

## Progettazione strutturale in modalità OpenBIM: gli strumenti DOLMEN per l'interoperabilità a corredo del calcolo strutturale

La rivoluzione digitale che ha investito tutti i settori tecnologici ha coinvolto anche il settore delle costruzioni portando con sé nuovi modi di progettare: in particolare, il Building Information Modeling, il "BIM", è ormai diventato una realtà consolidata che riguarda anche il progettista strutturale.

**Cosa è il BIM?** E' il sistema informativo digitale della costruzione composto dal modello 3D integrato con i dati fisici, prestazionali e funzionali dell'edificio o, in termini più semplici, una documentazione trasparente e completa dell'oggetto costruito o da costruire, un vero e proprio gemello digitale. Come tale, nasce da una necessità di documentazione, ma si trasforma in un modo di progettare basato su un approccio collaborativo. Diventa un sistema di condivisione delle informazioni progettuali che supporta la collaborazione continua tra tutti i partecipanti al progetto. Ne consegue che per poter parlare di BIM, o meglio di OpenBIM, la rappresentazione digitale dell'edificio deve essere condivisibile (e condivisa) in modo da facilitare la comunicazione fra i vari attori che prendono parte al processo edilizio. Questo significa che il BIM si appoggia su formati di dati non legati ad una specifica piattaforma, ma regolati da standard e procedure internazionali, indipendenti dai software utilizzati per la progettazione.

Il più noto di essi è lo **standard IFC** (Industry Foundation Class), nelle sue varie versioni, derivante dalla metodologia STEP, certificato ISO nel 2013, sviluppato e divulgato da Building Smart International.



**Quali informazioni contengono in generale questi formati? E come questa metodologia può riguardare il progettista strutturale?** Si tratta di formati intesi a descrivere i più disparati tipi di entità, relazioni fra

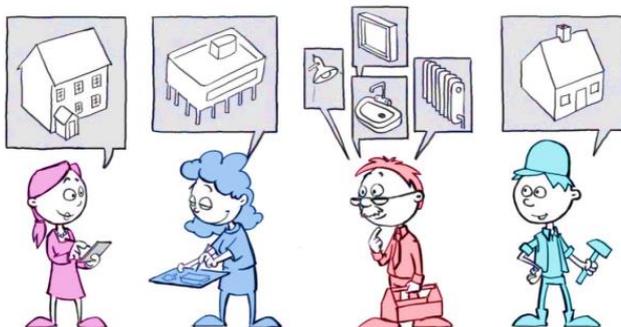


Figura 1-What openBIM Does For You - buildingSMART in Four Minutes  
Produced by buildingSMART Norway

entità e proprietà delle entità stesse: si spazia dal campo della progettazione architettonica a quello della modellazione impiantistica tridimensionale (il cosiddetto MEP), ai dati sul ciclo di vita della struttura, alle informazioni che consentono il computo, etc., il tutto per oggetti costruiti o da costruire che spaziano dal semplice edificio residenziale, alle infrastrutture, al building heritage.

Va da sé che un formato (oserei dire un linguaggio) di questo tipo deve avere molteplici possibilità di descrizione anche solo delle forme geometriche degli oggetti, ed è quindi caratterizzato da una notevole complessità e ricchezza di possibilità. Per questo motivo vengono definiti dei sottoinsiemi dell'universo degli argomenti trattabili, le **Model View Definition**, che rappresentano uno specifico ambito di dati per un determinato uso o flusso di lavoro.

Di questi, quelli che possono interessare il progettista strutturale sono sostanzialmente due: il dominio **BIM Strutturale** e il dominio **BIM Strutturale Analitico**.

Contrariamente a quanto potrebbe far pensare il nome, il **dominio BIM Strutturale** è sostanzialmente un modello descrittivo: contiene la **descrizione fisico/geometrica degli elementi strutturali**, ovvero di oggetti di tipo *IfcBeam*, *IfcColumn*, *IfcMember* (elemento inclinato, che in quanto tale non rientra nella definizione di trave né di pilastro), *IfcSlab*, *IfcWall*, *IfcStandardWall*, *IfcFooting*. Tutti questi oggetti sono presentati in modo descrittivo, in base ai loro ingombri fisici, e non idealmente riassunti in una rappresentazione concettuale come nel modello analitico: ad es. una trave in acciaio potrà essere il risultato di una operazione booleana nella quale ad un solido descritto come una scultura per il tramite delle superfici che lo racchiudono (la trave stessa) vengono sottratti degli altri solidi ( i fori dei bulloni ) ed aggiunti altri solidi (bulloni, saldature, etc.): la rappresentazione descrittiva lo rende adatto per controlli di clash detection, per esecutivi di cantiere o per computi ed altro.

