Cofinanziatori

CSPFEA ENGINEERING SOLUTIONS

AGRO SERVICE

Fast System srl
TECNOLOGIE INNOVATIVE PER L'ANCORAGGIO A SCOMPARSA

EG⁴ RISK

DISAT-UNIMIB

Valutazione deterministica della stabilità

Riccardo Castellanza[1], Giovanni Crosta[1], Alberto Villa[1], Stefano Basirico'[1], Giuseppe Dattola[1], Christian Sala, Claudio di Prisco[2]

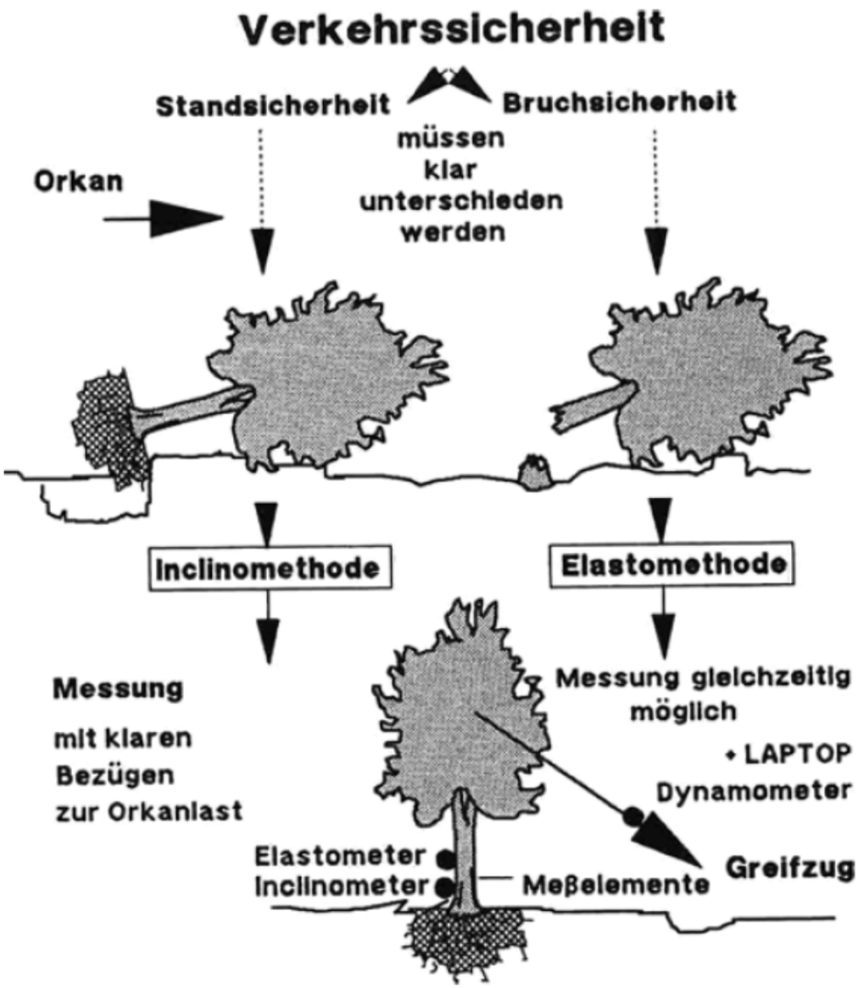
[1] *DISAT, Department of Earth and Envinronmental Sciences*

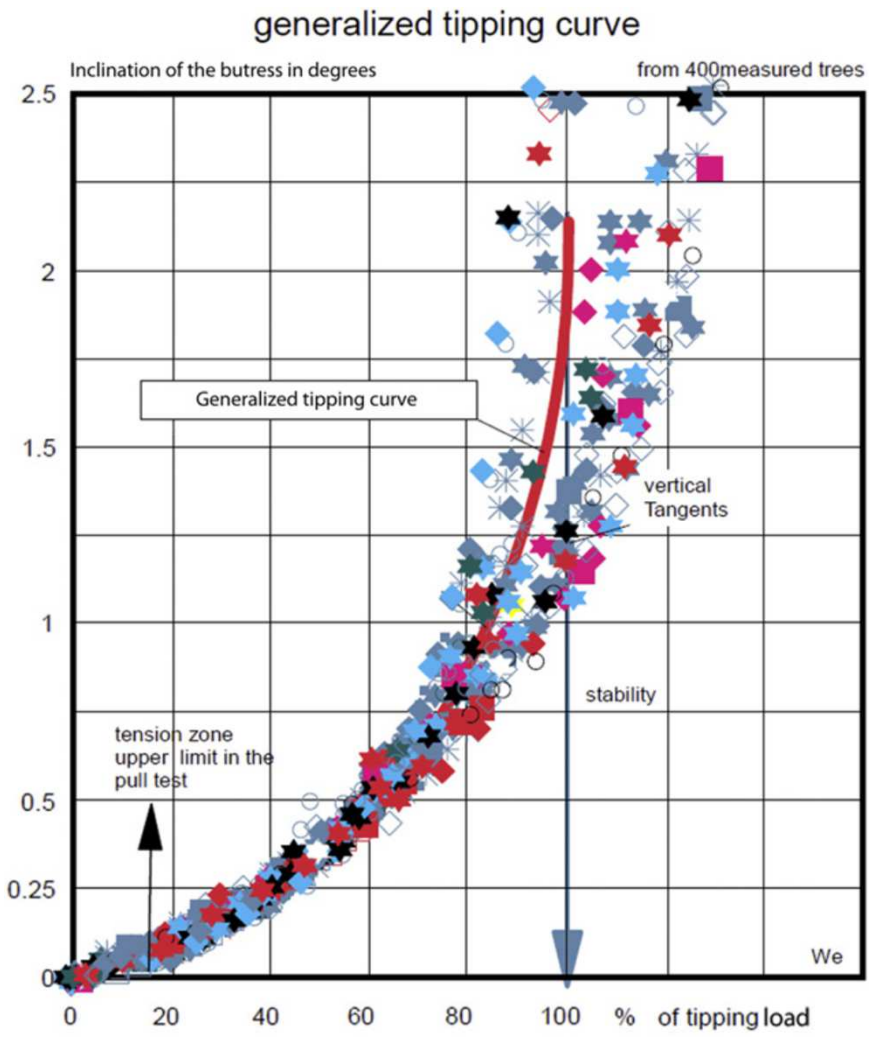
Università degli Studi Milano Bicocca, Italy

[1] *DICA – Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale, Politecnico di Milano*

Obiettivo: definire la stabilità di alberi ad alto fusto

1) In situazioni normali…





2) In situazioni complesse…

Caso 1 - Stretta interazione :Liquidambar e Platano

Complessità: a) minima distanza (circa 2m); b) apparato radicale sovrapposto
c) Interazione vento con edifice e piante

Caso 2: Cedro già rinforzato adiacente a piscina

Complessità: a) forma inclinata; b) presenza di stampelle in acciaio;
c) Interazione con piscina

Proposta approccio deterministico

In cosa consiste? : Punti salienti:

1) Studio in dettaglio dei vari fattori in gioco;
2) creazione di un modello complesso;
3) Gestione di situazioni anomale

Fase 1: stima 3D impianto radicale

Fase 2: ricostruzione 3D fusto e pianta

Fase 3: Analisi e modellazione vento

Fase 4: definizione parametri di resistenza e rigidezza

Fase 5: analisi 3D interazione terreno/pianta/vento

Fase 6: predizione (num) e validazione (sperim)

Fase 7: verifica stabilità ed progettazione interventi di rinforzo

Applicazione a caso di studio 1

In cosa consiste? : Punti salienti:

1) Studio in dettaglio dei vari fattori in gioco;
2) creazione di un modello complesso;
3) Gestione di situazioni anomale

Fase 1: stima 3D impianto radicale

Fase 2: ricostruzione 3D fusto e pianta

Fase 3: Analisi e modellazione vento

Fase 4: definizione parametri di resistenza e rigidezza

Fase 5: analisi 3D interazione terreno/pianta/vento

Fase 6: predizione (num) e validazione (sperim)

Fase 7: verifica stabilità ed progettazione interventi di rinforzo

Applicazione a caso di studio 2

In cosa consiste? : Punti salienti:

1) Studio in dettaglio dei vari fattori in gioco;
2) creazione di un modello complesso;
3) Gestione di situazioni anomale

Fase 1: stima 3D impianto radicale

Fase 2: ricostruzione 3D fusto e pianta

Fase 3: Analisi e modellazione vento

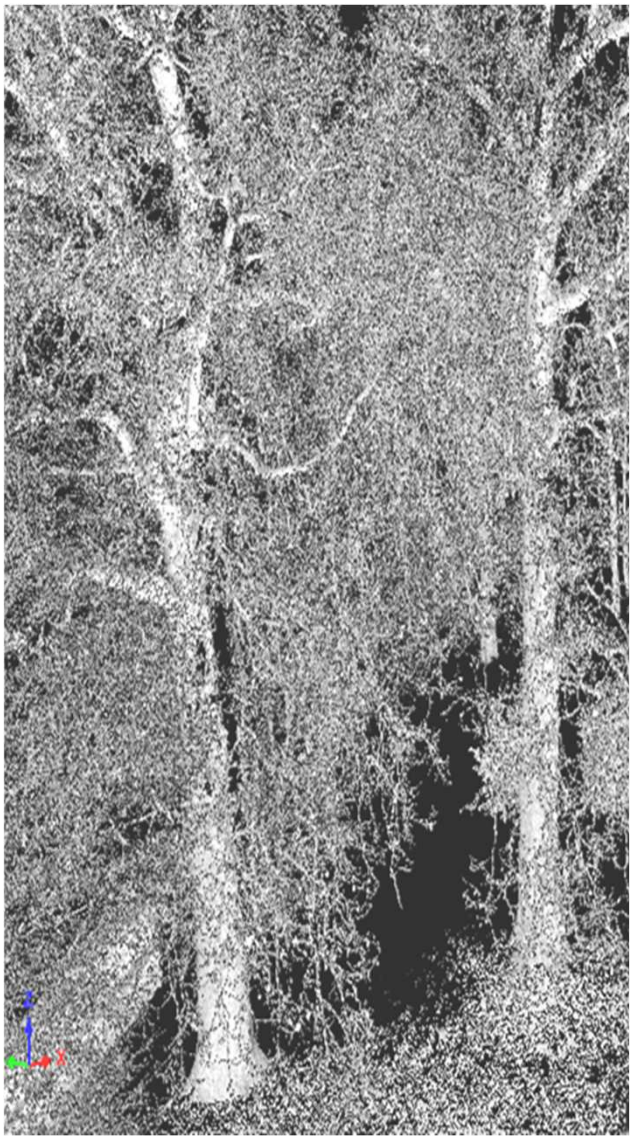
Fase 4: definizione parametri di resistenza e rigidezza

Fase 5: analisi 3D interazione terreno/pianta/vento

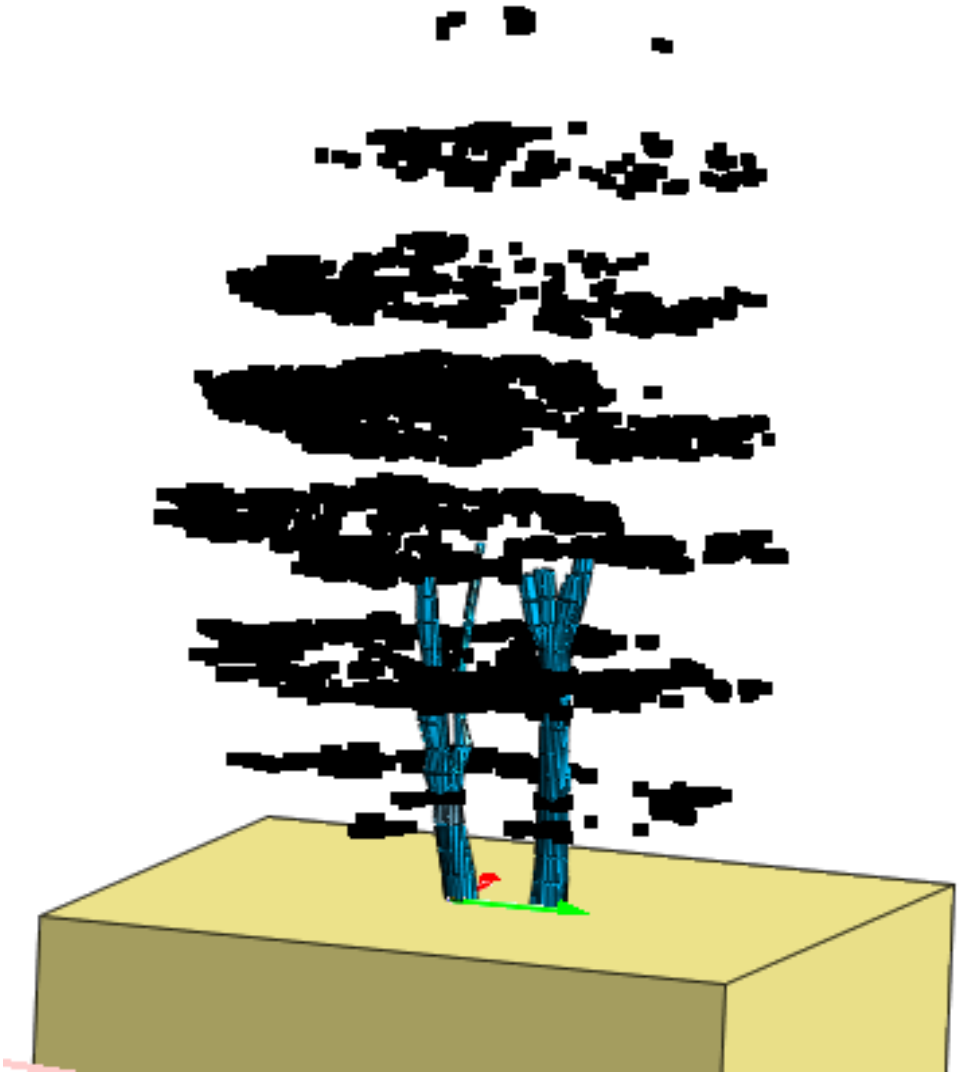
Fase 6: predizione (num) e validazione (sperim)

Fase 7: verifica stabilità ed progettazione interventi di rinforzo

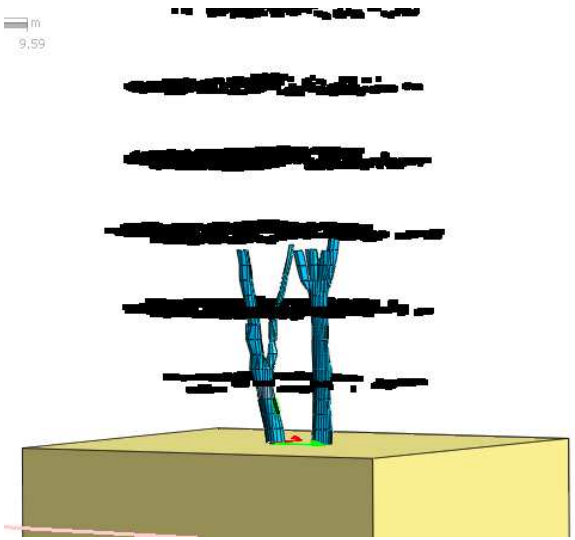
Caso 1 – Fase 2 : ricostruzione 3D

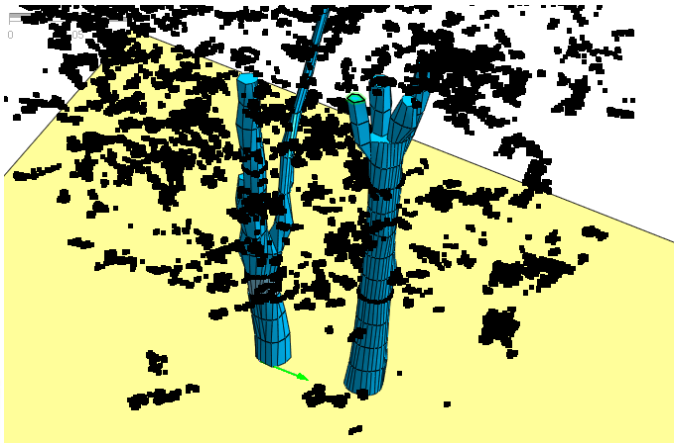


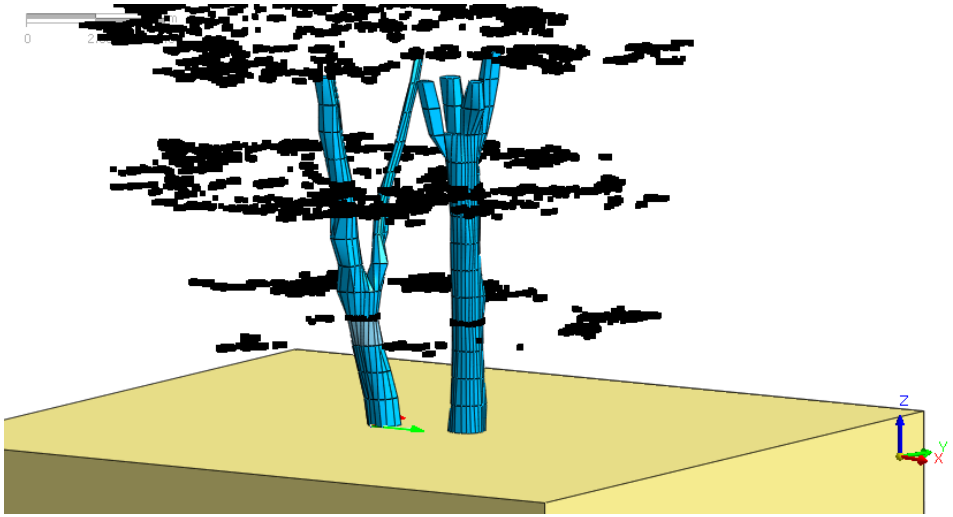
Caso 1 – Fase 2 : ricostruzione 3D



Caso 1 – Fase 2 : ricostruzione 3D

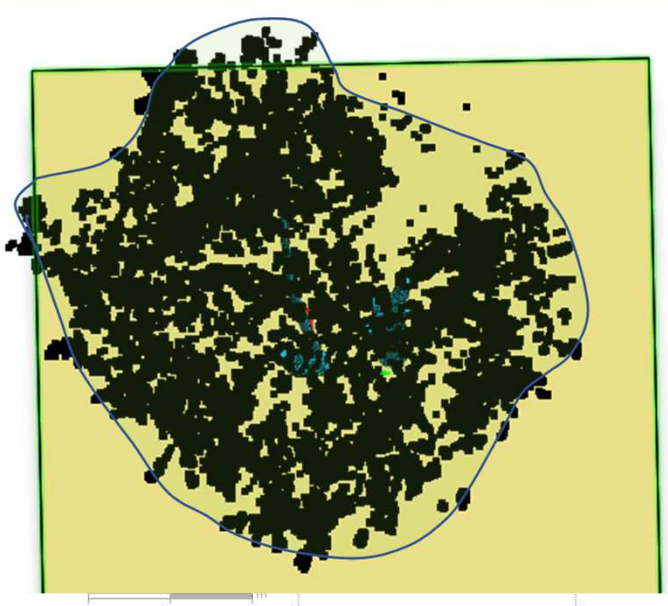




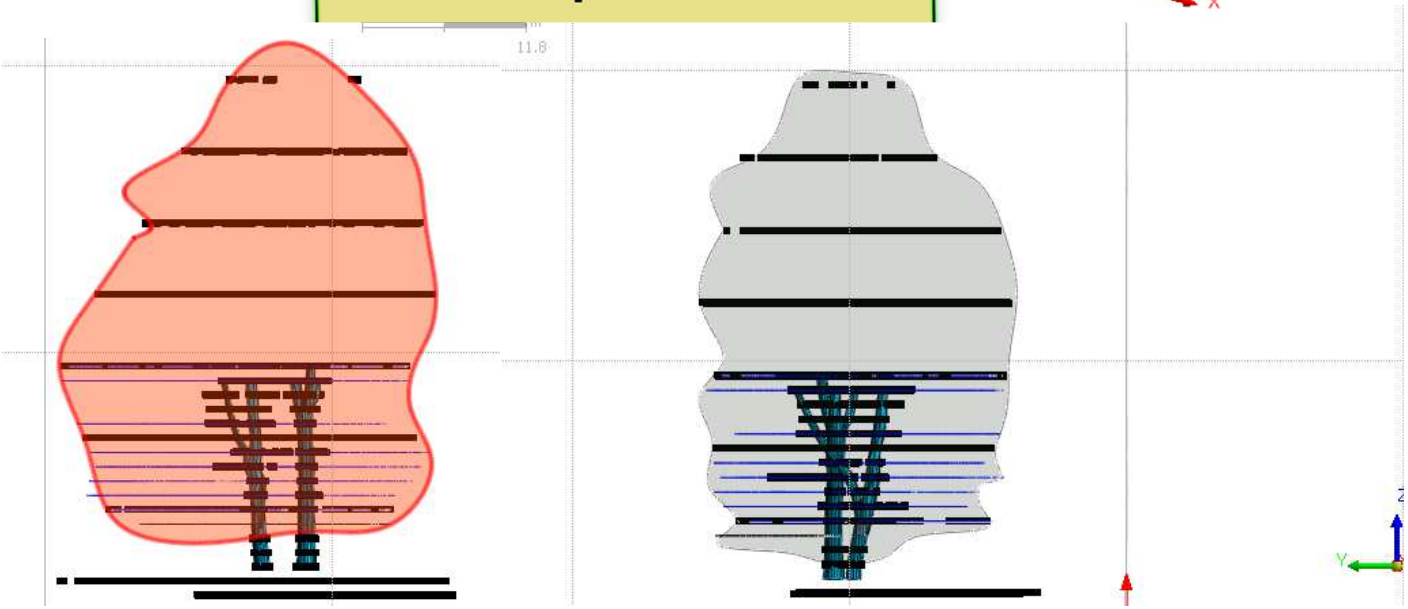


Caso 1 – Fase 2 : ricostruzione 3D

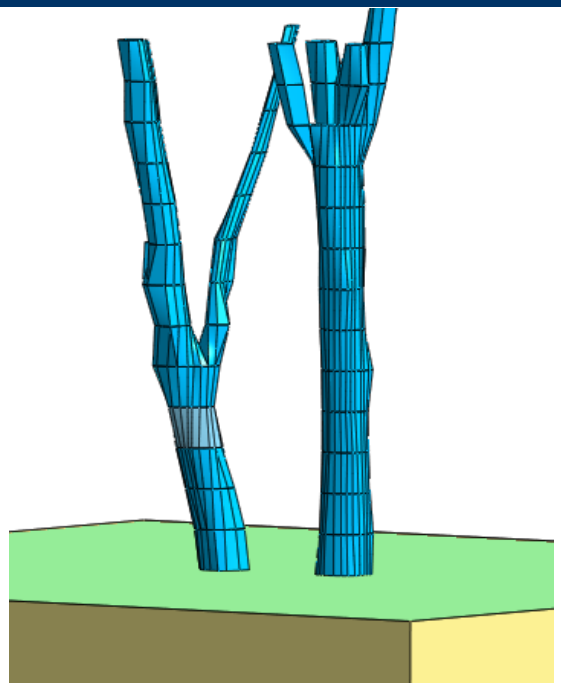
vista da Est : estensione globale area 665mq

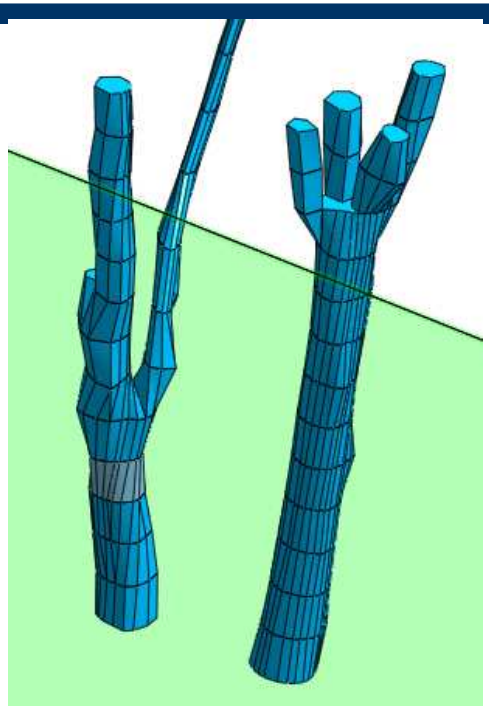


vista da Ovest: estensione globale area 613mq



Caso 1 – Fase 2 : ricostruzione 3D

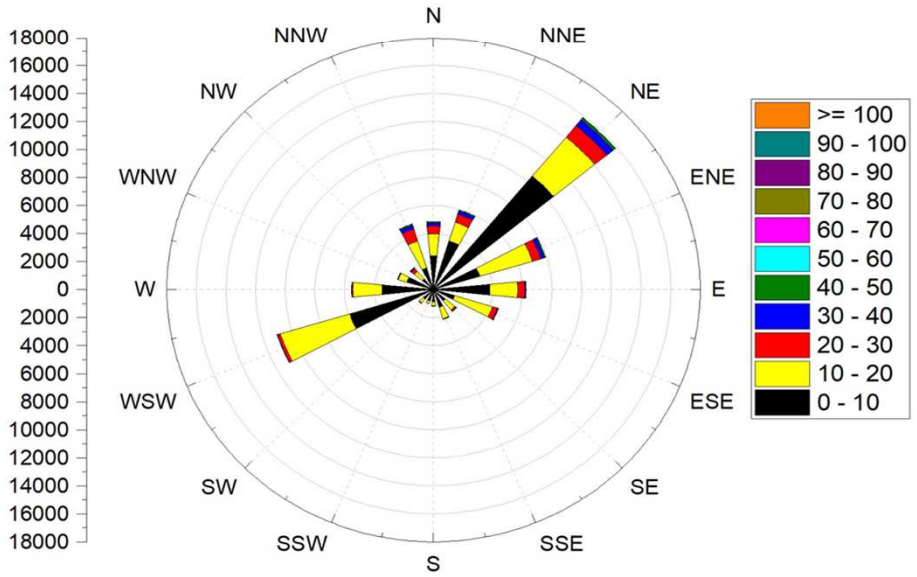




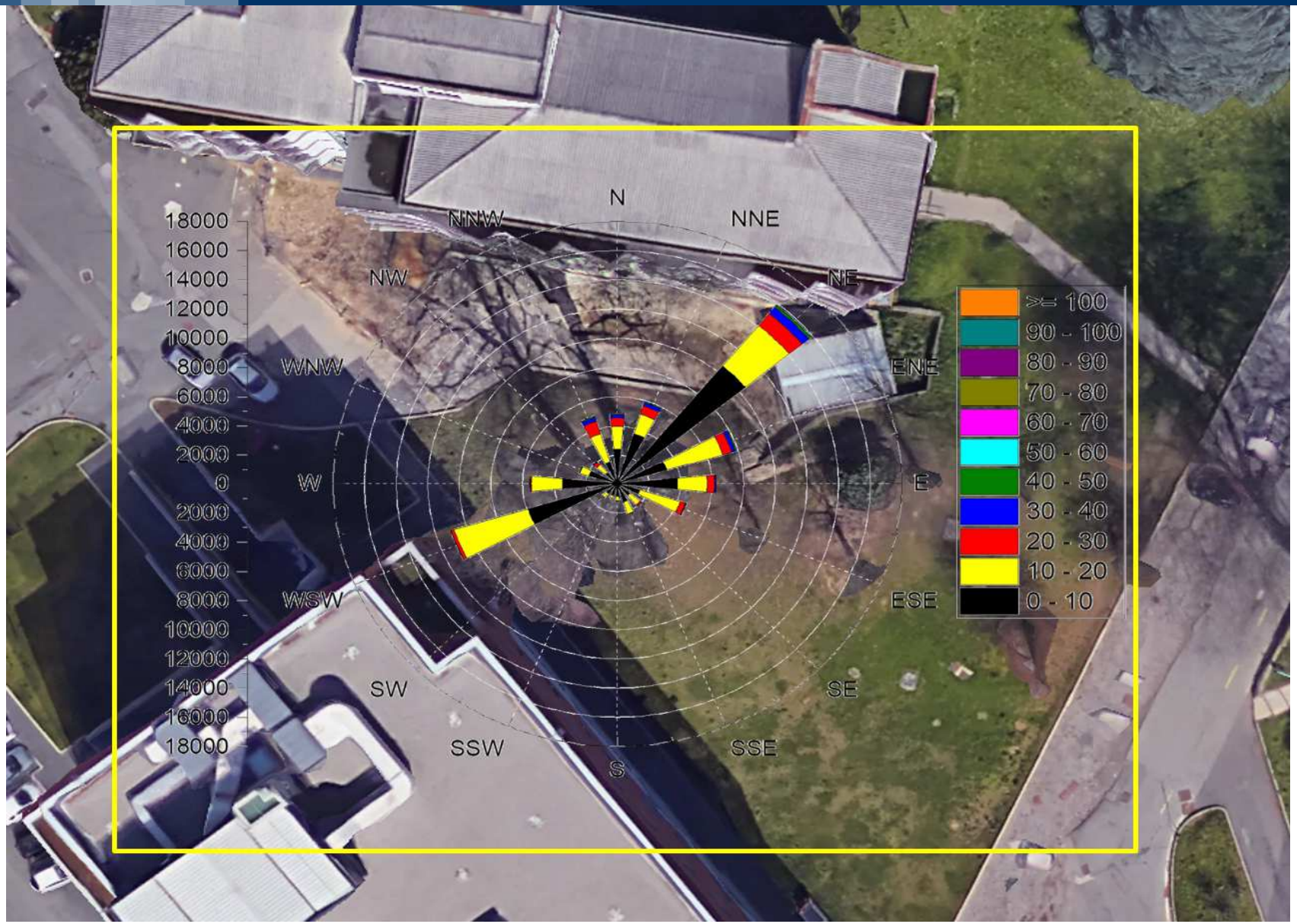
	Platano	Liquidambar	Liquidambar+Platano
Altezza	32 m	38 m	38
Diametro tronco	110 cm	140 cm	-
Area corona	310 m^2	345m^2	vista NW: 665 m^2 vista SE: 613 m^2 in pianta = circa 250 m^2
Altezza centro corona	19 m	27 m	-

Tabella 1. Dimensioni dei due alberi e loro inviluppo.

