

# Truss 2000

## Analisi e verifica di strutture reticolari

Truss è un programma Windows per l'analisi e la verifica di strutture reticolari spaziali in campo lineare e nonlineare.

Grosse coperture, cupole geodetiche, tralicci ed antenne di supporto alle telecomunicazioni, sono solo un breve elenco di opere la cui realizzazione richiede una struttura portante avente basso peso e buona resistenza. Ciò che meglio si presta ad essere impiegata in tal senso sembra proprio la struttura reticolare, sia per il peso complessivo relativamente basso, sia per la possibilità di sviluppare strutture spaziali di varia geometria.

Su strutture molto complesse, con un gran numero di nodi e di aste, la modellazione potrebbe rivelarsi molto onerosa, se non adeguatamente supportata dal programma. Sotto questo aspetto, Truss è dotato di strumenti che semplificano drasticamente la descrizione della struttura e facilitano il controllo dei dati immessi. In particolare, sono presenti comandi per la generazione automatica della geometria spaziale, per l'editing grafico degli elementi in ambiente tridimensionale e per la gestione numerica dei dati in apposite griglie, sincronizzate al contesto dell'input. Un'altra caratteristica molto utile è il riconoscimento in automatico di eventuali modi labili.

La presenza frequente di elementi snelli rende le strutture reticolari particolarmente sensibili a problemi di instabilità, per cui si richiede una strategia di analisi particolarmente accurata, estesa anche in campo nonlineare, con sensibilità alle imperfezioni.

La seguente figura mostra una fase di lavoro col programma, in cui è visibile il menù Dati, la vista tridimensionale della geometria e uno dei modi di vibrare.

## Definizione della struttura

Elementi e carichi possono essere inseriti e modificati graficamente, utilizzando i comandi presenti nella vista tridimensionale. Sono previste azioni su elementi singoli o su più elementi contemporaneamente, selezionati col mouse. E' anche prevista la digitazione diretta all'interno di griglie, con effetti immediatamente visibili nei disegni.

Le griglie dei dati e le viste di disegno sono tenuti mutuamente sincronizzati in automatico, per velocizzare le operazioni di gestione e ridurre al minimo il carico di lavoro per l'utente.



### La definizione dei tipi

In genere la fase di definizione parte dall'inserimento dei tipi, come materiali, sezioni tipo e gruppi di visualizzazione, da utilizzare nel proseguo per la definizione delle aste.

### I nodi

Seguono i nodi, di cui sono richieste le coordinate spaziali e gli eventuali vincoli alla traslazione presenti e i cedimenti vincolari imposti.

### Le aste

Le aste sono elementi caratterizzati in sezione e materiale, disposti fra due nodi e dotati di snodi cerniere. Per facilitare la visualizzazione di elementi simili, è possibile organizzare le aste in gruppi, che ne definisce le proprietà di visualizzazione.