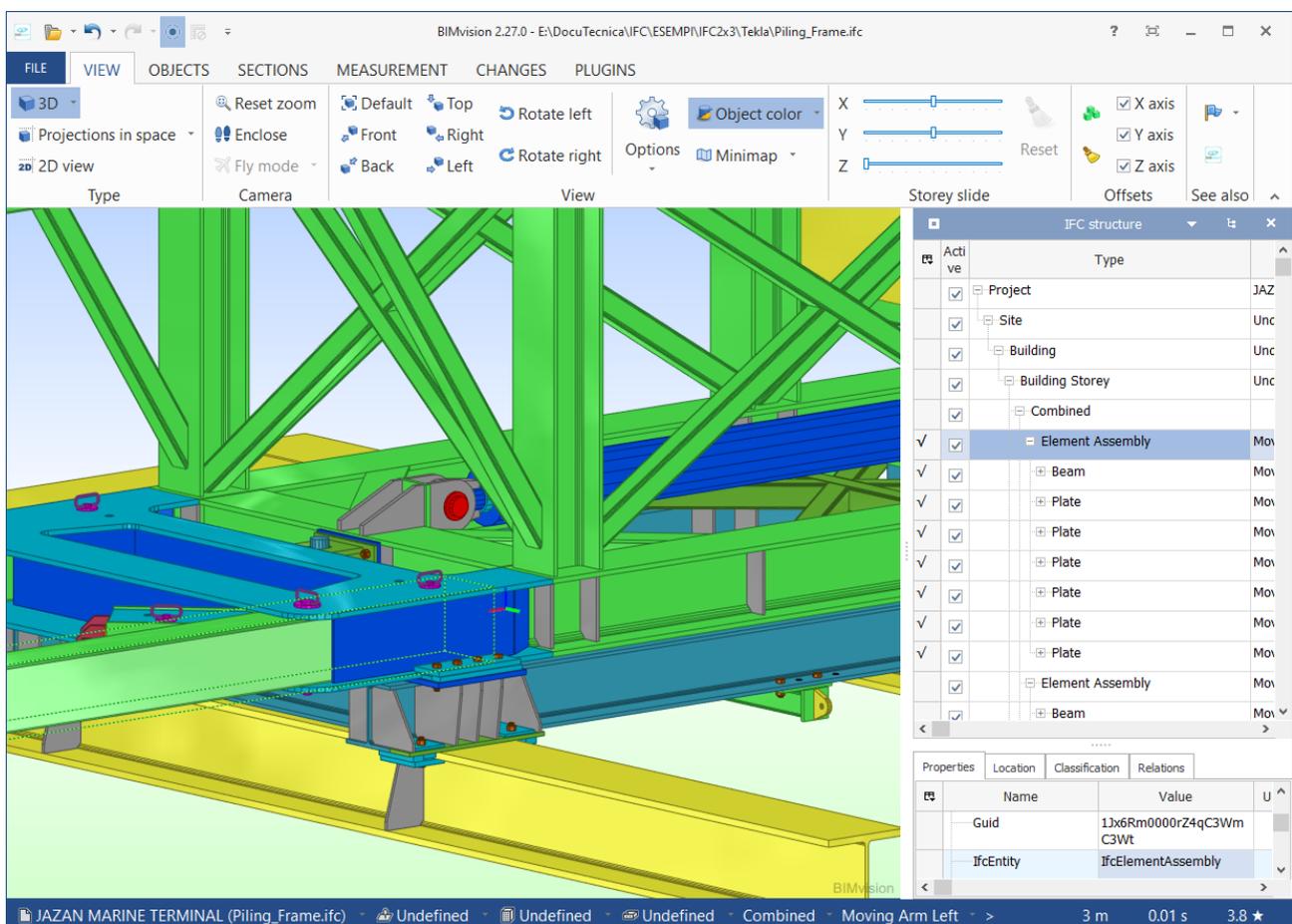


Figura 2- Informazioni del dominio BIM Strutturale relative a una struttura metallica visualizzate in BIMVision

In questo tipo di rappresentazione i materiali non sono descritti in base alle loro proprietà meccaniche, ma sono unicamente un'etichetta che caratterizza l'oggetto.

Un modello solido di questo tipo richiederà, per essere convertito in un modello finalizzato al calcolo, l'interpretazione di un progettista che traduca i vari componenti nel loro modello analitico. Pensiamo ad es. ai controventi nella struttura sopra raffigurata: diventeranno, ai fini del calcolo strutturale, degli elementi monodimensionali asta ma con o senza svincolo di cerniera all'estremità? E' decisione del progettista strutturale in base alla sua competenza. Inoltre, tracciando idealmente gli assi baricentrici degli elementi fisici, ben difficilmente si incontreranno in un unico punto che possa diventare un nodo in un modello ad elementi finiti.