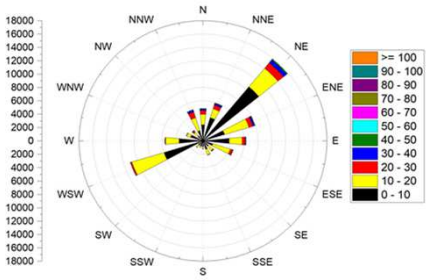
Caso 1 – Fase 3 : vento (monitoraggio)

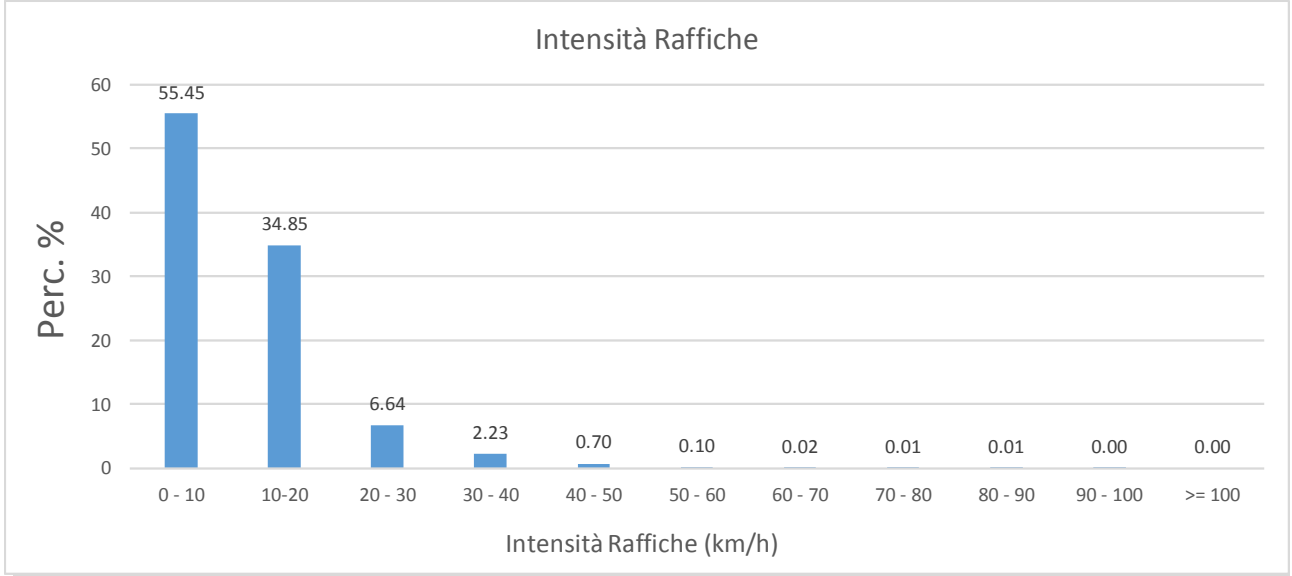


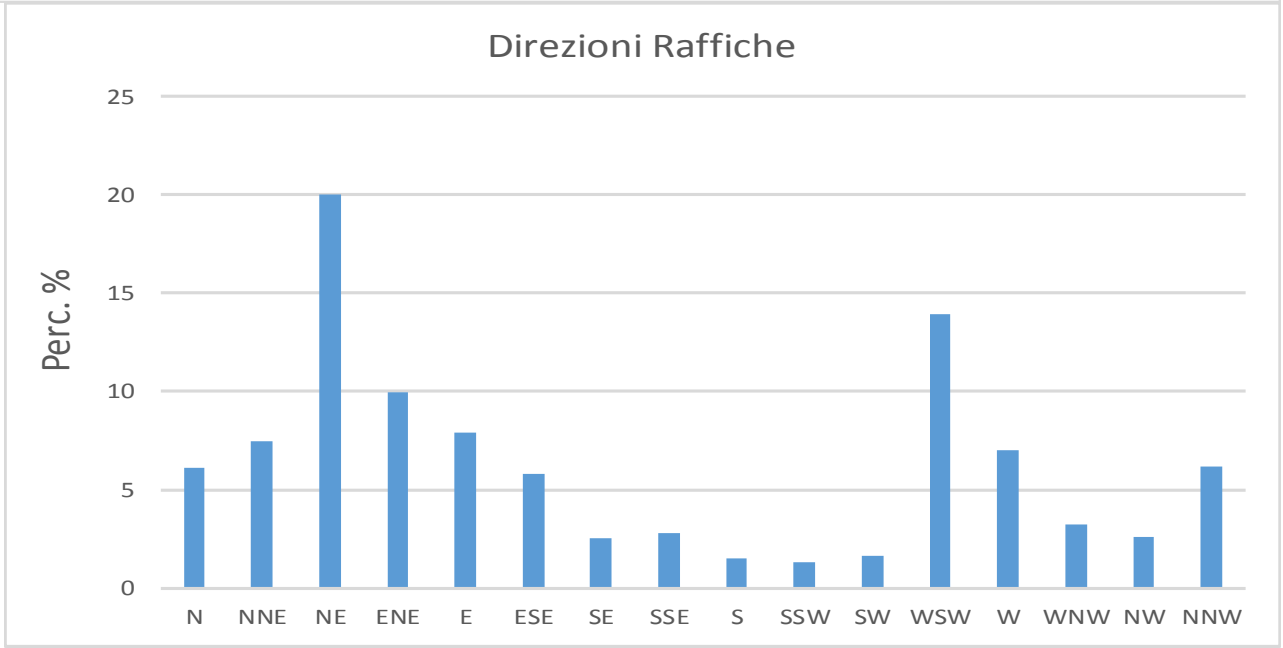
Caso 1 – Fase 3 : vento (monitoraggio)



Caso 1 – Fase 3 : vento (monitoraggio)







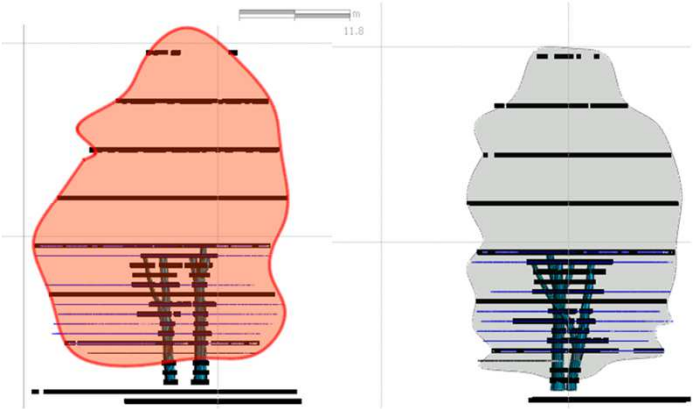
Caso 1 – Fase 4: analisi semplificata

liquidambar

Velocità della raffica più elevata registrata:	v_b =	30 m/s
Densità dell'aria:	ρ =	1,25 kg/m^3
Pressione cinetica di riferimento:	$q_b = 0.5 \times \rho \times v_b^2$ =	562.50 Pa
Coefficiente di esposizione:	c_e =	2.3

(da figura 3.3.3, D.M. 14 gennaio 2008, per altezza z = 36m e area di V categoria)

Coefficiente di forma:	c_p =	1
Coefficiente dinamico:	c_d =	1
Pressione del vento:	$p = q_b \times c_e \times c_p \times c_d$ =	1293.75 Pa
Coefficiente di permeabilità:	μ =	0.25
Momento (valore caratteristico):	$E_k = \mu \times p \times A \times h$ =	2090.64 kNm



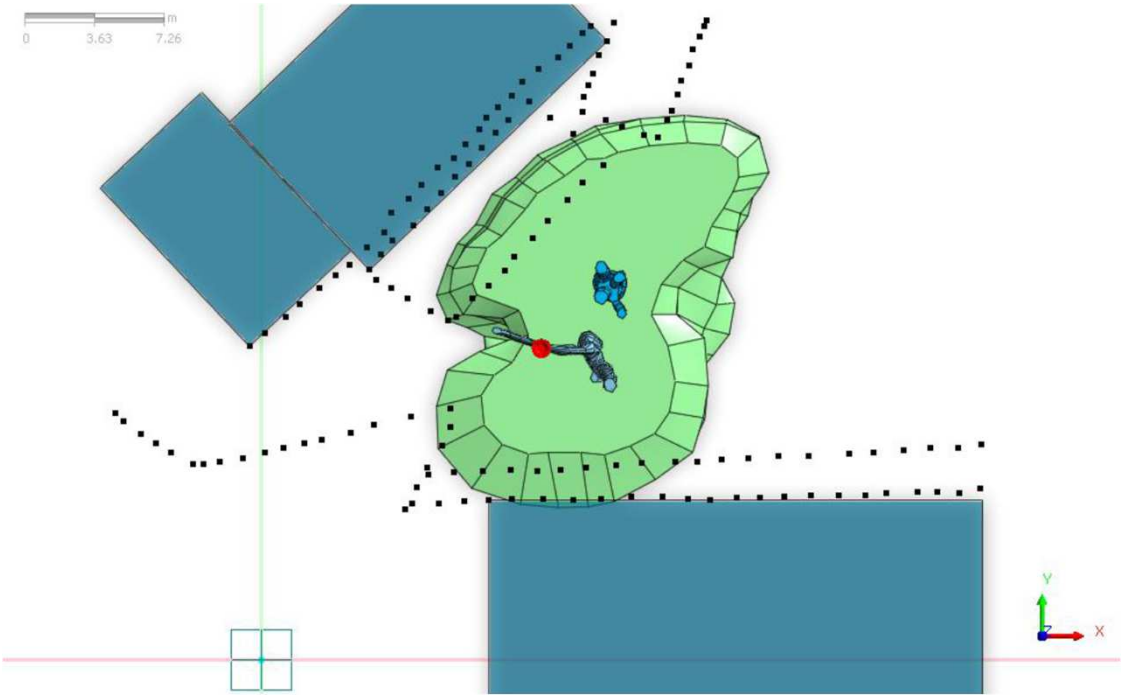
platano

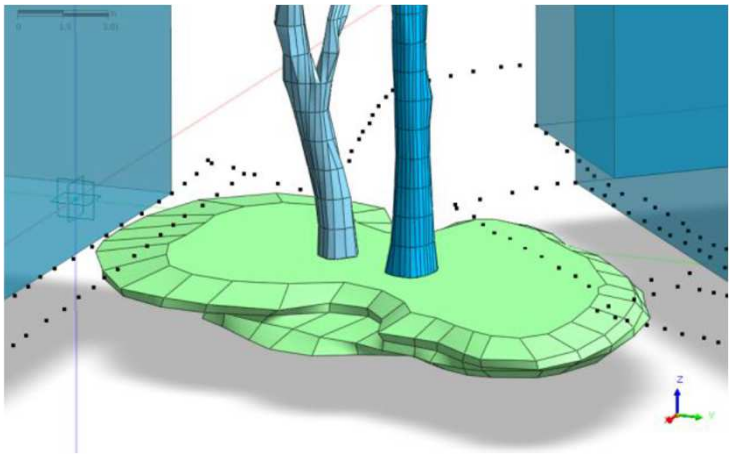
Velocità della raffica più elevata registrata:	v_b =	30 m/s
Densità dell'aria:	ρ =	1,23 kg/m^3
Pressione cinetica di riferimento:	$q_b = 0.5 \times \rho \times v_b^2$ =	562.50 Pa
Coefficiente di esposizione:	c_e =	2.15

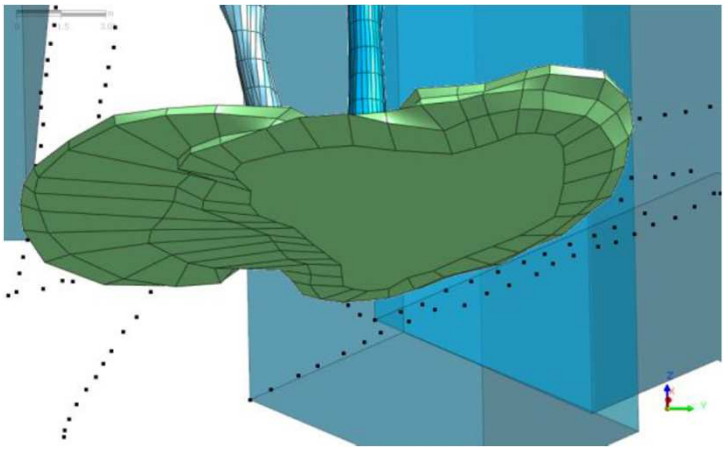
(da figura 3.3.3, D.M. 14 gennaio 2008, per altezza z = 30m e area di V categoria)

Coefficiente di forma:	c_p =	1
Coefficiente dinamico:	c_d =	1
Pressione del vento:	$p = q_b \times c_e \times c_p \times c_d$ =	1209.38 Pa
Coefficiente di permeabilità:	μ =	0.25
Momento (valore caratteristico):	$E_k = \mu \times p \times A \times h$ =	2207.35 kNm

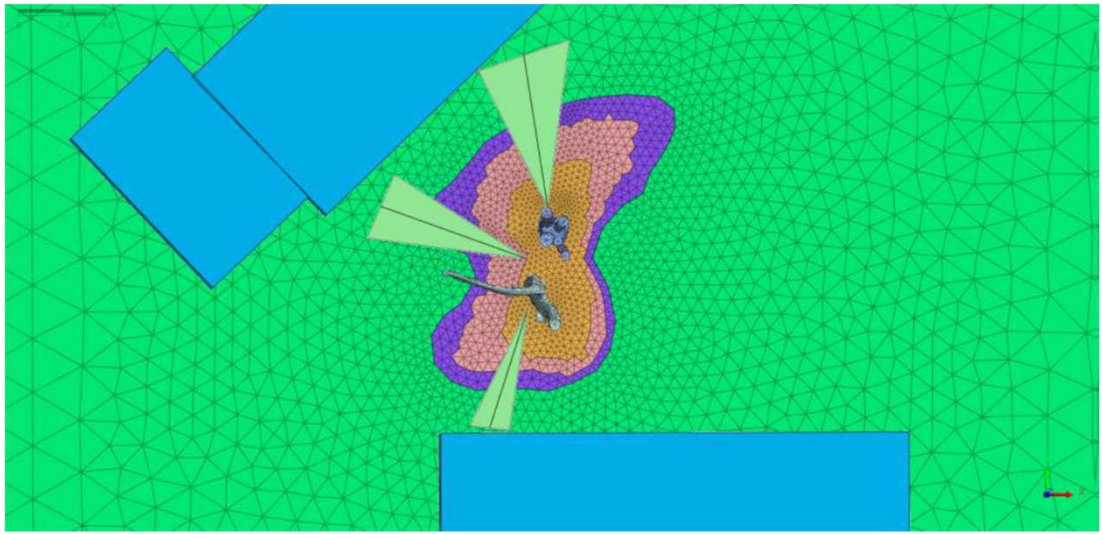
Caso 1 – Fase 5: modellazione avanzata

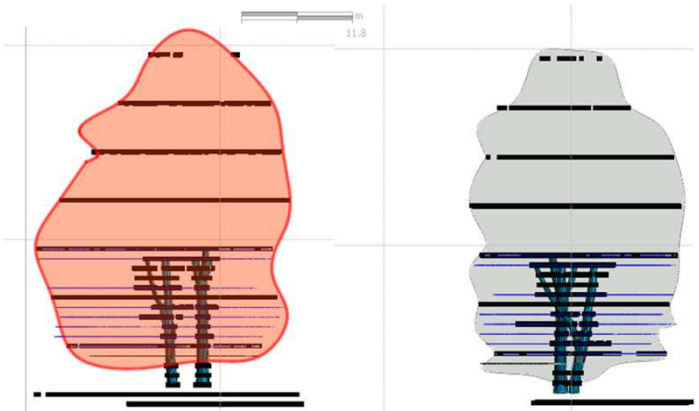


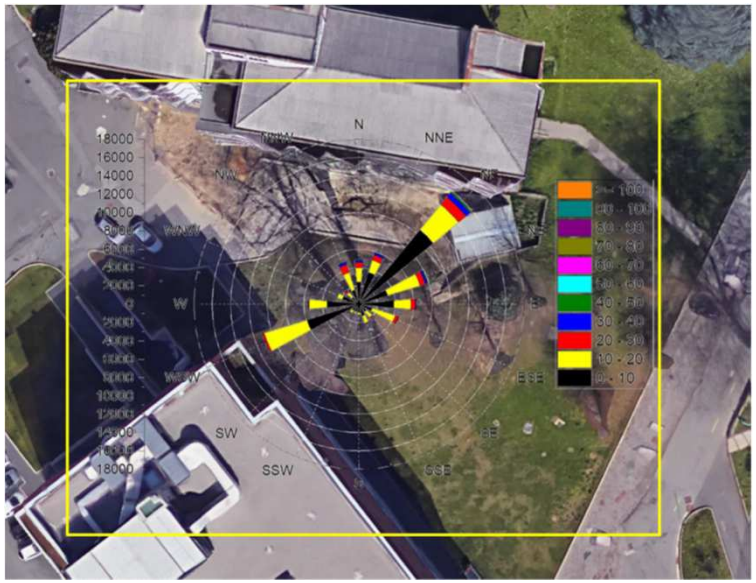




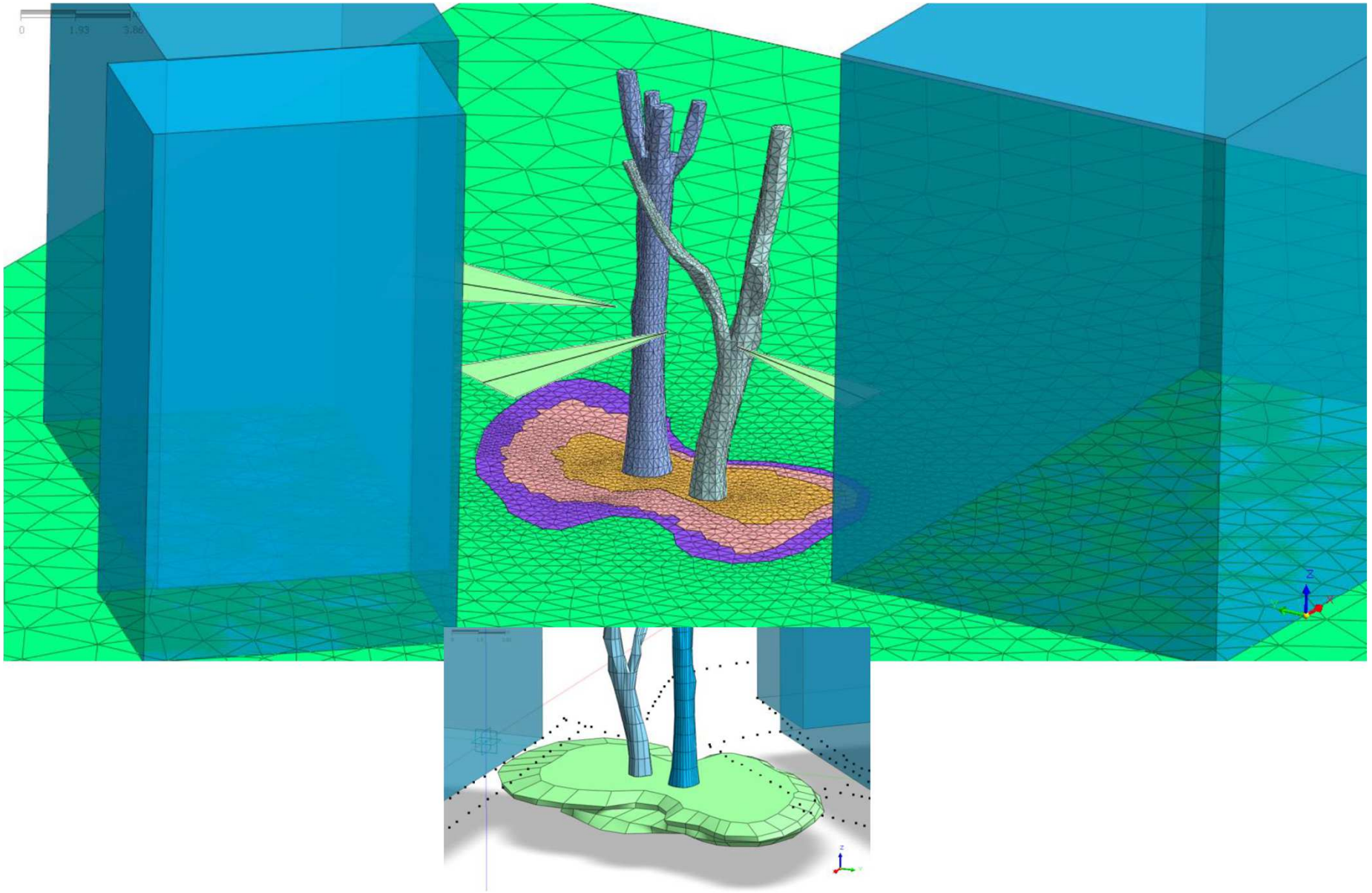
Caso 1 – Fase 5: modellazione avanzata



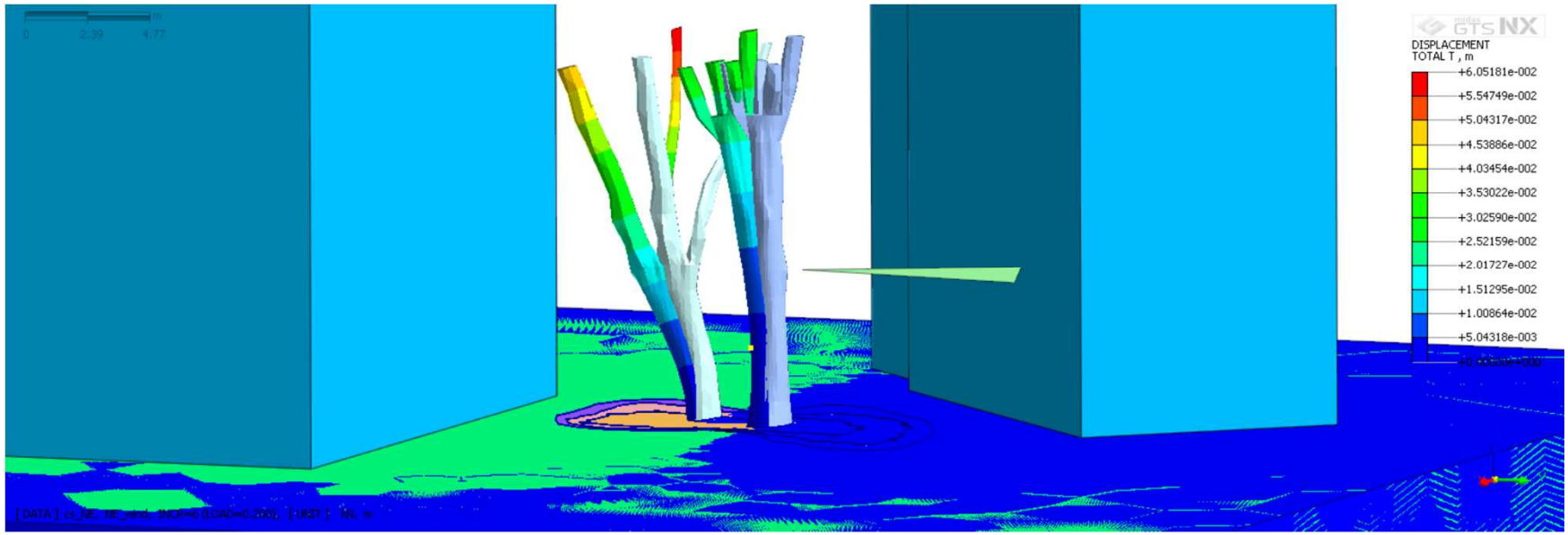


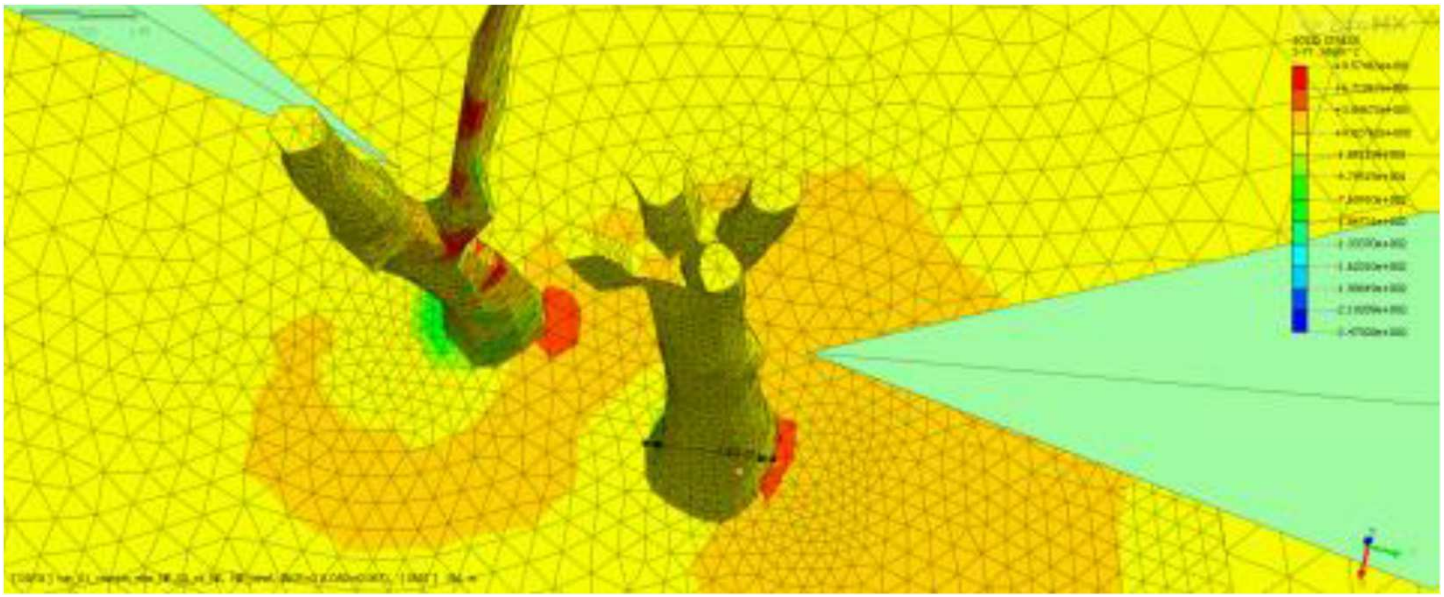


Caso 1 – Fase 5: modellazione avanzata

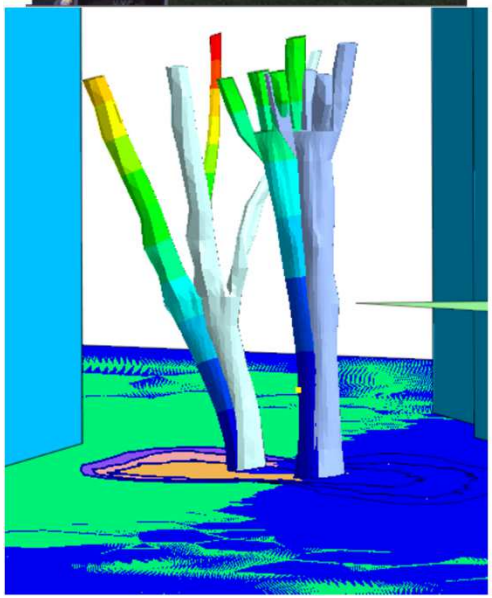


Caso 1 – Fase 5: modellazione avanzata





Caso 1 – Fase 5: modellazione avanzata



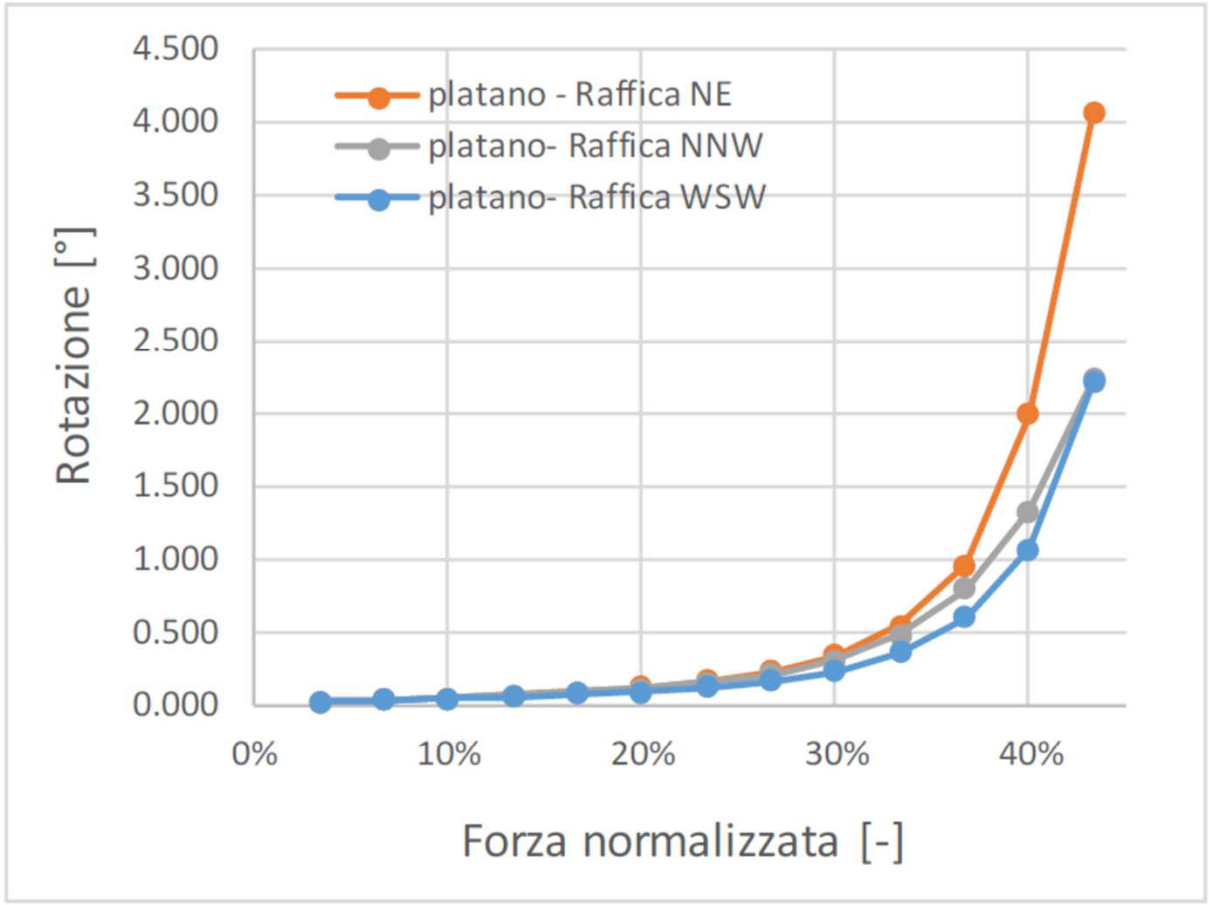


Grafico rotazione/forza normalizzata per il platano

Caso 1 – Fase 5: modellazione avanzata

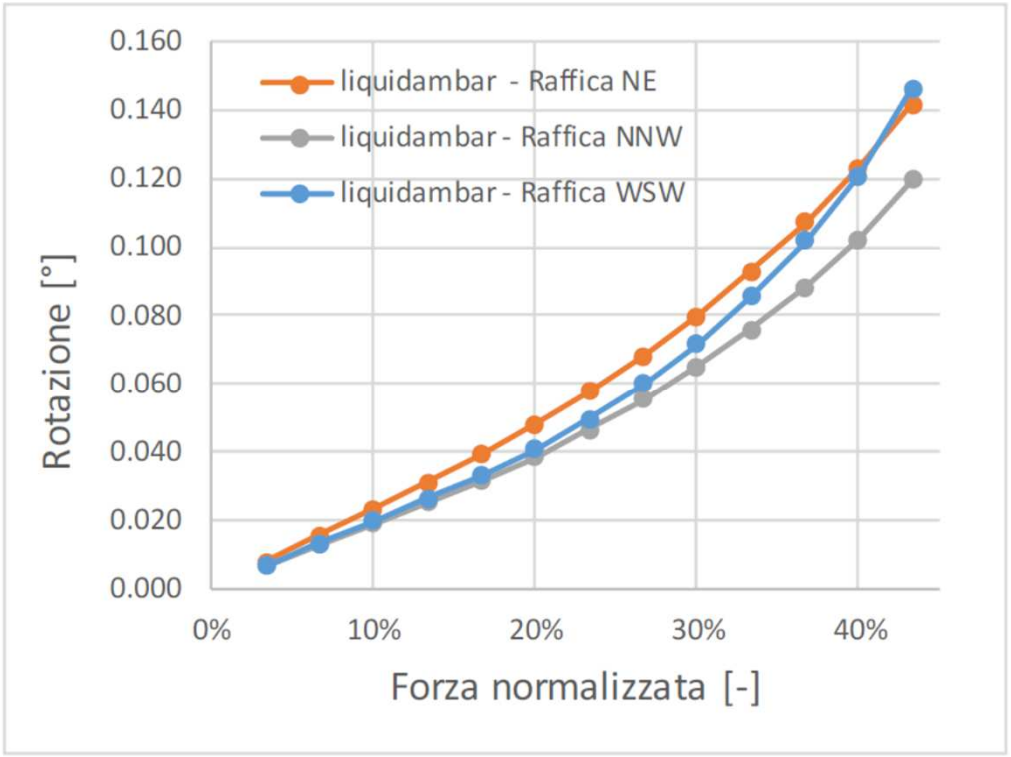
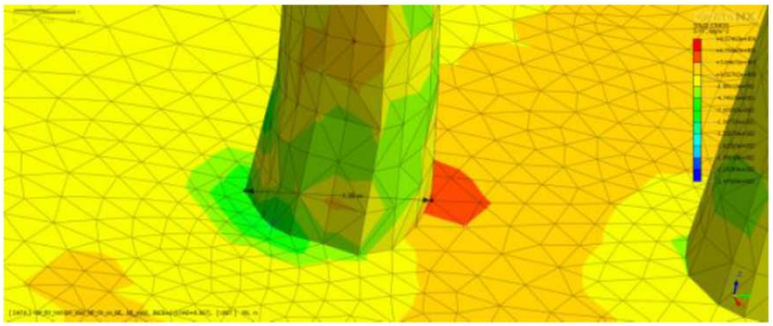
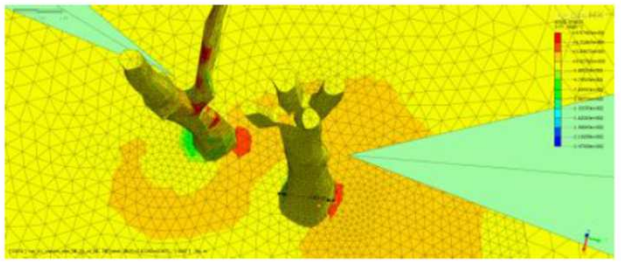


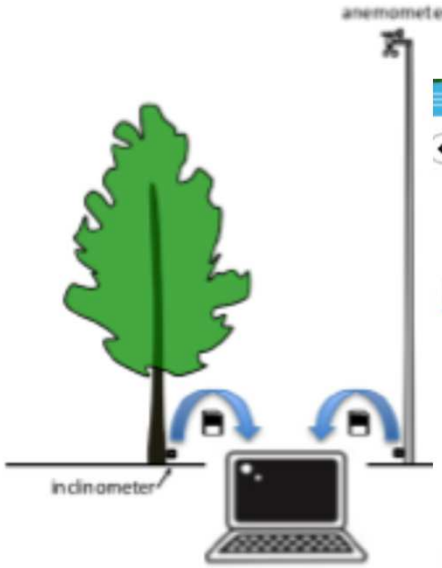
Grafico rotazione/forza normalizzata per il liquidambar

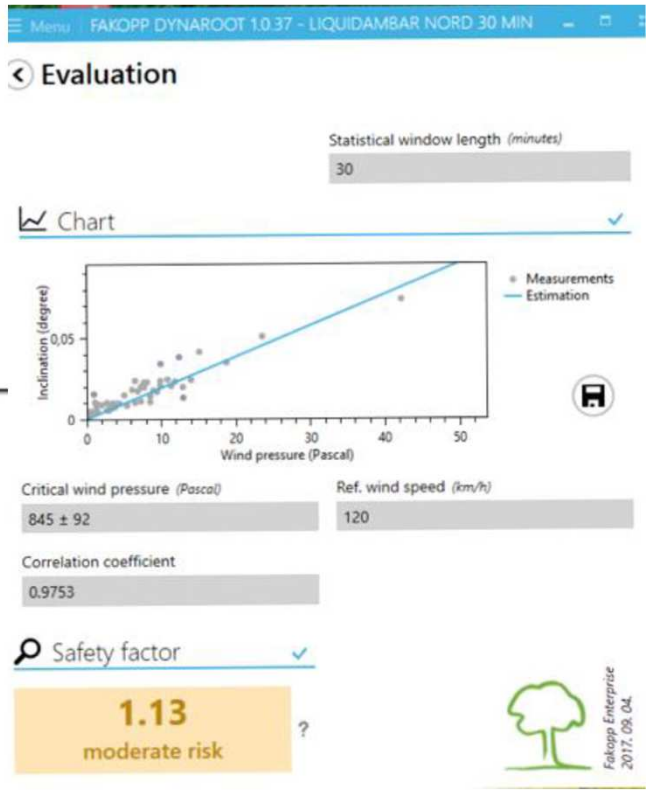


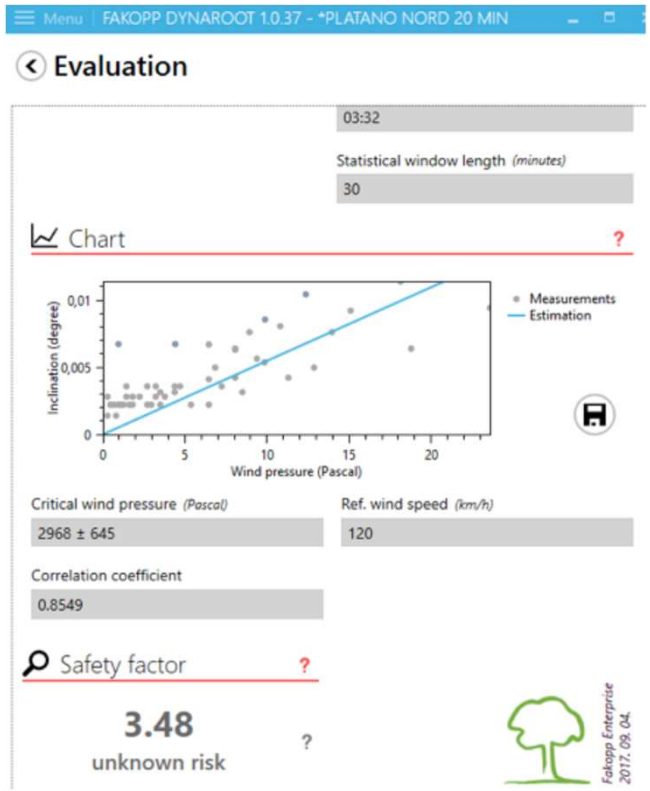


Caso 1 – Fase 5: modellazione avanzata

DynaRoot - setup







Applicazione a caso di studio 2

In cosa consiste? : Punti salienti:

1) Studio in dettaglio dei vari fattori in gioco;
2) creazione di un modello complesso;
3) Gestione di situazioni anomale

