Milano, 14 dicembre 2017

Ing. Davide Gattamelata

Seminario "il 9° Rapporto Inail sulla Sorveglianza del Mercato per la Direttiva Macchine"

"La sorveglianza del mercato nelle macchine agricole e forestali "

"La simulazione al calcolatore per la verifica delle strutture di protezione in caso di ribaltamento o rovesciamento laterale"

Dipartimento Innovazioni Tecnologiche e Sicurezza degli Impianti Prodotti e insediamenti Antropici

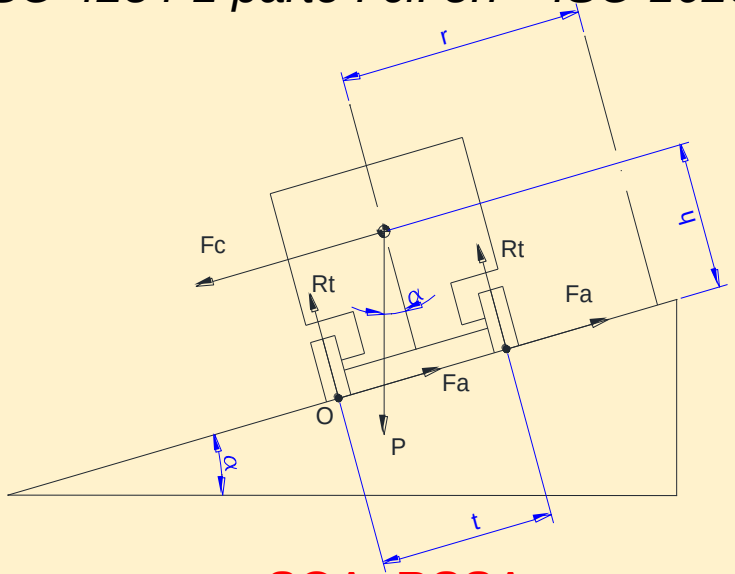
Premessa: la verifica delle strutture ROPS e TOPS secondo lo stato dell'arte

Il livello di sicurezza che il fabbricante deve garantire, ai sensi del R.E.S. 3.4.3 della N. Direttiva Macchine, prevede prove appropriate.

Strutture ROPS e TOPS

Prove di sforzo del tipo sulla struttura di protezione e sulle parti portanti della macchina.

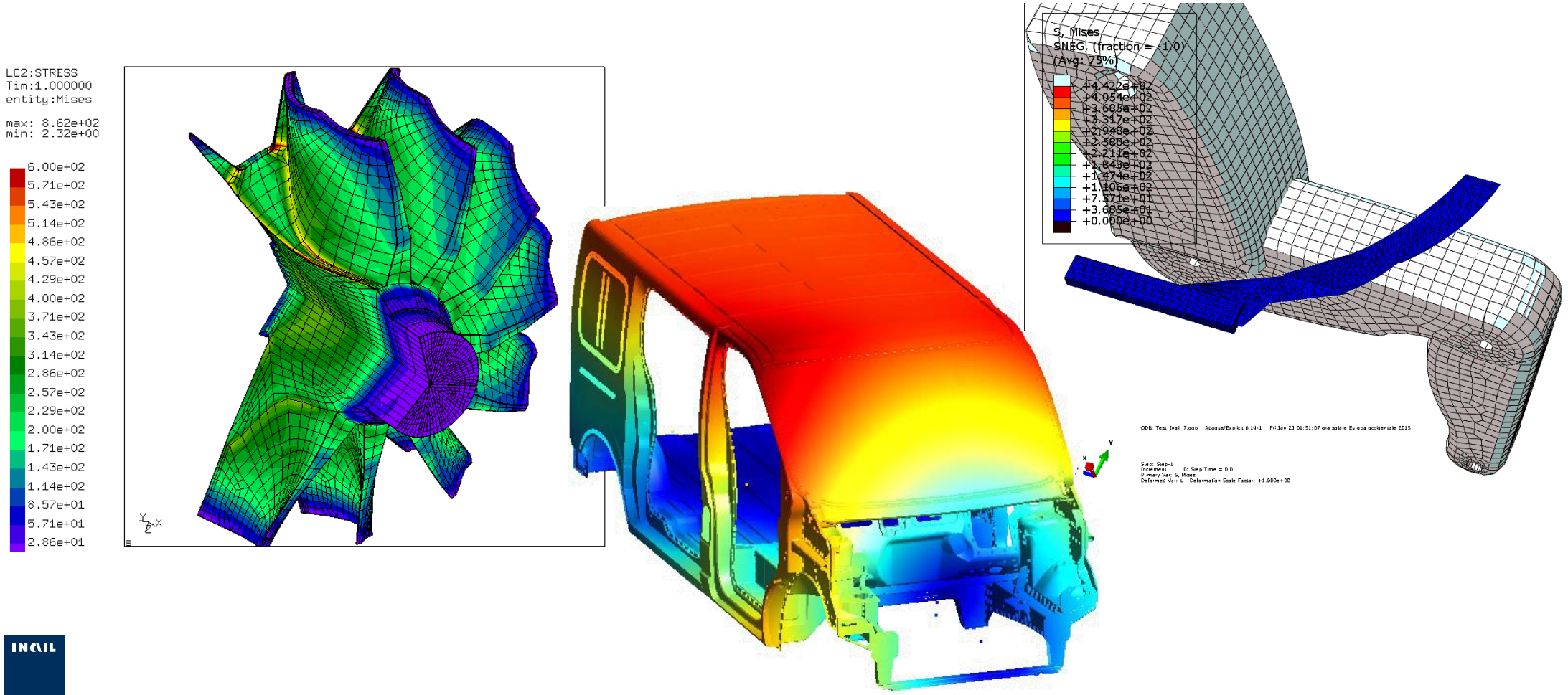
Stabilità Macchine Agricole Semoventi (EN ISO 4254-1 parte I cl. 5.7 - ISO 16231)