Una delle problematiche più sentite infatti, nella ricezione di un modello BIM Strutturale generato da un software di BIM Authoring, è proprio quella delle connessioni fra gli elementi: nel modello FEM gli elementi monodimensionali aste corrispondono agli assi baricentrici che si incontrano e comunicano nei loro nodi: il modello analitico costituisce un’astrazione, una idealizzazione matematica del comportamento degli elementi che il modello del dominio BIM Strutturale definisce per il tramite dei loro ingombri fisici.

La lettura, da parte di un software di calcolo strutturale, di un modello di tipo solido/descrittivo, potrà quindi portare a risultati tanto più utilizzabili ai fini della modellazione strutturale quanto più la geometria degli oggetti strutturali è relativamente semplice, quale può essere ad es. quella di un telaio in c.a. D’altra parte possiamo facilmente immaginare che, all’interno di un ipotetico flusso di lavoro concernente

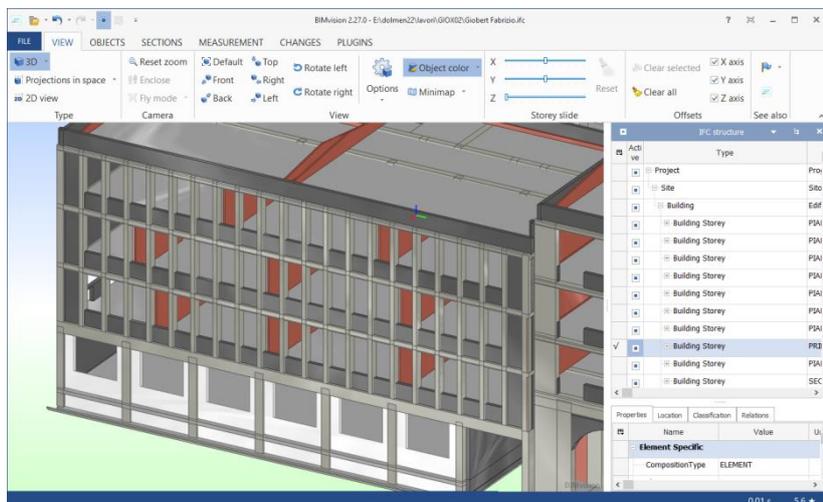


Figura 3- Struttura a telaio in c.a. definita nel Dominio Strutturale IFC

strutture ancora da costruire, sia compito del progettista strutturale quello di inserire nel progetto gli elementi di sua competenza e che il modello BIM Strutturale “descrittivo” ricevuto rappresenti più un suggerimento e un’informazione sugli spazi che una modellazione compiuta. Nel caso di strutture esistenti però il modello BIM Strutturale potrebbe essere cogente in quanto risultante da un rilievo.

Le informazioni dello schema IFC possono comunque, se la struttura ha una certa regolarità, semplificare e velocizzare notevolmente il lavoro di inserimento del modello strutturale di calcolo.

Gli elementi monodimensionali, travi e pilastri, vengono automaticamente importati in DOLMEN.

Muri, piastre e setti vengono invece importati solo come wireframe, dato che il formato IFC non contiene informazioni che ne consentano l’interpretazione automatica da parte di un software strutturale.

