



**HISTRA** 23.1.0  
FOR ARCHES AND VAULTS

# MANUALE UTENTE



**GRUPPO SISMICA**  
SMART STRUCTURAL SOLUTIONS

Copyright of Gruppo Sismica s.r.l.  
ITALY

-----  
**HISTRA Arches and Vaults ed HISTRA BRIDGES sono prodotti da:**

Viale Andrea Doria, 27

95125 Catania

Telefono: +39 095 504749

Email: [info@grupposismica.it](mailto:info@grupposismica.it)

Web: [www.grupposismica.it](http://www.grupposismica.it)

**Supporto tecnico:**

Servizio assistenza tecnica tramite Tickets su

<http://www.lms-grupposismica.it/web/>

Assistenza telefonica: +39 095 504749

**Proprietà letteraria riservata**

Gruppo Sismica s.r.l. © Ottobre 2011

Si ringraziano coloro che hanno collaborato alla stesura del presente manuale.

# INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>7</b>
1.1	Su questo manuale	7
<b>2</b>	<b>GESTIONE DEL MODELLO</b>	<b>8</b>
2.1	Elementi computazionali	8
2.1.1	Macro-elemento a quattro nodi: Quad	9
2.1.2	Macro-elemento a tre nodi: Vertex	10
2.1.3	Elemento truss	11
2.1.4	Elemento fiber	11
2.1.5	Sistemi di coordinate	13
2.1.6	Gradi di libertà	13
2.1.7	Principi generali per la discretizzazione in mesh	13
2.1.8	Considerazioni di modellazione	15
<b>3</b>	<b>CREAZIONE DI UN NUOVO MODELLO</b>	<b>17</b>
3.1	Modelli strutturali da Wizard in HISTRA Arches and Vaults	17
3.2	Modelli strutturali da Wizard in HISTRA BRIDGES	18
<b>4</b>	<b>HISTRA ARCHES AND VAULTS: PROCEDURA GUIDATA DI INPUT</b>	<b>20</b>
4.1	DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA MEDIANTE WIZARD	20
4.1.1	GLI ARCHI	21
4.1.2	LE VOLTE	22
4.1.3	Creazione di un modello tramite .dxf	31
<b>5</b>	<b>HISTRA BRIDGES: PROCEDURA GUIDATA DI INPUT</b>	<b>33</b>
5.1	DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA DEL PONTE	35
5.1.1	Caratteristiche generali (General)	36
5.1.2	Definizione geometria spalle (Left/Right abutment)	42
5.1.3	Definizione geometria campate (Span N)	45
5.1.4	Caratteristiche geometriche della pila	46
5.1.5	Backfill	49
5.2	DEFINIZIONE DEI MATERIALI	50

5.2.1	Material > Masonry materials	50
5.2.2	Material > Steel materials	61
5.2.3	Material > Fiber materials	62
5.2.4	Material > Geotechnical materials	63
5.3	DEFINIZIONE DEI CARICHI	64
5.3.2	Loads > Vehicles loads	70
5.3.3	Loads > Area loads	73
5.3.4	Loads > Line loads	75
5.3.5	Loads > Point loads	75
5.4	DEFINIZIONE DEGLI SCHEMI DI CARICO	77
5.5	DEFINIZIONE E ASSEGNAZIONE DELLE COMBINAZIONE DI CARICO ANALISI	82

## **6 AREA DI LAVORO** **83**

---

6.1	MENU CONTESTUALE	84
6.2	MENU PRINCIPALE	85
6.3	MENU COMANDI RAPIDI	86
6.4	BARRA DELLE INFORMAZIONI	90
6.5	FINESTRA DELLE PROPRIETA' DEL MODELLO	91