SOA>RSSA

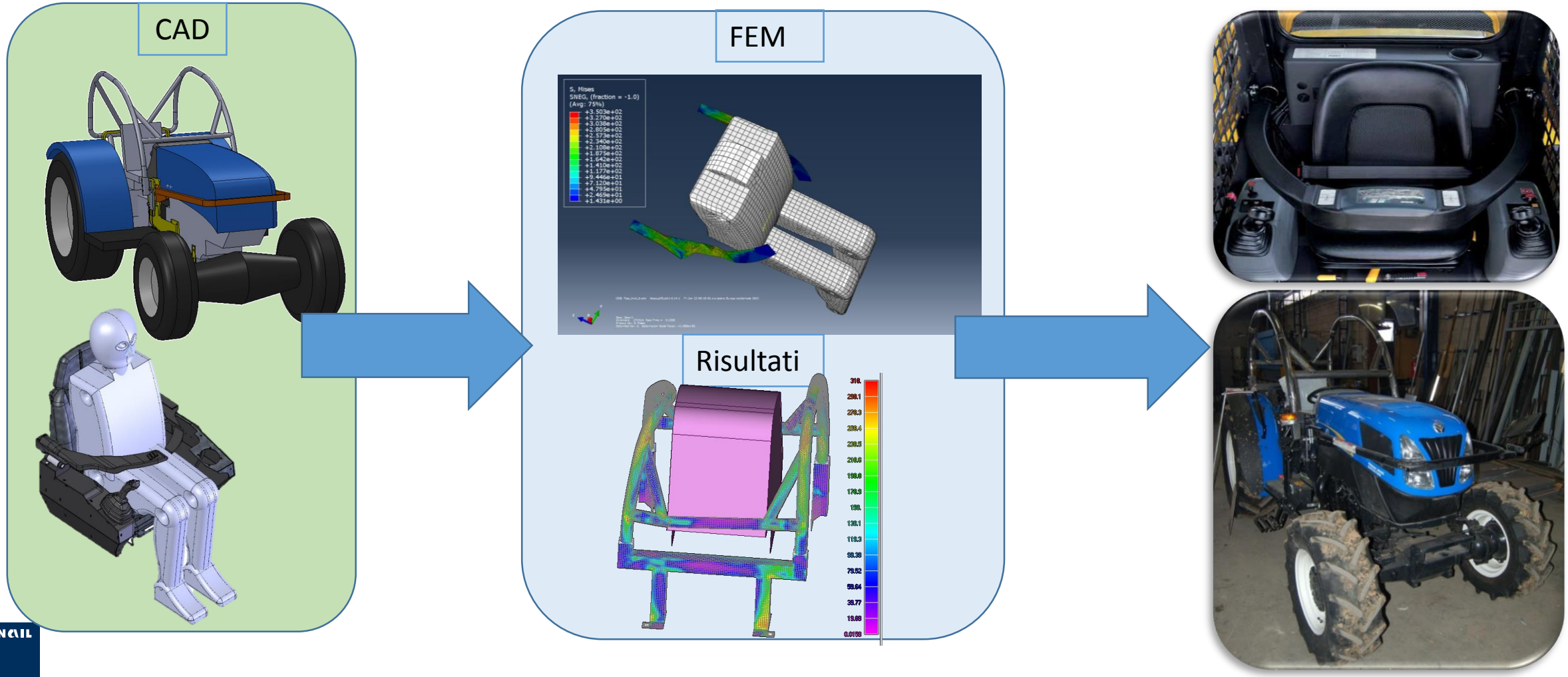
Introduzione: il metodo di calcolo agli elementi finiti

L’analisi agli elementi finiti (FEA) è un metodo di calcolo che consente di prevedere in che modo una struttura reagisce alle sollecitazioni (forze, calore, impatti,…).



Utilizzo dei sistemi di calcolo FEM

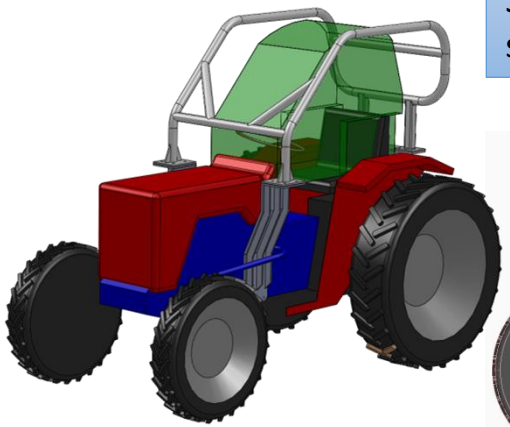
Analisi predittive, qualità del progetto → Minor numero di prove

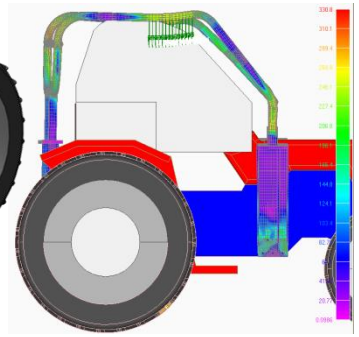


Il Problema

Le analisi FEM sono affidabili?

Simulazione Strutturale sul ROPS





Ingegneria Virtuale

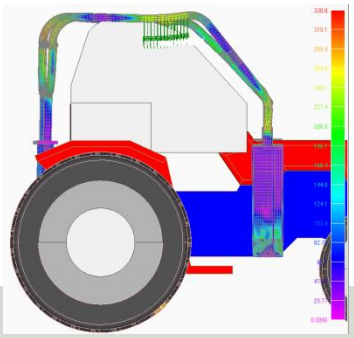
?

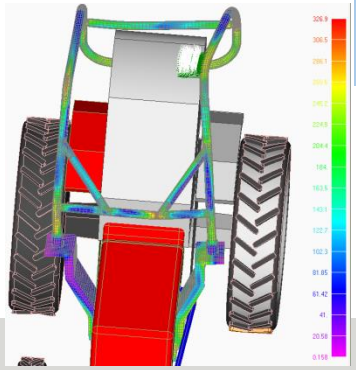
Prototipo fisico

Si può adottare/integrare il metodo di calcolo FEM nella validazione delle strutture ROPS?

3. Transverse Loading

4. Schiacciamento





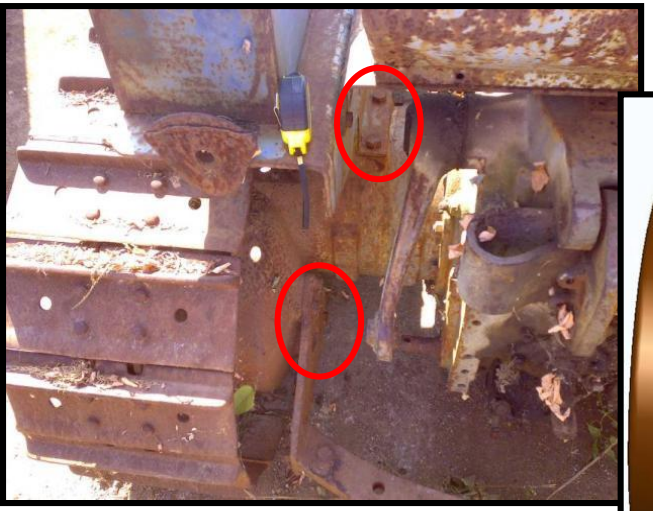
?