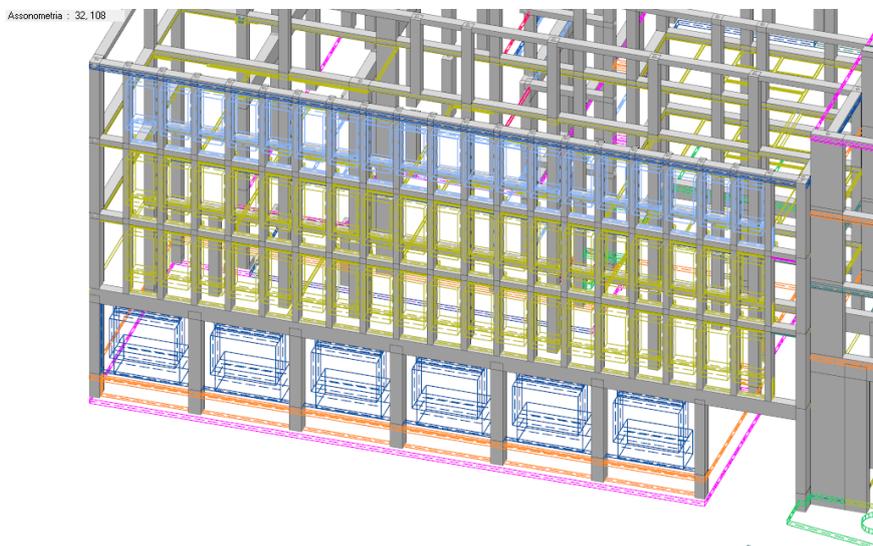
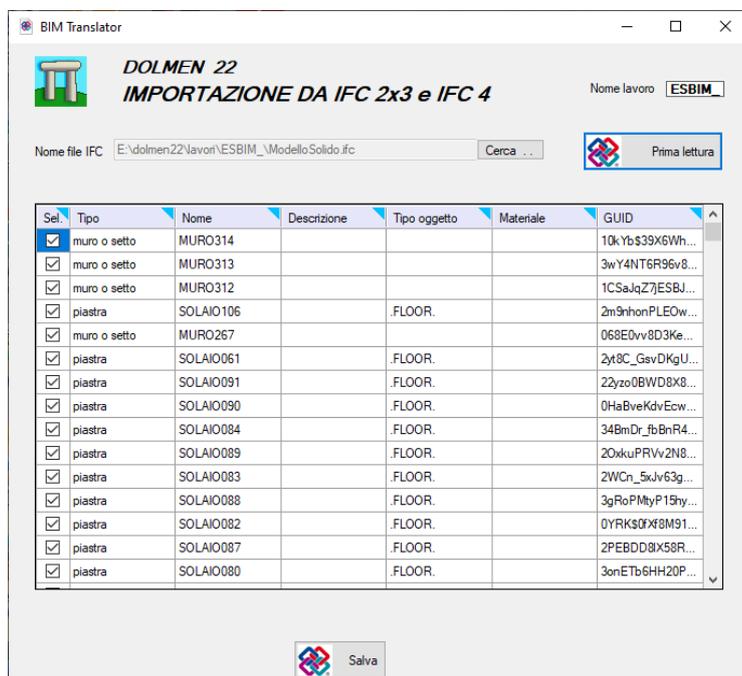


Figura 4- la struttura in fig.3 importata nel CAD3D di DOLMEN

Il modello solido descrittivo non contiene infatti dati codificati e standardizzati sul comportamento strutturale degli elementi bidimensionali: questi potrebbero infatti essere ad es. solai da non importare come elementi piani ma come opzione di piano rigido e carico ripartito sulle travi, o viceversa setti aventi funzione strutturale da discretizzare come mesh di elementi guscio, oppure muri portanti da schematizzare con elementi dedicati, oppure ancora tamponamenti da considerare semplicemente come carico permanente e non come elementi strutturali: l'interpretazione ai fini del calcolo non è definita nel file IFC e non è quindi automatizzabile.

Per questo motivo la procedura di importazione degli oggetti del modello strutturale solido in DOLMEN consente di filtrare gli oggetti da utilizzare per la creazione del modello di calcolo.



Viene infatti effettuata una prima lettura degli oggetti del modello descrittivo, che mi consente di filtrare gli oggetti da importare secondo più criteri, o per tipologia (travi / pilastri /piastre /muri o setti) o per materiale o sfruttando le altre informazioni eventualmente contenute nel file IFC, ad es. disattivando l'importazione di tutti quegli elementi che contengono nel nome una certa sequenza di caratteri:

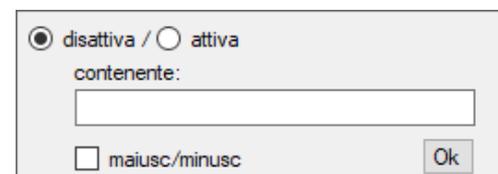


Figura 5- le operazioni di filtro sugli oggetti da importare

A volte il nome o la descrizione dell'elemento consentono, con questa operazione di "filtraggio", di selezionare i soli elementi significativi, rendendo molto più veloce la generazione del modello.

Ove possibile, DOLMEN cerca di disegnare il piano medio degli elementi bidimensionali, in modo da aiutare la costruzione di eventuali mesh, per le quali fornisce svariate opzioni di meshatura automatica.

Numerose altre funzioni di generazione, controllo e correzione del modello interne all'ambiente CAD3D Strutturale di DOLMEN consentono di agire con immediato riscontro visivo sugli elementi importati per la generazione del modello analitico, ad es. generando in modo immediato eventuali nodi intermedi per la connessione delle aste o "stirando" le coordinate dei nodi sino a renderli comunicanti.

Le problematiche in fase di importazione del modello nascono dal fatto che le informazioni importate provengono sovente da software di BIM Authoring, nati per la descrizione architettonica e non per l'astrazione concettuale ai fini del calcolo.