Fase 1: stima 3D impianto radicale

Fase 2: ricostruzione 3D fusto e pianta

Fase 3: Analisi e modellazione vento

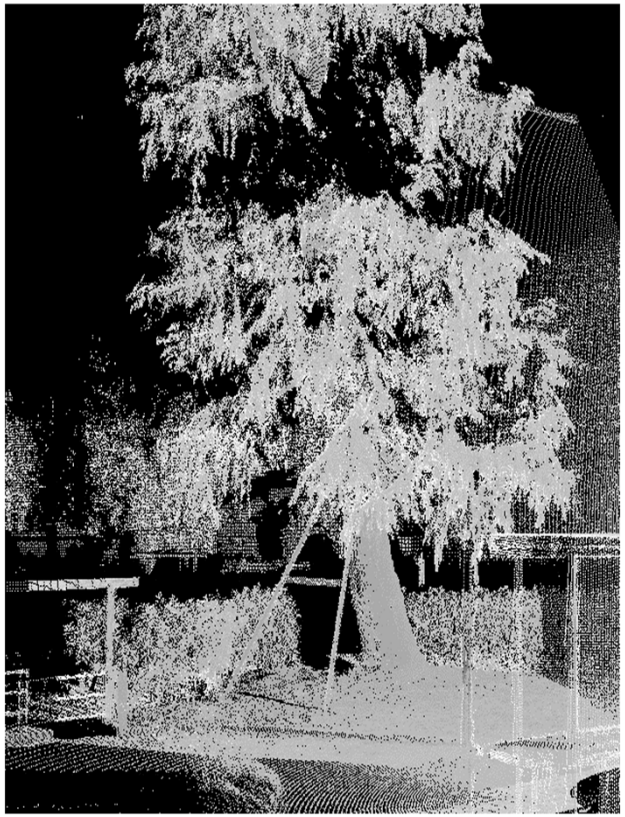
Fase 4: definizione parametri di resistenza e rigidezza

Fase 5: analisi 3D interazione terreno/pianta/vento

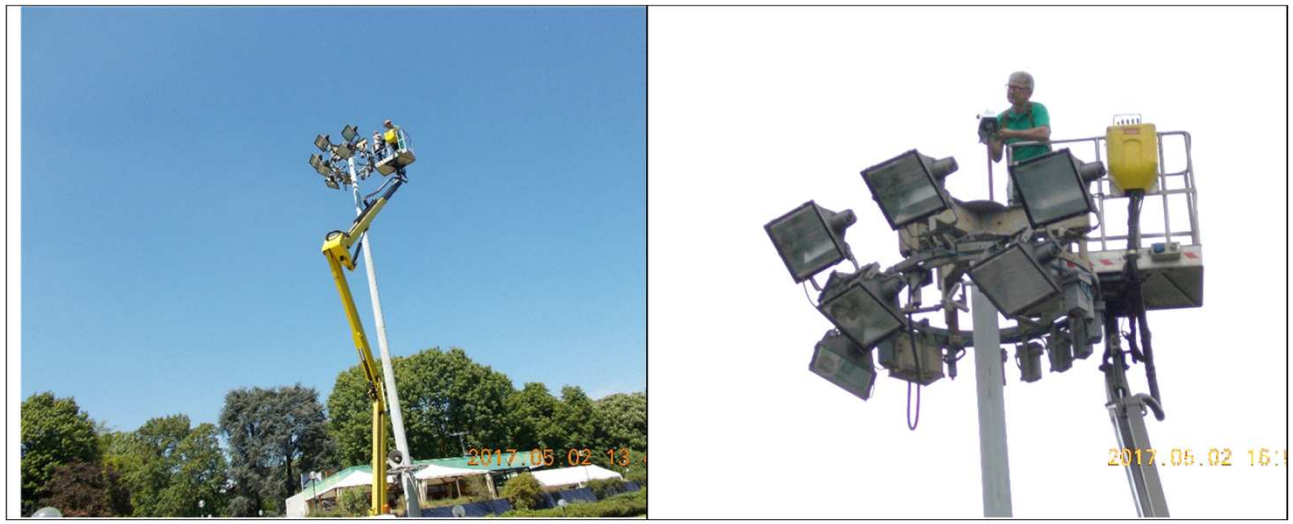
Fase 6: predizione (num) e validazione (sperim)

Fase 7: verifica stabilità ed progettazione interventi di rinforzo

Caso 2 – Fase 2: rilievi

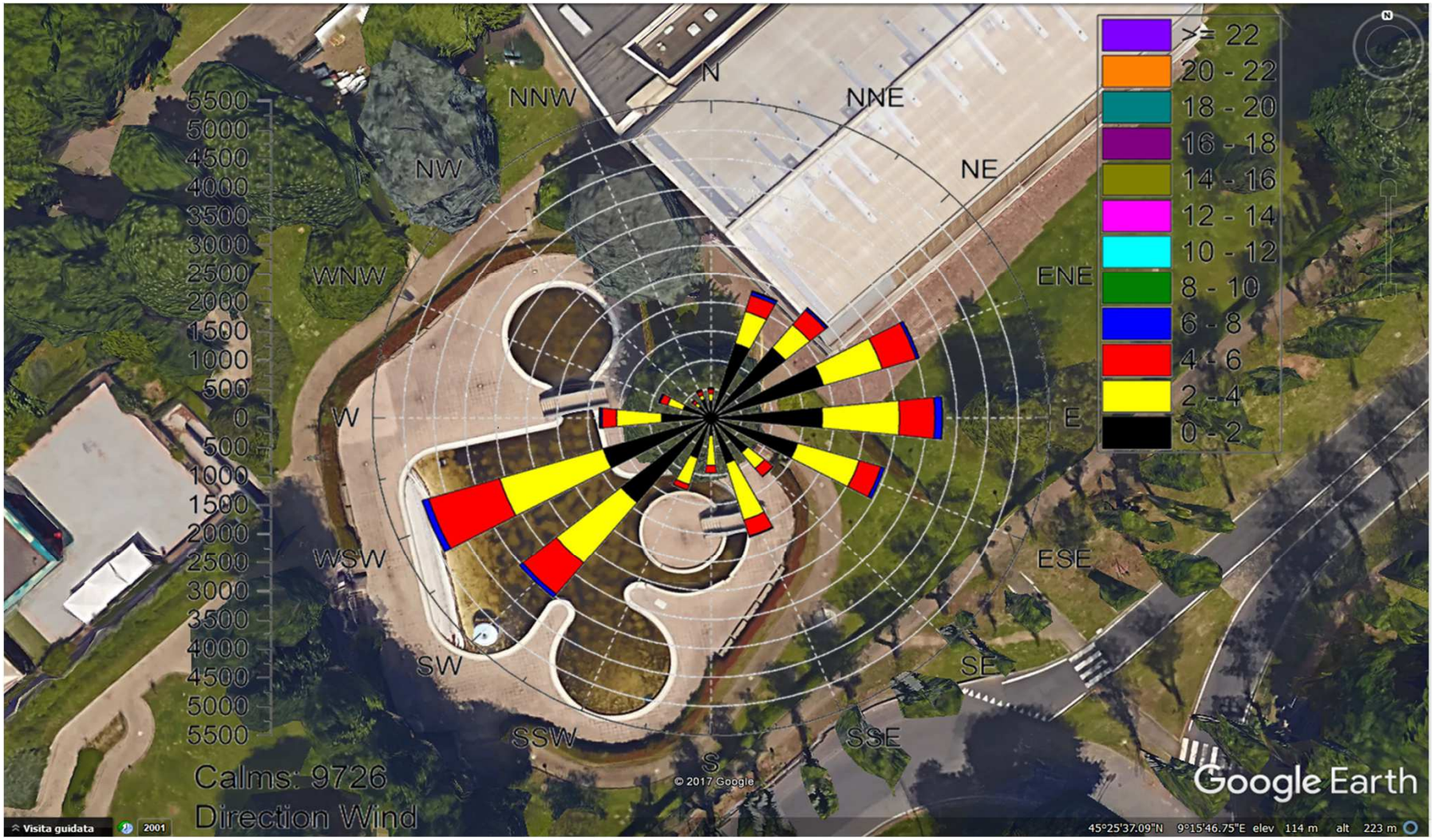


Caso 2 – Fase 2: monitoraggio vento

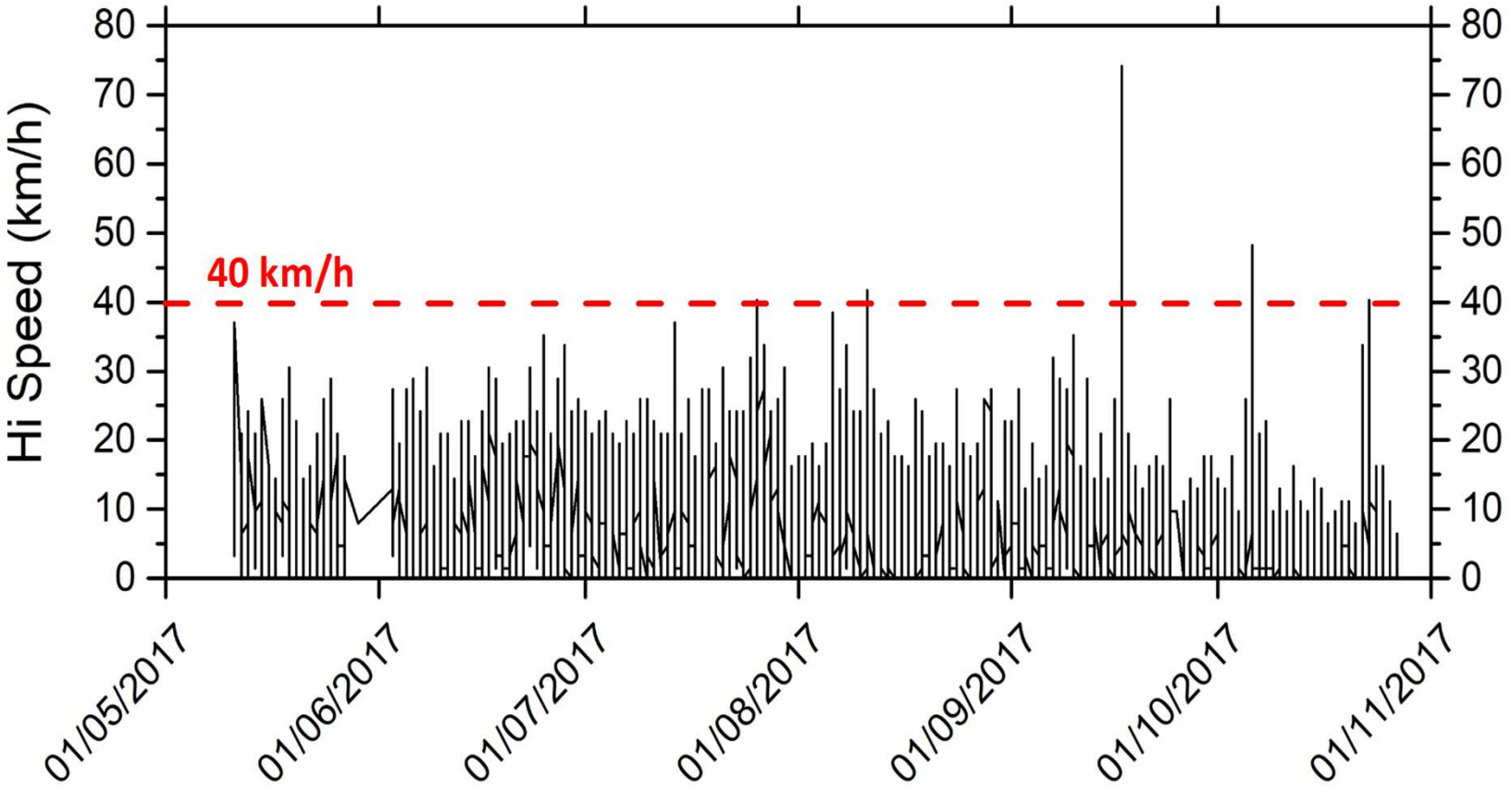


Caso 2 – Fase 2: monitoraggio vento

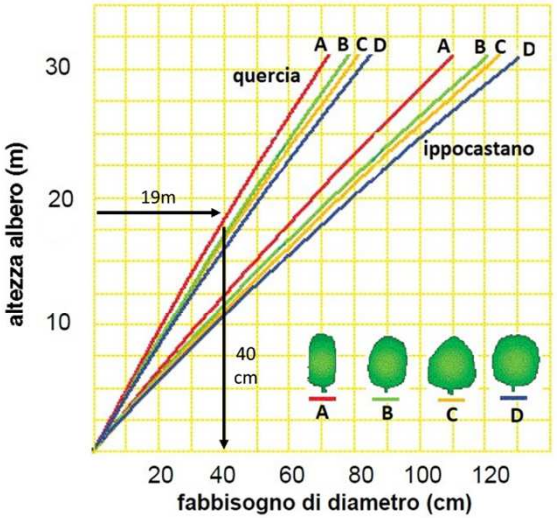
Caso 2 – Fase 2: monitoraggio vento

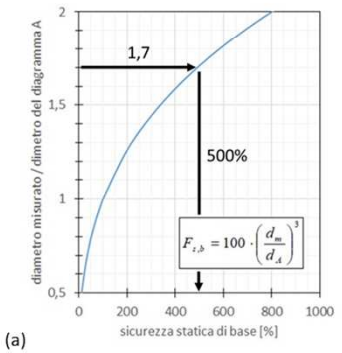


Caso 2 – Fase 2: monitoraggio vento

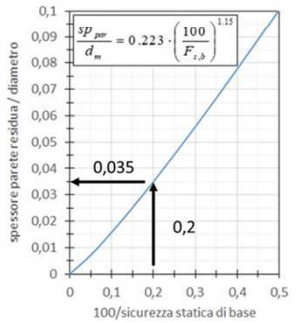


Caso 2 – Fase 4: indagini





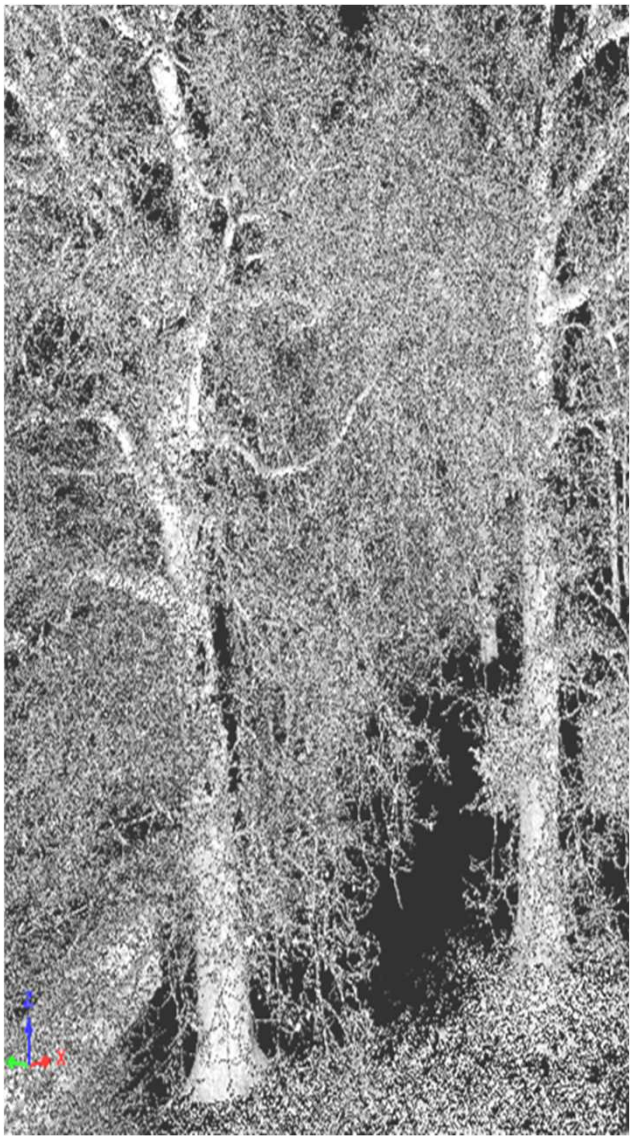
(a)



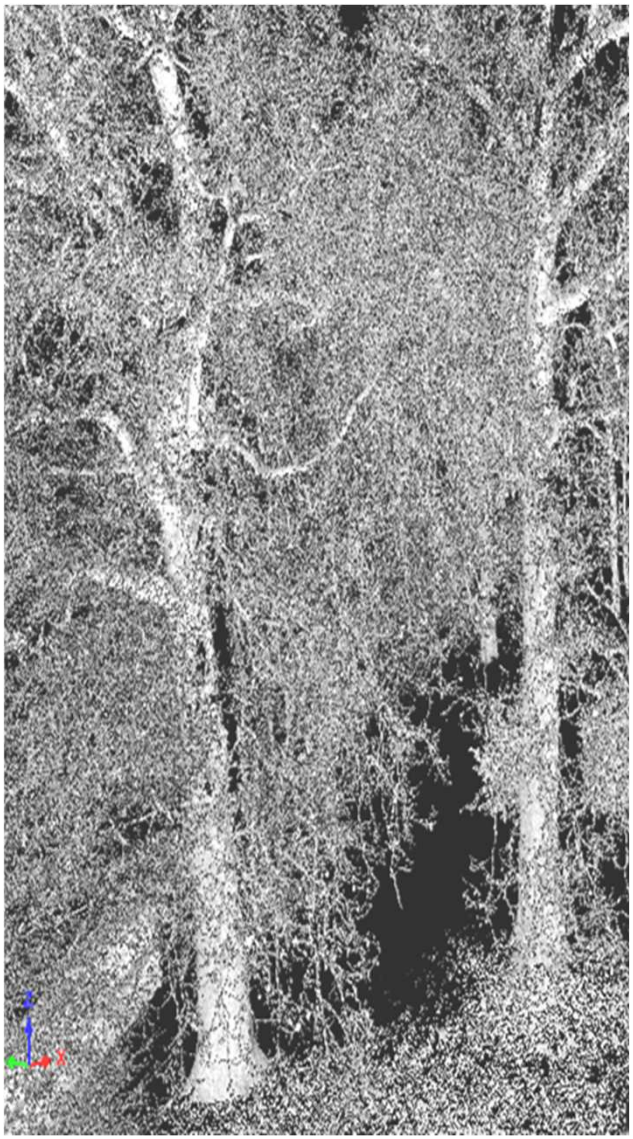
(b)

Caso 2 – Fase 4: indagini

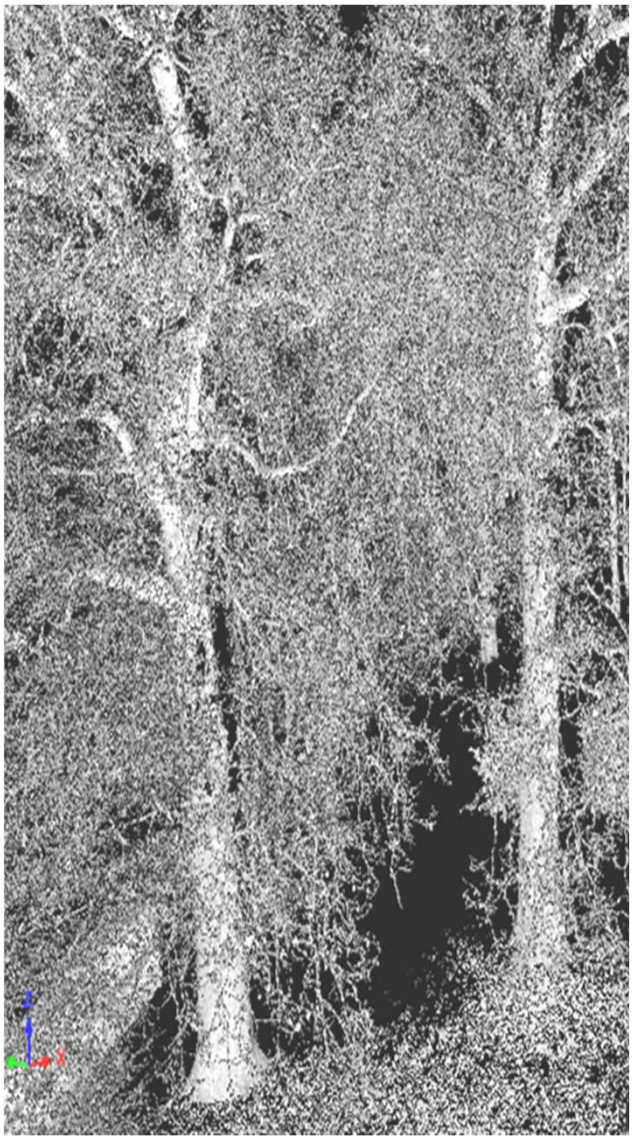
Caso 1 – Fase 2 : ricostruzione 3D



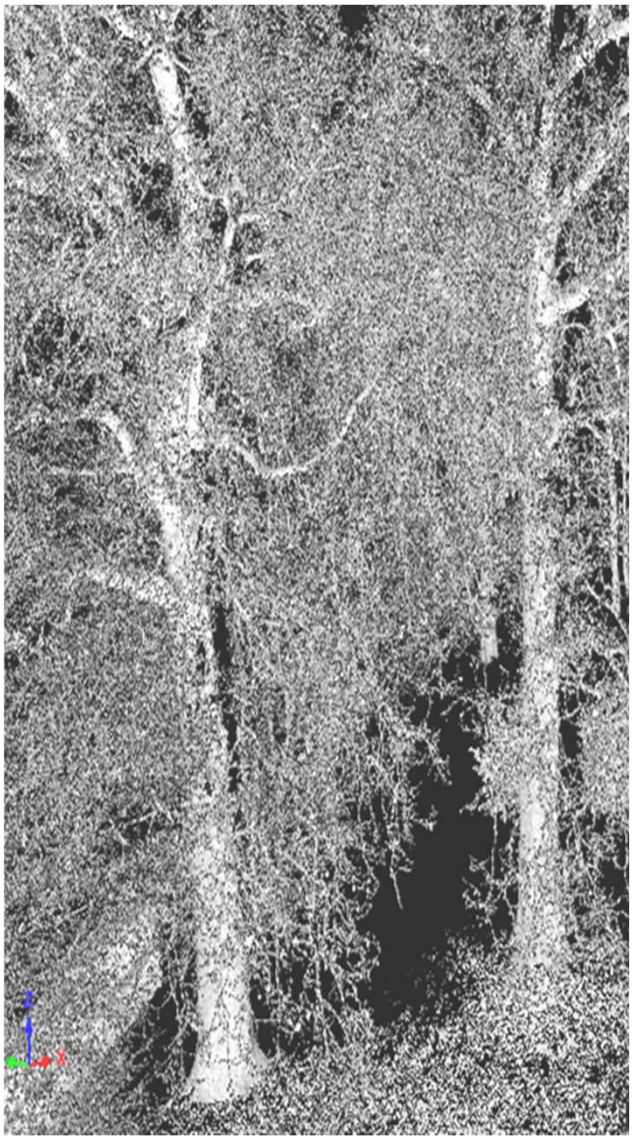
Caso 1 – Fase 2 : ricostruzione 3D



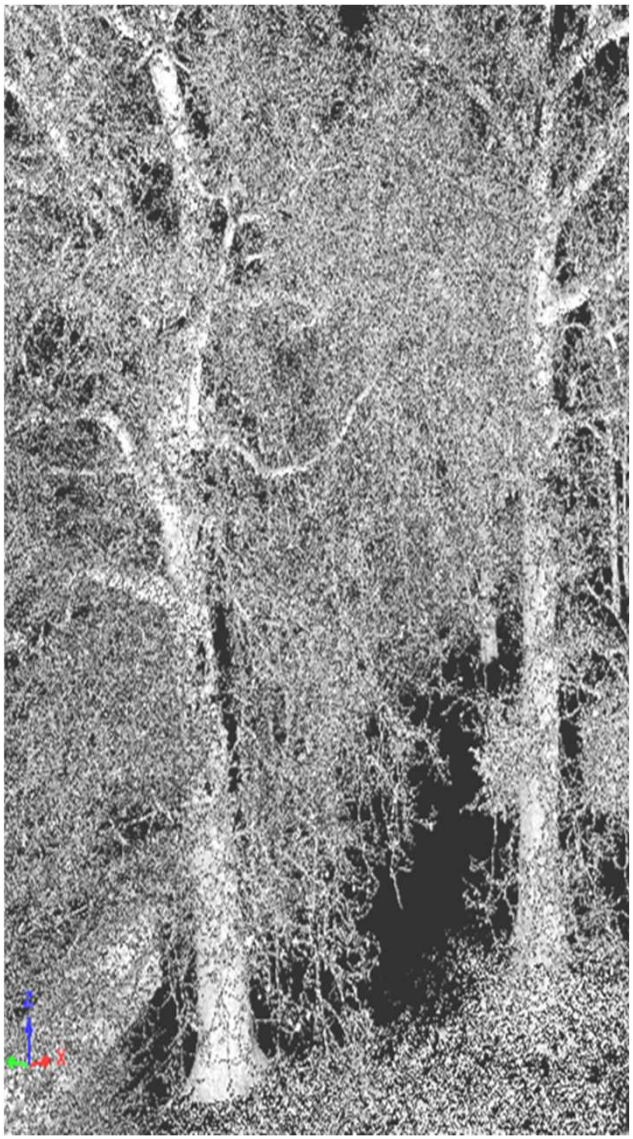
Caso 1 – Fase 2 : ricostruzione 3D



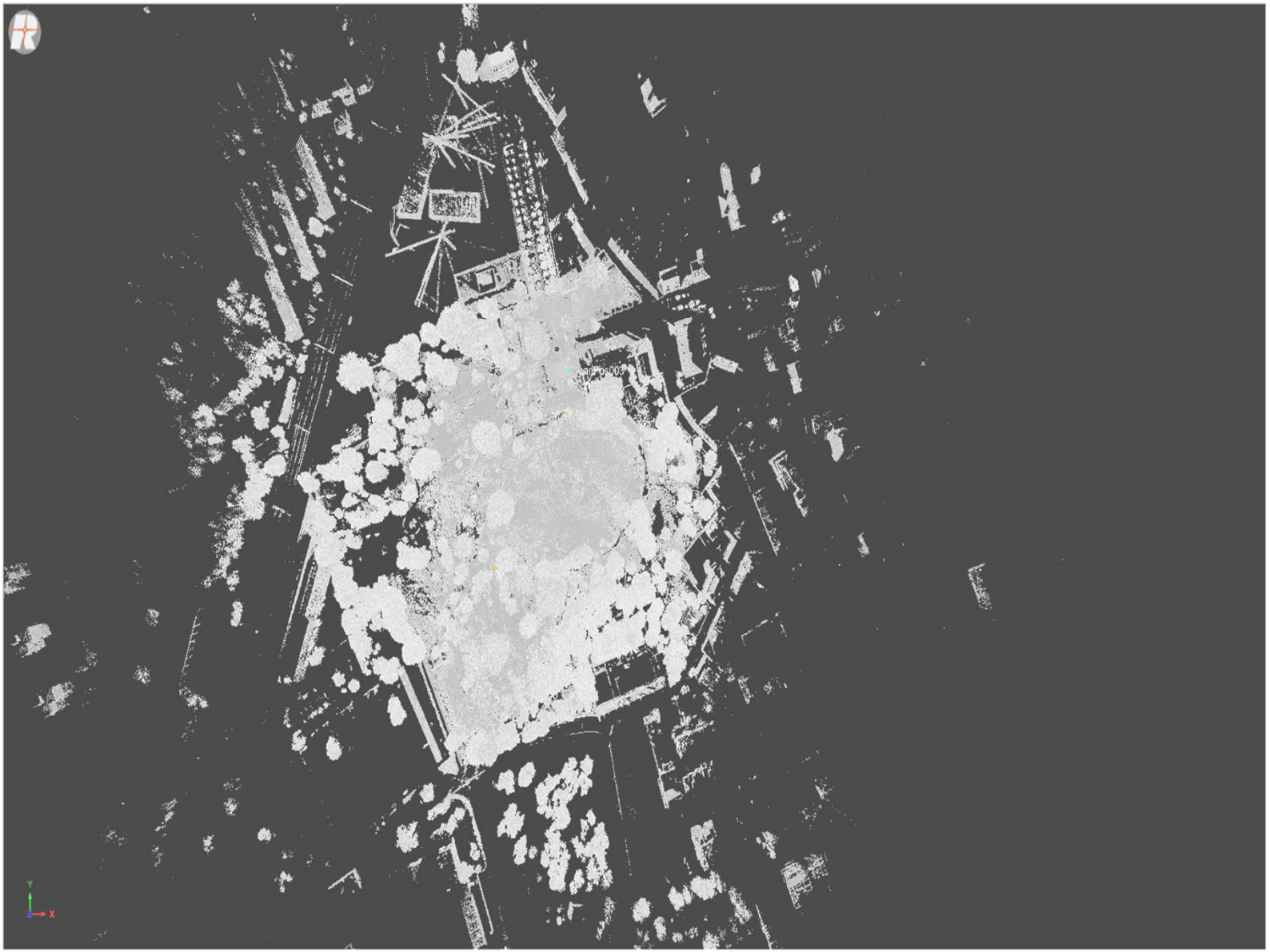
Caso 1 – Fase 2 : ricostruzione 3D



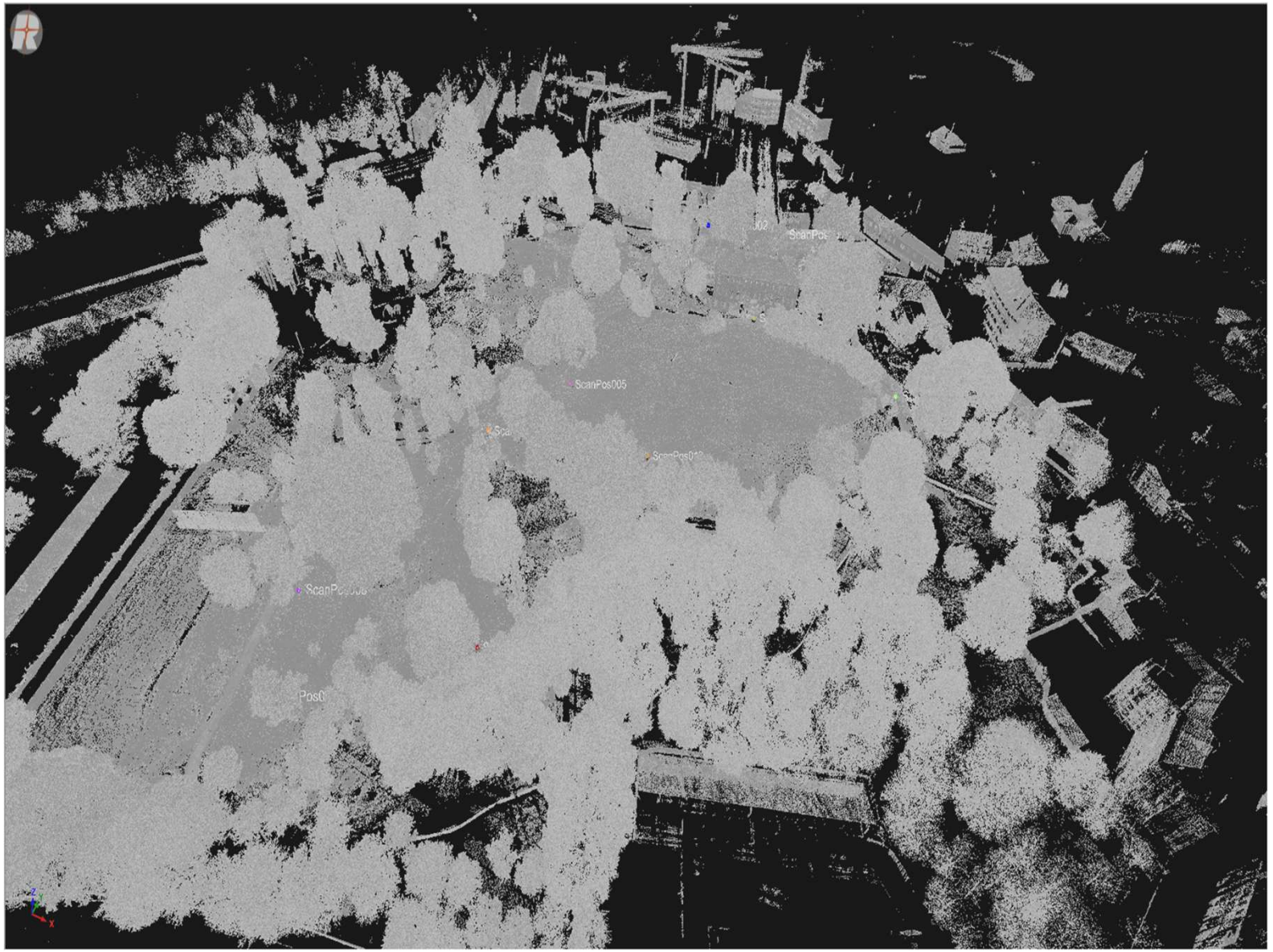
Caso 1 – Fase 2 : ricostruzione 3D



Fase 2: ricostruzione 3D fusto e pianta – platano 41144



Fase 2: ricostruzione 3D fusto e pianta – platano 41144

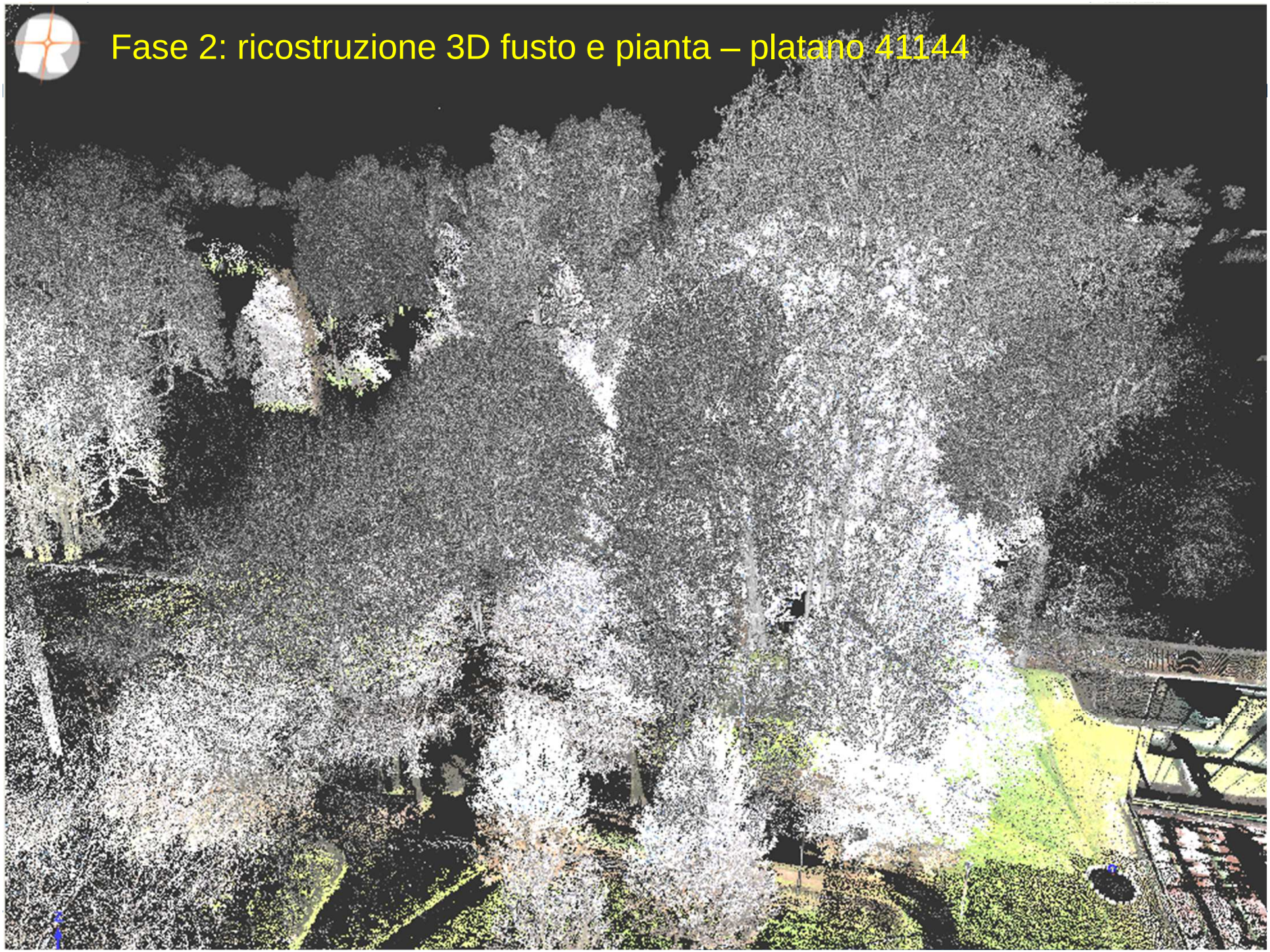


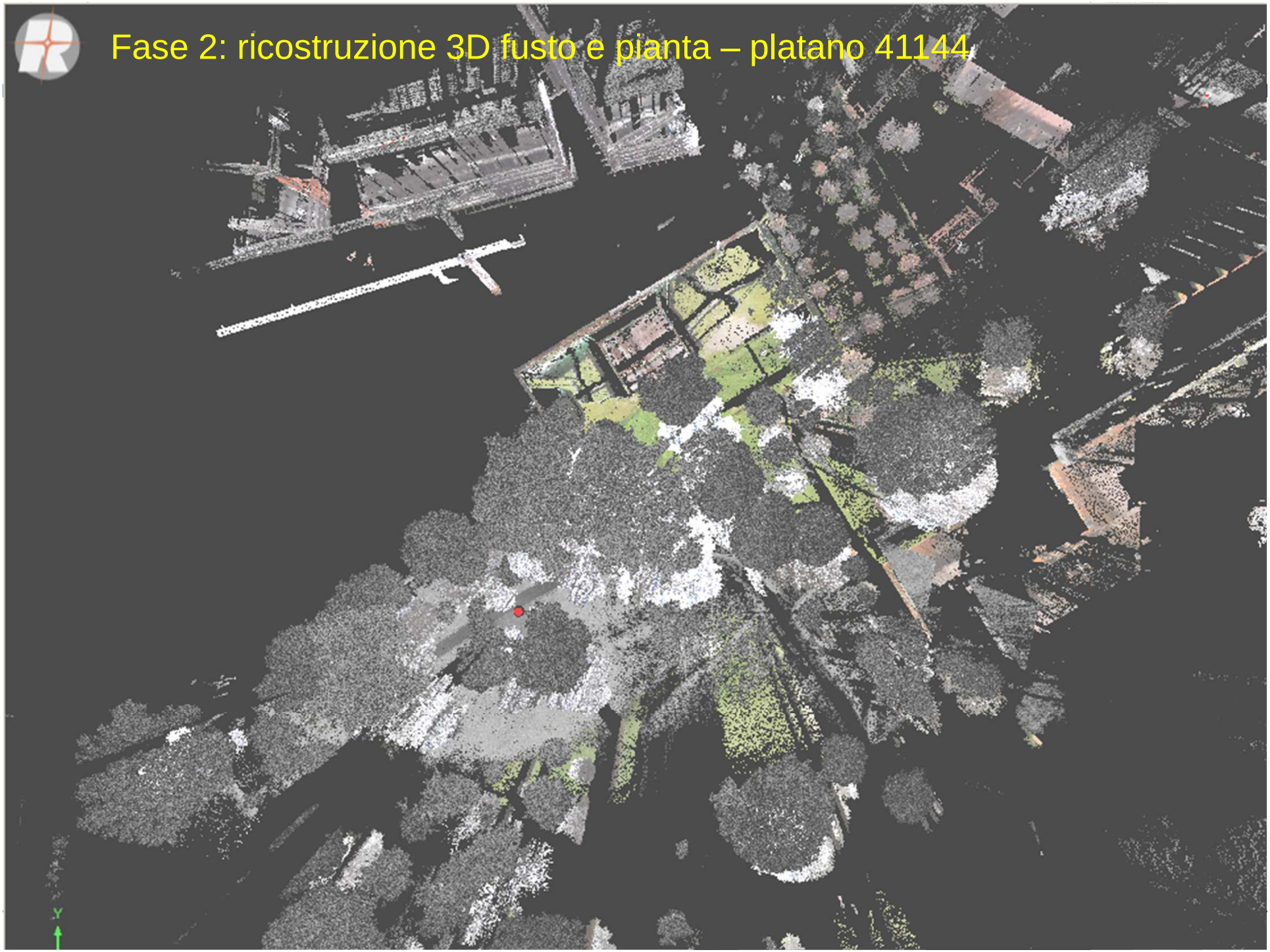
Fase 2: ricostruzione 3D fusto e pianta – platano 41144