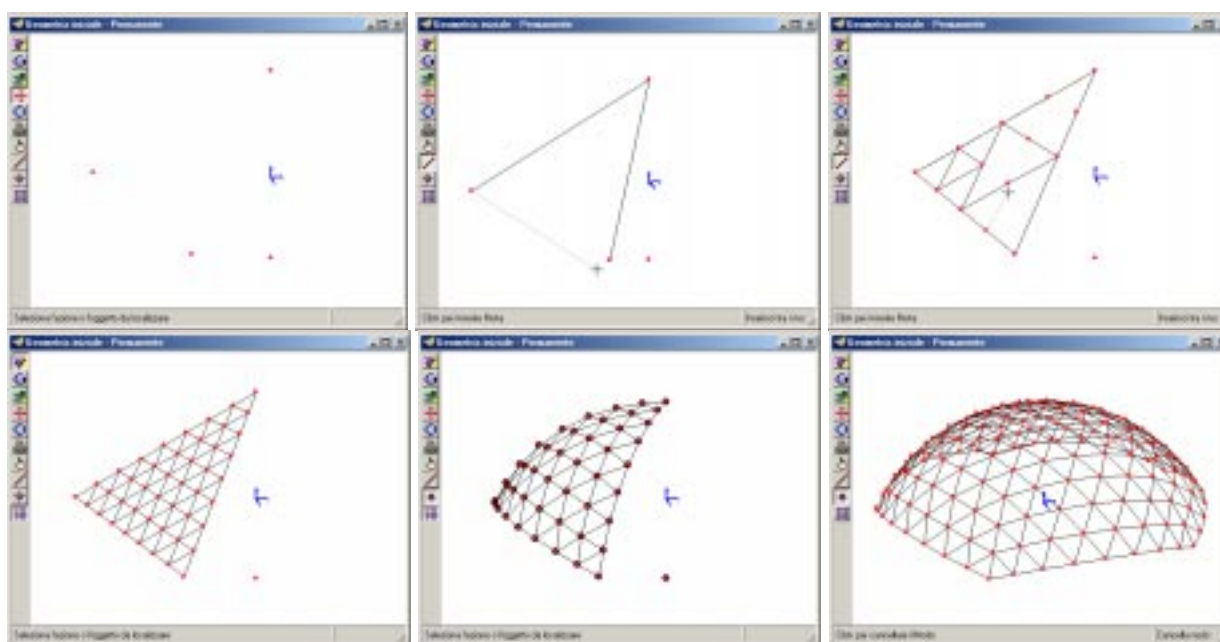
### I carichi applicati

Sono previste forze concentrate nei nodi e distribuite sulle aste, per carichi permanenti, accidentali, vento e neve. E' possibile, inoltre assegnare coazioni termiche, azioni di pretensione e distribuzioni di masse sismiche. Quest'ultime possono essere ricavato in automatico, in funzione dei carichi verticali permanenti ed accidentali, o assegnate autonomamente dall'utente.

### Generazione assistita per geometrie complesse

Il programma prevede comandi per la generazione assistita di geometrie complesse, basate su semplici operazioni di proiezione e copia. Vediamo adesso una utilizzazione concreta di tali funzioni, per la costruzione di una cupola geodetica a base pentagonale, con facce costituite da triangoli equilateri.

Si inizia con la costruzione di una faccia triangolare, con base disposta su uno dei lati del pentagono di base e vertice nel centro della calotta. La faccia così creata si suddivide in un numero opportuno di triangoli equilateri, utilizzando il comando dividi, per segmentare le aste lungo i lati esterni e il comando inserisci per assegnare le aste interne. A questo punto si è ottenuto uno spicchio piano che rappresenta un quinto della cupola geodetica. Adesso si applica la curvatura, proiettando i punti in direzione radiale sulla superficie della sfera passante per i vertici e per il centro della calotta. L'ultima operazione, che porta al completo sviluppo della cupola, è la copiatura successiva dello spicchio di calotta, attorno all'asse z, con un intervallo angolare di un quinto dell'angolo giro.



*Sequenza delle fasi di input geometrico della struttura*

## Esecuzione dell'analisi

Una volta conclusa la descrizione strutturale, il programma consente di eseguire l'analisi in campo lineare e nonlineare.

### Il modello strutturale

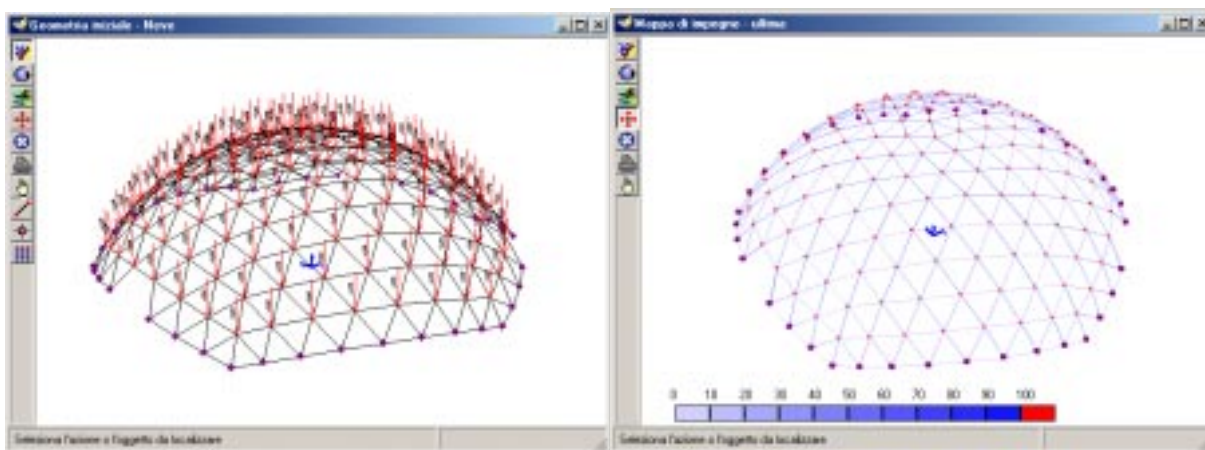
Il modello strutturale si basa su una schematizzazione ad elementi finiti ed utilizza elementi Asta assialmente deformabili e collegati a cerniera nei nodi. L'asta generica, individuata dai due nodi di estremità, non trasmette quindi momento alle adiacenti.