In generale nel panorama italiano, ove sovente gli studi professionali hanno dimensioni minori che nel resto dell'Europa, gli strumenti software a disposizione del professionista strutturale si sono storicamente

evoluti fornendo al progettista strumenti già di per sé completi: in DOLMEN solutore, preprocessori e postprocessori sono tutti interamente sviluppati all'interno di CDM DOLMEN, e strettamente integrati fra loro: il solutore, pensato specificatamente per il calcolo di strutture civili è strettamente integrato nel contesto, e il preprocessore è un CAD tridimensionale esplicitamente dedicato alla progettazione strutturale, nel quale vengono direttamente costruiti ed assegnati elementi sia della rappresentazione FEM del modello analitico sia le informazioni finalizzate alla progettazione "di ambito": ad es. una

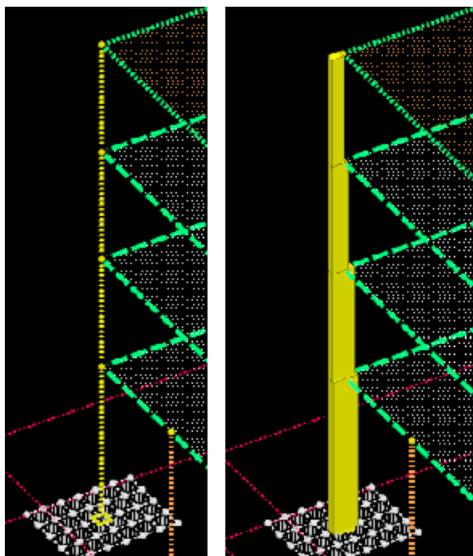


Figura 6 - pilastro analitico e ingombri del pilastro nel CAD3D di DOLMEN

successione verticale di elementi finiti monodimensionali di tipo "beam", disegnati tutti su un'unica linea viene identificata, ai fini del calcolo del c.a., come oggetto "PILASTRO", per il quale è possibile definire, per il rispetto dei fili fissi, un offset tra il modello fisico e quello matematico, funzionale alla definizione di carpenterie nelle quali successivamente inserire le armature. DOLMEN è in grado di gestire contemporaneamente l'elemento monodimensionale "analitico" e la trave come ingombro fisico: questo consente di effettuare modifiche sul modello computazionale che non si ripercuotono sul modello fisico-strutturale, mantenendo così inalterati gli ingombri fisici del telaio strutturale. Analogamente, nel calcolo della muratura portante, più elementi analitici "asta" sono riconoscibili come rappresentanti una porzione omogenea di parete detta "interpiano".

E ancora allo stesso modo una platea di fondazione, costituita da una mesh più o meno fitta di più elementi finiti bidimensionali, potrà essere riconosciuta, ai fini della progettazione del c.a., come un unico macroelemento molto simile a una SLAB, e quindi esportata come tale.

Tutto ciò consente di generare, a partire dai dati presenti in DOLMEN, un Modello Strutturale Solido completo anche delle eventuali armature, con ingombri "realistici".

La procedura di esportazione consente inoltre di filtrare, in modo da non esportarli nel modello solido, eventuali elementi che esistano solo nel modello analitico, quali ad esempio eventuali elementi monodimensionali con funzione di link rigidi, semplicemente attivando l'opzione che prevede di esportare solo aste appartenenti ad elementi continui, cioè quegli elementi già assegnati come costituenti travi o pilastri.

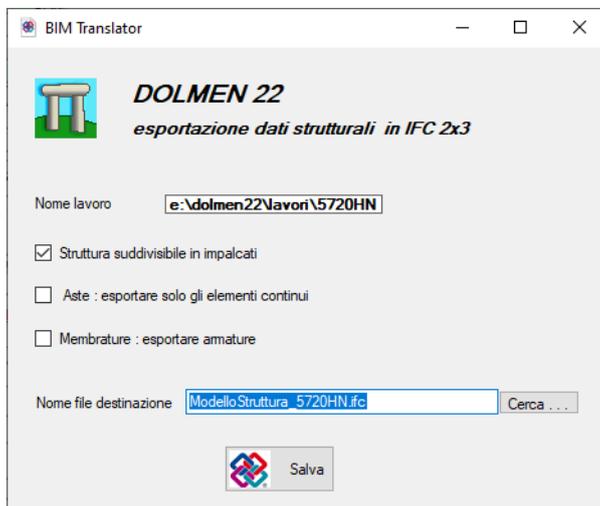


Figura 7 - dati di impostazione dell'esportazione del modello Strutturale Solido

Inoltre DOLMEN, se richiesto con l'opzione "Struttura suddivisibile in impalcati", aggiunge durante l'esportazione alcune informazioni proprie degli schemi IFC: la modellazione BIM è infatti caratterizzata da una intrinseca struttura gerarchica che in generale vede l'edificio suddiviso in interpiani o impalcati (IfcStorey), travi e parti di pilastri appartenenti ai singoli interpiani.

