

# elevatori<sup>mag</sup>

THE INTERNATIONAL ELEVATOR MAGAZINE



HammerADV

f t i www.vegallft.it

**VEGA, BEYOND THE SIMPLE PUSH.**

Download

6 7  
4 5  
2 3  
0 1

1

Beyond the simple push a huge quantity of work is to be found.  
A certified quality management system and environment friendly.  
An exclusive Italian design, ergonomic and accessible for all.  
Our Company ethics driving us beyond quality.

**VEGA<sup>®</sup>**  
ITALIAN STYLE FOR LIFTS

# Metal structures for lift shafts: a special software

## Strutture metalliche per vani corsa: un software dedicato

Francesco Santamaria & Gilberto Cavanna

### Part 1

**T**he building of finite element models [1] has now become a fundamental stage in the design of any structure within the building industry.

*In the field of lifting installations, the analyses and the imposed structural inspections by the technical standards [2] [3] and those specific to the installations [4] are carried out by software (SW hereafter) by making increasingly advanced calculation models which are a fundamental tool for the designer.*

*The design of lift shafts metal structures for lift systems requires special care and attention.*

*The current technology allows for the manufacturing of press-formed structural profiles (instead of heavier profiles used in metallic carpentry) which are able to cater for almost all architectural needs, by allowing the installation of lifts where it was not possible until a few decades ago.*

*These are almost always open sheet metal profiles requiring complex calculations during the design stage, mainly due to their modest torsion resistance.*

*On the other hand, in almost all installations, these structures are connected to the building (but they are not self-supporting). In this case, the use of sheet metal profiles can fulfil the fundamental requirement of structural lightness, i.e. it does not significantly changes the seismic behaviour of the existing building.*

*The companies working in this sector base*

### Parte 1

**L**a costruzione di modelli agli elementi finiti [1] è ormai diventata una fase fondamentale della progettazione di

qualsiasi struttura nel campo dell'edilizia.

In particolare, nel campo degli impianti elevatori, le analisi e le verifiche strutturali imposte dalle norme tecniche [2][3] e quelle specifiche per gli impianti stessi [4] sono svolte mediante software (sw nel seguito) che realizzano modelli di calcolo sempre più avanzati e che rappresentano uno strumento fondamentale per il progettista.

La progettazione delle strutture metalliche per i vani corsa degli impianti elevatori richiede oggi particolare cura e attenzione: la tecnologia attuale consente infatti la realizzazione di profili strutturali in lamiera pressopiegata (in sostituzione dei profili più pesanti in carpenteria metallica), che riescono a coprire la quasi totalità delle esigenze architettoniche, permettendo l'installazione di impianti elevatori laddove, fino ad alcuni decenni fa, non ve ne era la possibilità. Si tratta quasi sempre di profili aperti in lamiera sottile che richiedono però calcolazioni complesse in fase di progettazione, soprattutto per la loro modesta resistenza a torsione. Per contro, nella quasi totalità delle installazioni, queste strutture sono vincolate all'edificio cui sono asservite (dunque non sono autoportanti). In tal caso utilizzare profili in lamiera sottile può soddisfare il requisito fondamentale di leggerezza strutturale, ovverosia quello di non modificare in maniera rilevante il comportamento sismico dell'edificio esistente.

*their estimates on tried and tested cases, consolidated over time, or on pre-dimensioning resulting from a set of limited initial data. However, in my opinion, this approach does not allow for the optimisation of materials (at worst, it can lead to a failure to verify the calculation at the end of the project, with predictable consequences ...).*

*The choice is dictated by the practical impossibility of developing a full-fledged ad hoc project in the quoting step, due to the time (and costs) required for a detailed modelling. The structural calculation SW available on the market for 1D models (rods and nodes) can build structures having whatever geometry, manufactured using the most common materials in the building industry.*

*However, such a broad scope takes time during the model spatial definition and the mapping of the loads to apply to the structure. Furthermore, currently available SW deal almost exclusively with standard profiles (L, UPN, H, IPE, etc.), in the case of profiles made of thin sheet metal, often leaving it to the designer the inspection of sections, no matter the geometry.*

*Moreover, in this case, the internal connections between elements do not fall between the standardised ones and must be, therefore, modelled and calculated separately by the designer.*

*Taking advantage of the geometric similarity of these structures (mainly uprights, crossbeams and sometimes bracing or stiffening brackets), the use of a dedicated SW makes all the construction phases of the calculation automatic and by benchmarking the system features (geometry, mechanics, external constraints, etc.) it dramatically cuts the time.*

*The system consists of a fixed element (the metal shaft) and a mobile element (the car travelling in the shaft).*

*In order to establish the most demanding working conditions, it is necessary to move the car along the shaft and, for each configuration, to repeat all checks; the most challenging configuration depends on many parameters and is not easy to identify even by an expert designer.*

*Thus, this procedure would require the construction of multiple models within a single predimensioning and the final comparison of all the results.*

*By using a special SW, the procedure is automated (movement of the car in the lift shaft and comparison of the results), searching for the hardest configuration.<sup>1</sup>*

*If thin sheet metal profiles are used, the SW automatically calculates the relevant class and*

<sup>1</sup> These are discrete movements, obtained from the application points corresponding to the crossbeams and, on the guides, between crossbeam and crossbeam.

Le aziende che lavorano in questo settore basano generalmente la preventivazione su casistiche collaudate e ormai consolidate nel tempo, oppure su predimensionamenti costruiti a partire da un insieme di pochi dati iniziali; tuttavia, a parere di chi scrive, questo approccio non consente, nella migliore delle ipotesi, ottimizzazioni sull'impiego dei materiali (nella peggiore può portare a una mancata verifica del calcolo al termine del progetto vero e proprio, con conseguenze immaginabili...). La scelta è dettata dalla impossibilità pratica di sviluppare un vero e proprio progetto ad hoc già in sede di preventivazione, a causa dei tempi (e dunque dei costi) richiesti da una modellazione accurata. I sw di calcolo strutturale disponibili sul mercato che realizzano modelli ad elementi 1D (aste e nodi) sono in grado, infatti, di modellare strutture aventi qualsiasi geometria e realizzate con tutti i materiali più comuni nel campo dell'edilizia. Tale estensione di utilizzo è però pagata con il tempo impiegato per la definizione spaziale del modello e della mappatura dei carichi da applicare alla struttura. Inoltre i sw attualmente disponibili trattano quasi esclusivamente profili normali (L, UPN, H, IPE, ecc.), e lasciano spesso al progettista la verifica delle sezioni nel caso di profili realizzati in lamiera sottile di qualsiasi geometria; per di più, in questa circostanza, anche le connessioni interne tra gli elementi non rientrano tra quelle normalizzate e vanno dunque modellate e calcolate separatamente dal progettista. Sfruttando la similitudine geometrica di queste strutture (realizzate fondamentalmente da montanti, traverse e talvolta controventi o staffe di rinforzo), l'utilizzo di un sw dedicato rende automatiche tutte le fasi di costruzione del modello di calcolo e, parametrizzando le caratteristiche dell'impianto (geometria, meccanica, vincoli esterni, ecc.) riduce drasticamente i tempi necessari alla realizzazione. Va detto inoltre che, nel caso in esame, il sistema è costituito da un elemento fisso (la torre metallica) e un elemento mobile (la cabina che scorre lungo il vano): per stabilire le condizioni di lavoro più gravose è necessario, a rigore, spostare la cabina lungo il vano e, per ciascuna configurazione, ripetere tutte le verifiche; la configurazione più gravosa dipende infatti da molteplici parametri e non è di facile individuazione anche per un progettista esperto. Questa procedura richiederebbe dunque la realizzazione di molteplici modelli all'interno di un singolo predimensionamento, e la comparazione conclusiva di tutti i risultati ottenuti. Mediante un sw dedicato è possibile automatizzare anche questa procedura (spostamento della cabina nel vano corsa e confronto dei risultati ottenuti), alla ricerca della configurazione più gravosa<sup>1</sup>. Nel caso vengano utilizzati profili in lamiera sottile il sw provvede automaticamente al calcolo

<sup>1</sup> Si tratta di spostamenti discreti, ottenuti dai punti di applicazione in corrispondenza delle traverse e, sulle guide, tra traversa e traversa.