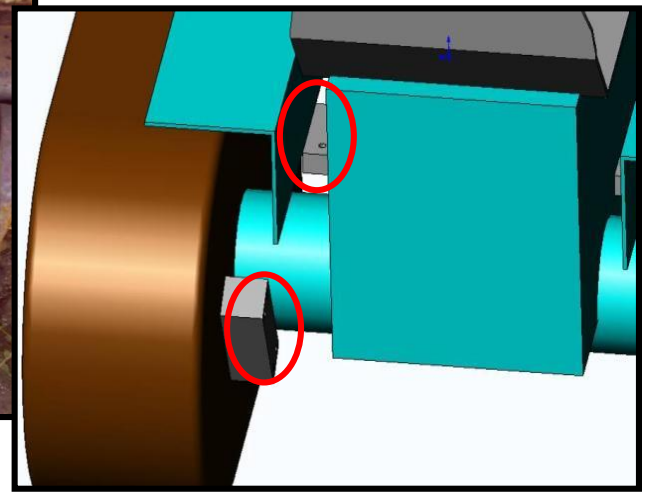
Affidabilità del metodo di calcolo FEM

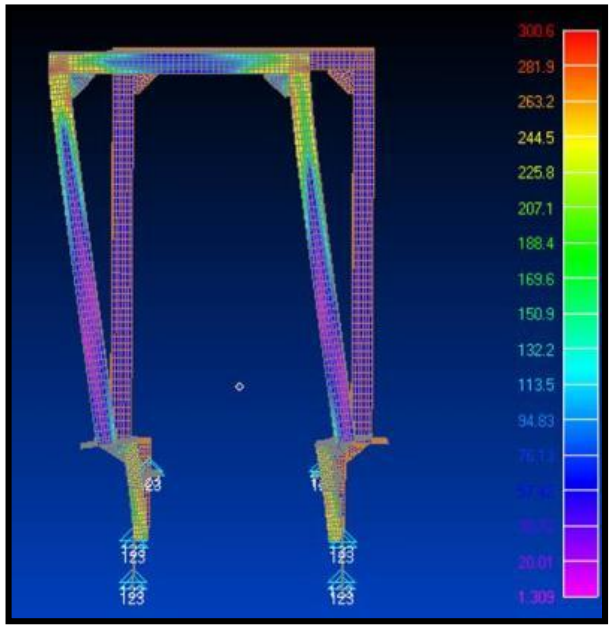
Affidabilità

La credibilità dei risultati è condizionata da diversi fattori:

Il modello FEM di una struttura reale è un’approssimazione ingegneristica.







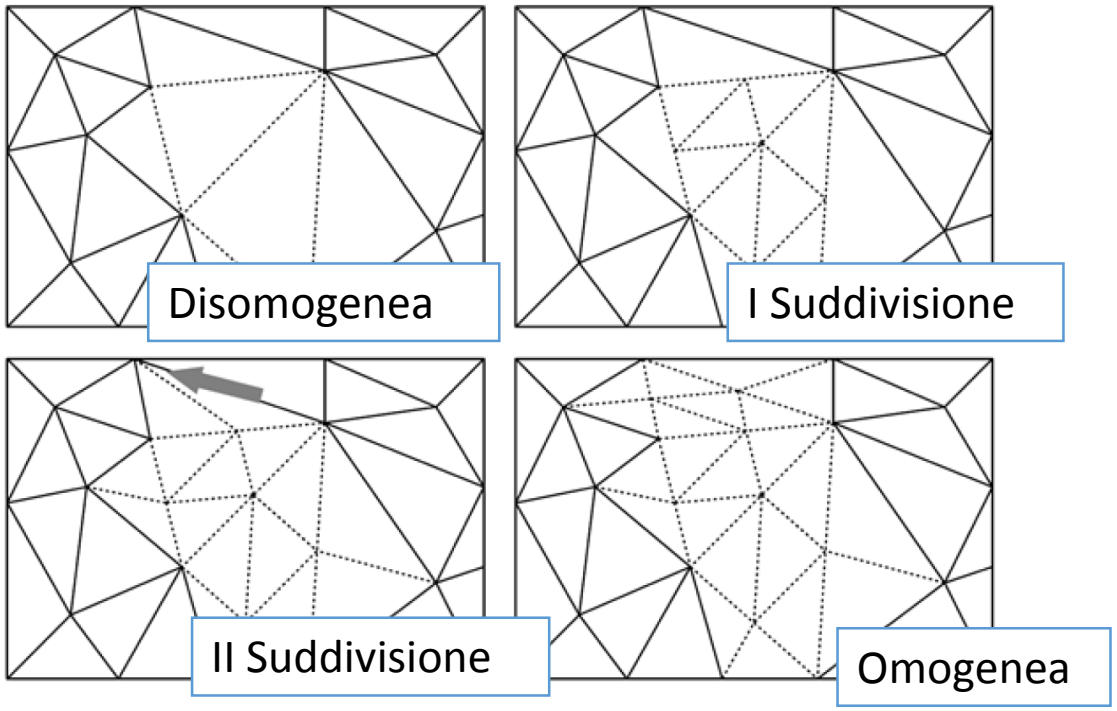
Discretizzazione e componenti sviluppati nella simulazione;
Tipo di solutore;
Simulazione delle proprietà del materiale;

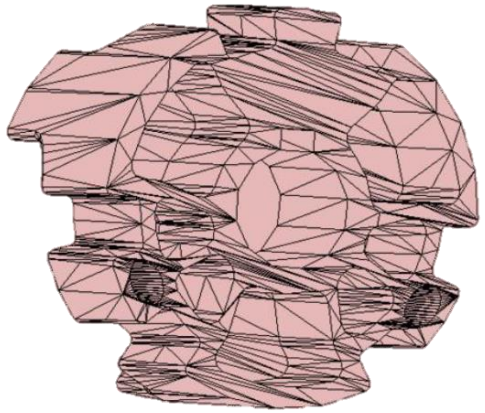
Affidabilità delle simulazioni FEM: influenza della discretizzazione

Quali sono i fattori che influiscono sull'affidabilità delle simulazioni FEM?