Fase 2: ricostruzione 3D fusto e pianta – platano 41144

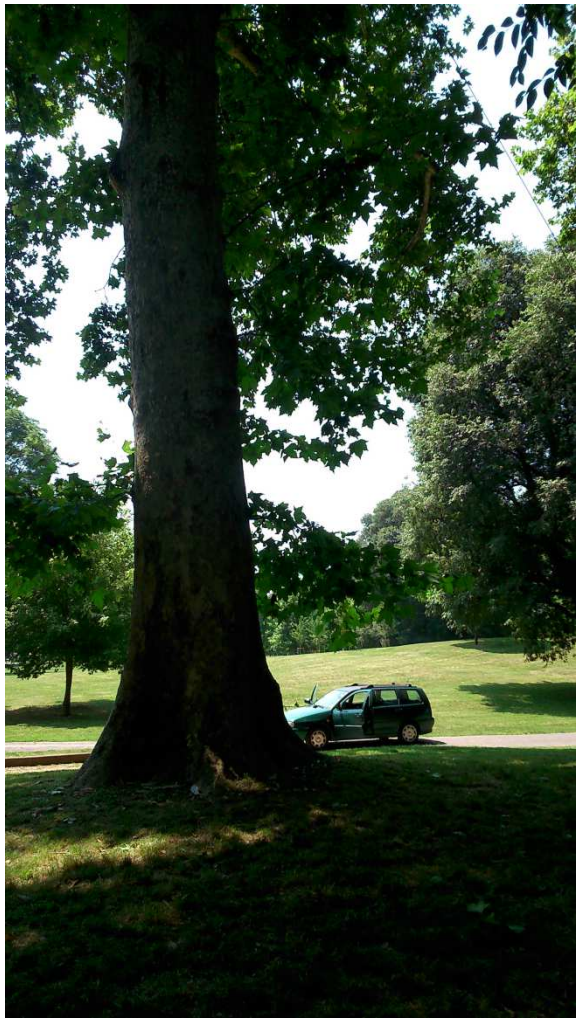
Fase 2: ricostruzione 3D fusto e pianta – platano 41144

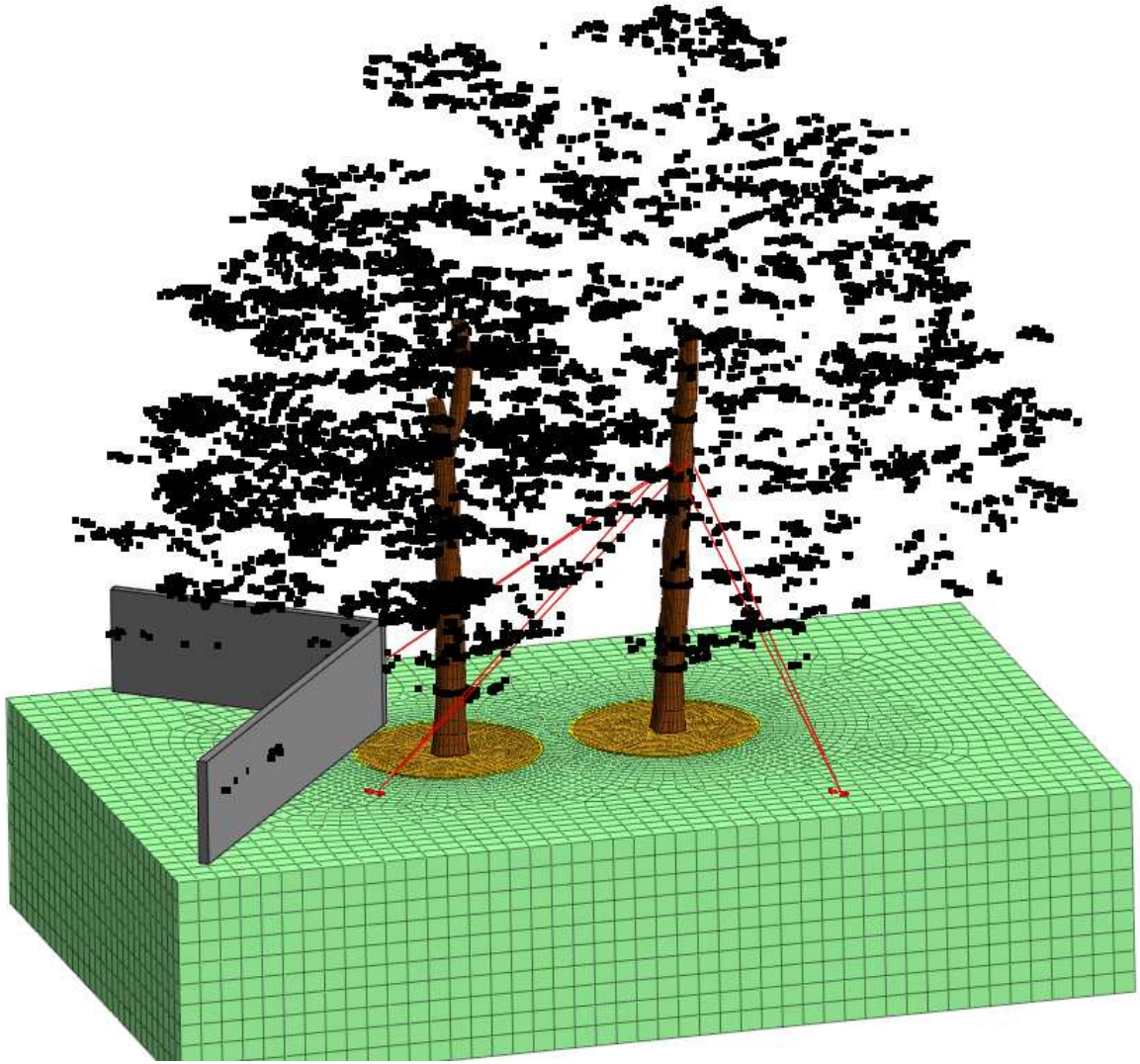
Fase 2: ricostruzione 3D fusto e pianta – platano 41144



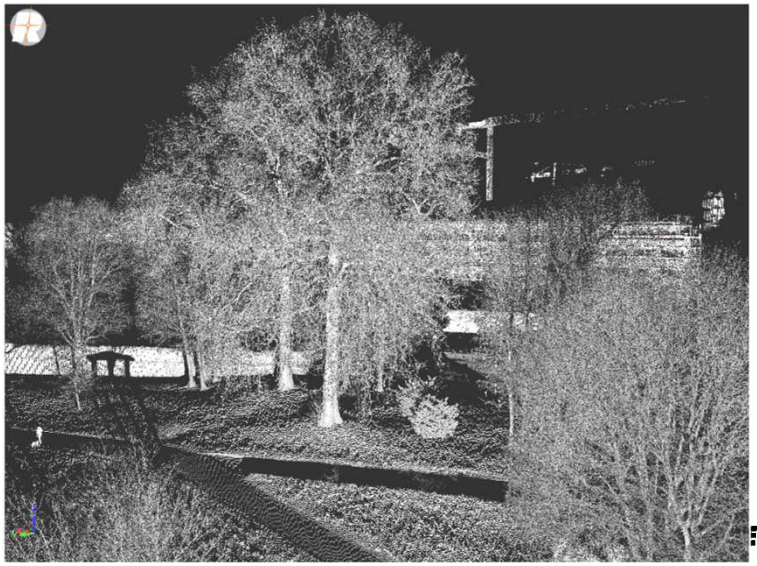

Fase 2: ricostruzione 3D fusto e pianta – platano 41144
Y

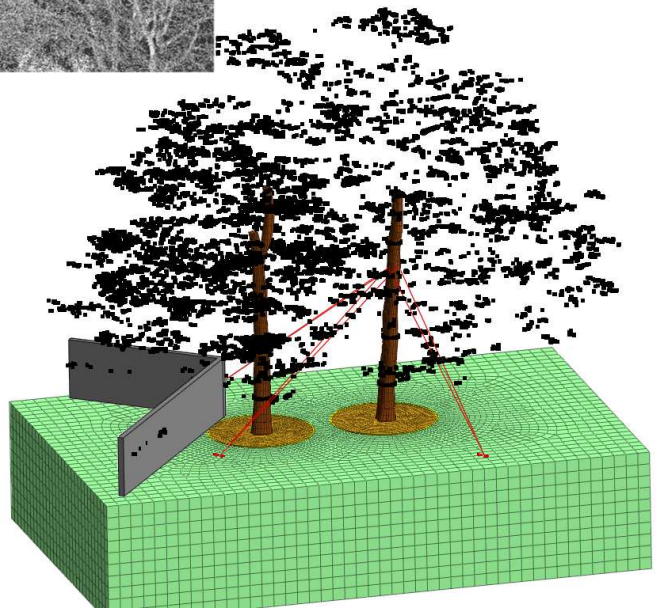
Fase 2: ricostruzione 3D fusto e pianta – platano 41144





Fase 2: ricostruzione 3D fusto e pianta – platano 41144





Fasi di studio

Fase 1: stima 3D impianto radicale

Fase 2: ricostruzione 3D fusto e pianta

Fase 3: Analisi e modellazione 3D vento

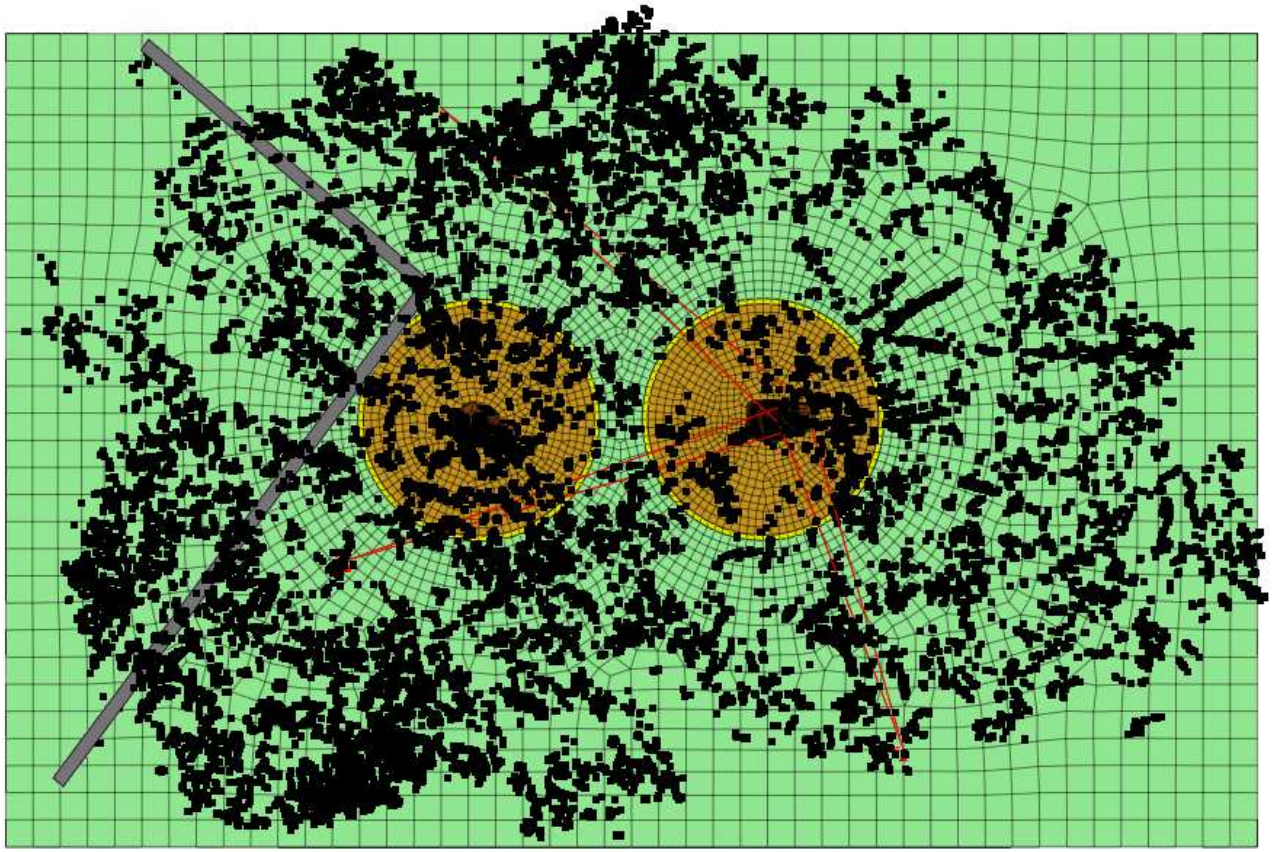
Fase 4: definizione parametri di resistenza e rigidezza

Fase 5: analisi 3D interazione terreno/pianta/vento

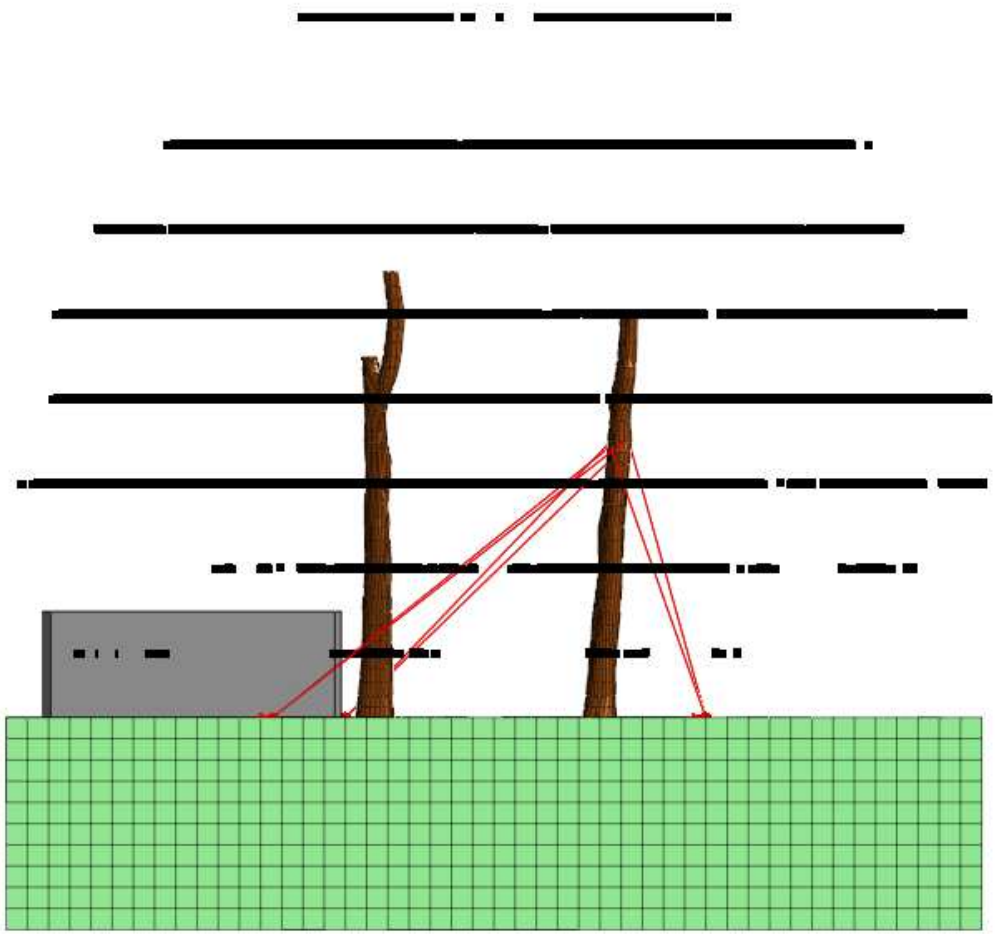
Fase 6: predizione (num) e validazione (sperim)

Fase 7: verifica stabilità ed progettazione interventi di rinforzo

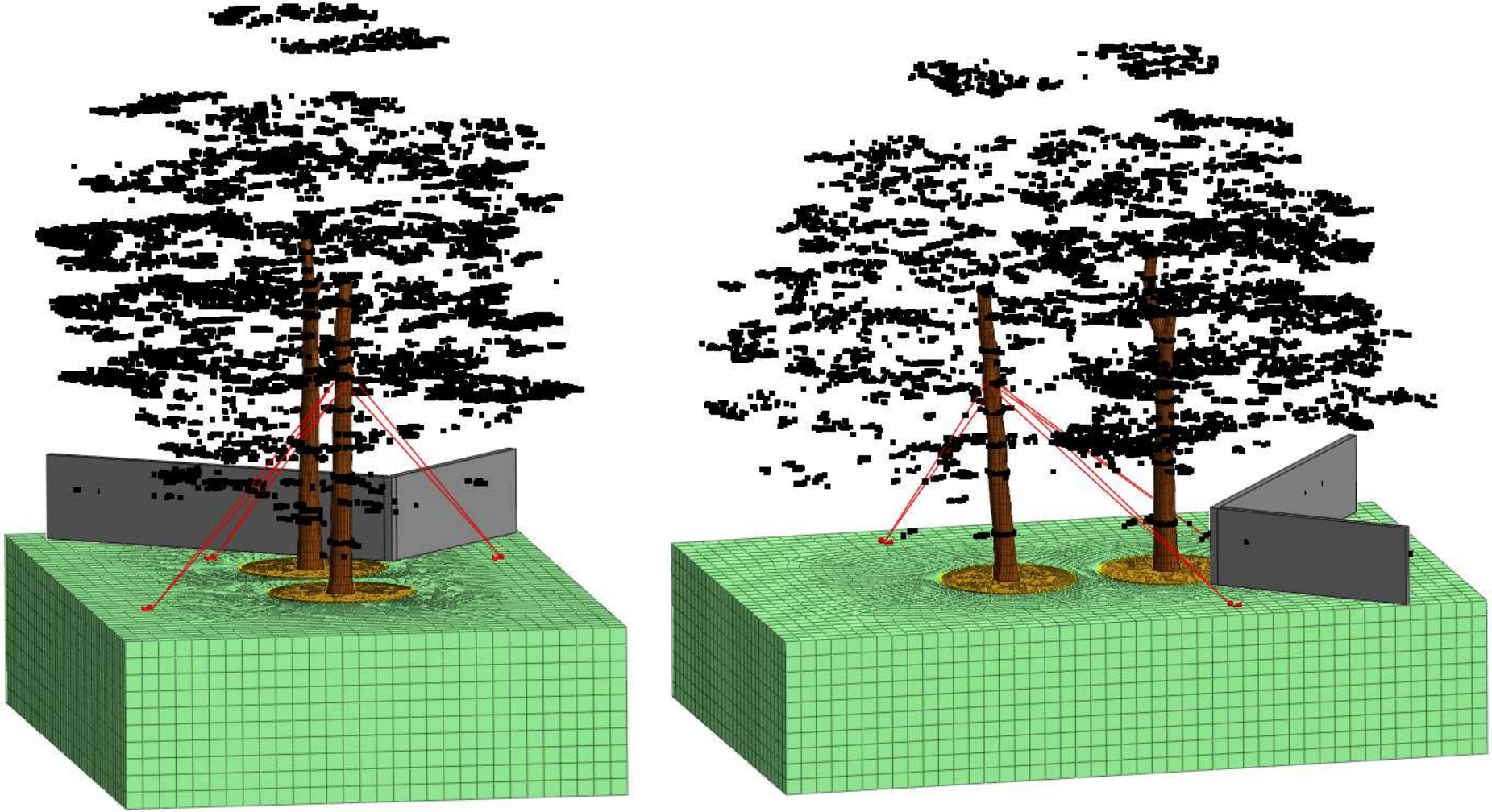
Fase3: Analisi e modellazione 3D vento



Fase3: Analisi e modellazione 3D vento

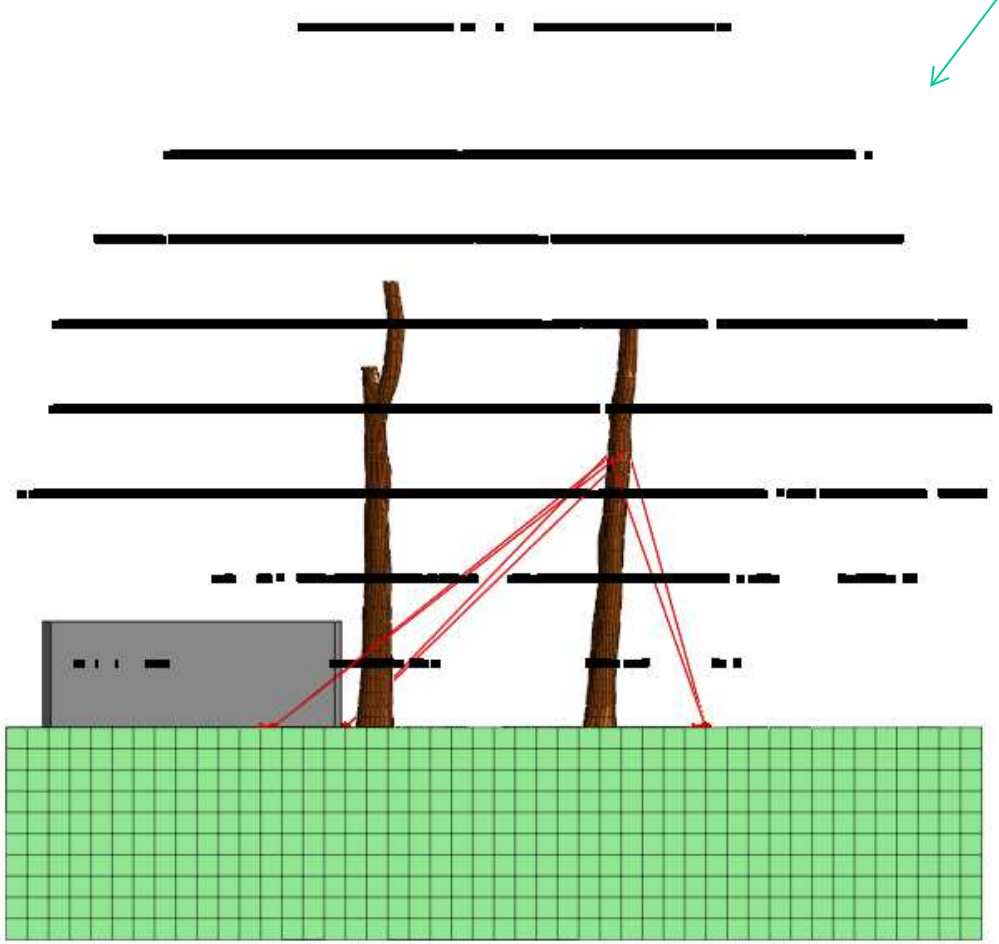


Fase3: Analisi e modellazione 3D vento

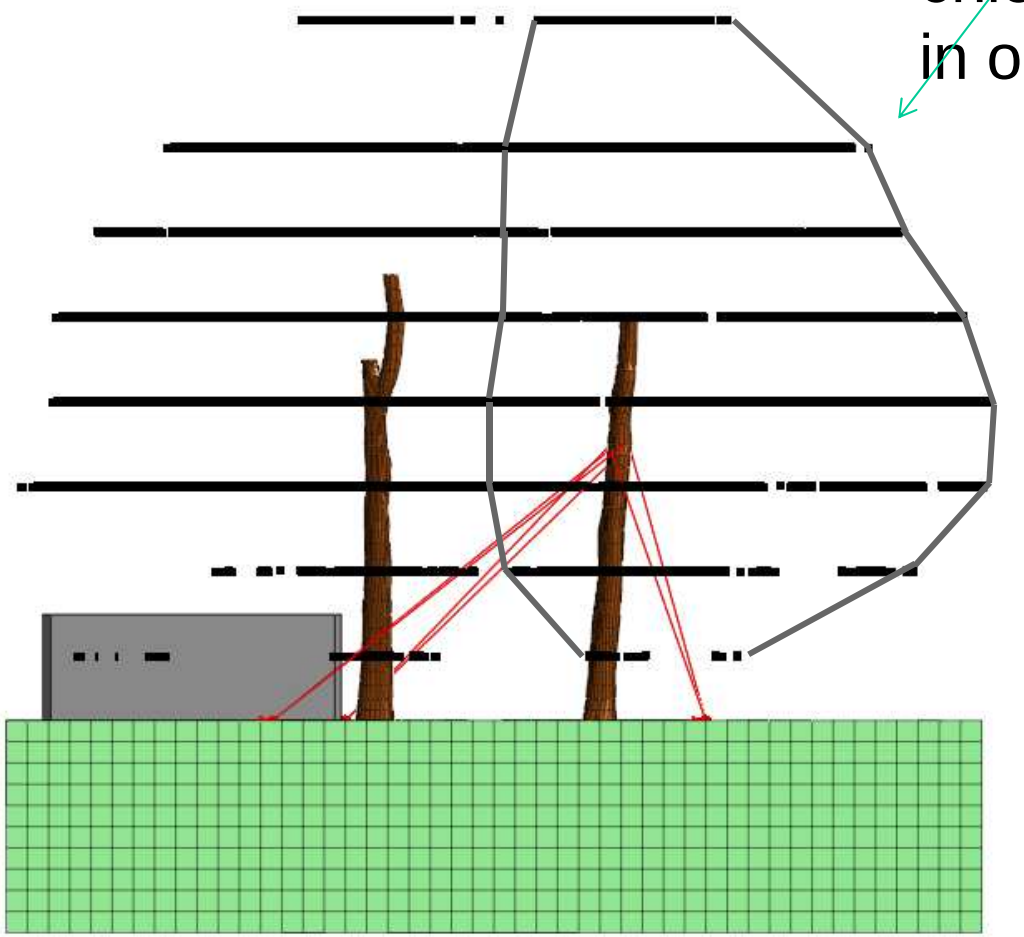


Fase3: Analisi vento

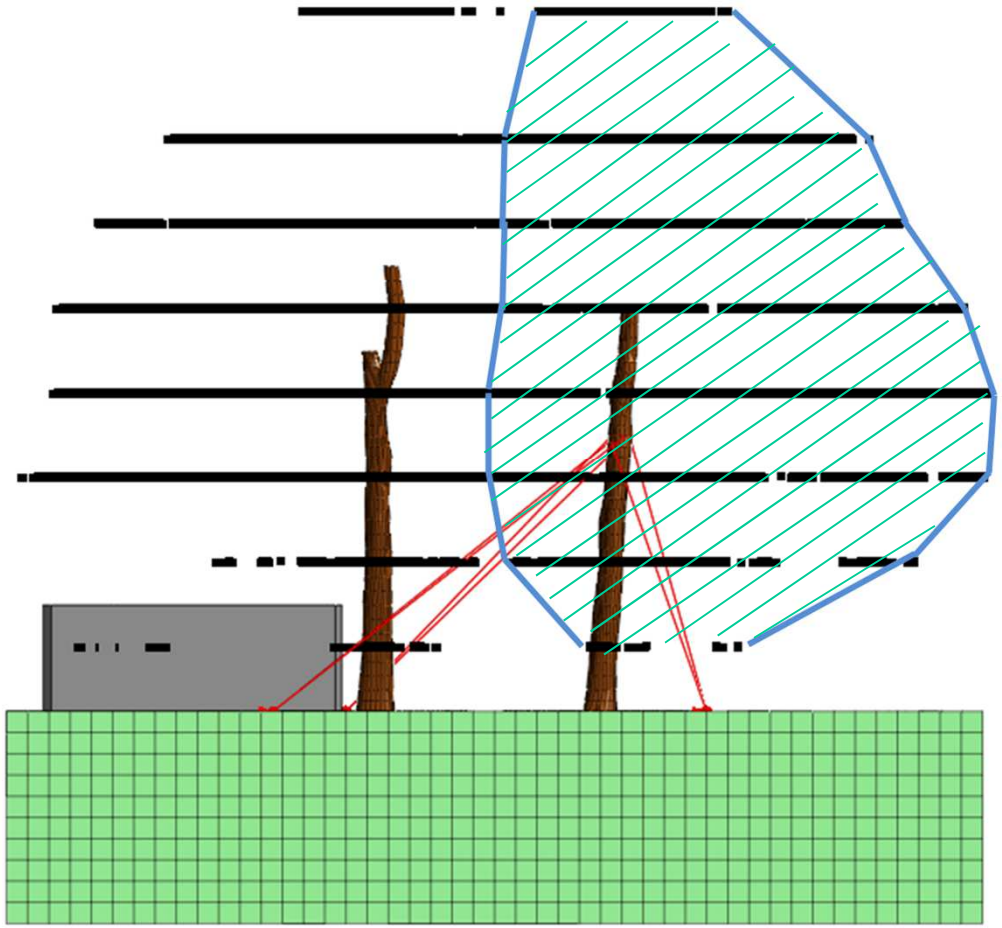
Nuvola di punti a slices



Fase3: Analisi vento

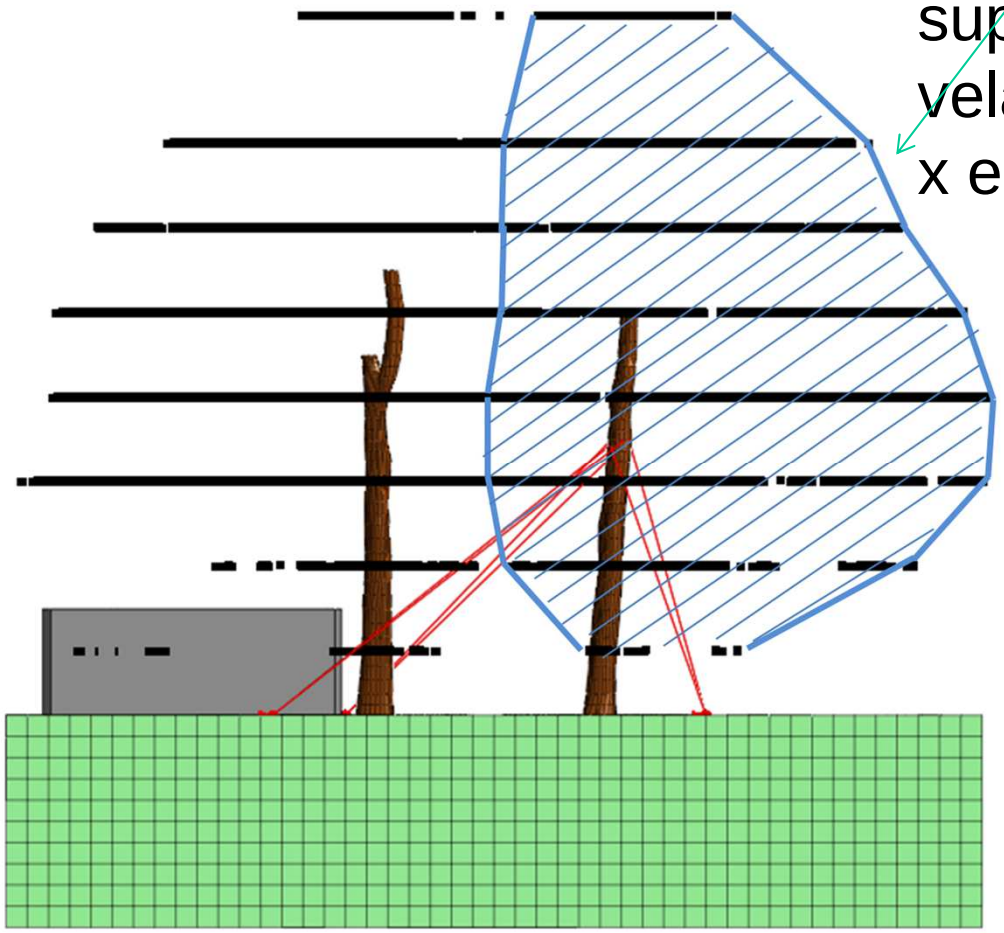


Fase3: Analisi vento



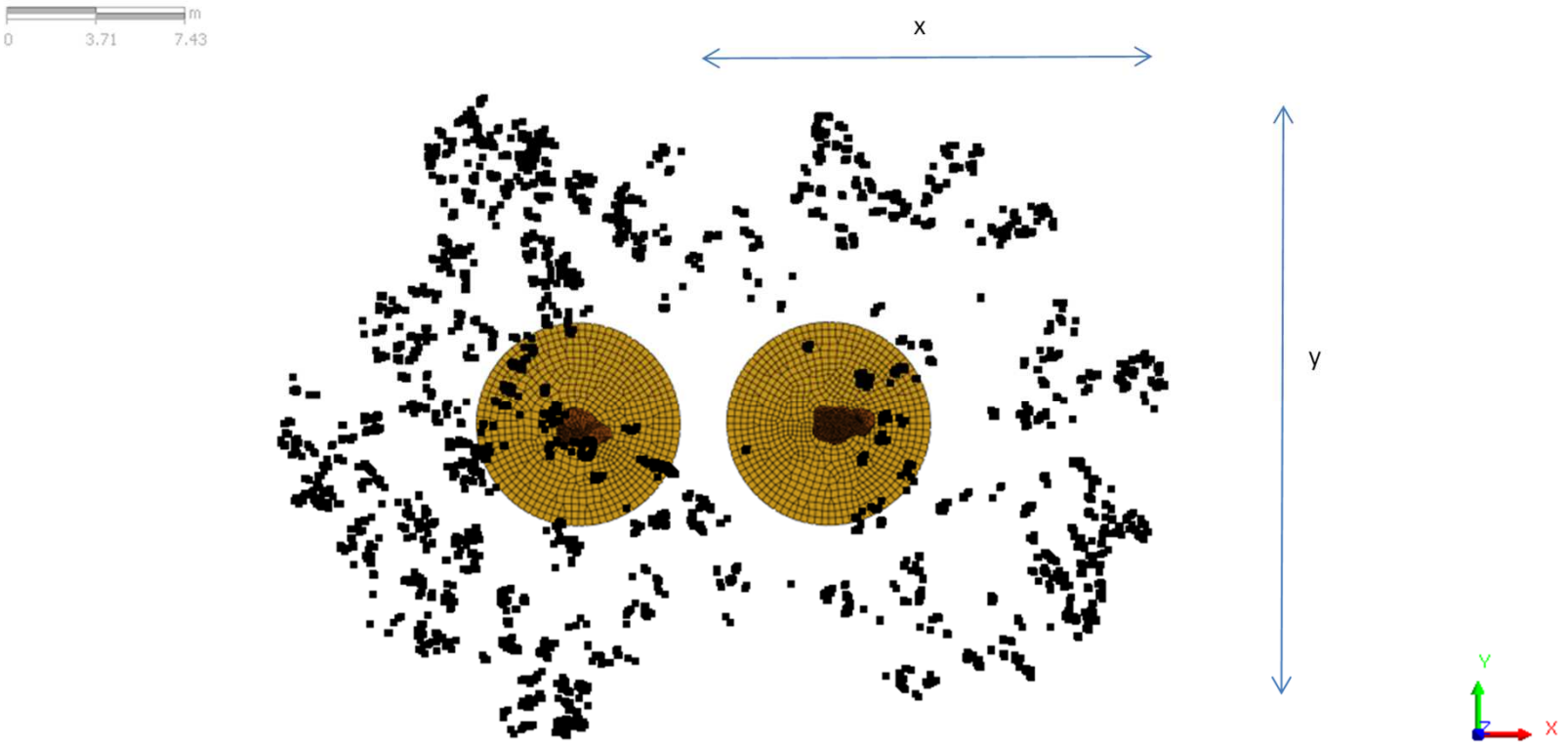
Fase3: Analisi vento

Calcolo della superficie della vela (in direzione x e y)