*local checks required by the standard. Therefore, the use of a special SW turns the required pre-dimensioning in the estimate stage into an actual dimensioning, matching later with the final design, within a minimum time frame.*

*Therefore, it is possible to identify the most suitable metal profiles in just a few steps, in terms of performance and costs, for each installation layout, avoiding unnecessary over-dimensioning and dangerous structural underdimensioning.*

*This work is aimed at various end users:*

- *first and foremost, lift companies, which can rapidly identify the geometric and technical solution best suited to each architectural need of the installation site, having immediate certitude from the outset as to the real feasibility of the project;*
- *design departments manufacturing profiles (standard or thin sheet metal) that can make use of the conclusive results during quoting stage.*

*The use of a special SW can also be useful for sector professionals aiming at cutting the time devoted to project drafting and filling technical reports. The results reported in this paper were achieved using our SW (Feme - Finite Element Model for Elevators).*

*For each structural layout, the SW provides a report containing a summary of the calculation in terms of minimum requirements required by the standard and mechanical performance achieved by the structure.*

*These are discrete movements, obtained from the application points corresponding to the crossbeams and, on the guides, between crossbeam and crossbeam.*

*Any comparison of reports referred to the same system, but manufactured according to different layouts, can allow a preventive comparison between different solutions, which is prohibitive in terms of time and costs, when achieved by means of a non-special SW.*

*The knowledge of the different mechanical systems and the different types of profiles available on the market makes the Feme a meeting point between the needs of those dealing with the construction of a lifting system in a metal structure.*

*The accuracy of the Feme results depends on the accuracy of input data (see Data collection form - DataFeme): the higher the precision and exhaustiveness of the input data, the better the accuracy of the results.*

*The Feme also differs from most of the available SW because the Technical Report form (RelTecFeme) allows the professional to research the optimal solutions (rather than drawing the project and the technical report for submission to the Technical Offices of the Civil engineering department).*

della classe di appartenenza ed alle verifiche locali richieste dalla normativa.

L'impiego di un sw dedicato rende dunque il predimensionamento richiesto in fase di preventivazione un dimensionamento vero e proprio, che coinciderà poi col progetto definitivo, il tutto in tempi minimi. In pochi passaggi è dunque possibile individuare i profili metallici più adatti, in termini di prestazioni e di costi, alla singola configurazione impiantistica, evitando inutili sovradimensionamenti e pericolosi sottodimensionamenti strutturali.

Questo lavoro si rivolge a diversi utenti finali:

- innanzitutto alle aziende ascensoristiche, che possono individuare in tempi rapidi la soluzione geometrica e tecnica più adatta alle singole esigenze architettoniche del luogo di installazione, avendo, fin da subito, certezza della reale fattibilità finale del progetto;
- ai reparti di progettazione delle aziende produttrici dei profili (normali o in lamiera sottile) che possono avvalersi di risultati certi già in sede di preventivazione nei confronti dei loro clienti.

L'impiego di un sw dedicato può risultare utile anche ai professionisti del settore che intendano ridurre al minimo il tempo da dedicare alla redazione dei loro progetti e alla compilazione delle relative relazioni tecniche. I risultati riportati in questa trattazione sono stati ottenuti utilizzando un sw da noi integralmente sviluppato (Feme - Finite Element Model for Elevators).

Per ciascuna configurazione strutturale scelta il sw mette a disposizione un report che contiene il riassunto del calcolo in termini di superamento dei requisiti minimi richiesti dalla normativa e di prestazioni meccaniche raggiunte dalla struttura. Un eventuale confronto di report relativi alla stessa installazione, ma realizzati su configurazioni differenti, può consentire una comparazione preventiva tra diverse soluzioni, proibitiva, in termini di tempo e costi, se ottenuta mediante un sw non dedicato.

La conoscenza delle diverse meccaniche d'impianto e della diversa tipologia di profili disponibili sul mercato pone il Feme come punto d'incontro tra le esigenze di tutti coloro che ruotano attorno alla realizzazione di un impianto elevatore installato all'interno di una struttura metallica.

La precisione dei risultati finali del Feme dipende dalla precisione dei dati in ingresso (vd. Modulo di raccolta dati - DataFeme): maggiore è la precisione e la completezza dei dati in ingresso, maggiore sarà la precisione dei risultati ottenuti. Il Feme si differenzia, inoltre, dalla maggior parte dei sw disponibili dal momento che, attraverso il modulo Relazione Tecnica (RelTecFeme), consente al professionista di dedicare la propria attenzione alla ricerca di soluzioni ottimali (piuttosto che al confezionamento del progetto e della relazione tecnica per la presentazione presso gli Uffici Tecnici del Genio Civile).

## THE SOFTWARE ALGORITHM

*In this paper, we describe the SW algorithm and reports the results achieved in the first stage of use.*

### Data collection form - DataFeme

*The first step in designing using Feme is filling the data collection form (DataFeme), compiled in the Visual Basic.Net.*

*In this way, it is possible to acquire and store all the structure design parameters.*

## L'ALGORITMO DEL SOFTWARE

In questa trattazione è descritto l'algoritmo con il quale lavora il sw e sono riportati i risultati ottenuti durante la prima fase di utilizzo.

### Modulo di raccolta dati - DataFeme

La prima fase di progettazione tramite Feme è la compilazione del modulo di raccolta dati (DataFeme), ovvero un form scritto nel linguaggio Visual Basic.Net con cui è possibile acquisire e memorizzare i parametri di progetto della struttura.

Figure 1 - Dashboard of the data collection form (DataFeme)

Figura 1 - Finestra principale del modulo di raccolta dati (DataFeme)

Notably, the following is collected:

1. the geometric features of the structure (dimensions, pit, travel, headroom, clearances required for uprights and crossbeams);
2. the general features of the system (number of stops, intermediate floor heights, landing position, landing door type);
3. the mechanical data (car sling type, guide rails<sup>2</sup>, guide rail width and relevant position to the crossbeam, maximum loads acting on sliding guides based on the safety gear grip);
4. Seismic parameters (installation site, class of use, topographical category and underground);
5. Additional project parameters (any stiffening and relevant position, anchoring position in case the structure is bound to an existing building).

### Construction of the model

The data collected via the DataFeme form are then passed to the SW calculation (written in the MatLab language) that processes and implements the finite element model.