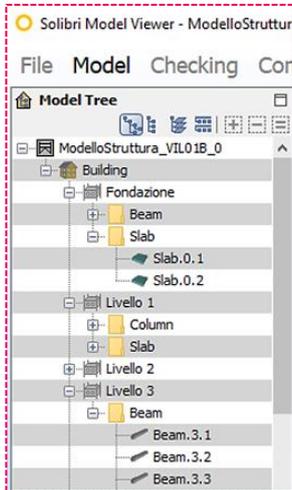


Figura 8 - struttura gerarchica dell'edificio

Se la struttura è interpretabile in questo modo DOLMEN provvede a generare in automatico tutte le informazioni di tipo gerarchico, altrimenti, per una più completa esportazione di informazioni, occorrerà semplicemente informare il software che la struttura "non è interpretabile per impalcati".

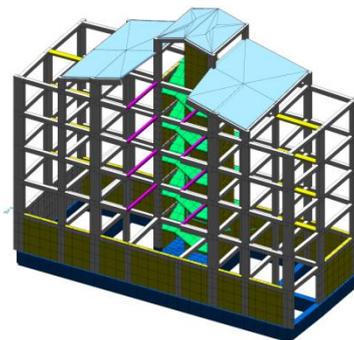


Figura 9- Modello interpretabile per impalcati

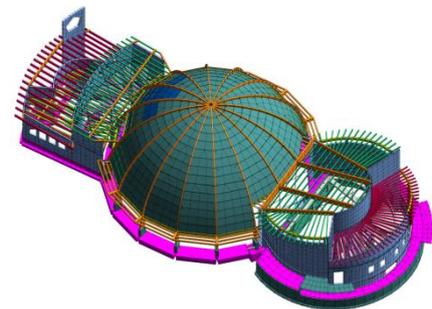


Figura 10 - Modello NON interpretabile per impalcati

Se la struttura è stata assegnata come suddivisibile in impalcati, anche i pilastri con le relative armature, che ai fini del calcolo rappresentano un'unica entità di verifica, vengono suddivisi seguendo questa struttura gerarchica, in modo che le armature possano essere correttamente utilizzate ai fini di eventuali computi, calcolo di fasi di cantiere etc.

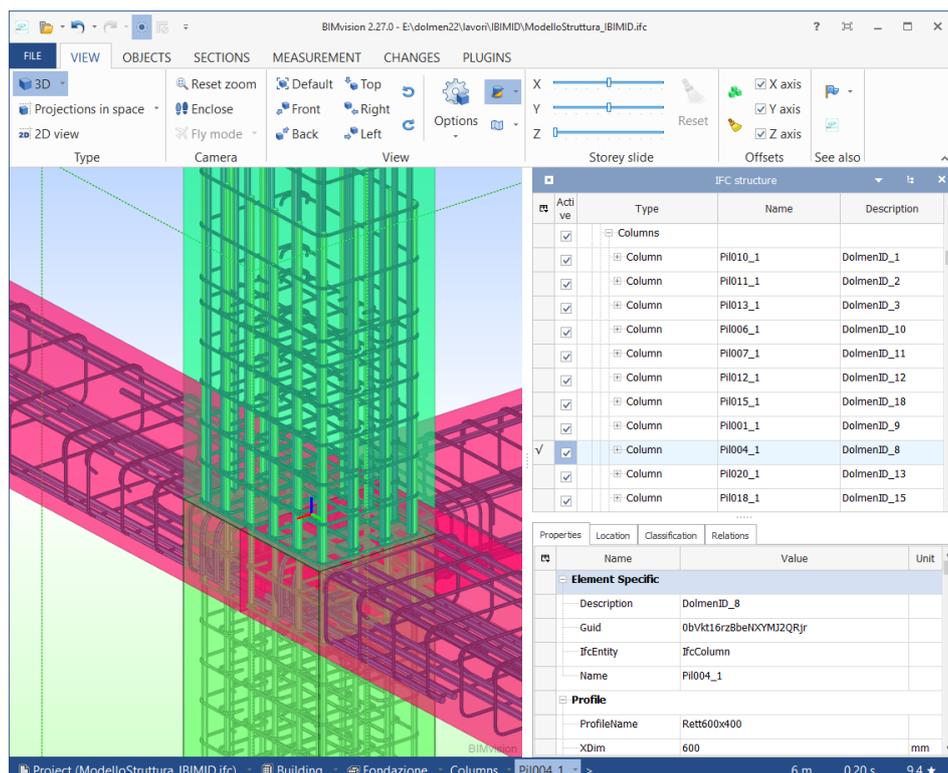


Figura 11 - Visualizzazione in BIMVision delle armature esportate da DOLMEN

Più attinente all’ambito di lavoro del progettista strutturale è il modello **BIM Strutturale Analitico**, che non rappresenta ancora l’insieme dei dati necessari al calcolo FEM, ma è già finalizzato al calcolo: gli oggetti e le classi che tratta contengono già informazioni che rappresentano le ipotesi alla base del calcolo strutturale stesso.