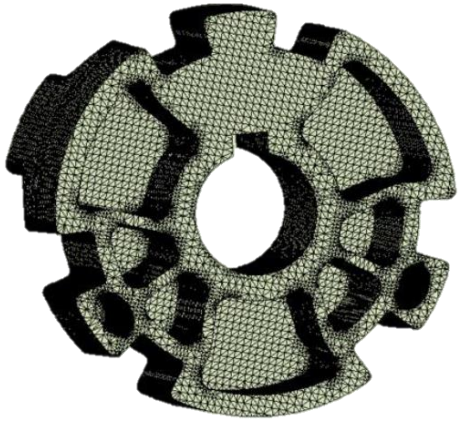
Discretizzazione (*Mesh)* della geometria solida, distribuzione e dimensione degli elementi

Perfezionamento della mesh





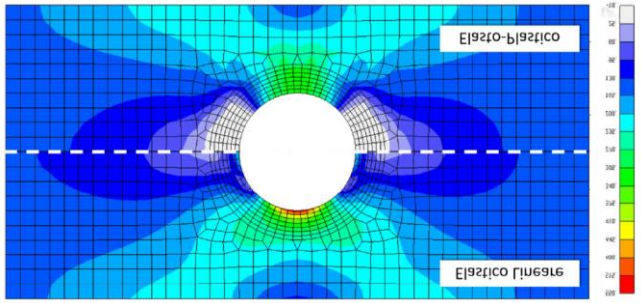
Risultati



Convergenza del calcolo, Risultati

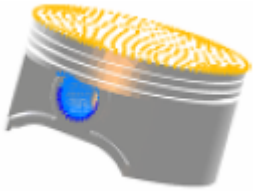
Analisi FEM e affidabilità: tipologia degli elementi

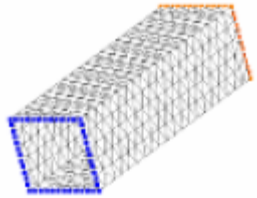
Tipologia degli elementi (2D, 3D, Truss, Beam, Shell, Solid)



2D Elements

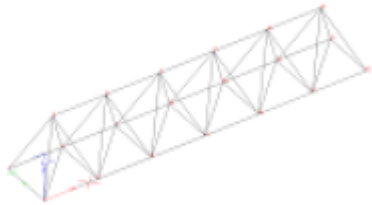
3D Elements





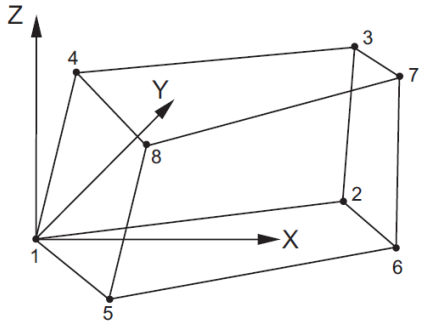
3D Elements - Shell

Truss - Element



Formulazione degli elementi (funzioni di forma associate, sollecitazioni)

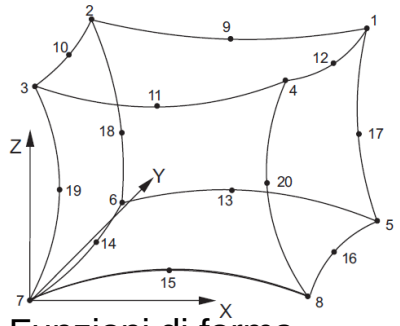
Esaedro (8 nodi)



Funzioni di forma lineari

Matrice Rigidezza 24x24, Bassa qualità

Esaedro (20 nodi)



Funzioni di forma quadratiche

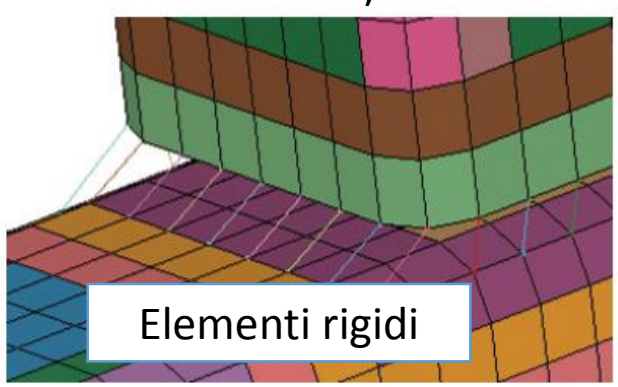
Matrice Rigidezza 60x60, Alta Qualità

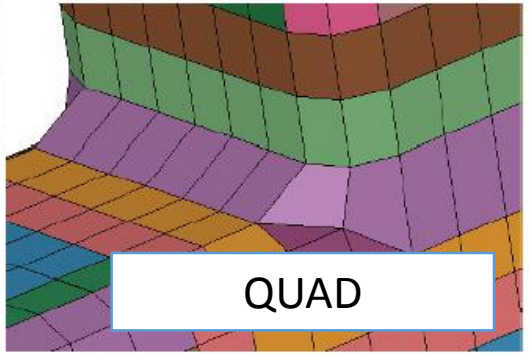
Convergenza del calcolo, Tempi di calcolo

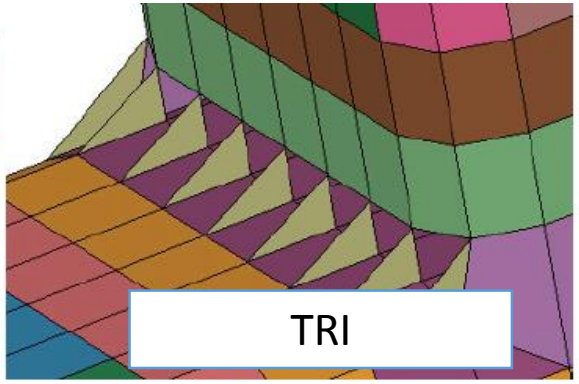
Analisi FEM e affidabilità: connettori

I collegamenti e l'interazione tra i diversi componenti devono sono specificatamente rappresentati nel modello FEM.