## **7 MENU PRINCIPALE** **93**

---

7.1	FILE	93
7.1.1	New	93
7.1.2	Open	93
7.1.3	Recent files	93
7.1.4	Save	93
7.1.5	Save as	94
7.1.6	Close	94
7.1.7	Open log file	94
7.1.8	Import dxf	94
7.1.9	Export dxf	95
7.2	MODEL	96
7.2.1	Info	96
7.2.2	Advanced options	97
7.2.3	Update computational model	100
7.2.4	Select	100
7.3	VIEW	101

---

7.3.1	Number of views	102
7.3.2	Geometric/Computational	102
7.3.3	Show all	103
7.3.4	Show only selected elements	103
7.3.5	Show only elements in groups	103
7.3.6	Hide selected elements	104
7.3.7	Show only elements in group	104
7.3.8	Invert visibility	104
7.3.9	View options	104
7.3.10	Color according to	106
7.3.11	View direction	107
7.4	DEFINE	107
7.4.1	Materiali	108
7.4.2	Definizione dei carichi	108
7.4.3	Schema	120
7.4.4	Load combination	121
7.4.5	Analyses	122
	Group Objects	136
7.5	DRAW	137
7.6	EDIT	138
7.7	RUN	140
7.7.1	Toolbar dei comandi	141
7.7.2	Tabella di selezione delle analisi	141
7.7.3	Log di output delle analisi	142
7.7.4	Anteprima della curva di carico	142
7.8	RESPONSE	142
7.8.1	Stress / Strain	144
7.8.2	Interface	145
7.8.3	Truss	147
7.8.4	Plot push-over curve F-U / $\lambda$ -U	148
7.8.5	Plot response curve	149
7.8.6	Plot Influence Line	151
7.9	REPORT	152
7.10	HELP	152



## 1 INTRODUZIONE

HISTRA è il software per la modellazione strutturale 3D ed analisi non lineare di strutture in muratura a geometria curva. La strategia di modellazione consente di simulare la risposta inelastica della struttura mediante un innovativo approccio per macro-elementi discreti (DMEM), basato su un *macro-elemento 3D a geometria curva*, nato per simulare il comportamento non lineare delle strutture voltate in muratura (*Calìo et al.*).

L'approccio utilizzato consente di ottenere un grado di accuratezza nella risposta confrontabile con altri approcci di modellazione avanzati FEM, pur richiedendo un basso onere computazionale, poiché i gradi di libertà del modello non sono proporzionali al numero dei nodi, ma al numero dei macro-elementi in cui la struttura viene discretizzata.

Ciascun Macro-Elemento è rappresentativo del comportamento strutturale di una porzione solida muraria e possiede 6 gradi di libertà di corpo rigido ed 1 grado di libertà di deformabilità a taglio. Questi interagiscono tra loro mediante interfacce discretizzate in links non lineari, calibrati mediante un approccio a fibre, che permettono di simulare la risposta inelastica della muratura attraverso legami costitutivi isteretici, asimmetrici nella resistenza e nella legge costitutiva, che possono prevedere un degrado nella resistenza in accordo all'energia di frattura assunta o rilasciata dalla muratura. Con HISTRA è possibile analizzare la diffusione della frattura nella muratura, grazie ad interfacce non lineari che consentono la simulazione di tali meccanismi di rottura ed alle procedure numeriche avanzate a controllo di forza e di spostamento.

### 1.1 Su questo manuale

Questo manuale descrive i concetti teorici alla base delle funzionalità di modellazione e di analisi, l'interfaccia grafica e le caratteristiche d'uso offerta da HISTRA.

HISTRA BRIDGES e HISTRA Arches and Vaults sono i due pacchetti di cui si compone HISTRA. Ciascun pacchetto è costituito da un sistema completamente autonomo e integrato per modellare e analizzare strutture di un particolare tipo:

- **HISTRA Arches and Vaults:** per strutture in muratura a carattere monumentale che molto spesso si compongono di elementi a geometria curva come archi, volte e cupole;
- **HISTRA BRIDGES:** per ponti sia carrabili che ferroviari.