Il Modello BIM Strutturale Analitico assegna un significato di calcolo strutturale agli oggetti che tratta: ad esempio, mentre nel Modello BIM Strutturale Solido un oggetto bidimensionale IfcSlab potrebbe tradursi nel calcolo in una semplice opzione di piano rigido, e quindi non esistere propriamente, se invece nel modello BIM Strutturale Analitico esiste un oggetto bidimensionale, quest’ultimo già per ipotesi fa parte del modello di calcolo e fra i dati che lo definiscono è già specificato se debba avere comportamento a guscio o a membrana o altro. Le informazioni che questa ModelView fornisce sono già quelle dello scambio dati tra gli strutturisti, ma non così “rifinite” da poter portare direttamente al calcolo, e infatti l’elemento bidimensionale non è ancora discretizzato in elementi finiti, né si specifica quali formulazioni matematiche essi debbano avere.

I concetti trattati dalla ModelView dell’analisi strutturale vengono veicolati anche da un nuovo ed interessante formato, il formato **SAF (Structural Analysis Format)**, sviluppato nell’ambito del Gruppo Nemetschek: si tratta di un formato aperto, basato su Excel, pensato esclusivamente per lo scambio di modelli di analisi strutturale. Proprio per questa sua specificità di essere ristretto all’ambito del calcolo strutturale, e non dover quindi prevedere la ricchezza e ridondanza di regole o formati che consentano la descrizione di concetti relativi ad ambiti dei più svariati, dal MEP al computo al il ciclo di vita della struttura, alla descrizione di geometrie anche complesse, lo rende estremamente semplice ed insieme anche molto completo. Inoltre, il fatto di nascere all’interno del Gruppo Nemetschek lo pone in comunicazione diretta con Allplan, ArchiCAD, ma soprattutto con BIMPLUS, che costituisce ad oggi una delle migliori piattaforme OpenBIM di collaborazione, creata per supportare in modo efficiente i processi BIM grazie alla condivisione di modelli, informazioni e documenti.

Dolmen importa ed esporta le informazioni veicolate dal formato SAF: attualmente traduce gli oggetti, ovvero gli elementi strutturali mono e bidimensionali, i vincoli, le condizioni di svincolo degli elementi, etc. L’impostazione del formato è tale da consentire la trasmissione di modelli comunque complessi, evitando molte delle usuali problematiche di congruenza di nodi.

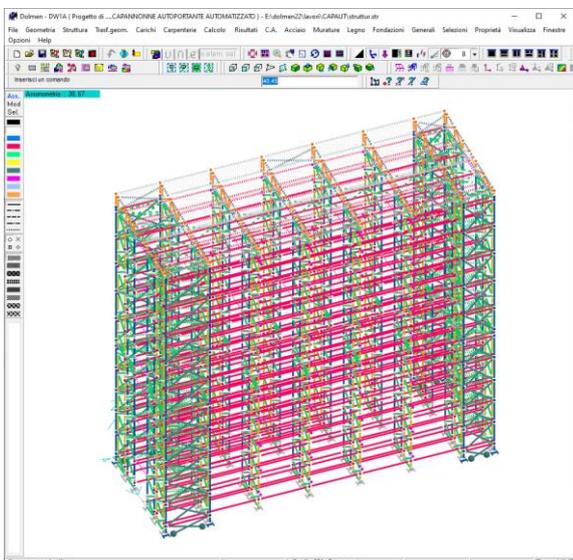


Figura 9- Struttura in acciaio nel CAD3D di DOLMEN

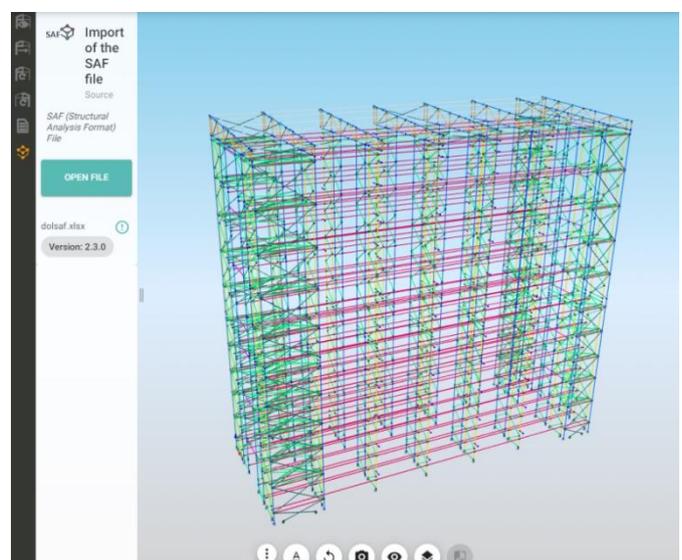


Figura 10 – La struttura di fig.9 esportata nel visualizzatore SAF

Gli oggetti descritti dal formato SAF non sono puri elementi finiti, ma hanno svariate affinità con gli elementi continui del menù “Carpenterie” di DOLMEN. Ad es., l’elemento monodimensionale del SAF ha nodi di estremità e intermedi, insieme ad eccentricità di tipo analitico e/o geometrico: per questo motivo lo abbiamo identificato con l’elemento continuo travata o pilastrata di DOLMEN.