Fase3: Analisi vento

		Ax [mq]	Ay [mq]
sup chioma [mq]		575	642



Fase3: Analisi vento

3.3.4 PRESSIONE DEL VENTO

La pressione del vento è data dall'espressione:

$$p = q_b \, c_e \, c_p \, c_d \qquad (3.3.2)$$

dove

q_b è la pressione cinetica di riferimento di cui al § 3.3.6;

c_e è il coefficiente di esposizione di cui al § 3.3.7;

c_p è il coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento;

c_d è il coefficiente dinamico con cui si tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alle

vb	25	m/sec
ρ	1.25	kg/mc
ρ	0.0125	kN/mc
qb	390.63	N/mq
qb	**0.39**	**kPa**

3.3.6 PRESSIONE CINETICA DI RIFERIMENTO.

La pressione cinetica di riferimento q_b (in N/m^2) è data dall'espressione:

$$q_b = \frac{1}{2}\rho v_b^2 \qquad (3.3.4)$$

dove

v_b è la velocità di riferimento del vento (in m/s);

ρ è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a 1.25 kg/m^3.

p	1.27	kPa
A	608	mq
F max	770	kN
permeab	0.25	
new F	192	kN

a	17.49	mq
q	11.0	kPa

3.3.8 COEFFICIENTE DINAMICO

Il coefficiente dinamico tiene in conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alla risposta dinamica della struttura.

Esso può essere assunto cautelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza ed i capannoni industriali, oppure può essere determinato mediante analisi specifiche o facendo riferimento a dati di comprovata affidabilità.

Fase3: Analisi vento

3.3.7 COEFFICIENTE DI ESPOSIZIONE

Il coefficiente di esposizione c_e dipende dall'altezza z sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno, e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione. In assenza di analisi specifiche che tengano in conto la direzione di provenienza del vento e l'effettiva scabrezza e topografia del terreno che circonda la costruzione, per altezze sul suolo non maggiori di z = 200 m, esso è dato dalla formula:

$$c_e(z) = k_r^2\, c_t \ln(z/z_0)\,[7 + c_t \ln(z/z_0)] \qquad \text{per } z \geq z_{min}$$
$$c_e(z) = c_e(z_{min}) \qquad \text{per } z < z_{min} \qquad (3.3.5)$$

dove

k_r , z_0 , z_{min} sono assegnati in Tab. 3.3.II in funzione della categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione;

c_t è il coefficiente di topografia.

Tabella 3.3.II – *Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione*

Categoria di esposizione del sito	k_r	z_0 [m]	z_{min} [m]
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

In mane … in funzione … del terreno … la categoria …

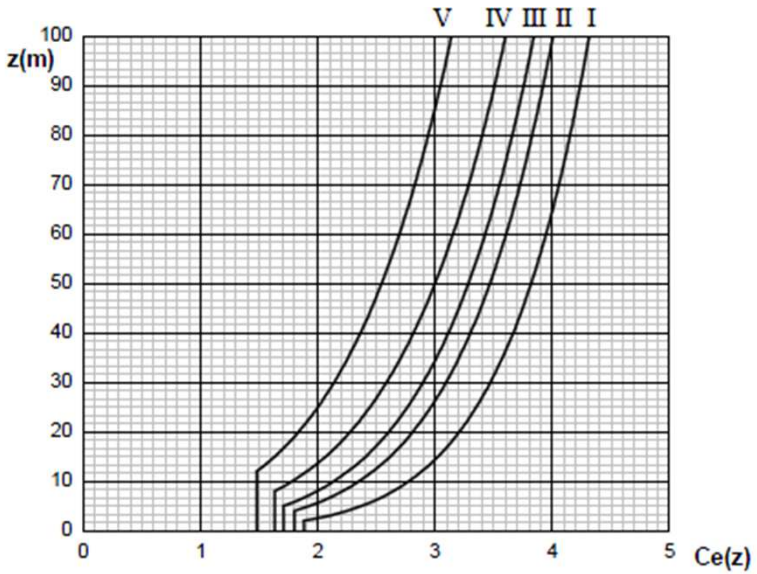


Figura 3.3.3 - *Andamento del coefficiente di esposizione c_e con la quota (per $c_t = 1$)*

Il coefficiente di topografia c_t è posto generalmente pari a 1, sia per le zone pianeggianti sia per quelle ondulate, collinose e montane. In questo caso, la Fig. 3.3.3 riporta le leggi di variazione di c_e per le diverse categorie di esposizione.

Nel caso di costruzioni ubicate presso la sommità di colline o pendii isolati il coefficiente di topografia c_t può essere valutato dal progettista con analisi più approfondite.

Tabella 3.3.III - *Classi di rugosità del terreno*

Classe di rugosità del terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15m
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,....); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
D	Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,....)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Affinché una costruzione possa dirsi ubicata in classe A o B è necessario che la situazione che contraddistingue la classe permanga intorno alla costruzione per non meno di 1 km e comunque non meno di 20 volte l'altezza della costruzione. Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, a meno di analisi dettagliate, verrà assegnata la classe più sfavorevole.

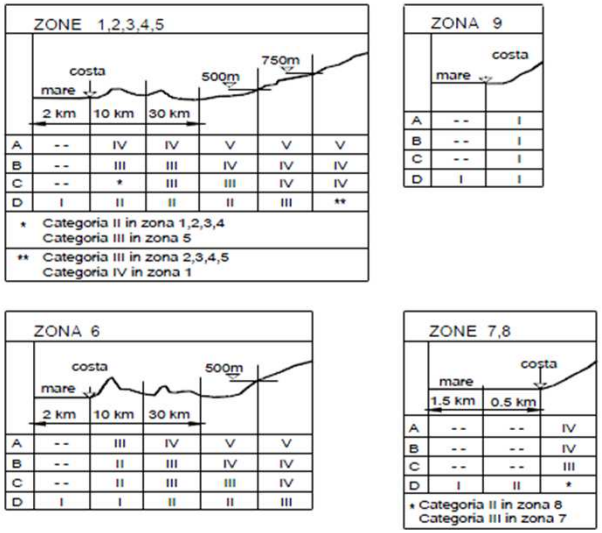


Figura 3.3.2 - *Definizione delle categorie di esposizione*

Fase3: Analisi vento

C3.3.10 COEFFICIENTE DI FORMA (O AERODINAMICO)

In assenza di valutazioni più precise, suffragate da opportuna documentazione o prove sperimentali in galleria del vento, per il coefficiente di forma si assumono i valori riportati ai punti seguenti, con l'avvertenza che si intendono positive le pressioni dirette verso l'interno delle costruzioni.

C3.3.10.1 Edifici a pianta rettangolare con coperture piane, a falde, inclinate, curve

Per la valutazione della pressione esterna si assumerà (vedere figura C3.3.2 ed esprimere α in gradi):

- per elementi sopravento (cioè direttamente investiti dal vento), con inclinazione sull'orizzontale $\alpha \geq 60°$, $c_{pe} = +0,8$
- per elementi sopravento, con inclinazione sull'orizzontale $20° < \alpha < 60°$, $c_{pe} = +0,03\alpha - 1$
- per elementi sopravento, con inclinazione sull'orizzontale $0° \leq \alpha \leq 20°$ e per elementi sottovento (intendendo come tali quelli non direttamente investiti dal vento o quelli investiti da vento radente) $c_{pe} = -0,4$

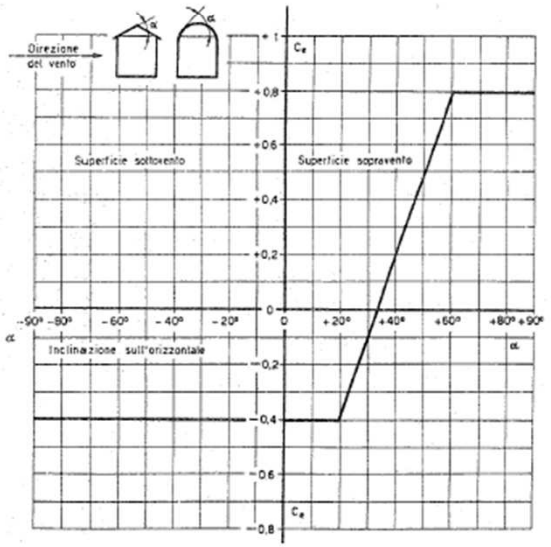


Figura C3.3.2 Valori assunti da c_{pe} al variare di α

Per la valutazione della pressione interna si assumerà (vedere figura C3.3.3 e scegliere il segno che dà luogo alla combinazione più sfavorevole):

- per costruzioni che hanno (o possono anche avere in condizioni eccezionali) una parete con aperture di superficie minore di 1/3 di quella totale: $c_{pi} = \pm 0,2$
- per costruzioni che hanno (o possono anche avere in condizioni eccezionali) una parete con aperture di superficie non minore di 1/3 di quella totale: $c_{pi} = +0,8$ quando la parete aperta è sopravento, $c_{pi} = -0,5$ quando la parete aperta è sottovento o parallela al vento;
- per costruzioni che presentano su due pareti opposte, normali alla direzione del vento, aperture di superficie non minore di 1/3 di quella totale: $c_{pe} + c_{pi} = \pm 1,2$ per gli elementi normali alla direzione del vento, $c_{pi} = \pm 0,2$ per i rimanenti elementi.

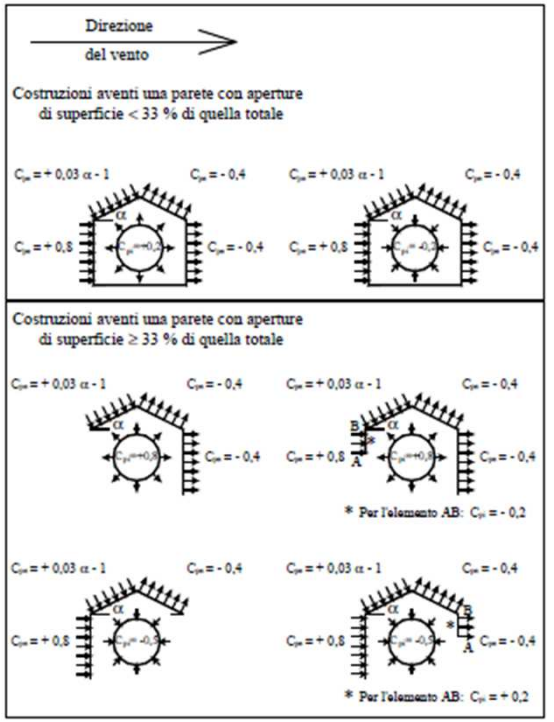
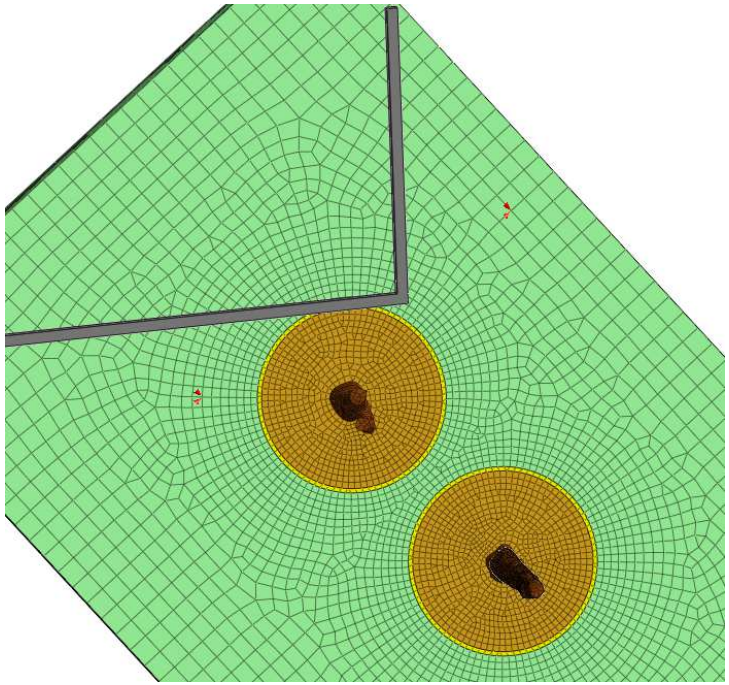


Figura C3.3.3 Coefficienti di forma per gli edifici.

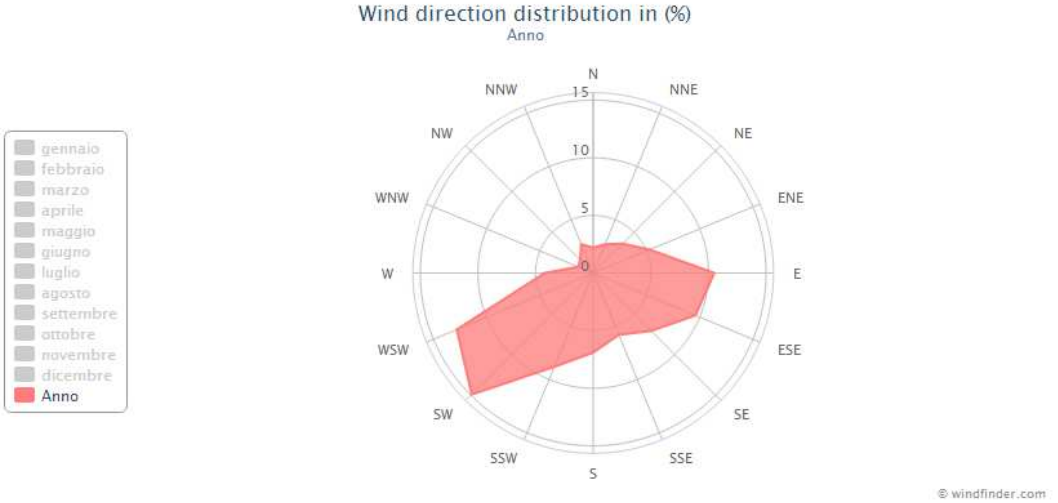
Fase3: Analisi e modellazione 3D vento



Statistiche vento | Bollettino | Previsione | Superforecast | Webcams | Mappe

Statistiche basate su osservazioni prese fra 09/2009 - 05/2015 giornalmente dalle 7 alle 19 orario locale. È possibile ordinare i dati sui venti e sul meteo non elaborati in formato Excel dalla nostra pagina di richiesta dei dati meteo storici.

Mese dell´anno	Gen	Feb	Mar	Apr	Maggio	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	1-12
Dominante Direzione del vento													
Probabilita´del vento >= 4 Beaufort (%)	2	2	5	5	5	2	2	3	2	3	3	3	3
Media Velocita´ del vento (kts)	4	4	5	6	5	5	5	5	4	4	4	4	4
Temperatura dell´aria media (°C)	5	6	12	17	21	25	27	27	22	16	11	5	16



Fasi di studio

Fase 1: stima 3D impianto radicale

Fase 2: ricostruzione 3D fusto e pianta

Fase 3: Analisi e modellazione 3D vento

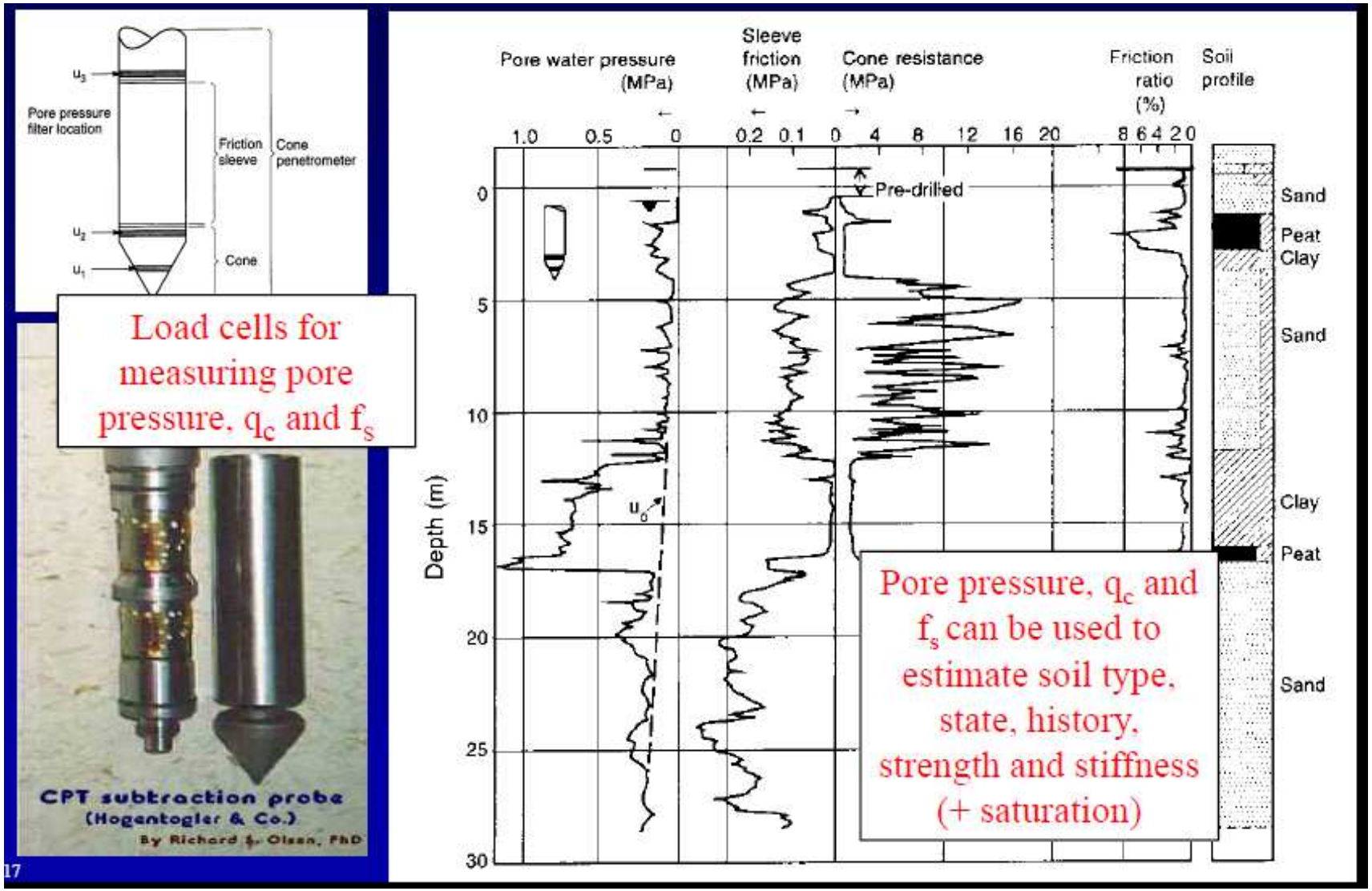
Fase 4: definizione parametri di resistenza e rigidezza

Fase 5: analisi 3D interazione terreno/pianta/vento

Fase 6: predizione (num) e validazione (sperim)

Fase 7: verifica stabilità ed progettazione interventi di rinforzo

Fase4: definizione parameti di resistenza e rigidezza

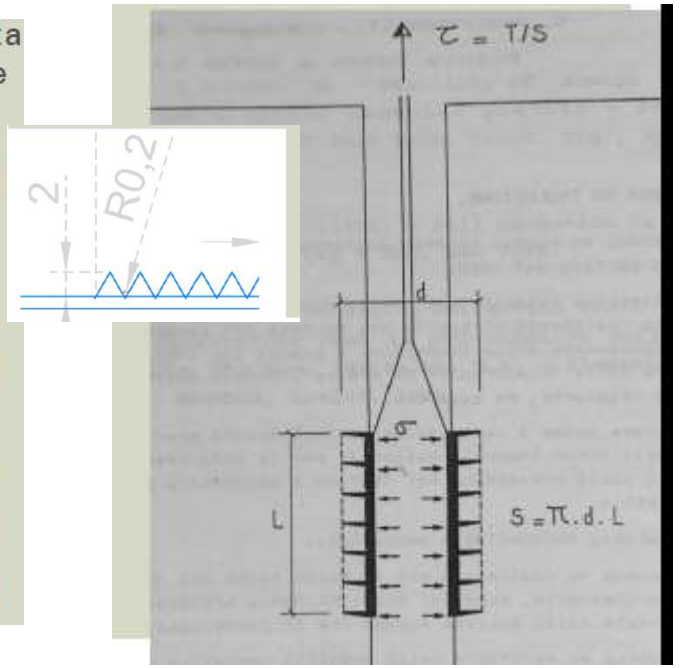


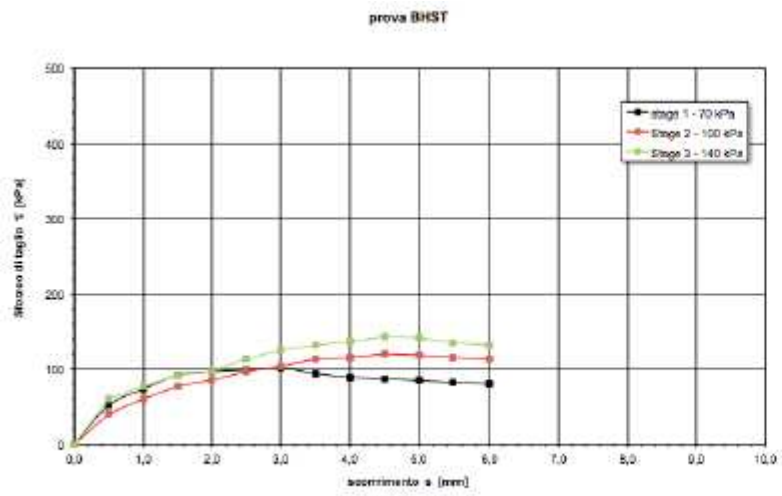
Fase4: definizione parametri di resistenza e rigidezza

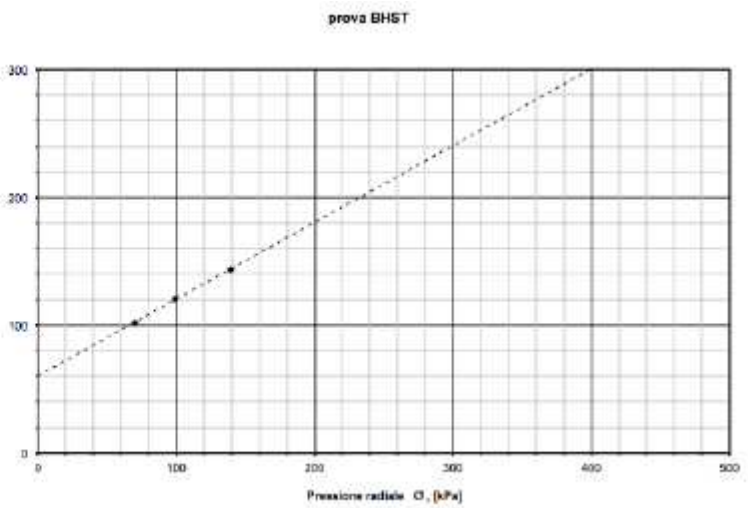
Prova di taglio diretto: Stima angolo attrito terreno 31°

Fase4: definizione parametri di resistenza e rigidezza

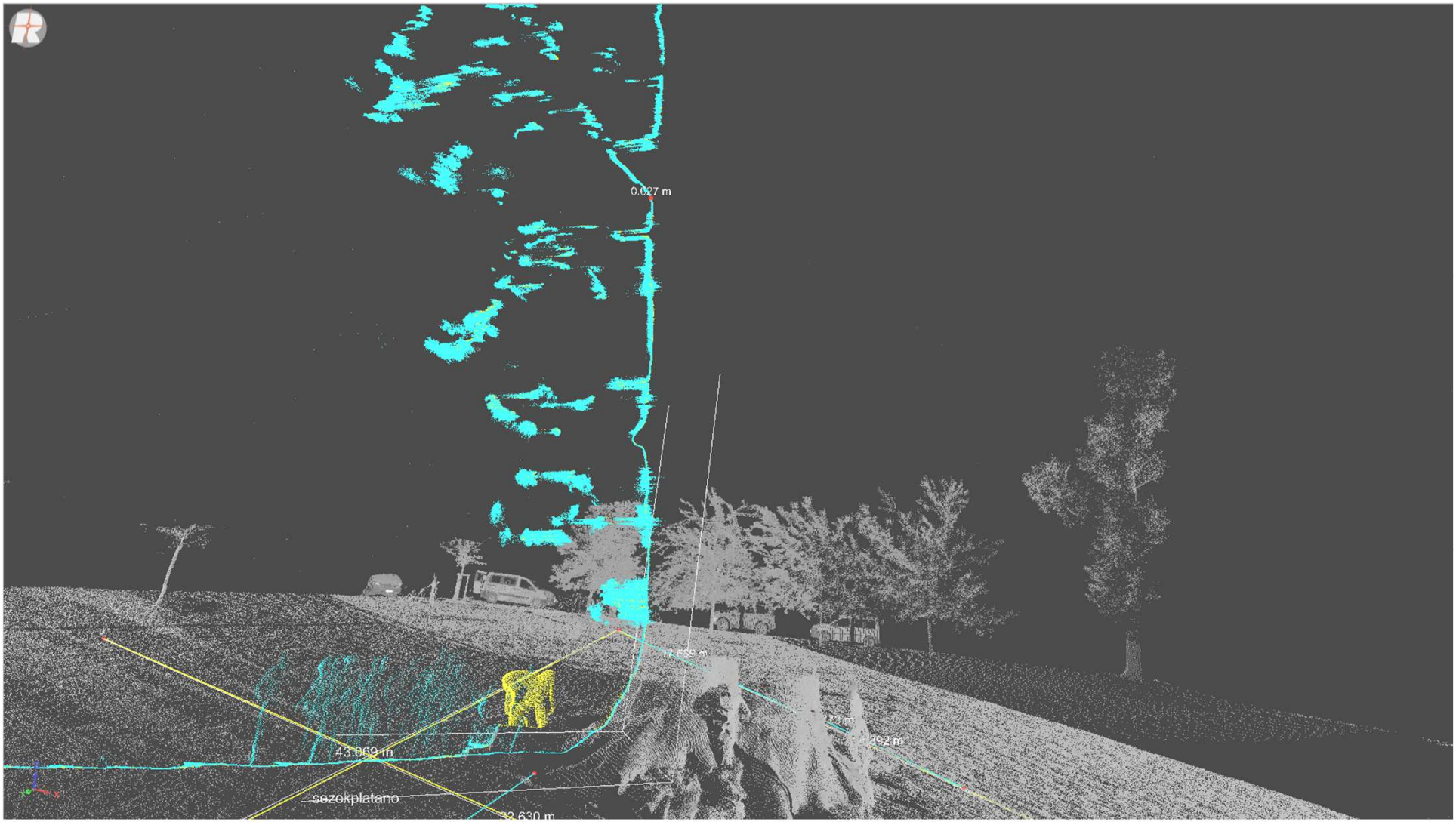
La sonda BHST è stata sviluppata per ottenere una stima diretta e veloce dei valori di resistenza di terreni granulometricamente inferiori alle sabbie.