Given the geometry of this type of structures

In particolare, sono raccolte:

1. le caratteristiche geometriche della struttura (dimensioni in pianta, fossa, corsa, testata, ingombri previsti per montanti e traversi);
2. le caratteristiche generali dell'impianto (numero fermate, altezze degli interpiani, posizione degli sbarchi, tipologia delle porte di piano);
3. i dati della meccanica (tipo di arcata, tipo guide<sup>2</sup>, scartamento guide e sua posizione rispetto alla traversa, carichi massimi agenti sulle guide di scorrimento dovute alla presa del paracadute);
4. i parametri sismici (luogo di installazione, classe d'uso, categoria topografica e del sottosuolo);
5. altri parametri di progetto (presenza e posizione di eventuali irrigidimenti, posizione degli ancoraggi previsti nel caso di struttura legata a un edificio esistente).

### Costruzione del modello

I dati raccolti attraverso il form DataFeme sono poi passati al sw di calcolo (scritto in linguaggio MatLab) che li elabora e realizza il modello agli elementi finiti. Data la geometria di questo tipo di strutture (telaio a pianta rettangolare), il sw riesce

2 Verification according to EN 81-20.

2 Per la verifica secondo EN 81-20.



(rectangular-shaped frame), building on the project data, the SW succeeds in swiftly creating a model of beams and rods, automatically defining the position of nodes and elements. Like the structural calculation SW available on the market, it is possible to impose the boundary conditions chosen by the designer and to state the section profiles used to create the structure.

As mentioned, it should be noted that Feme does not only perform checks for structures made of standard profiles, but also for thin press-formed sheet structures (including class 4<sup>3</sup> profiles). It is also possible to impose the release of the internal constraints on the model at connecting nodes between the uprights and the crossbeams of the metal shaft. This is essential to create structures with joints that are not hypothesised as perfect joints, but allow for discontinuity in rotations (internal elastic hinges)<sup>4</sup>.

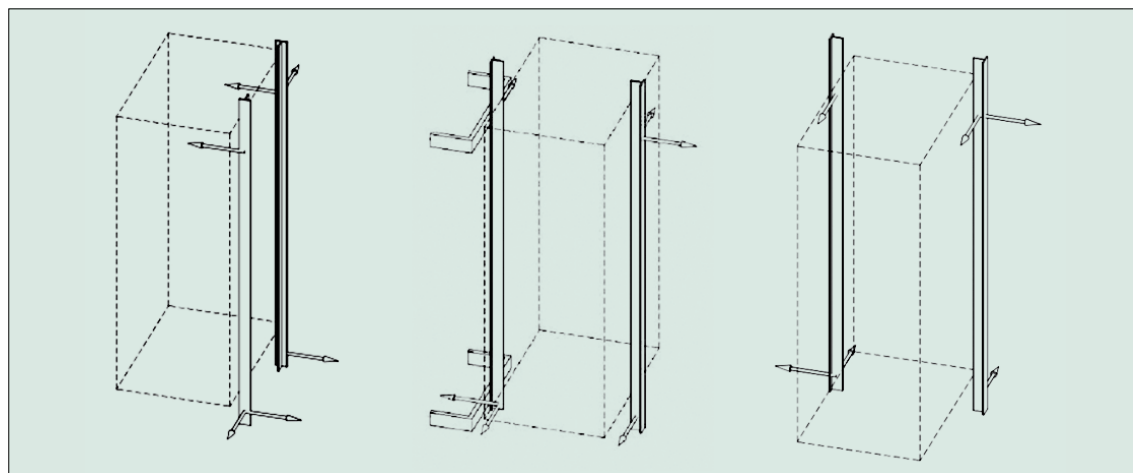
### Application of external forces

The application of loads due to the safety gear release (namely the maximum load exerted by the mechanics) also occurs automatically: The Feme introduces the car guide rails into the model and applies the forces following a scheme that varies according to the mechanics type (lateral, central, etc. - see Figure 2).

velocemente a creare un modello di travi e aste a partire dai dati di progetto, definendo in maniera automatica la posizione dei nodi e degli elementi. Analogamente ai sw di calcolo strutturale disponibili in commercio, è possibile imporre le condizioni al contorno scelte dal progettista e indicare i profili delle sezioni con cui realizzare la struttura. Come accennato, a questo proposito si deve notare che il Feme effettua le verifiche non solo per strutture realizzate con profili serie normale, ma anche per quelle realizzate in lamiera sottile pressopiegata (sono compresi i profili di classe 4<sup>3</sup>). È inoltre possibile imporre al modello il rilascio dei vincoli interni in corrispondenza dei nodi di collegamento tra i montanti e le traverse della torre metallica. Ciò è indispensabile per creare dei modelli di strutture aventi giunzioni che non sono ipotizzabili come incastri perfetti, ma che ammettono delle discontinuità nelle rotazioni (cerniere elastiche interne)<sup>4</sup>.

### Applicazione delle forze esterne

Anche l'applicazione dei carichi dovuti all'intervento del paracadute (ovverosia le massime esercitate dalla meccanica) avviene in maniera automatica: il Feme introduce nel modello le guide di scorrimento della cabina e applica le forze seguendo uno schema che varia a seconda del tipo di meccanica (laterale, centrale, etc. - vd. Figura 2).



**Figure 2 - Mechanical layout**  
**Figura 2 - Disposizione meccanica**

Before carrying out structural assessments, the SW can identify the points of force application for which the worst-case scenario may occur in terms of resistance and movements. The map of the 4 loads resulting from the intervention of the safety gear (next to the 4 car shoes, namely the contact points between

Prima delle verifiche strutturali, il sw è in grado di individuare i punti di applicazione delle forze per i quali si può manifestare la condizione peggiore in termini di sfruttamento alla resistenza e di spostamenti. La mappa dei 4 carichi derivanti dall'intervento del paracadute (in prossimità dei 4 pattini di cabina, ovverosia dei punti di contatto

3 Based on the guidelines provided by the Eurocode the SW automatically performs the classification of the profile section and the calculation of its effective resistance features.

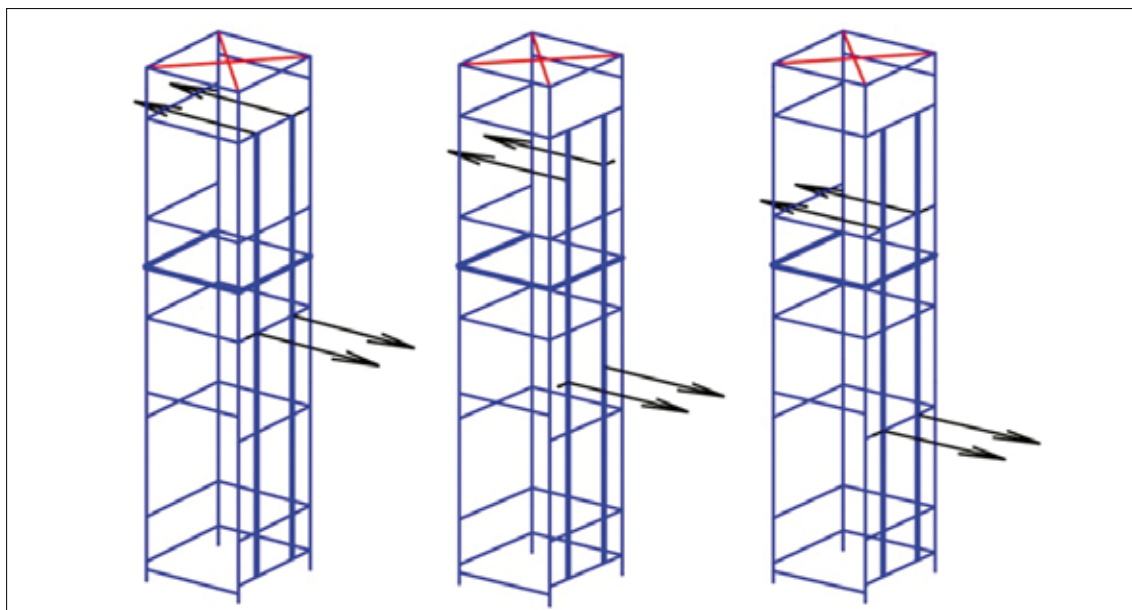
4 The Feme performs this operation automatically on all elements, without having to apply this criterion element by element and node by node.