Allo stesso modo, l’elemento bidimensionale è assimilabile all’ elemento continuo macroguscio presente in DOLMEN, che vede più elementi finiti di tipo guscio o membrana riuniti a formare un elemento concettualmente unico ai fini della progettazione, con suo specifico sistema di riferimento, ed eventuali eccentricità geometriche. Questo consente, in fase di import, la creazione automatica della mesh in quanto è già definito il suo piano medio, e molti dei nodi richiesti per la congruenza: la mesh così generata richiederà qualche veloce modifica direttamente nel CAD3D, in genere suggerita dai controlli automatici ed ottenibile tramite gli automatismi già predisposti: insieme alla mesh verrà inoltre generato l’elemento continuo macroguscio.

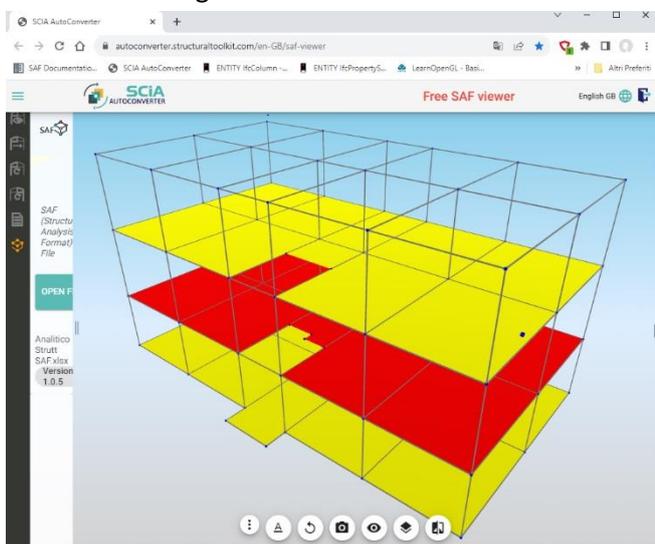


Figura 11 - edificio a telaio in c.a. nel visualizzatore SAF

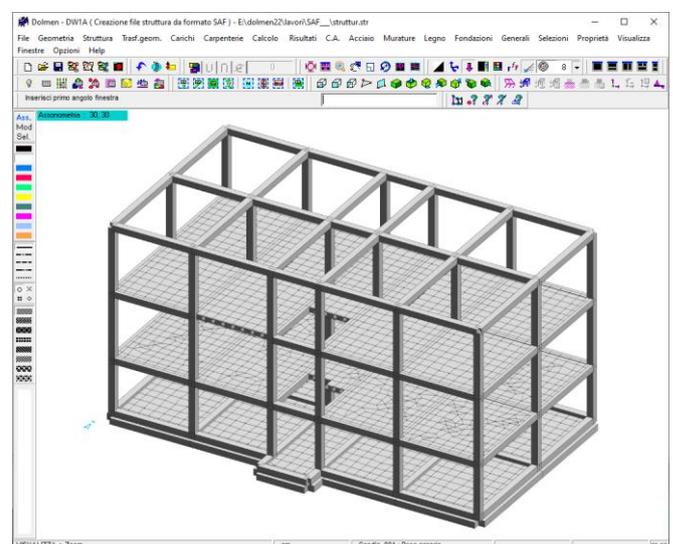


Figura 12- l’edificio di fig.11 importato in DOLMEN

Viceversa, in fase di esportazione, l’elemento continuo macroguscio viene “sintetizzato” trascurando alcuni suoi nodi intermedi e definendo la geometria del suo piano medio.

Lo sviluppo di nuove funzionalità, anche relativamente al mondo dell’OpenBIM per il calcolo strutturale, è sempre in DOLMEN continuo e ricco di novità: i nuovi sviluppi all’orizzonte, prevedono, per quanto riguarda il formato SAF, la lettura/scrittura dei carichi ma soprattutto quella dei risultati, e in particolare delle sollecitazioni che rendono questo formato molto appetibile per il dialogo con le progettazioni di ambito molto specialistico ( l’esempio più immediato è quello dei dettagli di costruzione di nodi in elementi in legno). Sono previsti ulteriori sviluppi anche per quanto riguarda il modello analitico strutturale nel formato IFC.