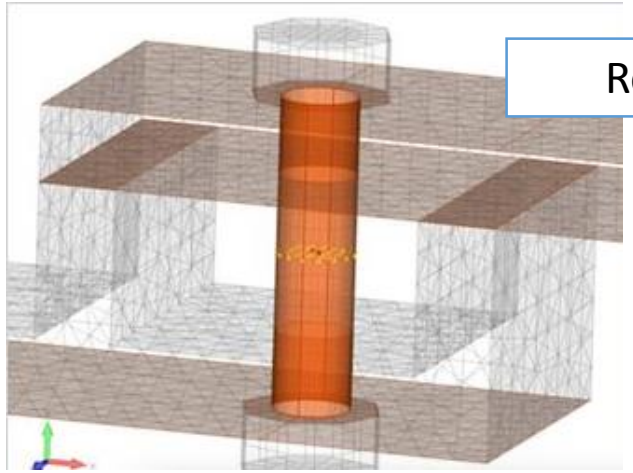
In particolare: saldature;

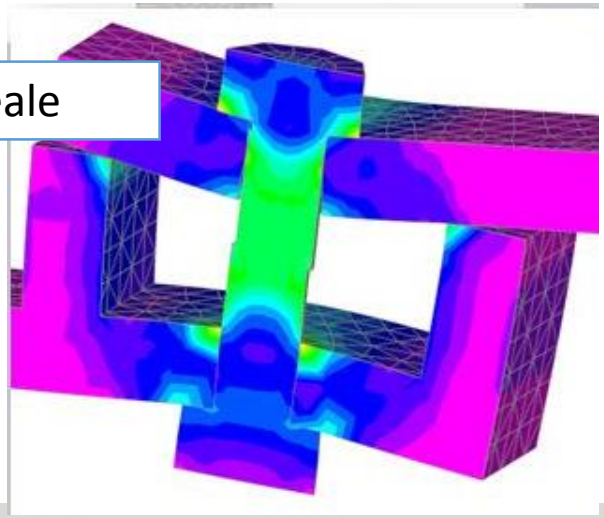


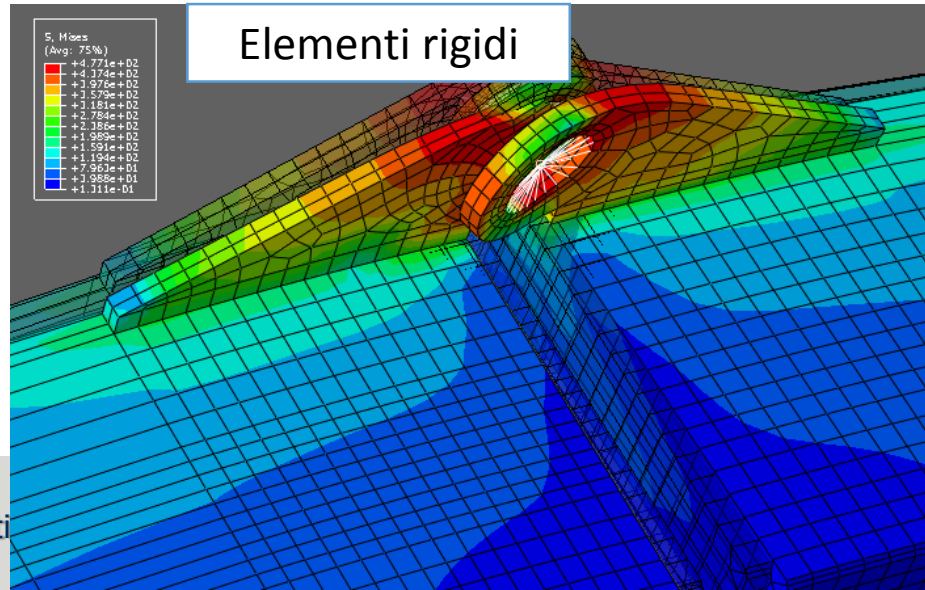




Collegamenti filettati;

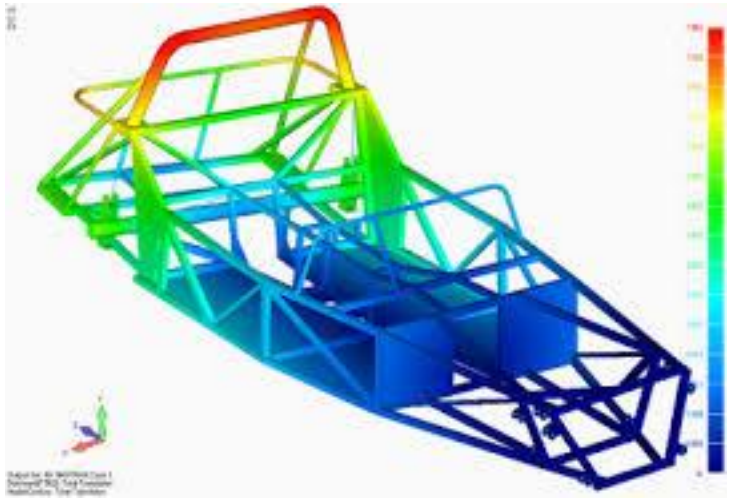






Tipologia di solutore

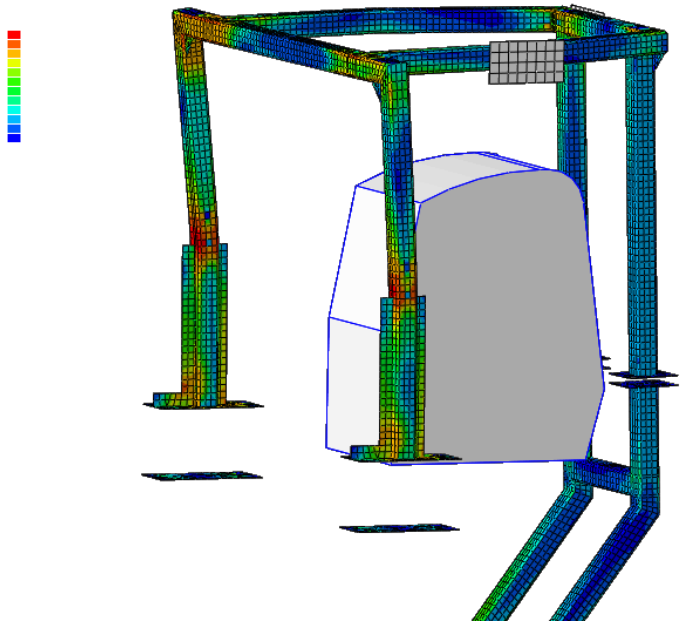
Lineare



$\sigma < \sigma_{snerv.}$

Piccoli spostamenti

Non Lineare Implicito (ROPS)