### L'analisi lineare

L'analisi lineare fornisce la soluzione elastica lineare per ciascuna delle condizioni di carico predefinite (pretensioni, carichi permanenti, accidentali, termici, vento, neve e sismici) e le sollecitazioni di verifica, determinate per le combinazioni d'involuppo quasi-permanente, frequente, rara, ultima e nonlineare. I fattori di combinazione sono inizializzati con valori di default, che l'utente può modificare.

Sono previste verifiche tensionali e verifiche d'instabilità locale delle aste. In quest'ultimo caso, si può tenere conto delle effettive modalità di collegamento attraverso un fattore riduttivo della lunghezza libera di inflessione.

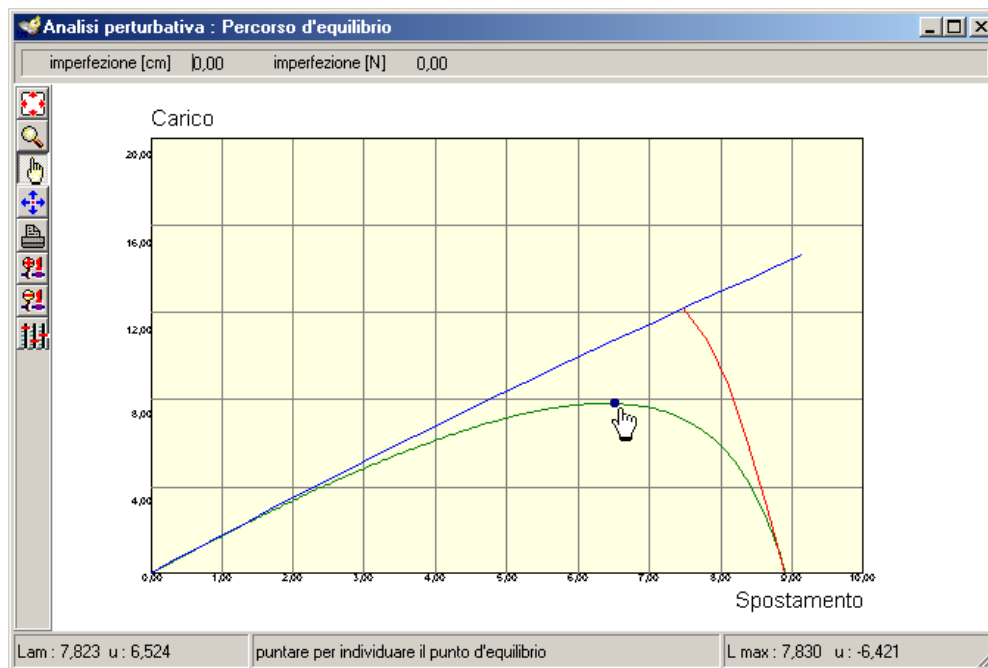
L'analisi utilizza algoritmi ottimizzati nelle prestazioni e risulta sorprendentemente veloce. Ciò è particolarmente evidente nell'analisi sismica dinamica condotta con la tecnica di sovrapposizione modale.



*Vista tridimensionale della geometria e mappa d'impegno delle aste*

### L'analisi nonlineare

È possibile effettuare l'analisi nonlineare, scegliendo tra due metodi disponibili: metodo incrementale al passo alla Riks e metodo asintotico alla Köiter. Entrambi forniscono una valutazione della sicurezza della struttura, rispetto a fenomeni di instabilità globale. In particolare, il metodo incrementale al passo opera una simulazione numerica del progressivo caricamento della struttura e, pur richiedendo tempi di calcolo relativamente lunghi, fornisce in linea di principio la soluzione più accurata. In alternativa, il metodo alla Köiter ricava una soluzione approssimata di validità asintotica, ma comunque sufficientemente accurata, specie per la valutazione del carico di collasso. L'algoritmo utilizzato risulta molto veloce e permette di valutare con facilità la riduzione di portanza conseguente alla presenza di eventuali imperfezioni geometriche o di carico.