Nel manuale si farà riferimento ad HISTRA in generale quando ci si riferisce a caratteristiche, funzionalità ed opzioni uguali in entrambi i pacchetti. Si farà specifico riferimento a HISTRA BRIDGES o ad HISTRA Arches and Vaults in caso di funzionalità specifiche.

È fondamentale leggere questo manuale e assimilare gli assunti e le procedure utilizzate dal programma di calcolo. L'utente deve comunque possedere una buona padronanza delle problematiche connesse con l'ingegneria strutturale e sismica e deve conoscere i principi base delle strutture murarie e degli altri materiali impiegati, per non incorrere a gravi errori dovuti ad una modellazione impropria che molto spesso non possono essere individuati dal programma.

## 2 GESTIONE DEL MODELLO

In questo capitolo vengono descritti gli elementi computazionali utilizzati dal software HISTRA, vengono chiariti i sistemi di coordinate e i gradi di libertà tipici dell'approccio a macro-elementi discreti implementato in HISTRA. Vengono inoltre definiti i principi generali per la creazione della mesh di cui l'utente ha pieno controllo.

Per analizzare e verificare una struttura utilizzando HISTRA in generale sono necessari i seguenti passaggi:

1. **Creare o modificare un modello che definisca correttamente la geometria della struttura da analizzare.** La creazione di un modello può avvenire tramite importazione di un modello CAD (.dxf) o tramite input parametrico. La procedura di input parametrico, semplice e intuitiva, consente di generare in pochi click il modello di calcolo tridimensionale, considerando le diverse tipologie strutturali, quali archi, volte, cupole, ponti ad arco multi-campata considerando l'interazione terreno-struttura ed eventuali sistemi di rinforzo, quali catene, fibre (FRP, FRCM).
2. **Eseguire le analisi sul modello.** Il software dispone di un potente solutore a matrici sparse, sviluppato da ricercatori dell'Università di Catania, che permette l'esecuzione di analisi statiche non lineari a controllo di forza e spostamento, per la valutazione della capacità portante della struttura in condizioni statiche e sismiche. In particolare sono implementate:
  - l'analisi modale, per la caratterizzazione dinamica dei modi e delle frequenze proprie di vibrare della struttura;
  - l'analisi statica non lineare incrementale a controllo di forza, monotona o di tipo ciclico, basata sul metodo di Newton-Raphson standard o modificato;
  - l'analisi statica non lineare incrementale a controllo di spostamento, monotona o di tipo ciclico, basata sul metodo di Arc Length ovvero con il metodo Control-Displacement.

Le analisi statiche non lineari incrementali possono essere eseguite attivando la routine di LineSearch, secondo le procedure Interpolated, RegulaFalsi, Bisection, Secant.

**Esaminare i risultati delle analisi.** La lettura dei risultati, consente una chiara visione della risposta globale e locale di ciascuna fibra, mediante opportune mappe di colore in termini di tensioni, deformazioni, deformazioni plastiche, indicatori di danno, sia nelle viste 3D, che con grafici 2D. I risultati ottenuti possono essere esportati in tabelle con files formato .XLS ed in grafici nei formati standard più comuni.

### 2.1 Elementi computazionali

HISTRA implementa il **macro-elemento irregolare**, sviluppato presso l'Università di Catania, appositamente concepito per simulare i meccanismi di rottura di pannelli murari. Tale macro-elemento viene rappresentato attraverso un semplice schema meccanico equivalente, costituito da un quadrilatero articolato (deformabile a taglio), interagente con gli altri macro-elementi mediante interfacce nonlineari, orientabili nello spazio<sup>1</sup>. Esso riesce a cogliere tutti i meccanismi di collasso principali della muratura per presso flessione, taglio e scorrimento.