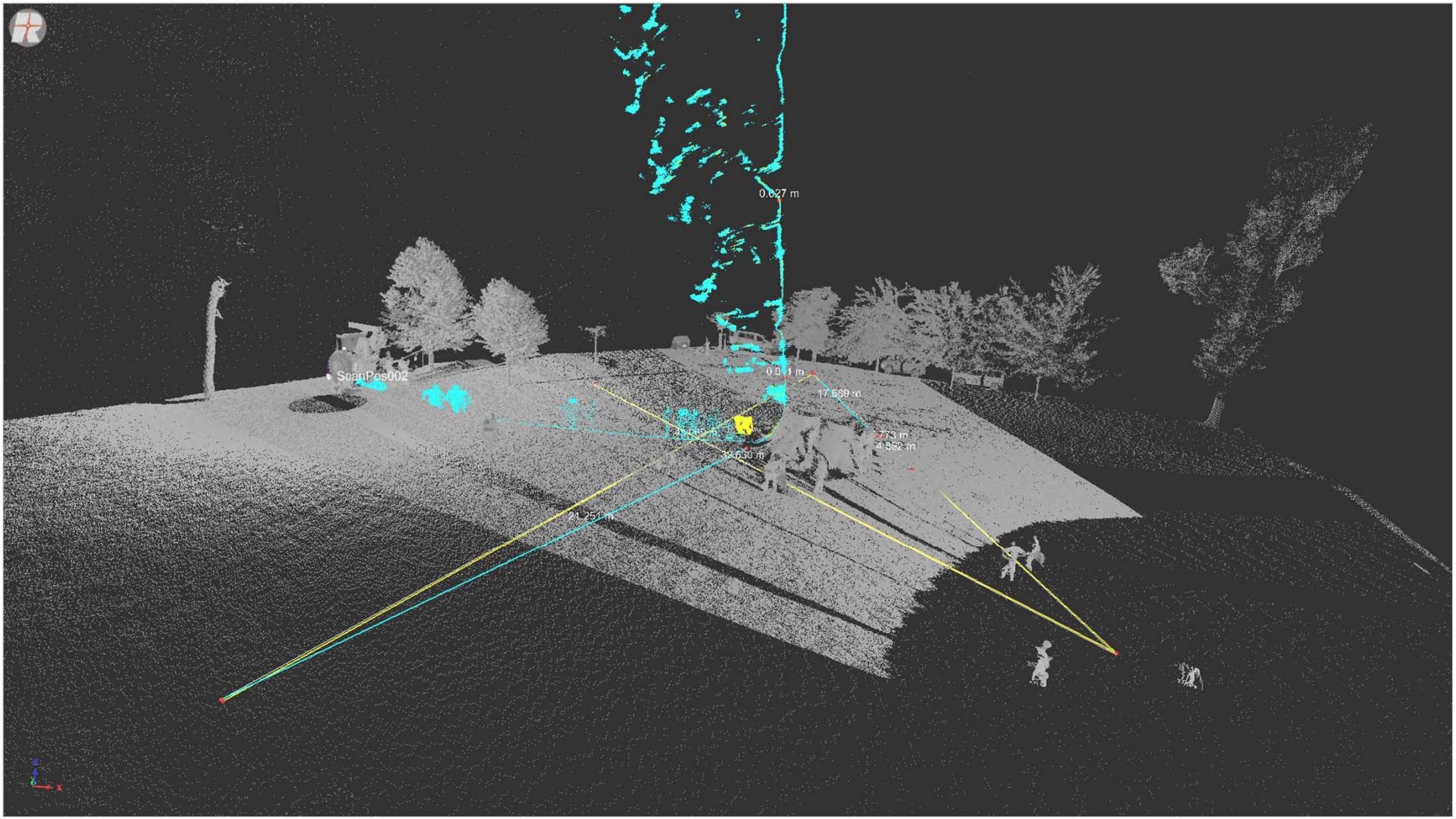




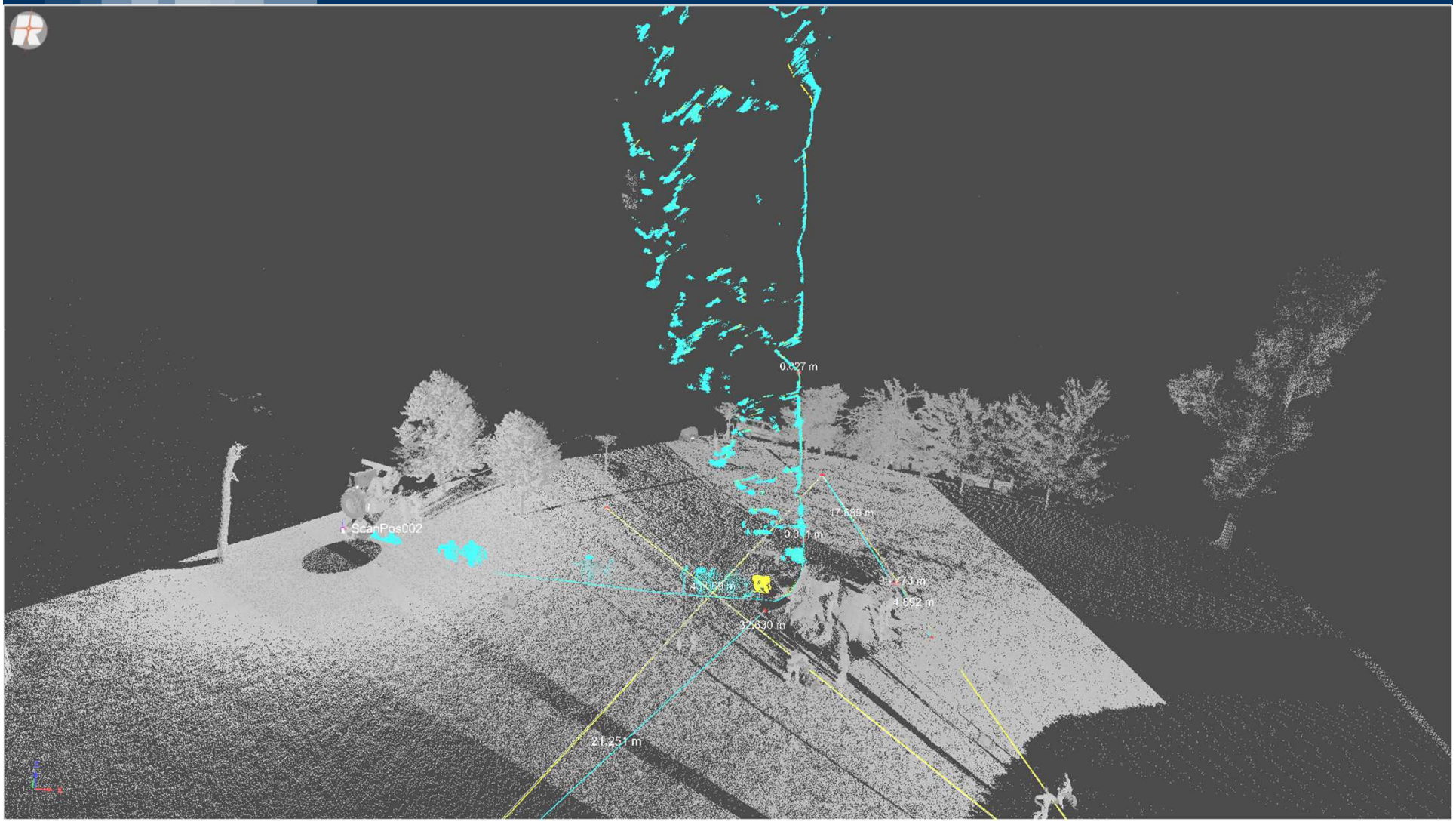
Fase4: definizione parametri di resistenza e rigidezza



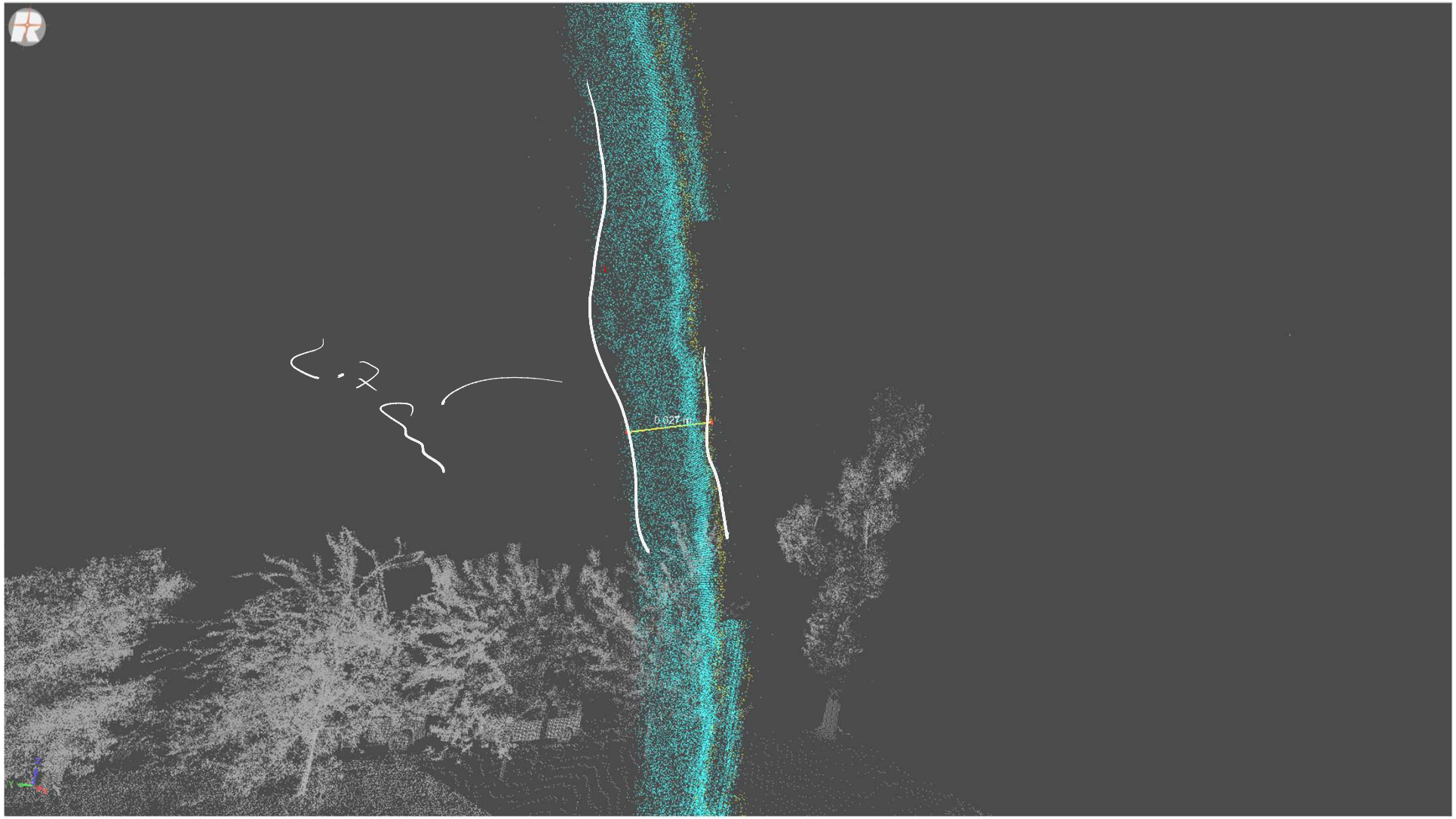
Fase4: definizione parametri di resistenza e rigidezza



Fase4: definizione parametri di resistenza e rigidezza



Fase4: definizione parametri di resistenza e rigidezza



Fasi di studio

Fase 1: stima 3D impianto radicale

Fase 2: ricostruzione 3D fusto e pianta

Fase 3: Analisi e modellazione 3D vento

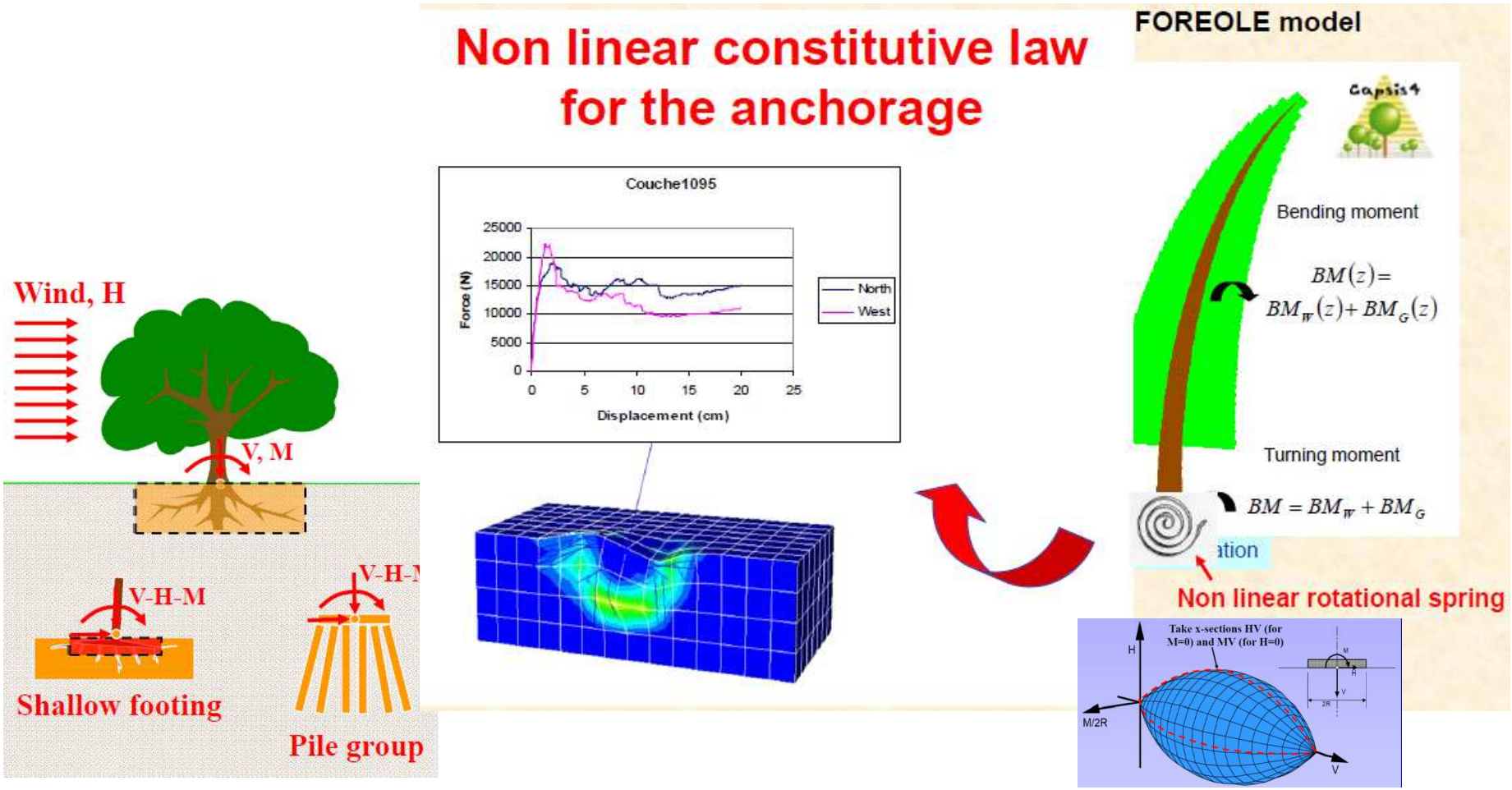
Fase 4: definizione parametri di resistenza e rigidezza

Fase 5: analisi 3D interazione terreno/pianta/vento

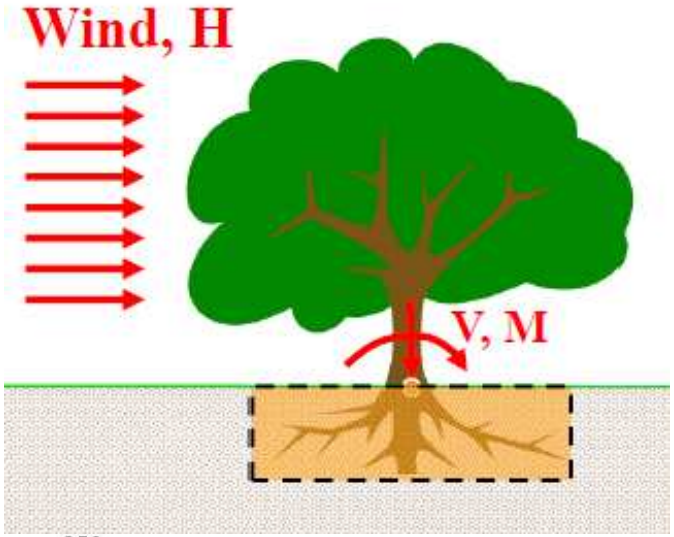
Fase 6: predizione (num) e validazione (sperim)

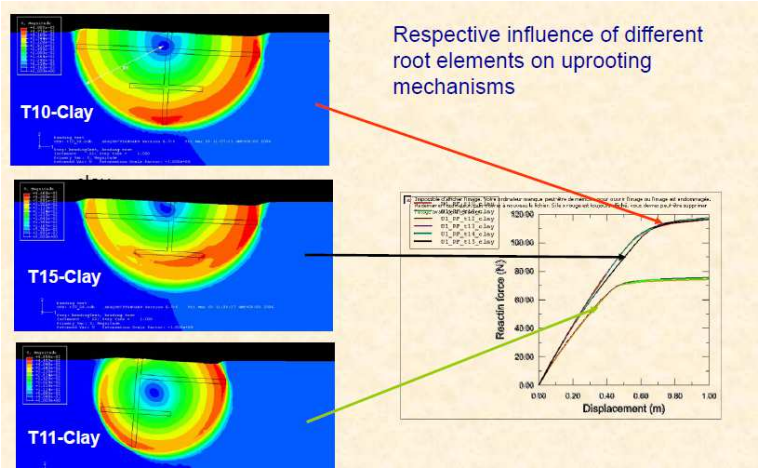
Fase 7: verifica stabilità ed progettazione interventi di rinforzo

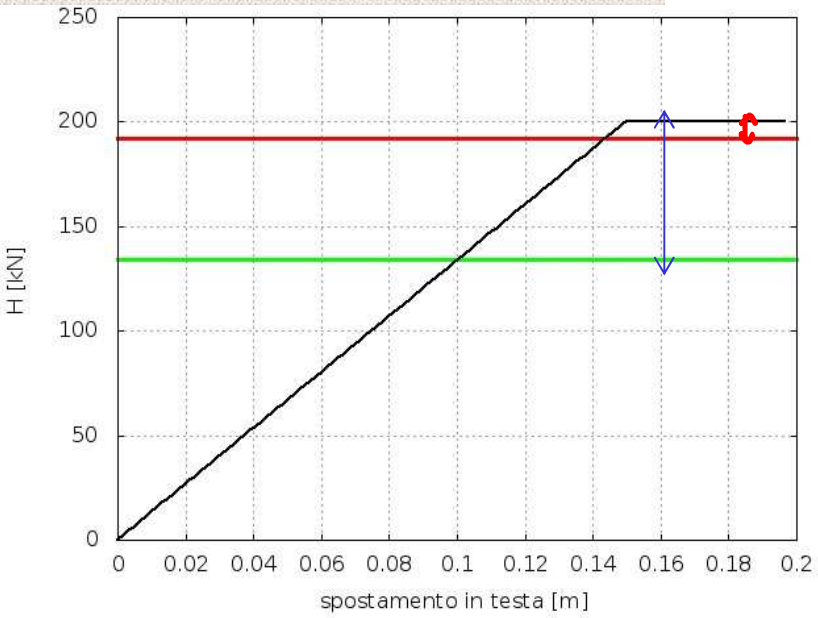
Fase5: analisi 3D interazione terreno/pianta/vento

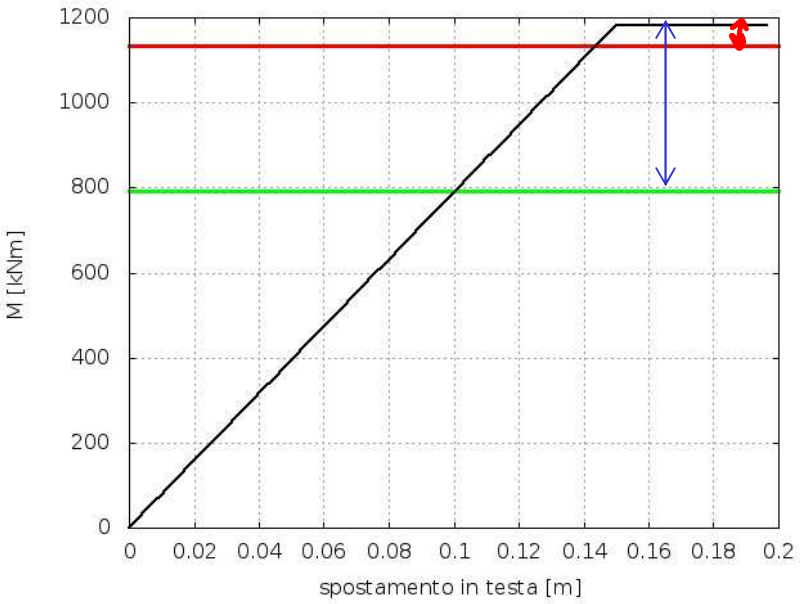


Fase5: analisi 3D interazione terreno/pianta/vento









Fasi di studio

Fase 1: stima 3D impianto radicale

Fase 2: ricostruzione 3D fusto e pianta

Fase 3: Analisi e modellazione 3D vento

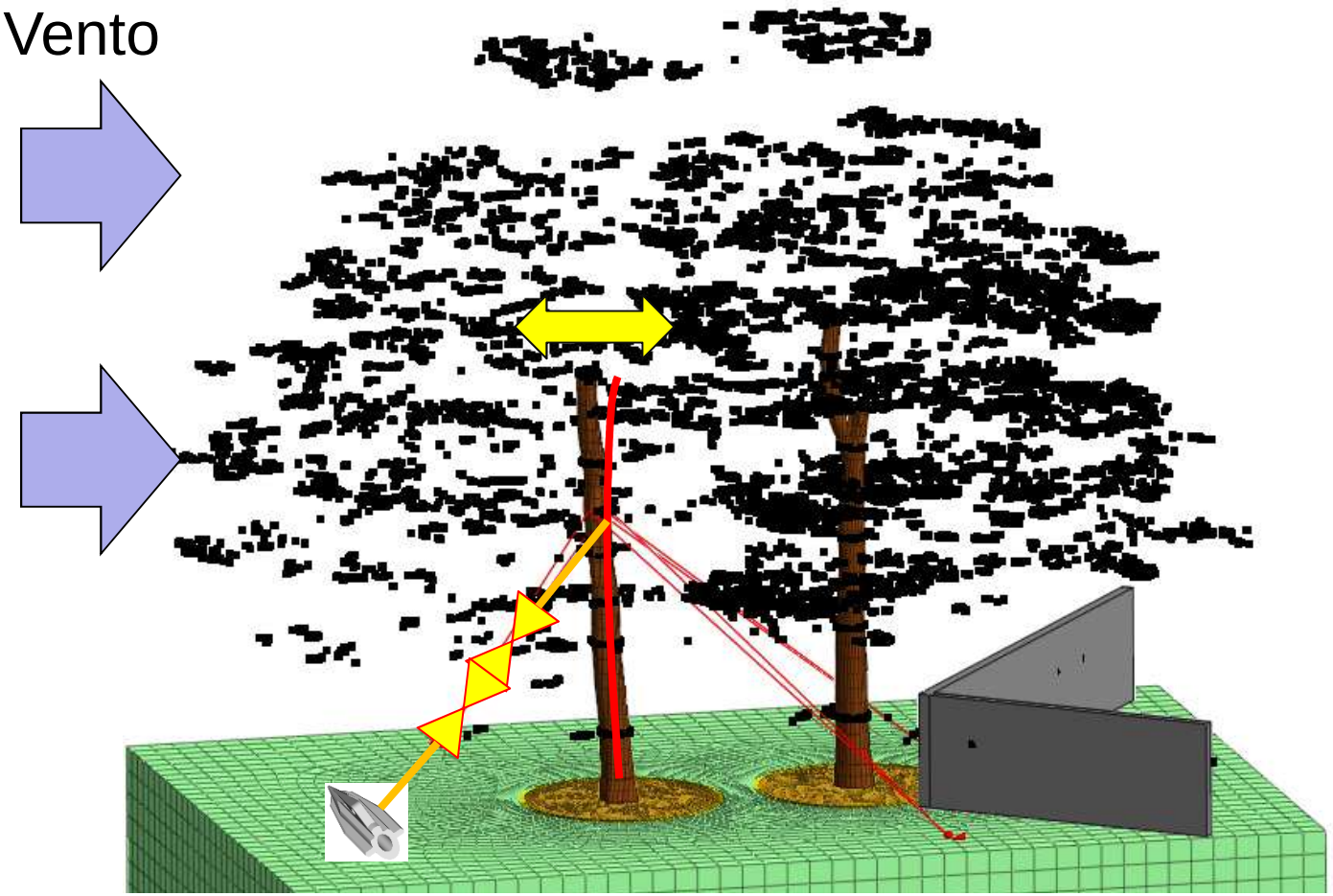
Fase 4: definizione parametri di resistenza e rigidezza

Fase 5: analisi 3D interazione terreno/pianta/vento

Fase 6: predizione numerica

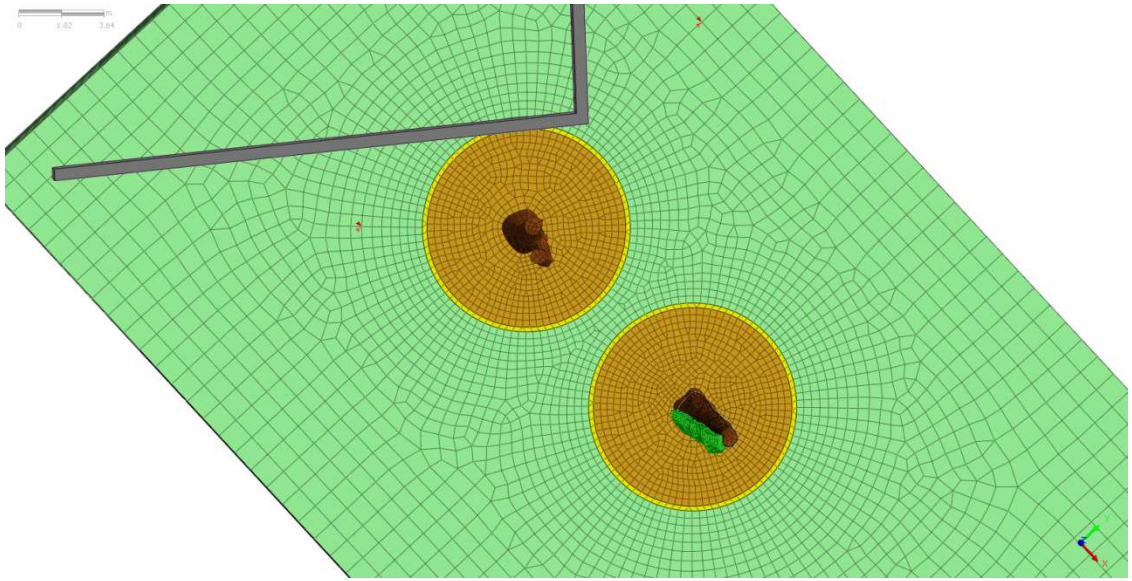
Fase 7: verifica stabilità ed progettazione interventi di rinforzo

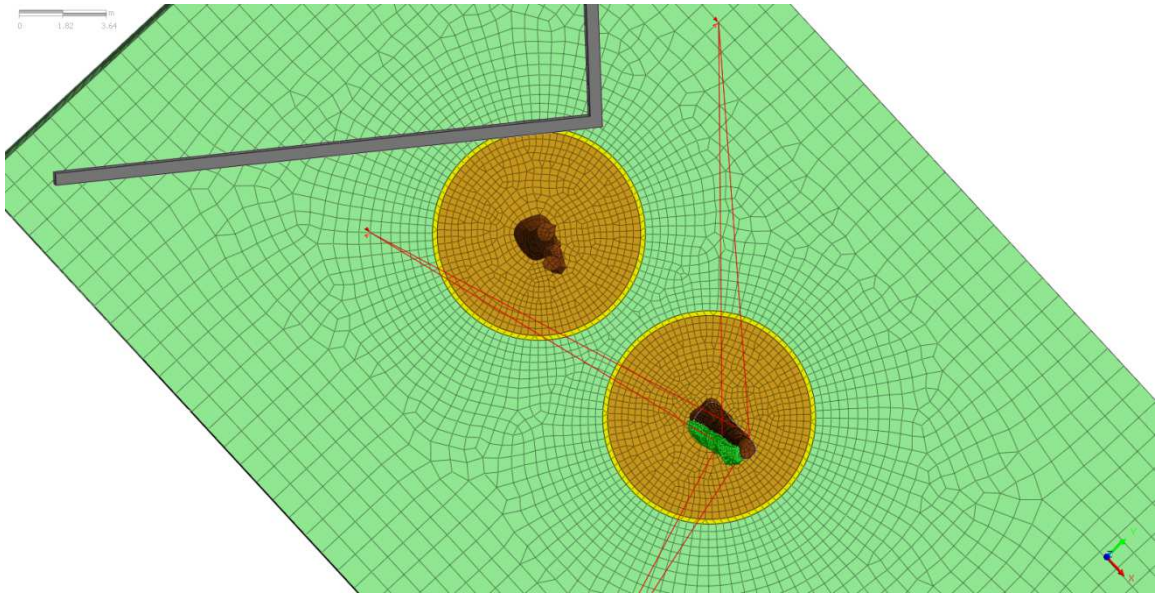
Fase 6: Soluzione progettuale



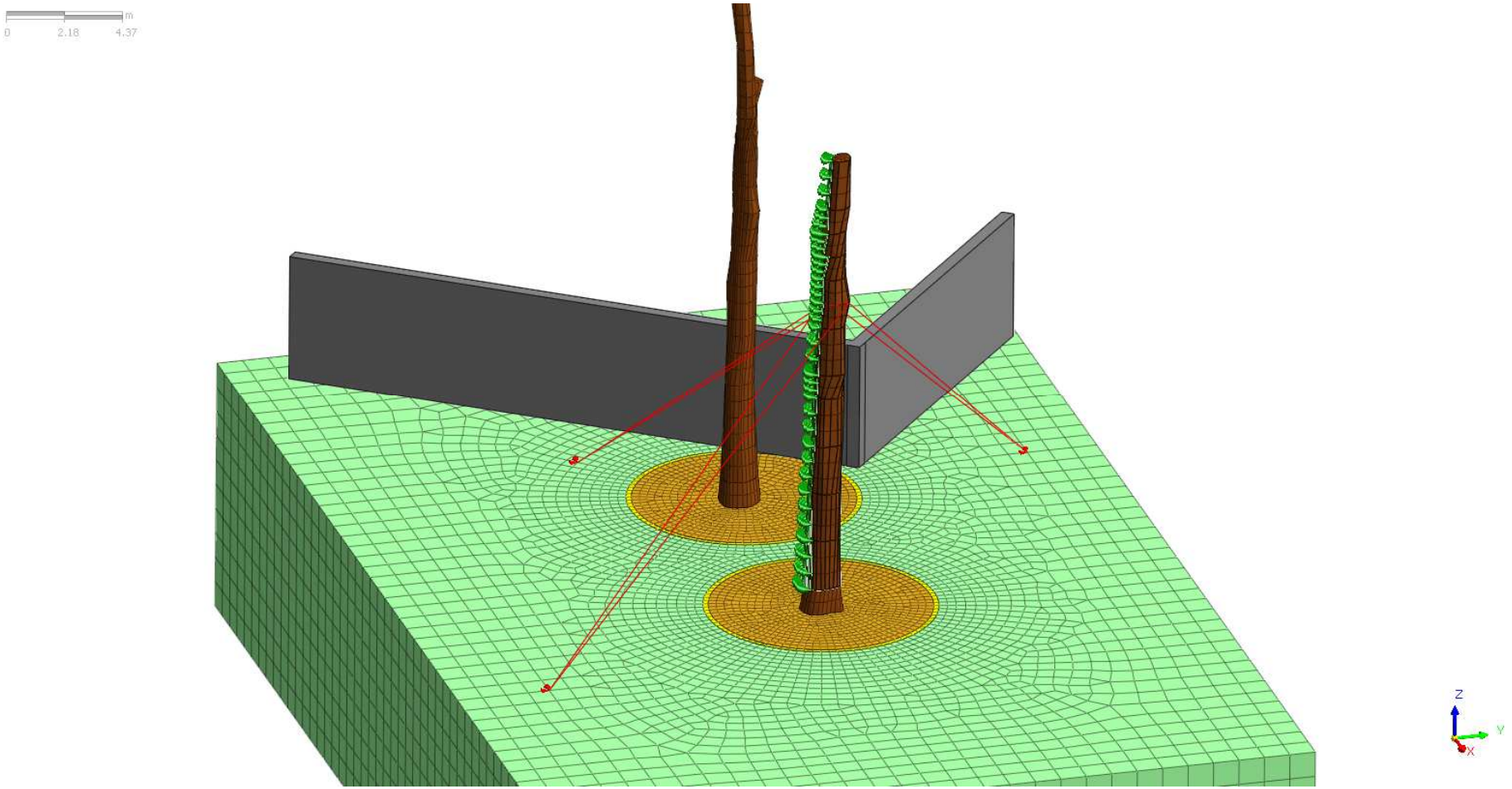
Sistema di ancoraggio passivo che riduce la forzante solo quando la pianta si flette. In assenza di vento non influsce sulla crescita e sviluppo dell'albero