3 Sulla base delle indicazioni fornite dall'Eurocodice il sw provvede automaticamente alla classificazione della sezione del profilo ed al calcolo delle sue caratteristiche di resistenza efficaci.

4 Anche questa operazione è eseguita automaticamente dal Feme su tutti gli elementi, senza la necessità di applicare il criterio elemento per elemento e nodo per nodo.

the moving element and the guides supporting the metal shaft) is vertically shifted along the system travel, thereby allowing to simulate of the travelling of the car in the shaft (Figure 3).

tra l'elemento mobile e le guide solidali alla torre metallica) viene traslata verticalmente lungo la corsa dell'impianto, consentendo di simulare lo scorrimento della cabina nel vano (Figura 3).



**Figure 3 - Safety gear load sliding (lateral mechanics)**

**Figura 3 - Scorrimento carichi da paracadute (meccanica laterale)**

*In each identified position, the complete reconstructed calculation is carried out (movement of the guide rails at contact points of car shoes and relevant exploitation of the material). As mentioned, this automatic procedure adopted by the SW is fundamental because the worst load configuration is not the same for all the installations, but it is strictly linked to the boundary conditions.*

*The SW also applies wind and thermal loads directly to the structure after inserting the main parameters used to calculate the wind pressure and the operating temperatures<sup>5</sup>.*

*Any additional forces can be applied manually by the designer, while the load combinations stated by the regulations are identified by the SW and the number reduced to what is strictly needed for the metal shaft design.*

#### **Seismic actions: dynamic analysis and imposed movements**

*Another fundamental part of the calculation performed by the Feme SW is the analysis necessary for seismic design purposes. The SW apply the seismic forces to the structure according to the standard by performing a modal dynamic analysis of the model. In addition to the masses of the structural elements, concentrated masses are added near the 4 car shoes (Figure 4), the sum of which is equal to the total mass of the car, of the system and of the designed load.*

In ciascuna posizione così individuata viene rieseguito il calcolo completo (spostamenti delle guide nei punti di contatto dei pattini e relativo sfruttamento del materiale).

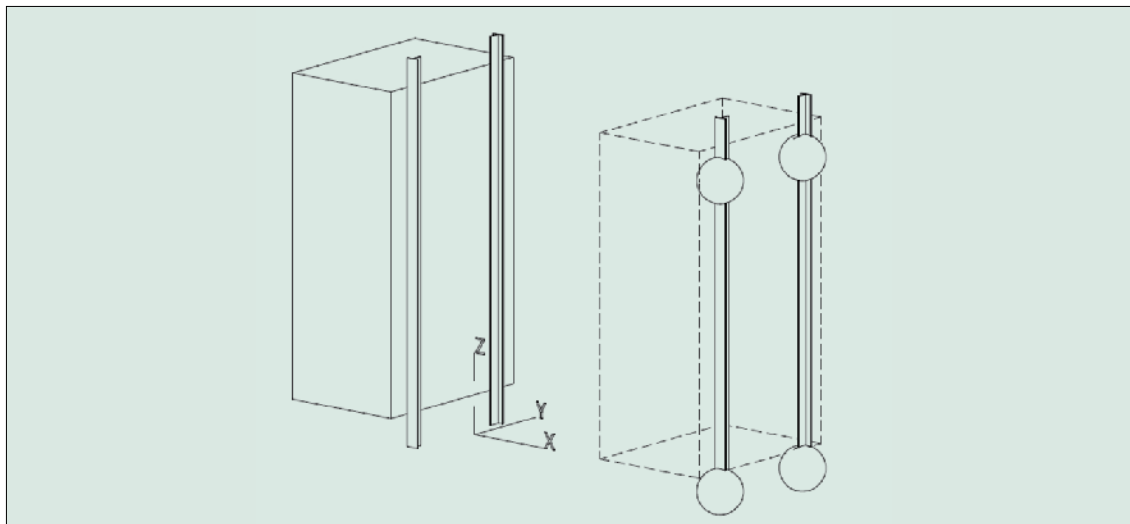
Come accennato tale procedura automatica adottata dal sw è fondamentale perché la configurazione di carico peggiore non è uguale per tutti gli impianti, ma è strettamente legata alle condizioni al contorno. Anche i carichi da vento e termici sono applicati alla struttura direttamente dal sw dopo aver indicato i parametri principali che servono per il calcolo della pressione del vento e le temperature di esercizio<sup>5</sup>. Eventuali altre forze possono essere applicate in maniera manuale dal progettista, mentre le combinazioni di carico dettate dalla normativa sono individuate dal sw e ridotte nel numero strettamente necessario al progetto della torre metallica.

#### **Azioni sismiche: analisi dinamica e spostamenti imposti**

Altra parte fondamentale del calcolo eseguito dal sw Feme è l'analisi necessaria alla progettazione per azioni sismiche. Le forze sismiche da applicare alla struttura sono calcolate dal sw secondo la normativa eseguendo un'analisi dinamica modale del modello realizzato. Oltre alle masse proprie degli elementi strutturali, sono aggiunte delle masse concentrate in prossimità dei 4 pattini di cabina (Figura 4) la cui somma è pari alla massa totale della cabina, dell'impianto e della portata di progetto.

<sup>5</sup> Snow loads are generally negligible, but they can still be entered automatically.

<sup>5</sup> I carichi da neve sono generalmente trascurabili, ma è comunque possibile inserirli automaticamente.



**Figure 4 - Car mass simulation for seismic analysis (lateral mechanics)**

**Figura 4 - Schematizzazione delle masse di cabina per l'analisi sismica (meccanica laterale)**

*This configuration lends itself to simulate what occurs after the operation of the safety devices following a seismic event. It is foreseeable that a seismic event causes the operation of the safety gear during the car travel. Once the grip (instantaneous or progressive) of the device has ceased, the car (worst-case scenario, at payload), stopped on the guide rails and the metal shaft can therefore be considered as integral parts of a single structure.*

*In the case of structures anchored to existing buildings, we must consider the seismic load due to the building displacement acting on the metal shaft. This phenomenon can be taken into consideration by forcing horizontal movements at the anchoring nodes. If there are insufficient data on the existing building, the calculation method of building movements is dictated by the technical standards.*

*Notably, the 2018 NTC (Building technical standards) suggest a maximum building displacement illustrated by the following formula:*

$$1/100 \times z \times a_g \times S / g^{(6)}$$

(1)

*where z is the quota of the displacement,  $a_g$  is the maximum horizontal acceleration at the reference site, S is the coefficient for underground category and topographic conditions and g is the gravity acceleration. This analysis of the imposed movements is implemented in the SW, which automatically calculates the displacements according to the anchored nodes and applies them to the nodes in the calculation phase and structural check in the case when the combination load accounts for seismic actions.*

6 This formula is related to the technical joint, namely the minimum distance between adjacent buildings. In this case, it is not the minimum distance between the new structure and an existing one, but the measure of the maximum deformation of the existing building; the metal shaft connected to the building will undergo the same displacement.