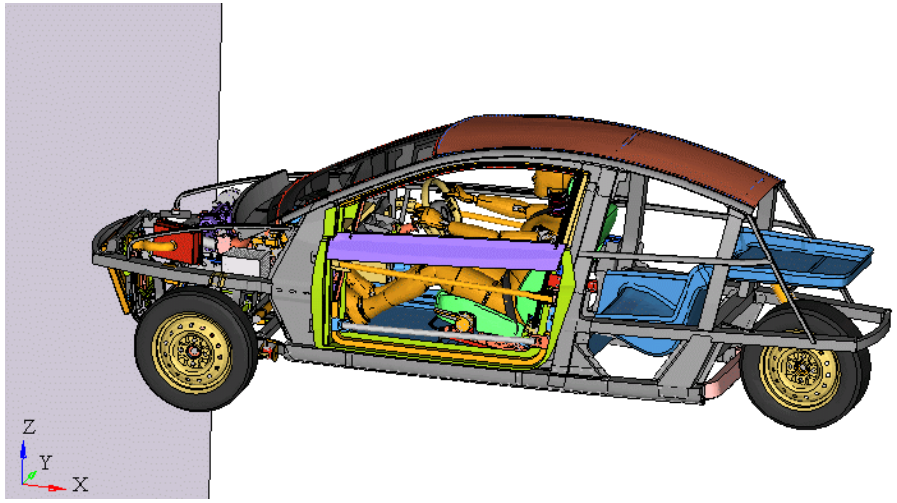


$\sigma > \sigma_{snerv.}$

Grandi spostamenti

Plasticità

Non Lineare Esplicito



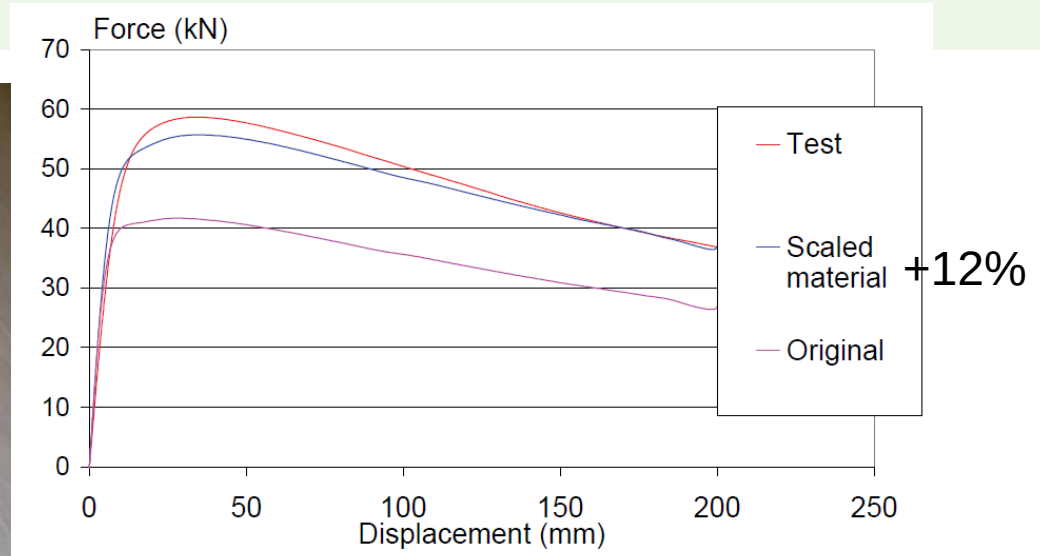
$\sigma > \sigma_{snerv.}$

Grandi spostamenti repentini

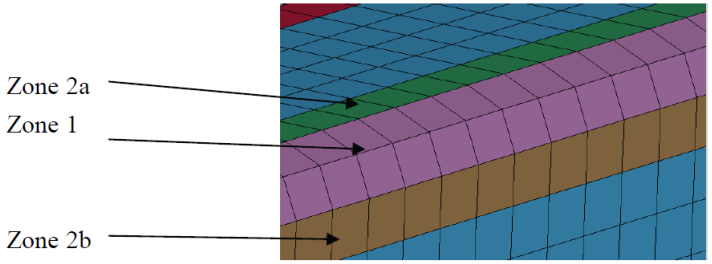
Urti

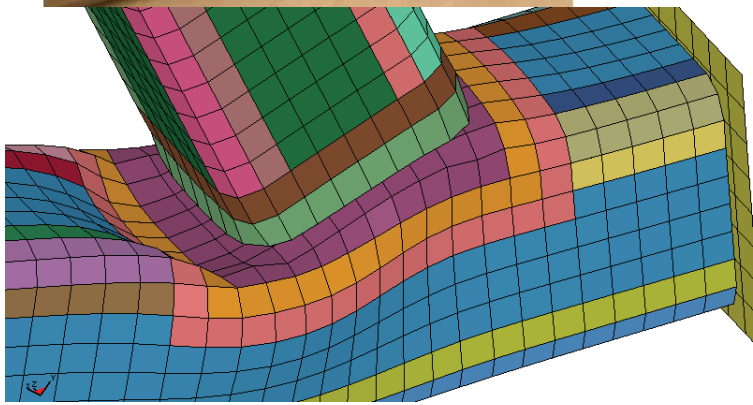
Analisi FEM e affidabilità: materiali

Quella del materiale è la prima approssimazione che si compie nello sviluppo del modello virtuale. Le analisi FEM dei ROPS prevedono simulazioni in campo non lineare. Tensione di snervamento e modulo di Young non sono sufficienti ad impostare correttamente la simulazione. Occorre considerare il comportamento elasto-plastico del materiale.



+12%



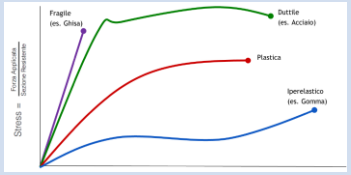


Integrazione del metodo di calcolo FEM nella certificazione delle strutture ROPS/TOPS

FEM e verifica delle strutture ROPS: validazione

Prove di laboratorio secondo la EN 474: disegni tecnici e designazione dei componenti

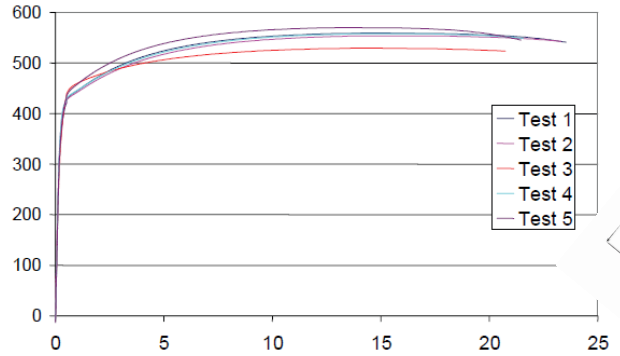
Proposta: prove di laboratorio e simulazioni al calcolatore