Fase6: Predizione numerica

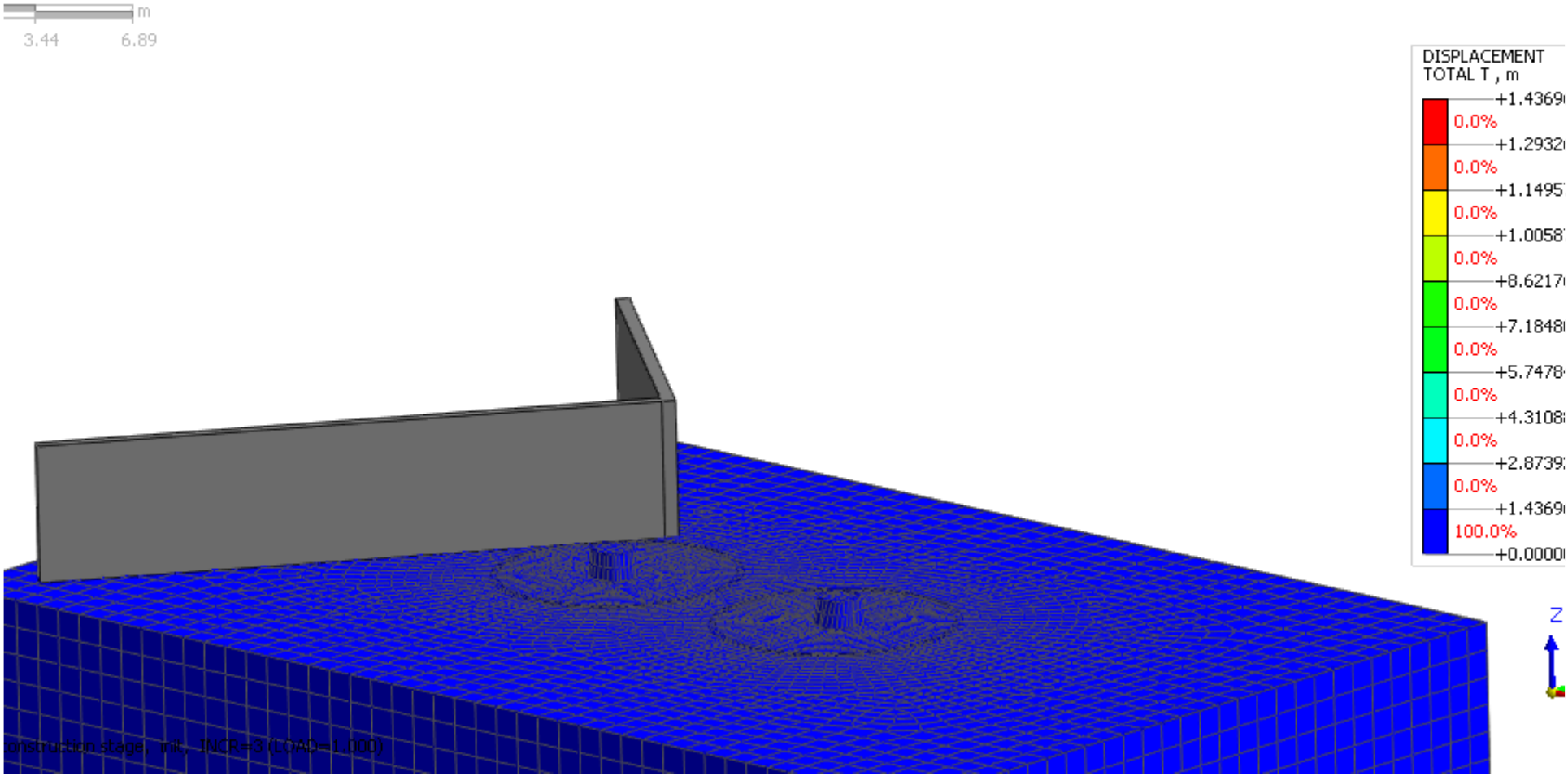




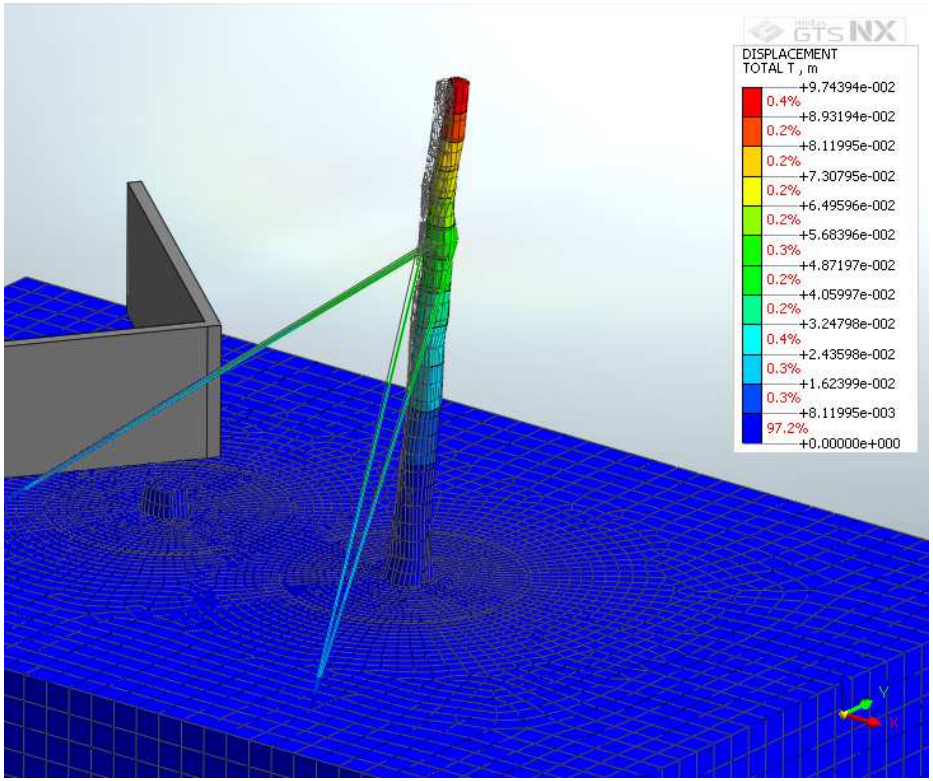
Fase6: Predizione numerica

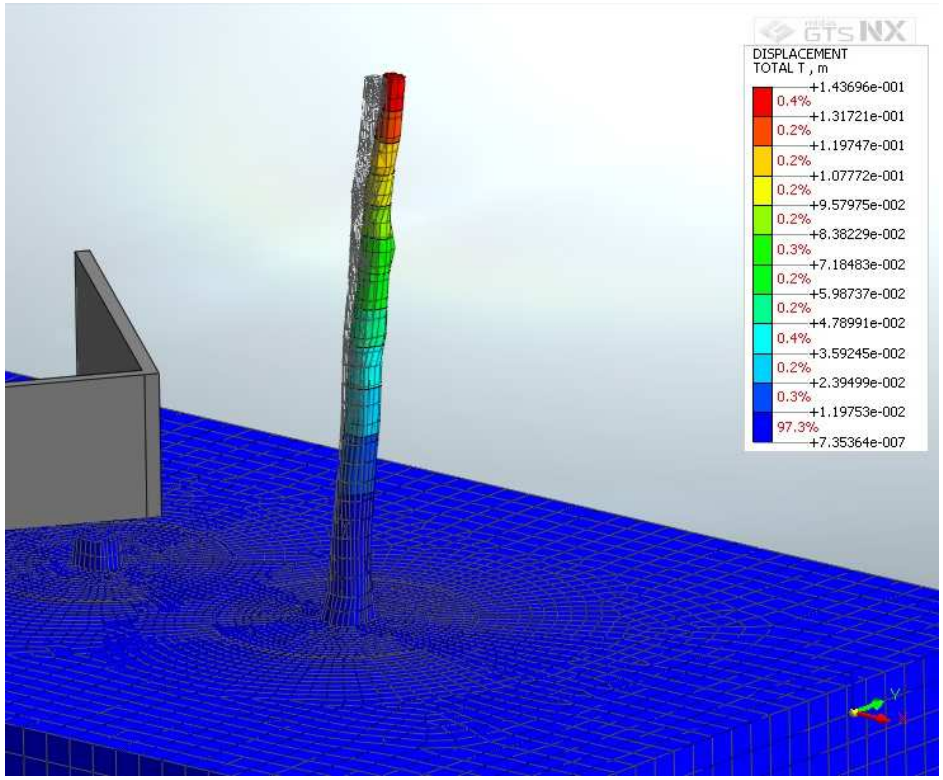


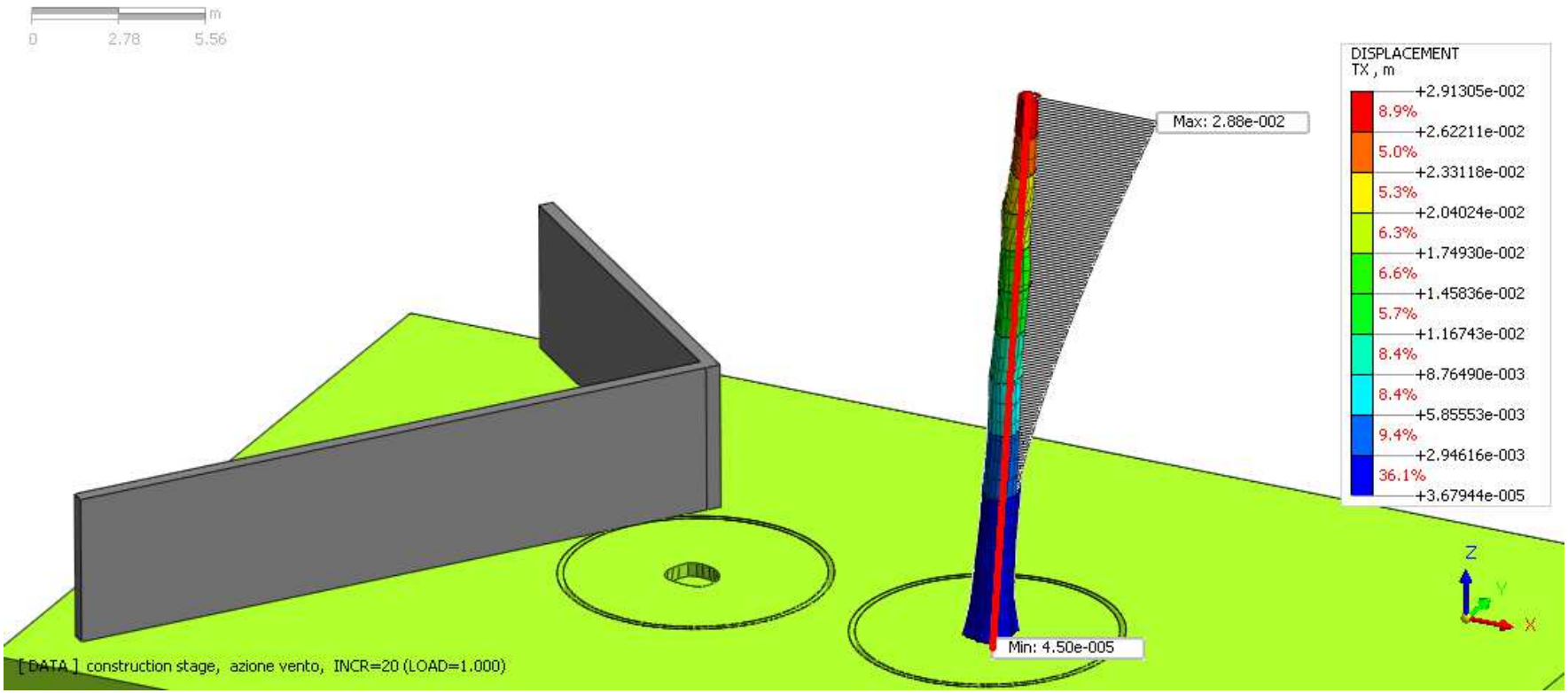
Fase6: Predizione numerica

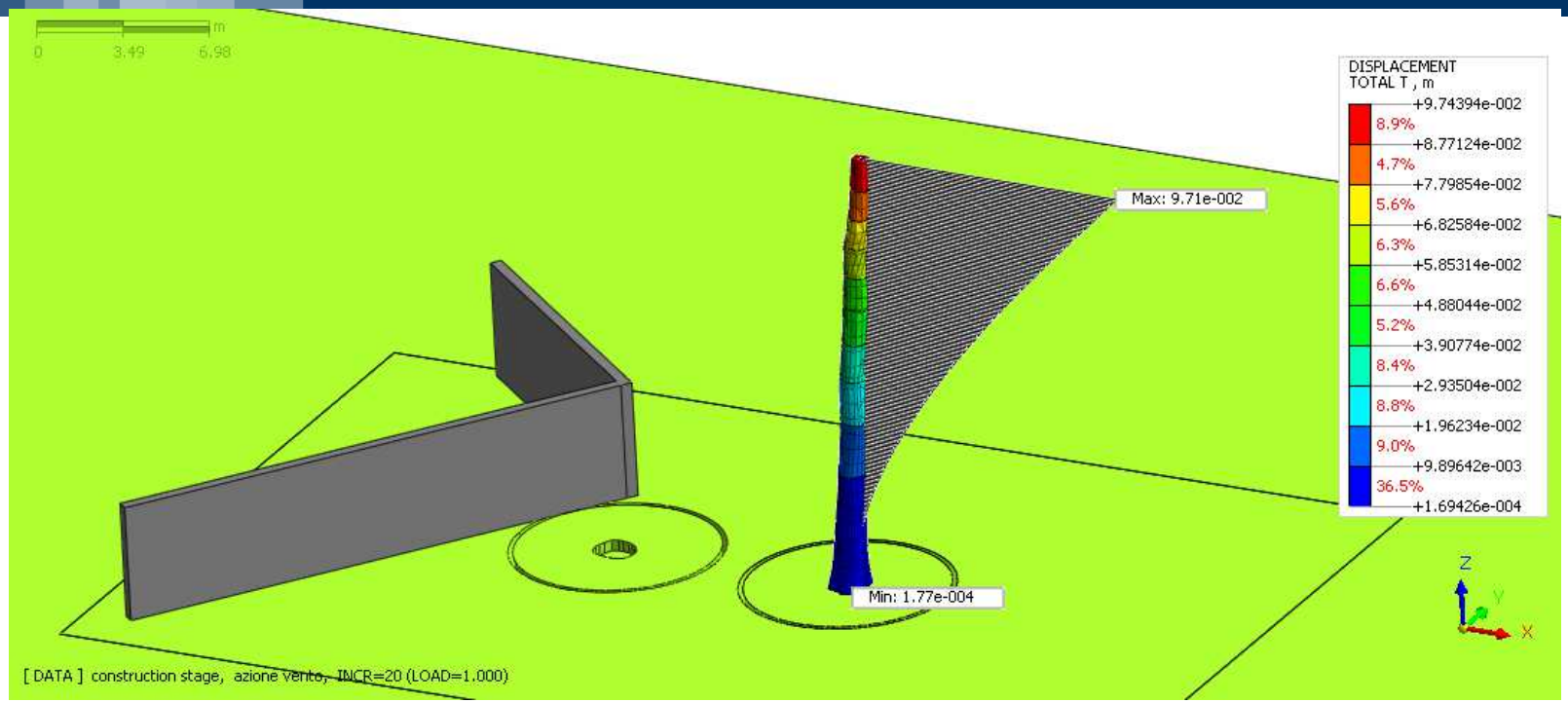


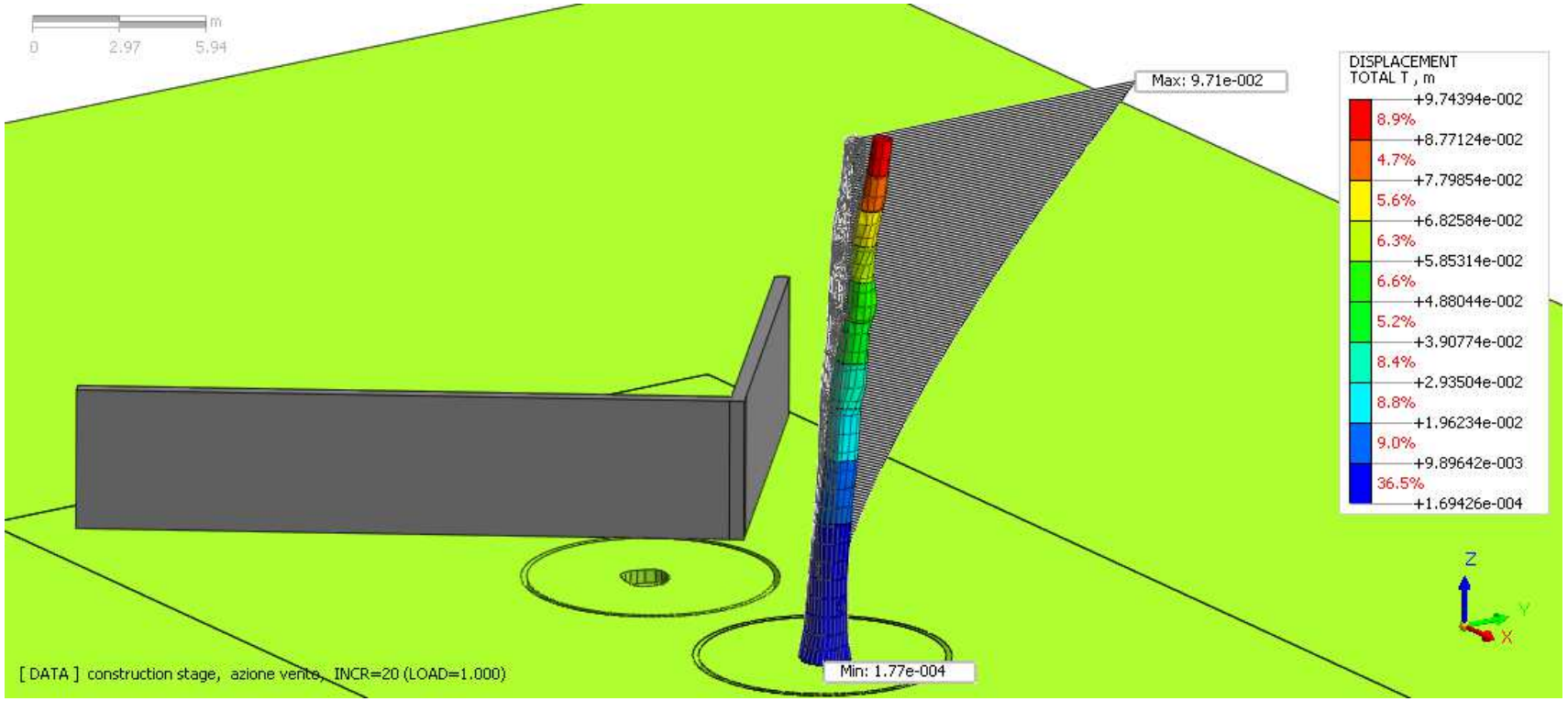
Fase6: Predizione numerica

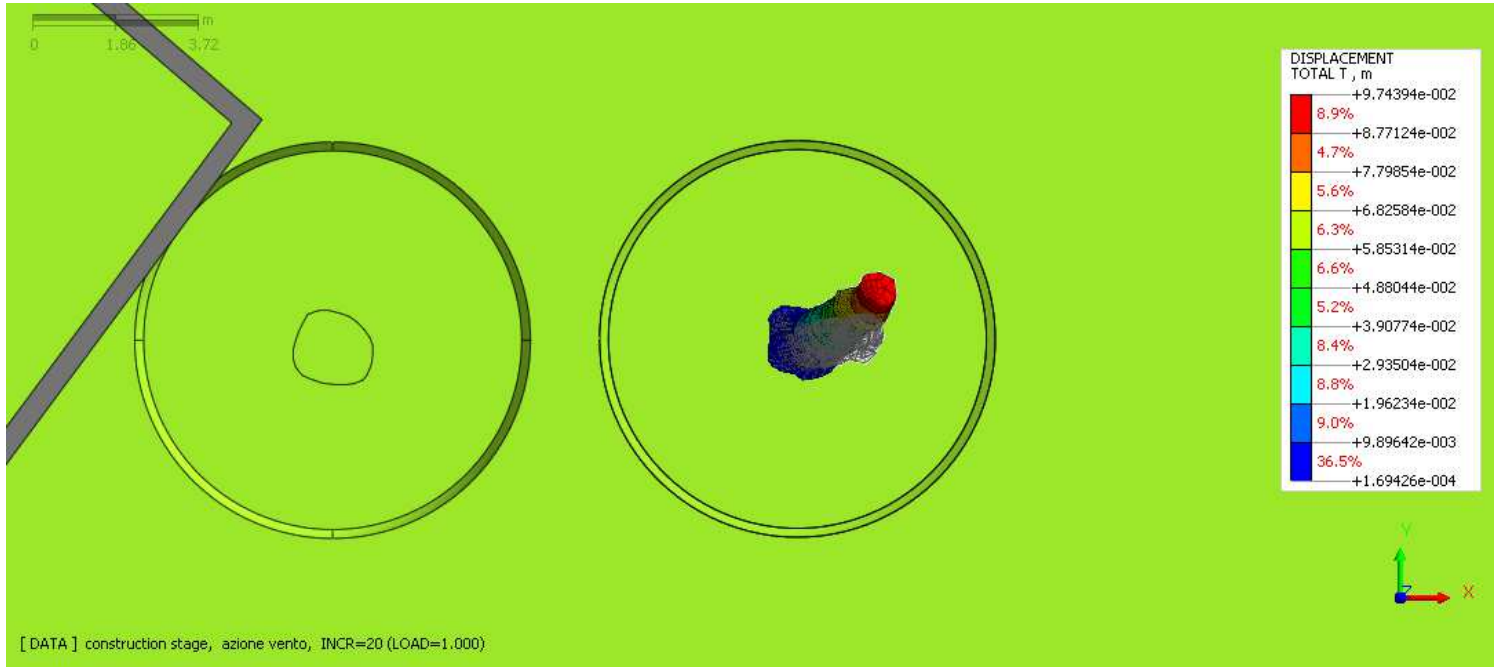


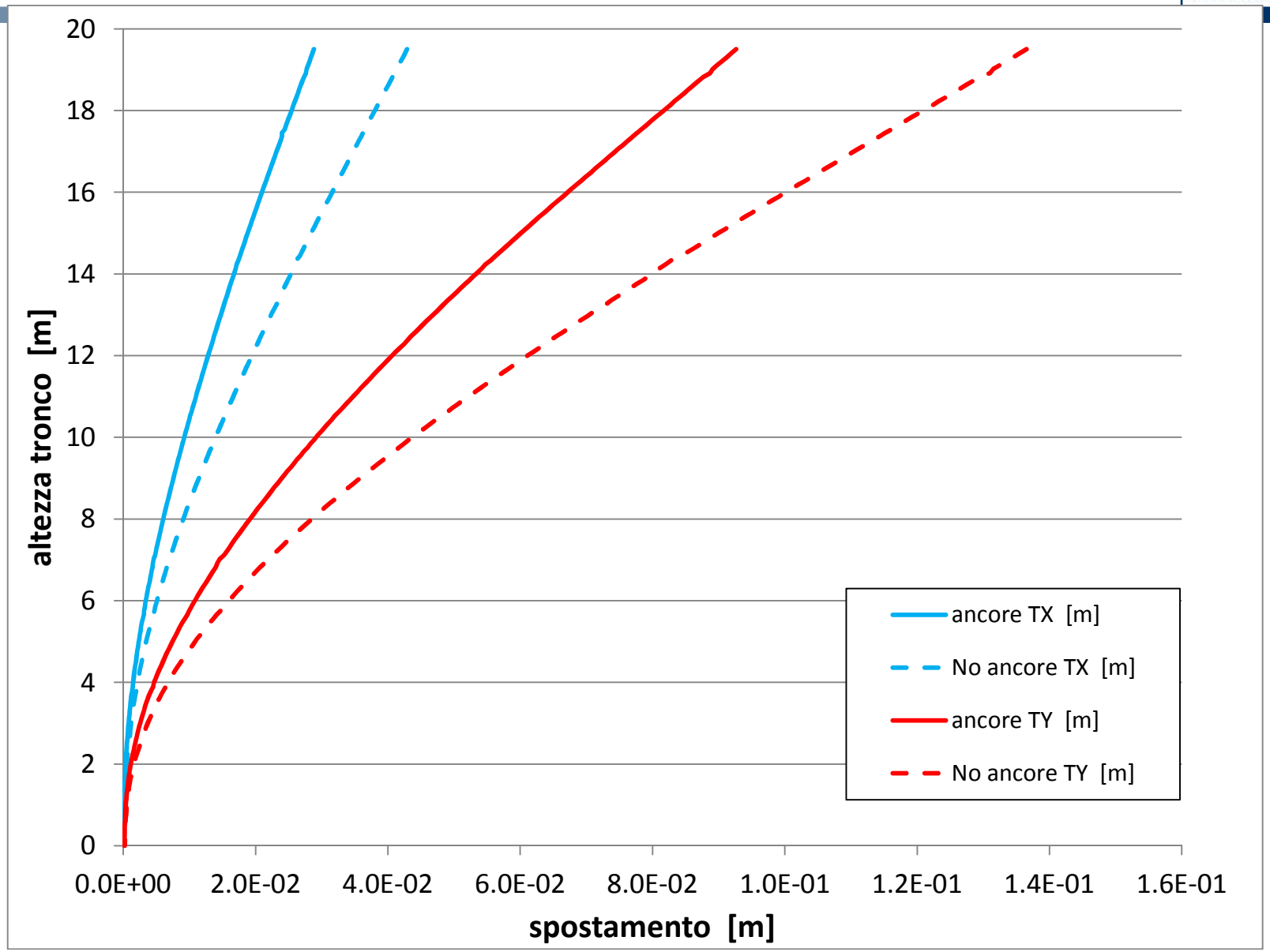


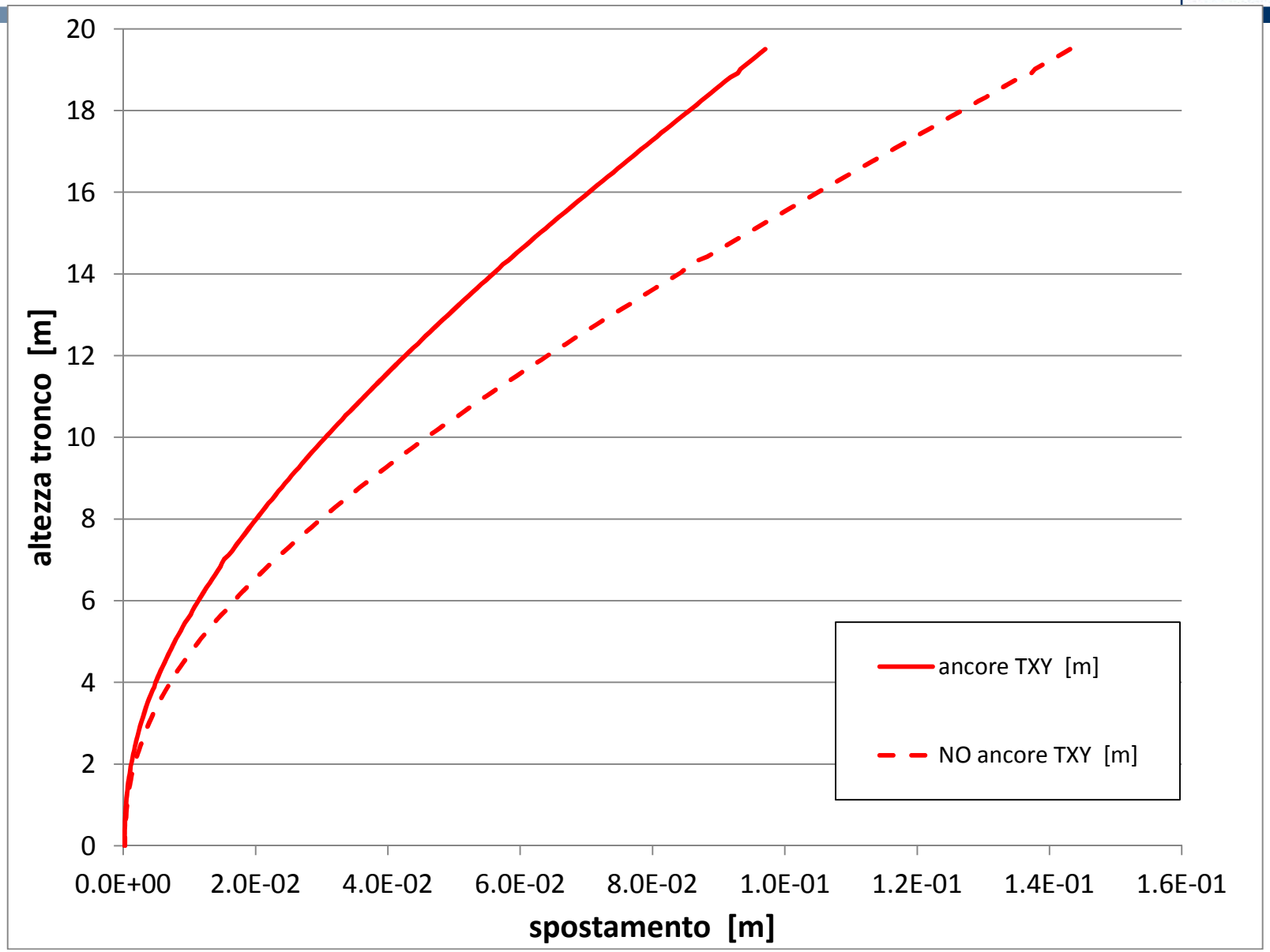

m
0
2.78
5.56
DISPLACEMENT
TX , m
+2.91305e-002
8.9%
+2.62211e-002
5.0%
+2.33118e-002
5.3%
+2.04024e-002
6.3%
+1.74930e-002
6.6%
+1.45836e-002
5.7%
+1.16743e-002
8.4%
+8.76490e-003
8.4%
+5.85553e-003
9.4%
+2.94616e-003
36.1%
+3.67944e-005
Max: 2.88e-002
Min: 4.50e-005
Z
Y
X
[DATA] construction stage, azione vento, INCR=20 (LOAD=1.000)


m
0
3.49
6.98
DISPLACEMENT
TOTAL T , m
+9.74394e-002
8.9%
+8.77124e-002
4.7%
+7.79854e-002
5.6%
+6.82584e-002
6.3%
+5.85314e-002
6.6%
+4.88044e-002
5.2%
+3.90774e-002
8.4%
+2.93504e-002
8.8%
+1.96234e-002
9.0%
+9.89642e-003
36.5%
+1.69426e-004
Max: 9.71e-002
Min: 1.77e-004
Z
Y
X
[DATA] construction stage, azione vento, INCR=20 (LOAD=1.000)

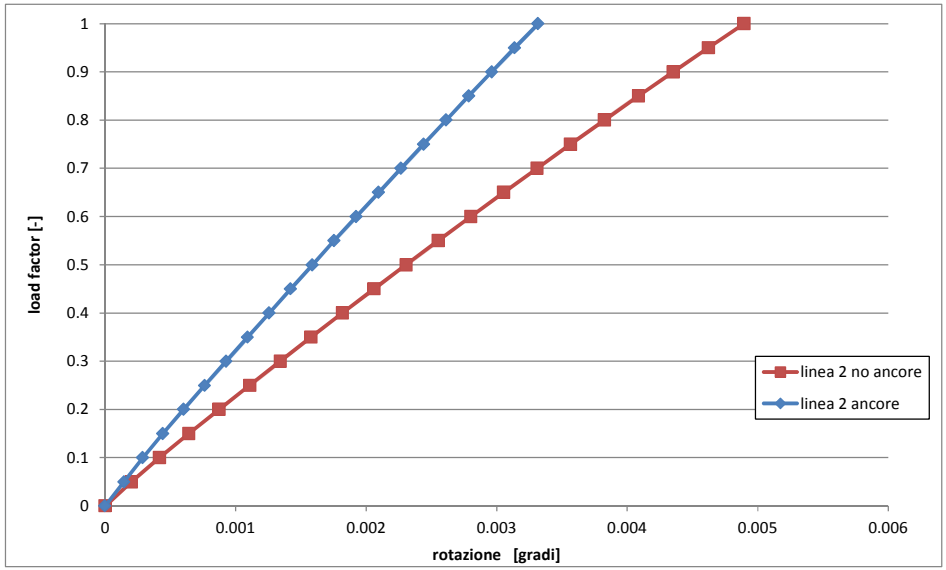

m
0
2.97
5.94
Max: 9.71e-002
DISPLACEMENT
TOTAL T , m
+9.74394e-002
8.9%
+8.77124e-002
4.7%
+7.79854e-002
5.6%
+6.82584e-002
6.3%
+5.85314e-002
6.6%
+4.88044e-002
5.2%
+3.90774e-002
8.4%
+2.93504e-002
8.8%
+1.96234e-002
9.0%
+9.89642e-003
36.5%
+1.69426e-004
Z
Y
X
[DATA] construction stage, azione vento, INCR=20 (LOAD=1.000)
Min: 1.77e-004

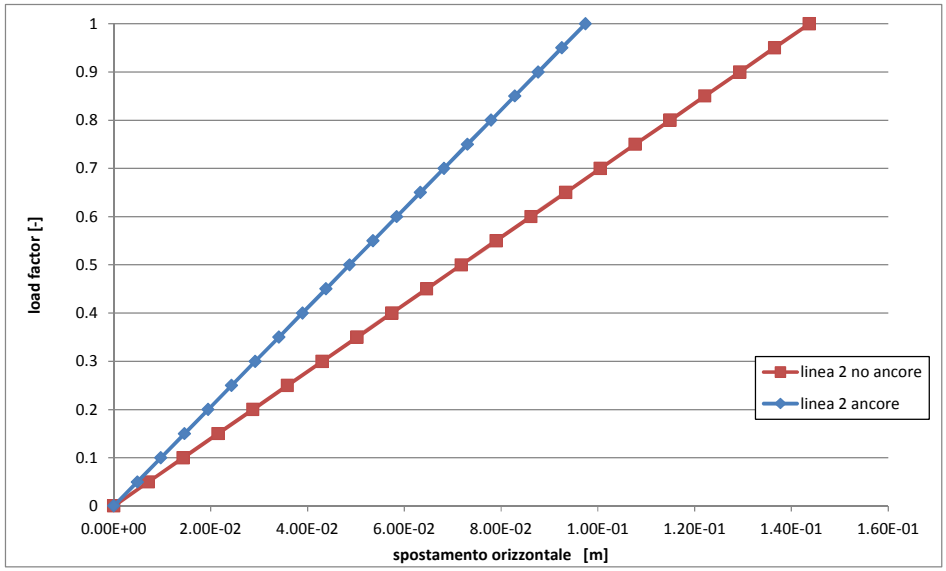

m
0
1.86
3.72
DISPLACEMENT
TOTAL T , m
+9.74394e-002
8.9%
+8.77124e-002
4.7%
+7.79854e-002
5.6%
+6.82584e-002
6.3%
+5.85314e-002
6.6%
+4.88044e-002
5.2%
+3.90774e-002
8.4%
+2.93504e-002
8.8%
+1.96234e-002
9.0%
+9.89642e-003
36.5%
+1.69426e-004
Y
Z
X
[DATA] construction stage, azione vento, INCR=20 (LOAD=1.000)


altezza tronco [m]
spostamento [m]
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
0.0E+00
2.0E-02
4.0E-02
6.0E-02
8.0E-02
1.0E-01
1.2E-01
1.4E-01
1.6E-01
ancore TX [m]
No ancore TX [m]
ancore TY [m]
No ancore TY [m]

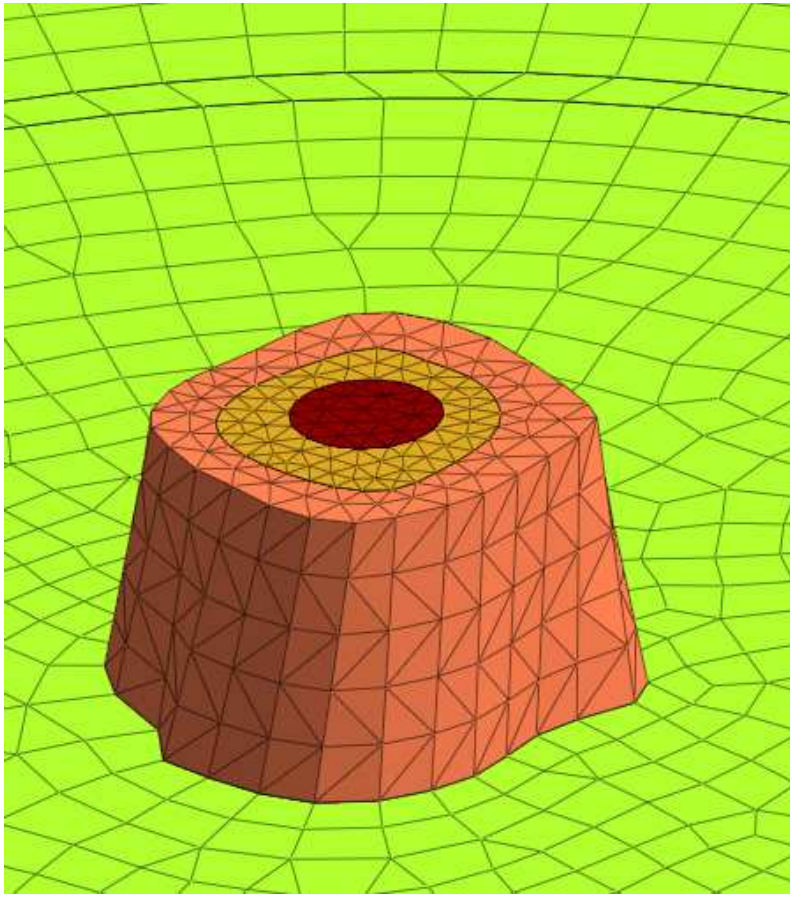

20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
altezza tronco [m]
0.0E+00
2.0E-02
4.0E-02
6.0E-02
8.0E-02
1.0E-01
1.2E-01
1.4E-01
1.6E-01
spostamento [m]
ancore TXY [m]
NO ancore TXY [m]