Tale configurazione è adatta a simulare ciò che avviene negli istanti successivi all'azionamento dei dispositivi di sicurezza a seguito di un evento sismico. È infatti prevedibile che un evento sismico induca sull'impianto, durante una corsa, l'intervento del paracadute; terminata la presa (istantanea o progressiva) del dispositivo, la cabina (nella peggiore delle ipotesi a piena portata), bloccata sulle guide, e la torre metallica possono quindi essere considerate parti solidali di un'unica struttura.

Nel caso di strutture ancorate ad edifici esistenti si deve tener conto del carico sismico dovuto allo spostamento dell'edificio che agisce sulla torre metallica. Tale fenomeno può essere tenuto in conto imponendo alla struttura degli spostamenti orizzontali in corrispondenza dei nodi di ancoraggio. Nel caso in cui non si abbiano sufficienti dati sull'edificio esistente, la modalità di calcolo degli spostamenti dell'edificio è dettata dalle norme tecniche.

In particolare, le NTC 2018 suggeriscono, come spostamento massimo dell'edificio, la quantità data dalla formula:

$$1/100 \times z \times a_g \times S / g^{(6)}$$

(1)

dove z è la quota di calcolo dello spostamento,  $a_g$  è l'accelerazione massima orizzontale sul sito di riferimento, S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche e g è l'accelerazione di gravità. Tale analisi agli spostamenti imposti è implementata nel sw, il quale calcola automaticamente gli spostamenti in funzione della quota dei nodi ancorati e applica tali spostamenti ai nodi stessi nella fase di calcolo e verifica strutturale, nei casi in cui la combinazione di carico preveda la presenza di azioni sismiche.

6 Si tratta della formula relativa al giunto tecnico, ovvero sia della minima distanza tra costruzioni contigue, interpretato in questo caso non tanto come la minima distanza di rispetto tra una nuova costruzione ed una esistente, bensì come misura dello sbandamento massimo previsto per l'edificio esistente; la torre metallica, legata all'edificio stesso subirà il medesimo spostamento.



### Calculation of the structure and checks

The solution of the equation systems of the finite element method allows the Feme to carry out three types of structural analysis:

1. modal dynamic analysis for the calculation of seismic forces;
2. buckling analysis to identify any geometric nonlinearity and cases of instability;
3. linear static analysis for the calculation of displacements and stresses due to applied external forces.

The results of the calculations are then used to carry out the checks required by the standards.

In particular, the SW automatically executes:

- calculation of resistance characteristics useful for class 4 profiles;
- calculation of the critical multiplier  $\alpha_{cr}$  to consider any geometric nonlinearity;
- resistance and stability checks to the Ultimate Limit States;
- displacement checks to the Serviceability Limit States;
- displacement checks of the guide rails at the points of safety gear grips (EN 81-20 standard);
- bolted joints checks (also for non-standardised profiles) and welding;
- dimensioning and check of anchor bolts at the base of the uprights and the walls of the building.

### Drafting of the report and/or technical report and drawing

After completing the actual calculation and assessment phase, the Feme can prepare and fill in a calculation report (ReportFeme Form) and, if necessary, the drafting of a complete technical report (RelTecFeme Form). The latter is already divided into the necessary files by each civil engineering department responsible for their territory, and this further reduces the processing time of the individual project<sup>8</sup>.

It is useful to highlight that the report written by the SW does not merely consist of the calculations file, but also contains the descriptive part of the model and the assumptions underlying the calculation. Furthermore, there are constructive details of the work and all the graphic representations required by the law. Lastly, a special form (DWGFeme Form) allows the drafting of the structural part graphics of the metal shaft in .dwg format.

### End of Part 1

Translated by Susan Visentin

- 
- 7 Traditional SWs do not perform these operations automatically; it is, therefore, necessary to input a "fictitious" building that makes the same displacements, to tie the building and the shaft structure together and to apply the seismic load; or to impose the elastic boundary conditions on the structure that allow it to oscillate within the measurements indicated in (1).
- 8 Although the requests are similar in content, regarding files and terminology, they vary from region to region (in some cases even from province to province of the same area).

### Calcolo della struttura e verifiche

Attraverso la soluzione dei sistemi di equazioni caratteristici del metodo agli elementi finiti, il Feme effettua tre tipi di analisi strutturale:

1. analisi dinamica modale per il calcolo delle forze sismiche;
2. analisi di buckling per individuare eventuali non linearità geometriche e casi di instabilità;
3. analisi statica lineare per il calcolo di spostamenti e sollecitazioni dovuti alle forze esterne applicate.

I risultati dei calcoli sono poi utilizzati per effettuare le verifiche imposte dalle normative.

In particolare, il sw esegue automaticamente:

- calcolo delle caratteristiche di resistenza efficaci per i profili di classe 4;
- calcolo del moltiplicatore critico  $\alpha_{cr}$  per tenere in conto le eventuali non linearità geometriche;
- verifiche di resistenza e stabilità agli Stati Limite Ultimi;
- verifiche degli spostamenti agli Stati Limite di Esercizio;
- verifiche degli spostamenti delle guide nei punti di presa del paracadute (norma EN 81-20);
- verifiche delle giunzioni bullonate (anche per profili non normalizzati) e delle saldature;
- dimensionamento e verifica dei tasselli di ancoraggio alla base dei montanti e alle pareti dell'edificio.

### Stesura del report e/o della relazione tecnica e del disegno

Terminata la fase vera e propria di calcolo e verifica il Feme è in grado di provvedere anche alla compilazione di un report (Modulo ReportFeme) di calcolo ed eventualmente alla stesura di una relazione tecnica completa (Modulo RelTecFeme). Quest'ultima è già suddivisa nei fascicoli richiesti da ciascun genio civile competente per territorio e ciò riduce ulteriormente i tempi di elaborazione del singolo progetto<sup>8</sup>.

È utile evidenziare che la relazione scritta tramite il sw non consiste semplicemente nel fascicolo dei calcoli, ma contiene anche la parte descrittiva del modello e le ipotesi alla base del calcolo. Inoltre, sono presenti i particolari costruttivi dell'opera e tutte le rappresentazioni grafiche richieste dalla normativa. In ultimo un modulo dedicato (Modulo DWGFeme) consente la stesura dell'elaborato grafico della parte strutturale della torre metallica in formato .dwg.

### Fine Parte 1

- 
- 7 I sw tradizionali non eseguono queste operazioni in automatico; occorre inserire un edificio "fittizio" che raggiunga gli stessi spostamenti, legare edificio e torre e applicare il carico sismico; oppure imporre alla struttura delle condizioni al contorno elastiche che le consentano di oscillare nella misura indicata nella (1).
- 8 Pur essendo simili nei contenuti le richieste, in termini di fascicoli e di nomenclatura, variano da regione a regione (in alcuni casi addirittura da provincia a provincia della stessa regione).