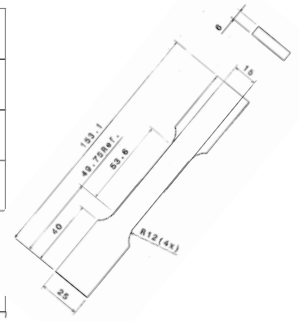
ELEMENTO DI VERIFICA	VERIFICHE AL COMPUTER	VERIFICHE DI LABORATORIO
Materiale	X	 SI
Verifica strutturale	SI (standard)	Solo per i componenti maggiormente sollecitati
Documentazione	Disegni tecnici e file dati modello FEM	-

FEM e verifica delle strutture ROPS: validazione e verifica strutturale

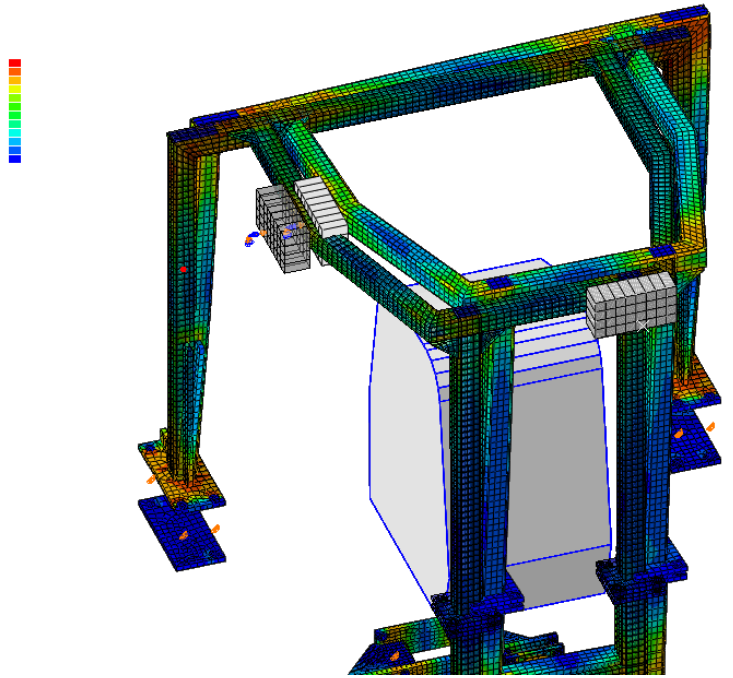
La verifica strutturale agli elementi finiti deve soddisfare requisiti specifici:

Solutore non lineare di tipo implicito (simulazione grandi spostamenti e non linearità del materiale)

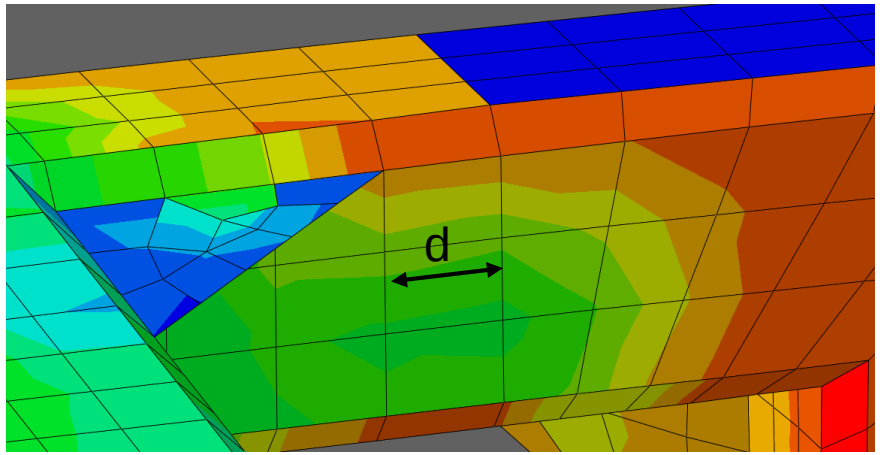




Implementazione di elementi specifica in funzione del tipo di componente da verificare (es. tubolari rappresentati da Shell…)



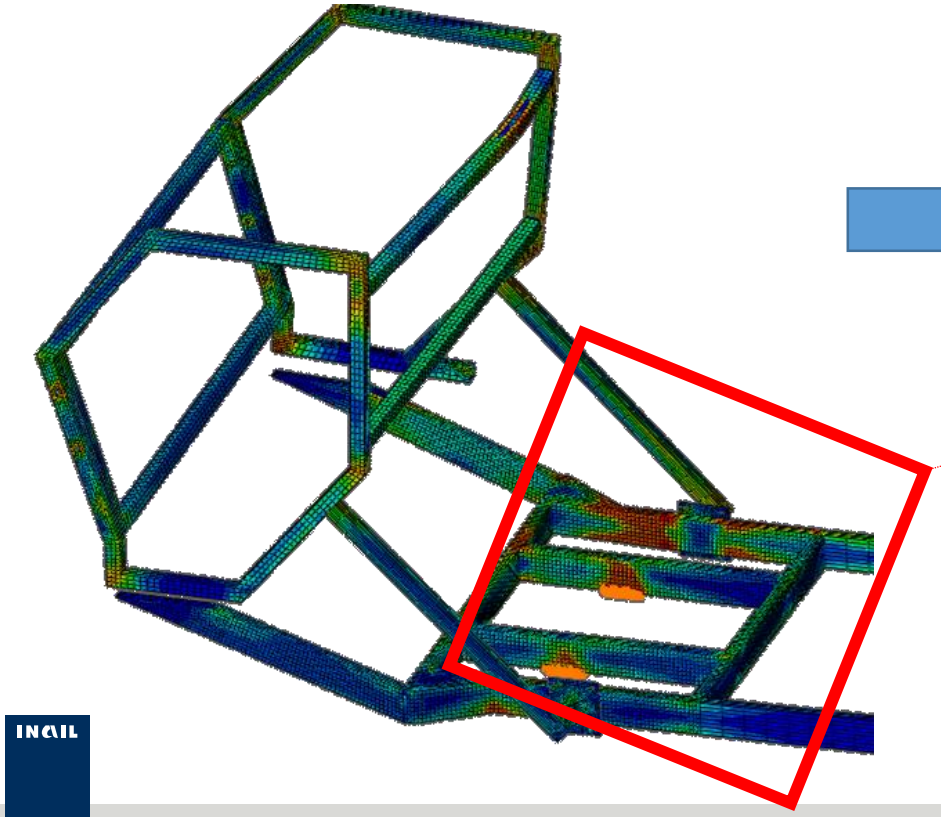
Impiego di elementi di dimensione appropriata (d)