**fig 6 – Vista del percorso di equilibrio della struttura in campo nonlineare.**

La soluzione è restituita, in forma sintetica, come diagramma carico spostamento, in cui risulta evidente sia il carico massimo raggiungibile, sia il comportamento post-collasso della struttura.

Ai fini delle verifiche locali, da effettuare in corrispondenza del fattore di carico indicato dall'utente, sono forniti gli spostamenti dei nodi e le sollecitazioni nelle aste.

### Valutazione dei risultati

A valle delle fasi di analisi, il programma propone delle visualizzazioni che consentono di apprezzare graficamente i risultati più significativi ottenuti. In particolare è possibile visualizzare la curva di equilibrio carico-spostamento, che permette di individuare in modo sintetico il comportamento nonlineare della struttura. Inoltre, sono disponibili le configurazioni deformate in corrispondenza della soluzione elastica, critica e in un qualsiasi punto della curva di equilibrio.

Nelle mappe d'impegno è evidenziato lo stato tensionale nelle aste, con intensità di colore variabile, per le combinazioni di carico impostate.

### Riesecuzioni dell'analisi

Visti anche i tempi di calcolo, l'utente potrà eventualmente ripetere l'analisi, modificando il dimensionamento iniziale fino a raggiungere una soddisfacente risposta strutturale.

Il processo può continuare fino a che non si determini una configurazione dimensionale e meccanica tale da assicurare il soddisfacimento delle verifiche e un adeguato grado di sicurezza.

## Risultati e disegni

Per la relazione di calcolo e per i disegni prodotti dal programma sono previste funzioni di impaginazione, preview e stampa, molto versatili e con possibilità di esportazione Rtf per i testi e Dxf per i disegni.

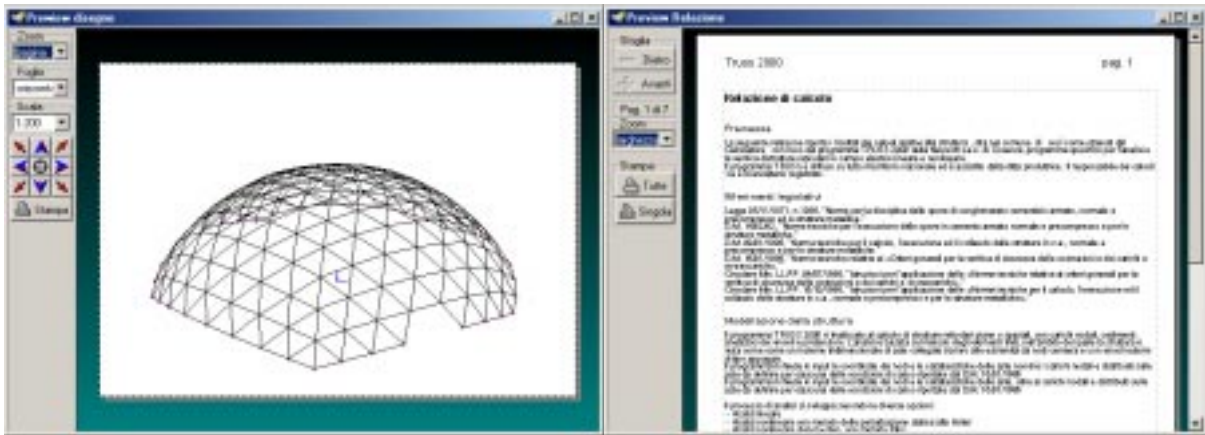
### Il tabulato

Tutti i dati relativi alla struttura analizzata, inclusi i criteri che ne hanno consentito l'analisi e i risultati numerici delle verifiche condotte, possono essere organizzati nella composizione della relazione progettuale.

### I disegni

I disegni prodotti dal programma consistono nella vista 3D della geometria indeformata con o senza carichi, dei modi labili, delle deformate lineari e nonlineari, dei modi di vibrare e della curva di equilibrio.

Tutti i disegni possono essere stampati direttamente su qualsiasi stampante supportata da Windows. Disponibile l'esportazione in formato DXF per i disegni 2D.



Preview di stampa dei disegni e della relazione di calcolo