# elevator*mag*

THE INTERNATIONAL ELEVATOR MAGAZINE

## THE FUTURE OF **ELEVATOR** **DESIGN** STARTS **TODAY**

© Copyright 2019 - Metal Kunst 3



**"Proiezione", portale per ascensore | portal for elevator.**  
Cornice in acciaio inossidabile spazzolato e strisce LED | *Brushed stainless steel frame and LED strips.*

Metal Kunst 3<sup>TM</sup>



Metal Working srl<sup>®</sup>  
*quando il metallo prende forma*

Metal Kunst 3 is the art division of Metal Working

Discover the Metal Working innovation  
on **[www.metalworkingweb.com](http://www.metalworkingweb.com)**

**Metal Working S.r.l.** - Pergine Valsugana TN - ITALY



# 4

**2019**

July • August  
Luglio • Agosto

Volume 48 • Anno XLVIII  
since • dal 1972

**I.S.S.N. 1121-7995**

Volpe Editore Srl  
20060 Vignate, MI (Italy)  
Via Di Vittorio, 21A

(In Italia) Spedizione in a.p. 70% - Filiale di Milano

[elevatorimagazine.com](http://elevatorimagazine.com)

# Metal structures for lift shafts: a special software

## Strutture metalliche per vani corsa: un software dedicato

Francesco Santamaria & Gilberto Cavanna

### Part 2

#### SOFTWARE USE ANALYSIS

##### Results after the first stage of use

### Parte 2

#### ANALISI SULL'UTILIZZO DEL SOFTWARE

##### Risultati dopo la prima fase di utilizzo

DATA ACQUISITION STAGE / FASE DI ACQUISIZIONE DATI		
	Traditional method / Metodo tradizionale	FEME method / Metodo FEME
Geometric data entry / Inserimento dati geometrici	manual (more than 1 form) manuale (più form)	manual (1 form only) manuale (1 solo form)
Mechanical positioning / Posizionamento meccanica	manual/manuale	automatic/automatica

CALCULATION STAGE AND REPORT / FASE DI CALCOLO E REPORT		
	Traditional method / Metodo tradizionale	FEME method / Metodo FEME
Node and rod definition / Definizione nodi ed aste	manual/manuale	semiautomatic/semiautomatica
External constraints definition / Definizione vincoli esterni	manual/manuale	semiautomatic/semiautomatica
Profile definition / Definizione profili	manual/manuale	manual/manuale
Profile classification / Classificazione profili	manual/manuale	automatic/automatico
Profile check (class 4) / Verifica profili (classe 4)	manual/manuale	automatic/automatico
Internal junctions / Svincoli interni	manual/manuale	automatic/automatico
Imposed seismic movements / Spostamenti sismici imposti	manual/manuale	automatic/automatico
Car mechanics displacement / Spostamento meccanica cabina	absent (or manual)/assente (o manuale)	automatic/automatico
EN 81-20 check / Verifica EN 81-20	absent (or manual)/assente (o manuale)	automatic/automatico
Internal connection check / Verifica connessioni interne	manual/manuale	automatic/automatico
External connection check / Verifica connessioni esterne	manual/manuale	automatic/automatico
Calculations / Calcolazioni	automatic/automatico	automatic/automatico

TECHNICAL REPORT AND GRAPHICS / REPORT RELAZIONE TECNICA ED ELABORAZIONE GRAFICA		
	Traditional method / Metodo tradizionale	FEME method / Metodo FEME
Calculation final report / Report finale del calcolo	manual/manuale	automatic/automatico
Technical processing report / Elaborazione relazione tecnica	manual/manuale	automatic/automatico
Graphics / Elaborazione grafica	manual/manuale	automatic (80%)/automatica (80%)

Table 1 - Implementation stages of the structural calculation

Tabella 1 - Fasi di realizzazione del calcolo strutturale

Table 1 shows the stages of implementation of the calculation of the structure to be planned from the insertion of the geometrical data up to the drafting of the technical report.

A manual operation refers to a process which requires the intervention of the designer in the data entry stage and the evaluation of results. On the contrary, generically speaking with an automatic (or semi-automatic) operation, it refers to a process performed directly by the programme (or with minimal input from the designer) and which requires the intervention of the designer only in the initial phase of data input.

The first result that was achieved following the initial use of the Feme SW is a drastic reduction in the design time given by the automation of almost all the stages of the calculation. Table 2 shows the estimates of the times of the project phases carried out with the traditional method and with the dedicated SW (Feme Method).

By way of a non-exhaustive example, a time comparison was made relevant to the study of the metallic structure analysed with a traditional SW and with the dedicated Feme SW.

The model of the analysed structure has 350 nodes (lift system with six stops and some 20 metres height) and it is made of finished beam and rod elements.

The calculation was performed using a personal computer with features shown in Table 3.

Nella Tabella 1 sono riportate le fasi di realizzazione del calcolo della struttura da progettare dall'inserimento dei dati geometrici fino all'elaborazione della relazione tecnica.

Si intende genericamente con operazione manuale un'operazione che richiede l'intervento del progettista in fase di inserimento dati e di valutazione risultati. Al contrario, si intende genericamente con operazione automatica (o semiautomatica) un'operazione eseguita direttamente dal programma (o con un modesto ausilio del progettista) e che richiede l'intervento del progettista solo in fase di inserimento iniziale dei dati. Il primo risultato che è stato conseguito a seguito di un primo utilizzo del sw Feme è una drastica riduzione dei tempi di progettazione data dall'automatizzazione di quasi tutte le fasi del calcolo. Nella Tabella 2 sono riportate le stime dei tempi delle fasi di progetto svolte con il metodo tradizionale e con il sw dedicato (Metodo Feme).

A titolo esemplificativo non esaustivo, è stata eseguita una comparazione temporale relativa allo studio della stessa struttura metallica analizzata con un sw tradizionale e con il sw dedicato Feme. Il modello della struttura analizzata ha 350 nodi (impianto elevatore con sei fermate e altezza di 20 metri circa) ed è realizzato con elementi finiti trave e asta.

Il calcolo è stato eseguito utilizzando un personal computer avente le caratteristiche riportate in Tabella 3.

TRADITIONAL METHOD	Stage		hr:min
	Model construction	M	2:00
	Calculation and structural checks	A	0:03
	Data analysis and standard checks	M	2:00
	Joint check	M	2:00
	Calculation report	A	0:04
	Drafting of the calculation dossier	A	0:03
	Drafting the report	M	5:00
	Civil engineering department filing	M	2:00
	Drawing up of graphics	M	2:00
	Total hours		15:10

METODO TRADIZIONALE	Fase		ore:min
	Costruzione del modello	M	2:00
	Calcolo e verifiche strutturali	A	0:03
	Analisi dati e verifiche normative	M	2:00
	Verifica delle giunzioni	M	2:00
	Report del calcolo	A	0:04
	Redazione del fascicolo calcoli	A	0:03
	Redazione della relazione	M	5:00
	Fascicolazione Genio Civile	M	2:00
	Redazione elaborati grafici	M	2:00
	Totale ore		15:10

FEME METHOD	Stage		hr:min
	Model construction	M	0:10
	Calculation and structural checks	A	0:40
	Data analysis and standard checks	A	0:05
	Joint check	A	
	Calculation report	A	
	Drafting of the calculation dossier	A	
	Drafting the report	A	
	Civil engineering department filing	A	
	Drawing up of graphics	M	0:15
	Total hours		1:10