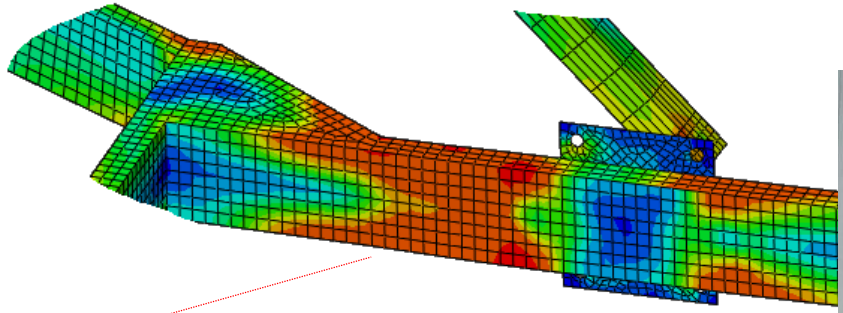
FEM e verifica delle strutture ROPS – Prove di laboratorio

Validazione delle verifiche al calcolatore con prove appropriate sui componenti maggiormente sollecitati (X% dell'Energia assorbita dalla struttura, Y% degli elementi che supera il limite di snervamento).

1 - Simulazione FEM (protezione dello spazio geometrico stabilito EN 474)



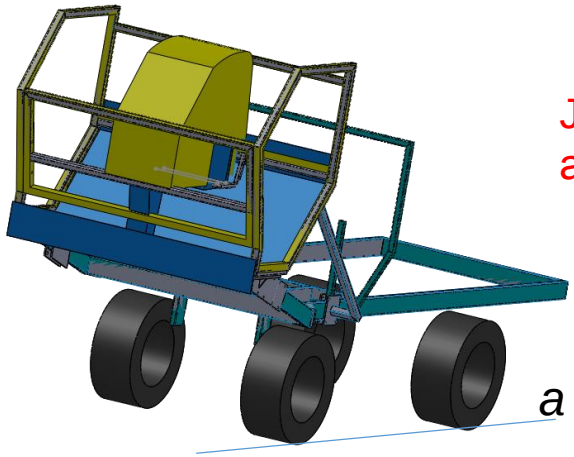
2 – Test di laboratorio sui componenti maggiormente sollecitati (energia e/o tensione)



Roll/Tip Over Macchine Agricole Semoventi – verifica di sicurezza

Integrare la procedura prevista dal codice OCSE n.6 con il calcolo agli elementi finiti di tipo non lineare esplicito:

1 Utilizzare il CAD per calcolare l'inerzia (J) e l'angolo di stabilità della macchina.

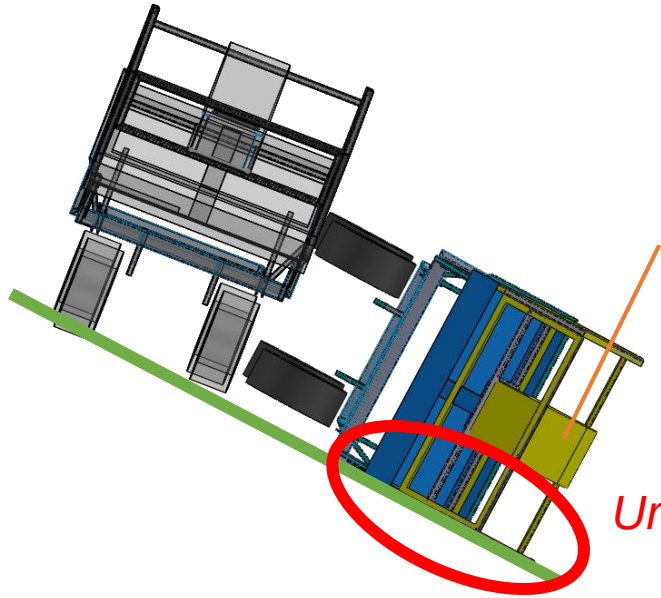


Ja := momento di inerzia rispetto all'asse di ribaltamento

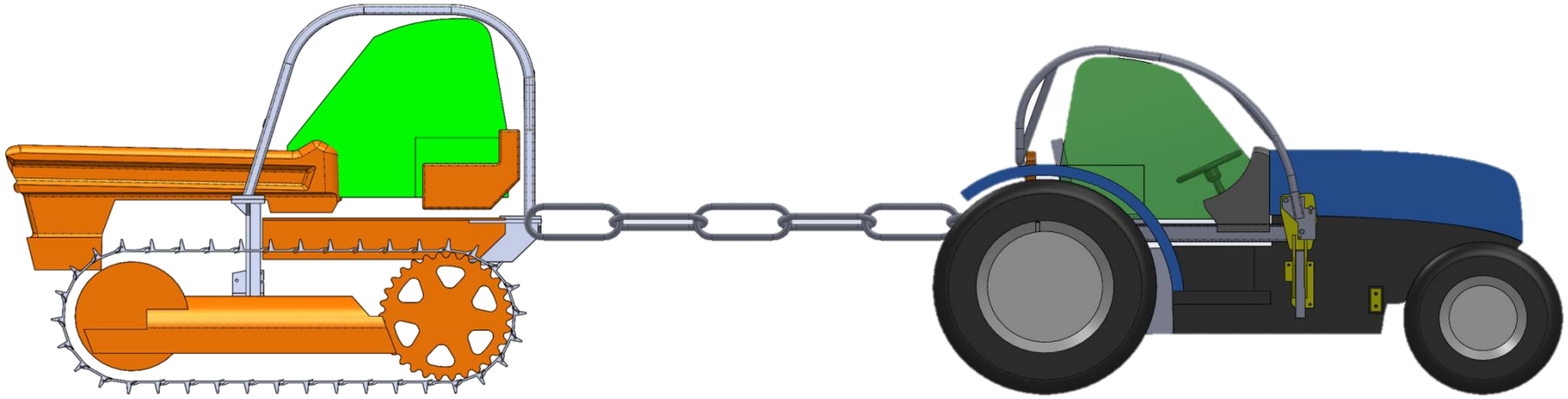
a := Asse di ribaltamento

2 Calcolare la velocità di impatto della macchina in funzione dell'energia cinetica sviluppata ($T = \frac{1}{2} J_a \omega^2$)

3 Simulare l'energia assorbita nell'urto (U=%T) mediante analisi FEM con solutore non lineare esplicito (ribaltamenti successivi!)



4 Verificare la protezione dello spazio vitale dell'operatore a seguito dell'urto

5 Validare la simulazione con prove strutturali sui componenti maggiormente sollecitati

Grazie per l'attenzione