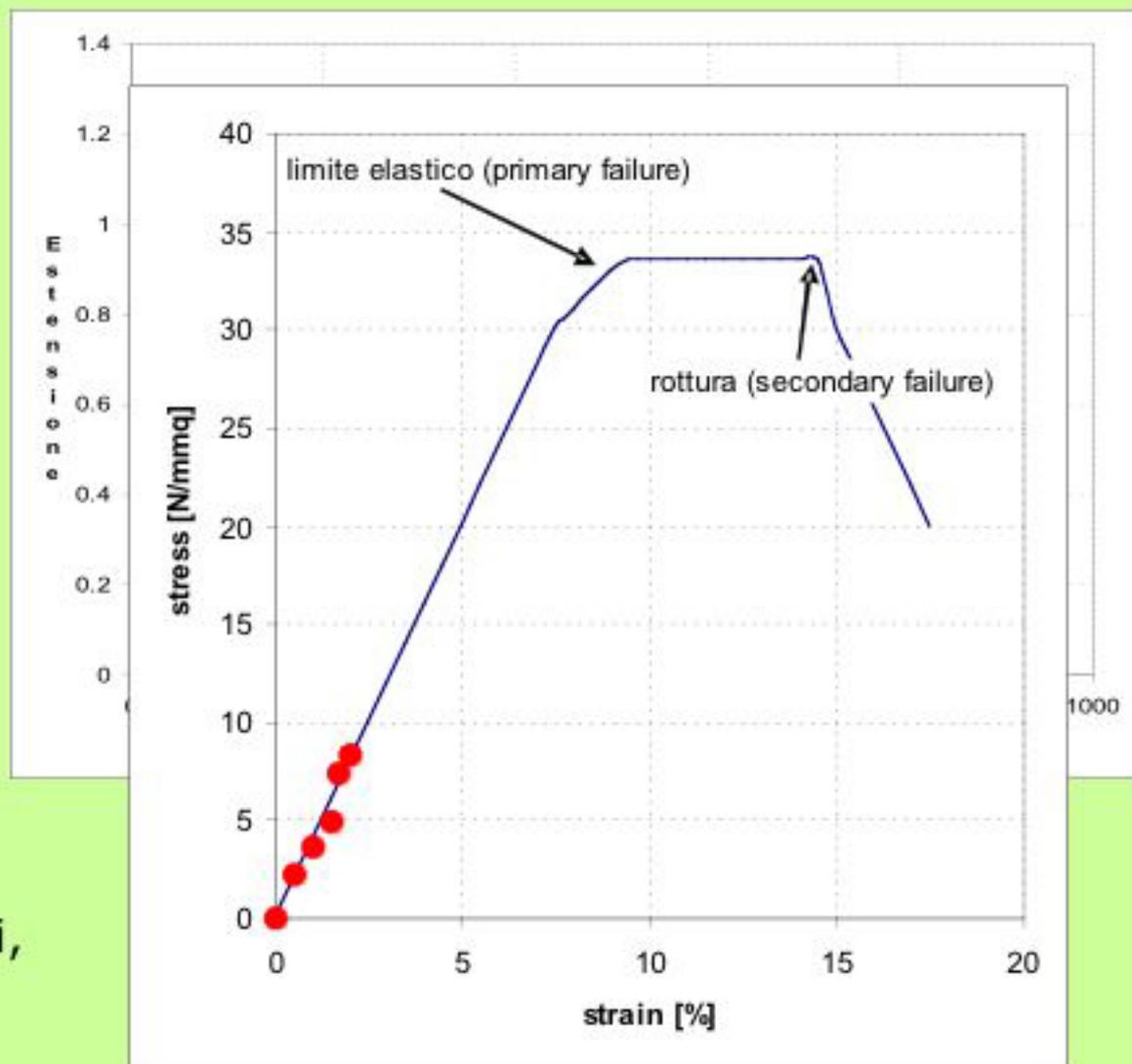
- Si verifica se un vento di tale intensità si può verificare e in quali condizioni, nel sito di vegetazione dell'albero



PROVE DI TRAZIONE CONTROLLATA

Abbiamo dati per capire:

- L'allungamento delle fibre di legno del tronco, nella zona più critica in funzione della trazione esercitata
- Si determina il carico limite cioè il carico che comporta il passaggio dallo stato elastico a quello plastico
- Si stima la velocità del vento (o il peso della neve) che determina sull'albero tale carico
- Si verifica se un vento di tale intensità si può verificare e in quali condizioni, nel sito di vegetazione dell'albero



***Il lavoro sugli alberi
Si impara soltanto
Lavorando con gli alberi***

***Grazie per l'attenzione
e... buon lavoro!***

Marco Vieri - marco.vieri@unifi.it

Mario Moschi - marmo65@yahoo.com

Luigi Sani - gifor@gifor-net.it