METODO FEME	Fase		ore:min
	Costruzione del modello	M	0:10
	Calcolo e verifiche strutturali	A	0:40
	Analisi dati e verifiche normative	A	0:05
	Verifica delle giunzioni	A	
	Report del calcolo	A	
	Redazione del fascicolo calcoli	A	
	Redazione della relazione	A	
	Fascicolazione Genio Civile	A	
	Redazione elaborati grafici	M	0:15
	Totale ore		1:10

**Table 2 - Estimate of design times**  
(A: Automatic procedure - M: Manual procedure)

**Tabella 2 - Stima dei tempi di progetto**  
(A: procedimento Automatico - M: procedimento Manuale)



<b>Processor</b>	Intel® Core i7 3770 CPU 3.40 GHz
<b>Installed Memory (RAM)</b>	16.00 GB
<b>Video Card</b>	Intel® HD Graphics 4000

**Table 3 - Characteristics of the calculation machine**

*The difference in time during the construction phase of the model is due to, in the case of the traditional method, the need to define the individual nodes and elements within the space and their properties. The dedicated SW, on the other hand, creates the model starting from a handful of numerical, geometric data entered by the designer.*

*The bulk of the time employed by the Feme Method applies to the calculation of the solution. This is because all checks are directly carried out automatically by the SW (the count also includes the iterative search for the worst load conditions - in this case, 30 iterations - the buckling analysis, the internal and external joint check) with longer computational times.*

*The traditional method does not provide for the search of the worst load condition, and the choice of the position of the car along the shaft is left to the designer.*

*Should one wish to determine the worst condition even with the traditional method, it would be necessary to:*

- multiply the time required for the construction of the model and the relevant calculation for the same number of configurations identified by the Feme (in this case, 30);
- spend more time analysing results.

*It is important to underline that, if the use of class 4 sections is envisaged, the calculation of the effective resistance characteristics with the traditional method must also be carried out manually following the iterative procedure stated in the standard [2]; however, this procedure is integrated into the dedicated SW.*

*In the event of extensive development of a project, the significant reduction in time is also due to the automation in the drafting stage of the "Final technical report" which includes the collection of data and images, editing and collating.*

*Another important advantage of using a dedicated sw was found when changes had to be made to the original project.*

*Finally, it should be recalled that, generally, the dimensioning of the structure is carried out iteratively: the search for a design solution in line with the requirements of the client and those imposed by the law takes place after several calculation tests, during which substantial changes can also be made to the initial model. In this regard, another significant advantage given*

<b>Processore</b>	Intel® Core i7 3770 CPU 3.40 GHz
<b>Memoria Installata (RAM)</b>	16.00 GB
<b>Scheda video</b>	Intel® HD Graphics 4000

**Tabella 3 - Caratteristiche della macchina di calcolo**

La differenza di tempo durante la fase di costruzione del modello è dovuta alla necessità, nel caso del metodo tradizionale, di definire i singoli nodi ed elementi nello spazio e le loro proprietà. Il sw dedicato, invece, realizza il modello a partire da pochi dati geometrici numerici inseriti dal progettista.

La maggior parte del tempo impiegato col Metodo Feme riguarda il calcolo della soluzione. Ciò è dovuto al fatto che tutte le verifiche sono effettuate dal sw stesso in maniera automatica (nel conteggio è compresa anche la ricerca iterativa delle condizioni di carico peggiori – nel caso specifico 30 iterazioni – l'analisi di buckling, la verifica di tutte le giunzioni interne ed esterne) con tempi computazionali maggiori. Ovviamente il metodo tradizionale non prevede la ricerca della condizione di carico più gravosa e la scelta della posizione della cabina lungo il vano è lasciata al progettista.

Qualora si volesse determinare la condizione più gravosa anche col metodo tradizionale occorrerebbe:

- moltiplicare il tempo richiesto per la costruzione del modello e il relativo calcolo per lo stesso numero di configurazioni individuate dal Feme (30, nel caso in esame);
- impiegare altro tempo per l'analisi dei risultati.

È importante sottolineare che, nel caso in cui sia previsto l'impiego di sezioni di classe 4, il calcolo delle caratteristiche di resistenza efficaci con il metodo tradizionale va anch'esso eseguito manualmente seguendo il procedimento iterativo indicato nella normativa [2]; tale procedimento è, invece, integrato nel sw dedicato.

In caso di elaborazione completa di un progetto la sensibile riduzione dei tempi è dovuta anche all'automazione nella fase di stesura della "Relazione tecnica finale" che comprende la raccolta di dati e immagini, l'editing e la fascicolazione.

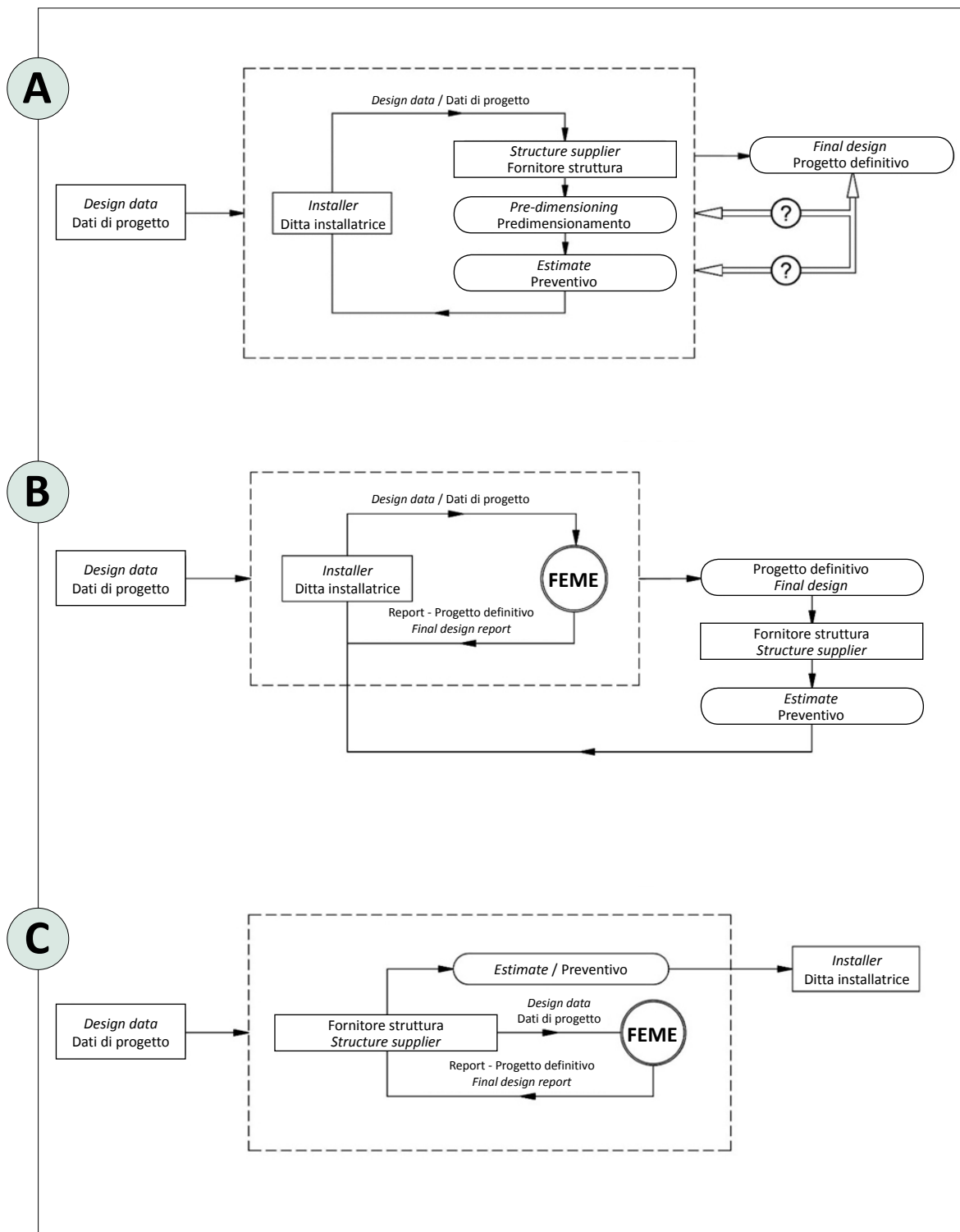
Un altro importante vantaggio dato dall'utilizzo di un sw dedicato è stato riscontrato nei casi in cui è stato necessario effettuare delle variazioni al progetto iniziale.