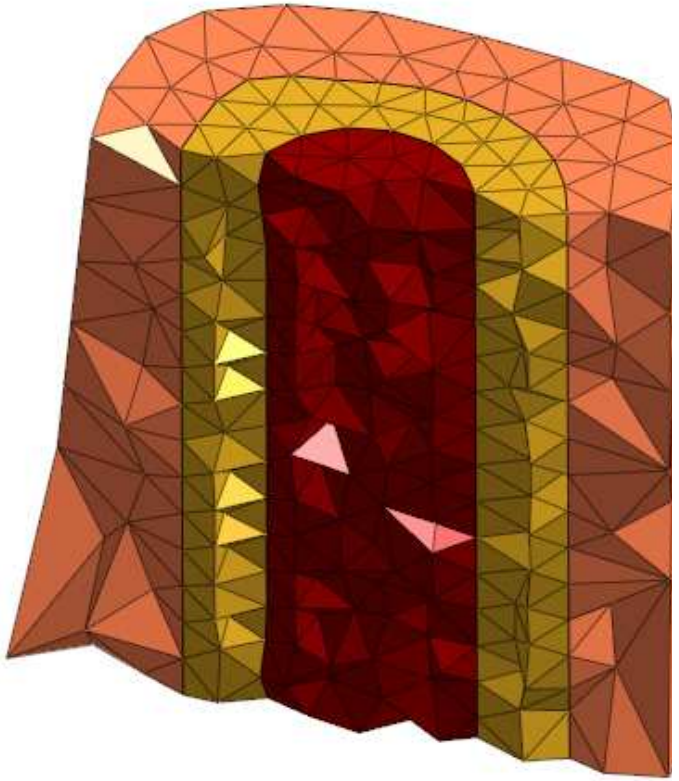
Fase6: Predizione numerica



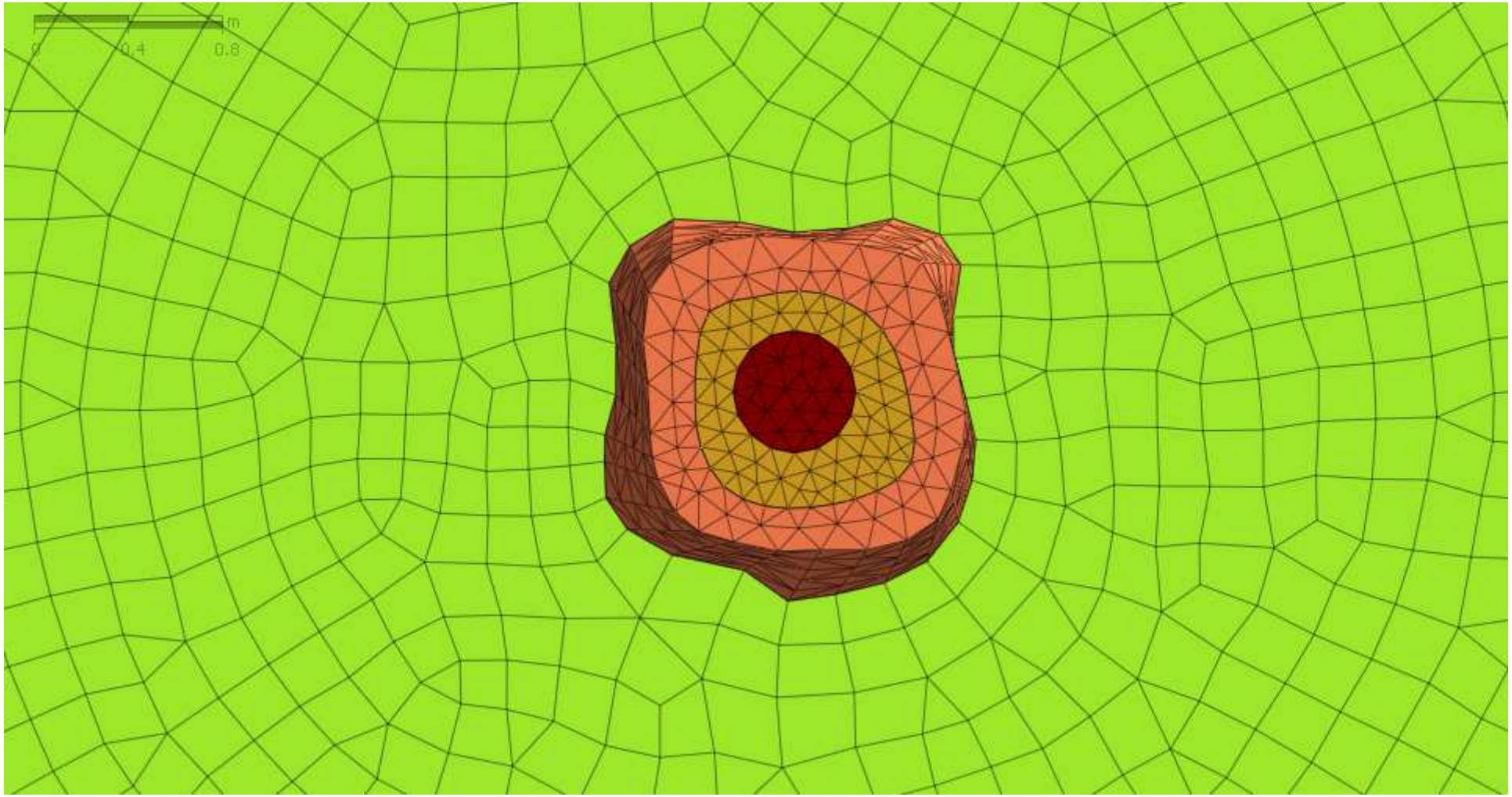


Fase6: Predizione numerica

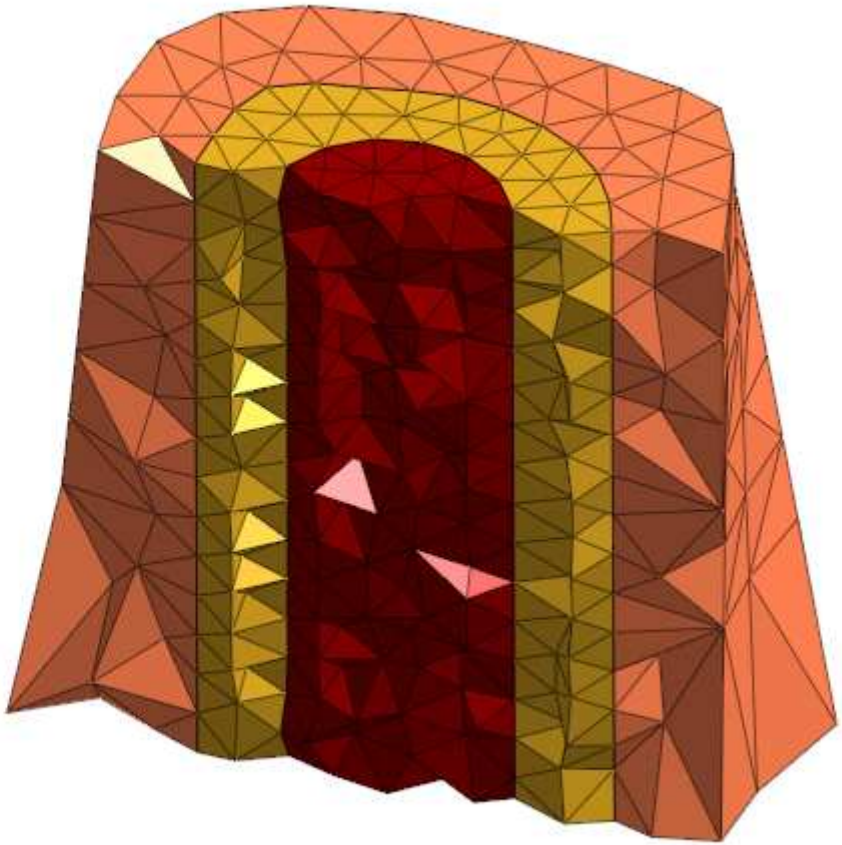




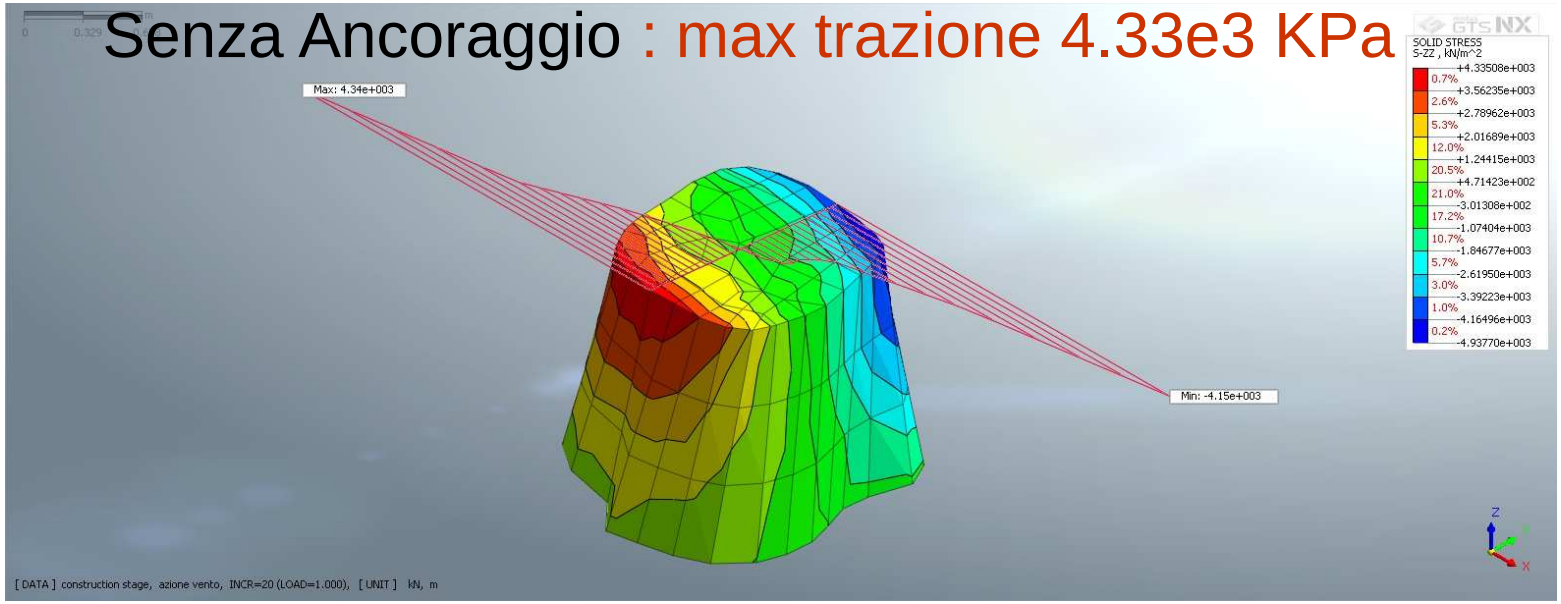
Fase6: Predizione numerica



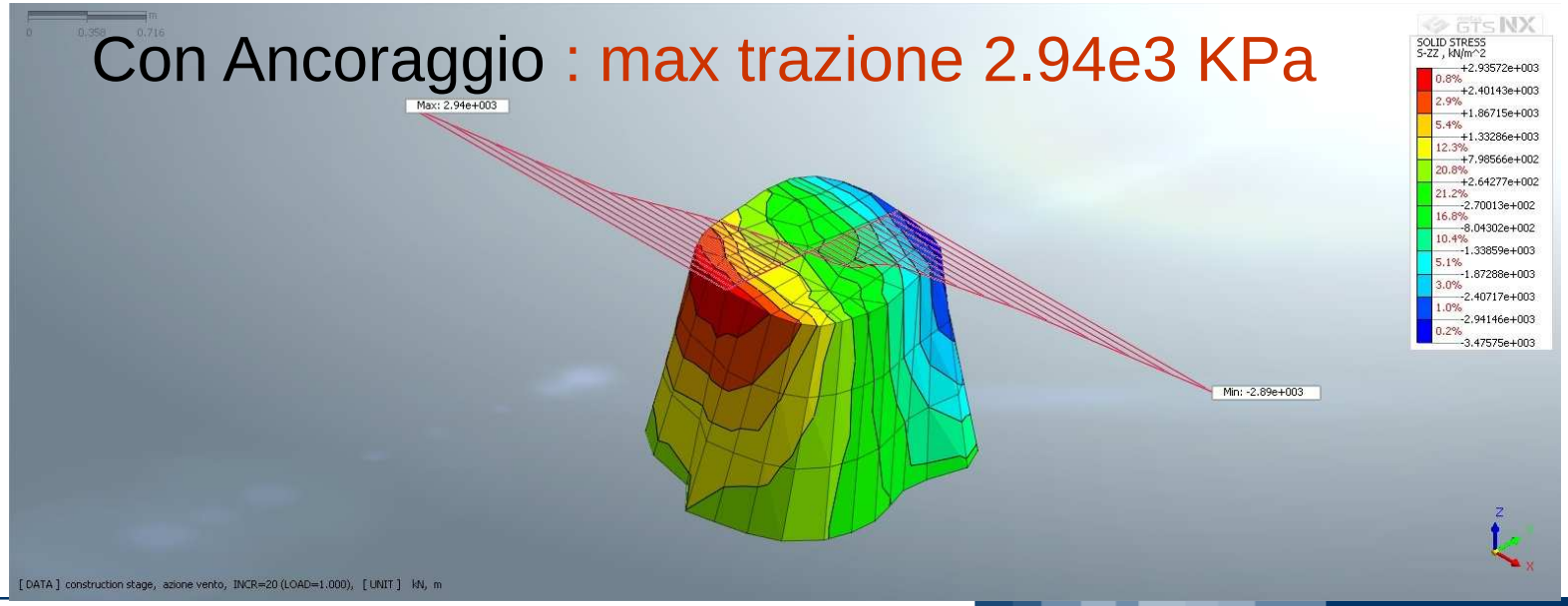
Fase6: Predizione numerica



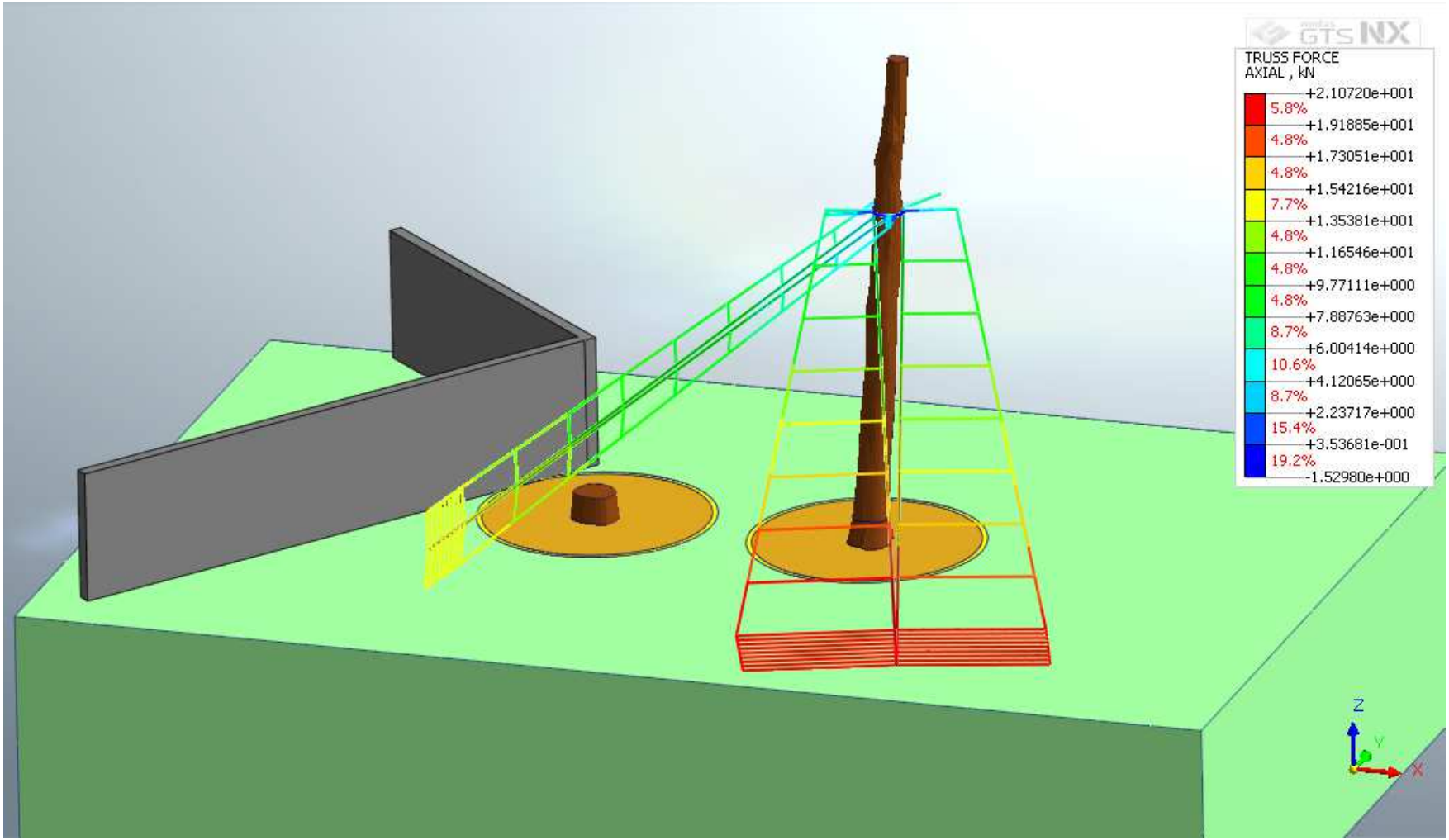
Senza Ancoraggio : max trazione 4.33e3 KPa



Con Ancoraggio : max trazione 2.94e3 KPa



Fase6: Predizione numerica



Fase6: Predizione numerica

Modulo elastico legno: 6000 Mpa
Modulo elastico terreno: 100 Mpa
Modulo elastico funi: 210000 MPa
Coesione interfaccia terreno-radici: 20 kPa
Angolo d'attrito interfaccia terreno-radici: 36°

Altezza albero: 38 m
Coefficiente di esposizione: 2,7
Coeff aerodinamico: 1
Pressione cinetica di riferimento: 1,05 kPa
Superficie chioma: 608 mq
Permeabilità chioma: 0,7
Carico del vento: 192 kN

Momento Max indotto da carico vento (assenza di funi): **1150** kNm
Momento Max indotto da carico vento (assenza di funi): **786** kNm
(riduzione del 30% del momento alla base del tronco dopo l'ancoraggio)
Azione Max nelle funi: **21** kN

Fasi di studio

Fase 1: stima 3D impianto radicale

Fase 2: ricostruzione 3D fusto e pianta

Fase 3: Analisi e modellazione 3D vento

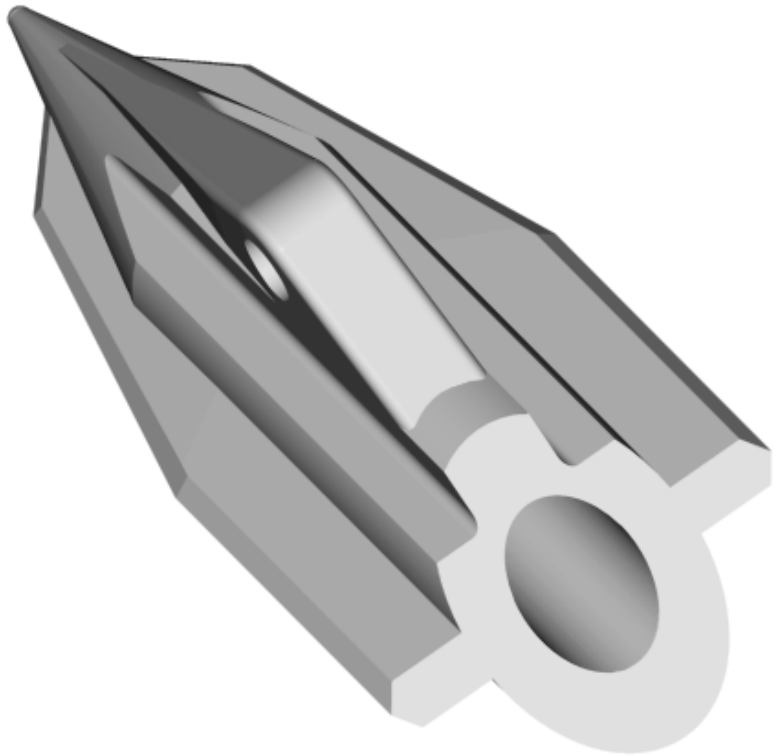
Fase 4: definizione parametri di resistenza e rigidezza

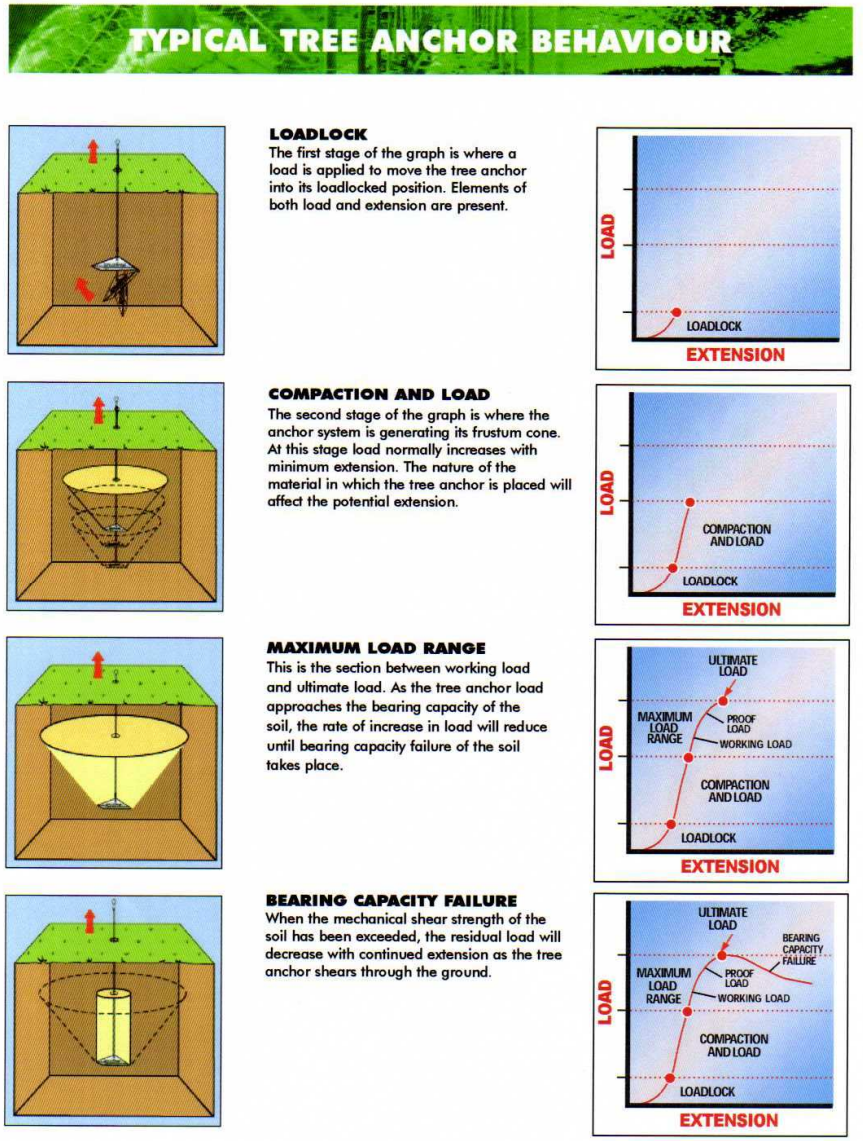
Fase 5: analisi 3D interazione terreno/pianta/vento

Fase 6: predizione (num) e validazione (sperim)

Fase 7: verifica stabilità ed progettazione interventi di rinforzo

Fase1: prove di pull-out in terreni diversi

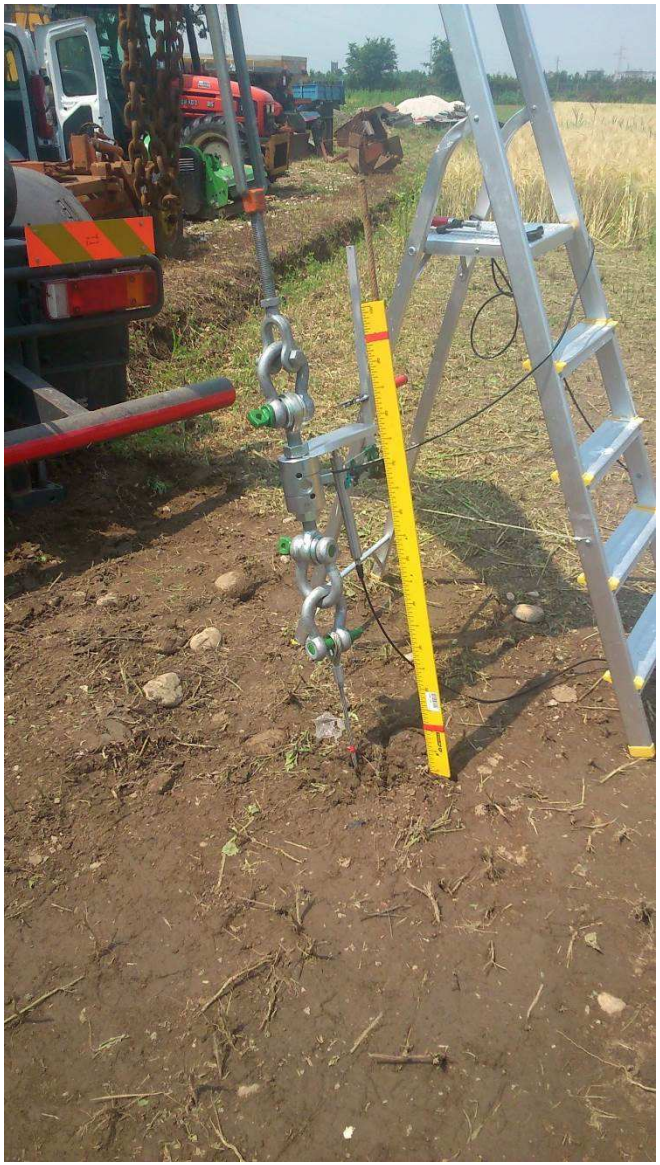




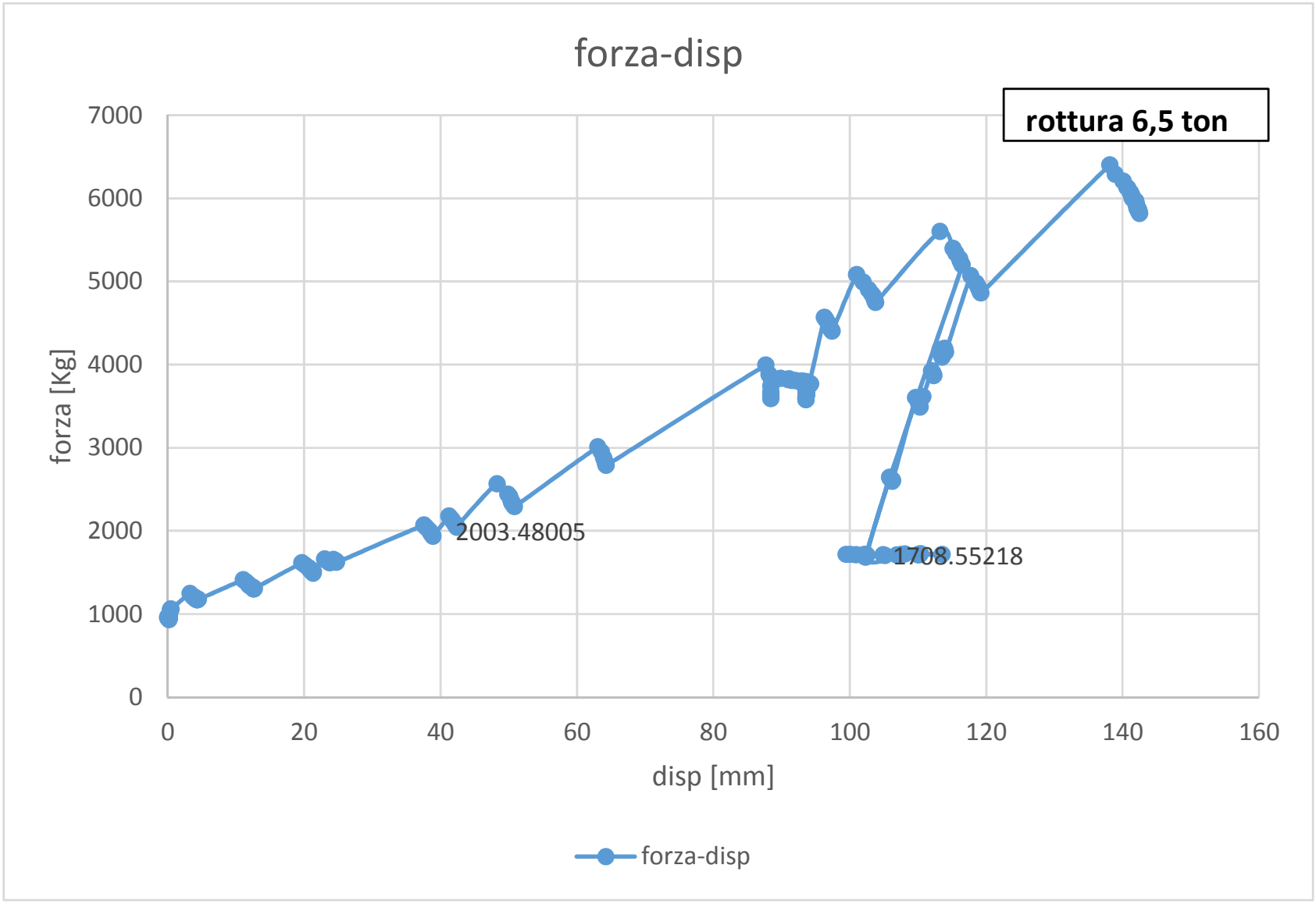
Fase7: prove di pull-out – nuova ancora

Fase7: prove di pull-out – nuova ancora

Fase7: prove di pull-out – nuova ancora



Fase7: prove di pull-out – nuova ancora



Messa in opera rinforzo

Fase 1: stima 3D impianto radicale

Fase 2: ricostruzione 3D fusto e pianta

Fase 3: Analisi e modellazione 3D vento

Fase 4: definizione parametri di resistenza e rigidezza

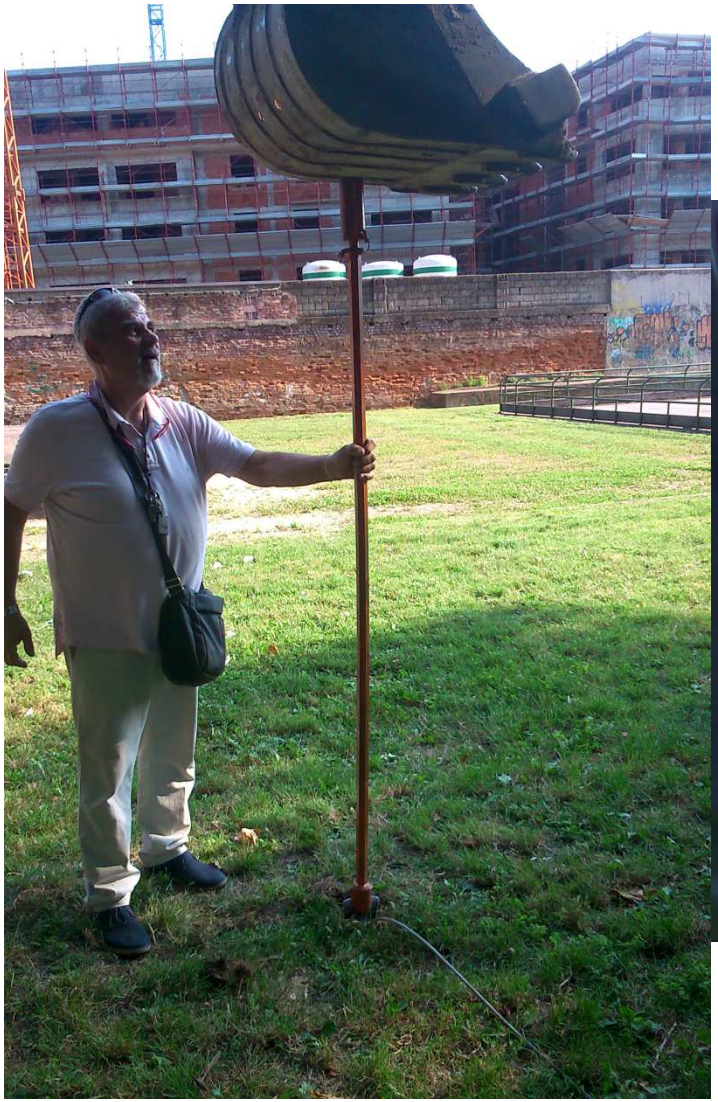
Fase 5: analisi 3D interazione terreno/pianta/vento

Fase 6: predizione (num) e validazione (sperim)

Fase 7: verifica stabilità ed progettazione interventi di rinforzo

Fase 8: messa in opera del rinforzo

Fase 8: Messa in opera rinforzo



Fase 8: Messa in opera rinforzo

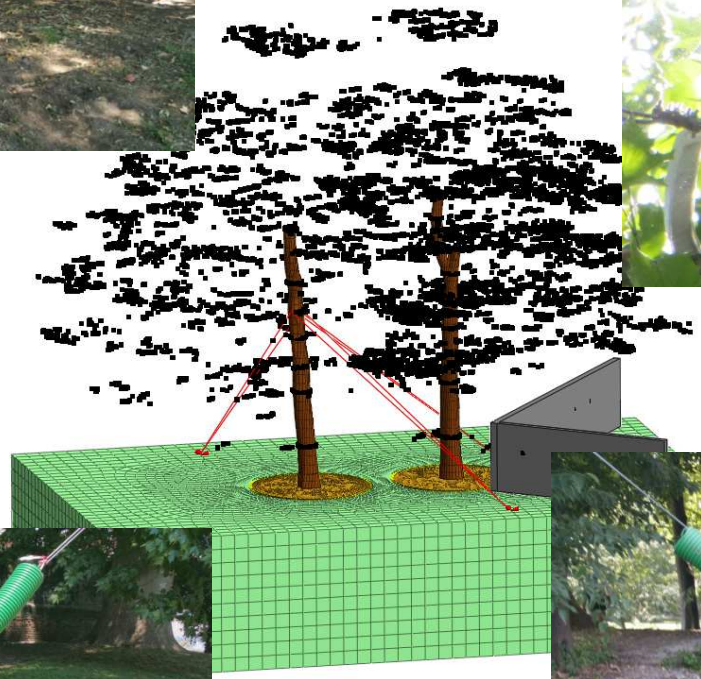
Fase 8: Messa in opera rinforzo

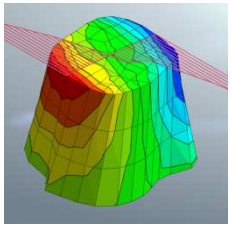
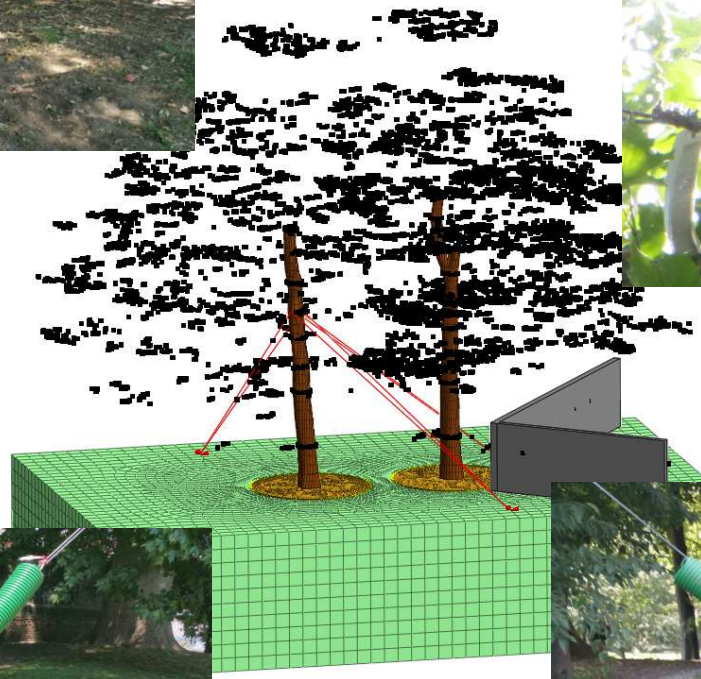
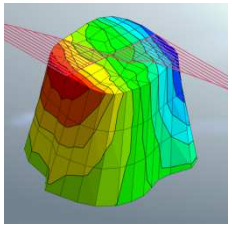
Fase 8: Messa in opera rinforzo

Fase 8: Messa in opera rinforzo

Fase 8: Messa in opera rinforzo

Fase 8: Messa in opera rinforzo





Grazie per l'attenzione