Infine, si deve tener presente che, generalmente, il dimensionamento della struttura avviene in maniera iterativa: la ricerca di una soluzione progettuale che risulti in linea con le richieste del committente e quelle imposte dalla normativa avviene dopo diverse prove di calcolo, durante le quali possono essere effettuate modifiche anche sostanziali al modello iniziale. A tale proposito, un altro importante vantaggio dato dall'utilizzo



by the use of a dedicated SW was found in cases where it was necessary to make changes to the initial project.  
As is evident from Table 2, for the development of a complete project with the Feme method a large part of the time required is spent in numerical processing; this could be significantly reduced by using special machines; this way, furthermore, the implementation of a calculation report could take about 15 minutes.

del sw dedicato è stato riscontrato proprio nei casi in cui è stato necessario effettuare variazioni al progetto iniziale.  
Come risulta evidente dalla Tabella 2 buona parte del tempo necessario alla realizzazione di un progetto completo col metodo Feme è richiesto dalla elaborazione numerica; questo potrebbe essere sensibilmente diminuito utilizzando macchine dedicate; in tal modo inoltre la realizzazione di un report di calcolo potrebbe richiedere complessivamente circa 15 minuti.



**Figure 5 - Comparison of the workflows of the Traditional Method (a), of the Feme Method used by the installer (b) and of the company supplying the structure (c)**

**Figura 5 - Confronto tra i flussi di lavoro del Metodo Tradizionale (a), del Metodo Feme utilizzato dalla ditta installatrice (b) e dalla ditta che fornisce la struttura (c)**

## FURTHER DEVELOPMENTS AND FIELDS OF APPLICATION

*The first results obtained with the use of a dedicated SW can undoubtedly lead to a change in the workflow and interaction between the designer, the installer of the lift system and the supplier of the metal structure.*

*To clarify the concept, Figure 5 shows the workflows of the two design methods compared in this paper.*

*In the method using the traditional SW calculation (Figure 5a), the estimate stage by the company providing the metal structure is preceded by a pre-dimensioning, performed by the designer based on the available data.*

*The difficulty arises from the number of initial variables in each project and from their interaction. If a database collecting multiple different configurations is created, useful for the estimate, we would need to combine all the variables; unfortunately, even considering a limited and discrete range of variability of the parameters involved, the number of cases to be analysed immediately becomes very high (hundreds of thousands), it is actually impossible to study it in advance.*

*There are 2 choices to identify a structurally effective configuration and formulate a reliable estimate:*

- 1. reducing the number of initial parameters, assuming plausible hypotheses in advance; in this way, however, the model is detached from reality and, last but not least, it can incur unnecessary over-dimensioning or, worse, errors in evaluation;*
- 2. during the estimate phase, building a model with calculations; however, with the currently available SW, this process requires, as already mentioned, time and it is therefore expensive.*

*The possibility, to obtain quick results that fully comply with the law given by the dedicated SW, allows to cancel of structural pre-dimensioning stage with all the relevant unknowns, in favour of a true dimensioning that will then coincide with the final project.*

*Having reliable results from the outset can be useful to both the installer of the lift system and the company supplying the metal structure (Figures 5b and 5c).*

*The possibility of having a dedicated SW offers advantages not only for the design but can also prove a useful tool in the field of research.*

*For this purpose, the automation capacities implemented in the SW can be used to study the structural behavior by performing parametric analyses useful for the definition of structural optimisation methods with discrete parameters.*

## ULTERIORI SVILUPPI E CAMPI DI APPLICAZIONE

I primi risultati ottenuti con l'utilizzo di un sw dedicato possono portare sicuramente a un cambiamento nel flusso di lavoro e nell'interazione tra progettista, ditta installatrice dell'impianto elevatore e ditta fornitrice della struttura metallica. Per chiarire il concetto, nella Figura 5 sono riportati i flussi di lavoro caratteristici dei due metodi di progettazione confrontati in questa trattazione.

Nel metodo che utilizza i sw di calcolo tradizionali (Figura 5a), la fase di preventivazione da parte dell'azienda che fornisce la struttura metallica è preceduta da un predimensionamento, eseguito dal progettista sulla base dei dati disponibili.

La difficoltà nasce dal numero di variabili iniziali che ciascun progetto presenta e dalla loro interazione: volendo creare un database che raccolga molteplici configurazioni diverse, utili per la preventivazione, occorrerebbe combinare tra loro tutte le variabili; purtroppo, anche considerando un range limitato e discreto di variabilità dei parametri in gioco, il numero dei casi da analizzare diviene subito elevatissimo (centinaia di migliaia), di fatto impossibile da studiare a priori.

Per individuare una configurazione strutturalmente efficace e formulare un preventivo attendibile rimangono 2 strade:

1. ridurre il numero di parametri iniziali, assumendo a priori delle ipotesi plausibili; in tal modo però si allontana sempre di più il modello dalla realtà e, certamente non in ultimo, si può incorrere in inutili sovradimensionamenti o, peggio, in errori di valutazione;
2. costruire un modello completo di calcolo già in sede di preventivazione; questo procedimento, con i sw attualmente disponibili, richiede però, come già accennato, tempi e, dunque, costi, molto elevati.

La possibilità, data dal sw dedicato, di ottenere in tempi brevi risultati che rispettino integralmente la normativa consente di eliminare la fase di predimensionamento strutturale con tutte le incognite correlate, a favore di un dimensionamento vero e proprio che coinciderà poi di fatto con il progetto finale.

Disporre di risultati certi sin dall'inizio può risultare utile sia alla ditta installatrice dell'impianto elevatore sia alla ditta che fornisce la struttura metallica (Figure 5b e 5c).

La possibilità di avere a disposizione un sw dedicato non offre vantaggi soltanto per la progettazione, ma può essere uno strumento utile nel campo della ricerca. A tale scopo, le capacità di automazione implementate nel sw possono, ad esempio, essere utilizzate per studiare il comportamento della struttura effettuando analisi parametriche utili alla definizione di metodi di ottimizzazione strutturale a parametri discreti.