Le interfacce discrete, che regolano il comportamento non lineare membranale, torsionale e a scorrimento, sono costituite da un letto di molle, calibrate mediante un approccio a fibre. Le porzioni di muratura, modellate mediante macro-elementi, vengono discretizzate in fibre, caratterizzate da un legame

---

<sup>1</sup> Calìo, Cannizzaro, Marletta (2010), "A discrete element for modeling masonry vaults". Adv. Mater. Res. 133-134, 447-452.

costitutivo nonlineare. Ciascuna fibra, sostituita da una molla nonlineare, interagisce con l'interfaccia posta tra due macro-elementi. Le molle nonlineari, che regolano il comportamento membranale tra due porzioni murarie, ciascuna modellata mediante macro-elementi, risultano combinate in serie e sostituite da un'unica molla equivalente. Il meccanismo di rottura per scorrimento viene simulato attraverso molle nonlineari contenute nel piano dell'interfaccia. Infine, il meccanismo di rottura per taglio con fessurazione diagonale del pannello murario è simulato mediante una molla diagonale nonlineare.

Le procedure automatizzate di mesh consentono la discretizzazione per macro-elementi di superfici curve.

Il software HISTRA implementa anche macro-elementi solidi, a tre nodi, adatti alla modellazione di porzioni a geometria più complessa, non rappresentabili con macro-elementi a quattro nodi (Figura 2.1).

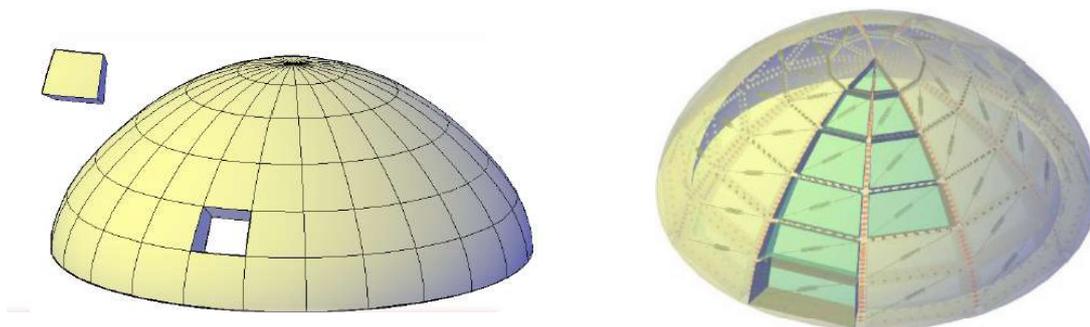


Figura 2.1 - A sinistra (a) suddivisione di una cupola in porzioni omogenee; a destra (b) modello a macro-elementi equivalente

Gli elementi computazionali definibili sono i macro-elementi a quattro nodi (*quad*), i macro-elementi a tre nodi (*vertex*), gli elementi finiti truss, utili per modellare gli elementi di rinforzo (tiranti, catene), e gli elementi fiber per la simulazione dei rinforzi in FRP.

Alla definizione della geometria del modello corrisponde un modello computazionale, sul quale vengono condotte le analisi numeriche.

Il macro-elemento è in grado di simulare i comportamenti meccanici tipici di elementi in muratura delle strutture a geometria curva con un approccio in cui la risposta membranale e flessionale è governata da una discretizzazione per fibre lungo le direzioni principali dell'elemento, mentre la risposta tagliante e torsionale viene simulata macroscopicamente da un numero discreto di links non lineari.

### 2.1.1 Macro-elemento a quattro nodi: Quad

Il macro-elemento a 4 nodi, detto *quad*, è un quadrilatero articolato irregolare con lati rigidi, i cui vertici coincidono con i vertici del concio e la cui deformazione nel piano è controllata da un link non lineare posto lungo una delle sue diagonali. L'interazione con gli altri quadrilateri e/o con i supporti esterni è affidata a interfacce spaziali, in generale inclinate rispetto al piano del quadrilatero, in cui risulta disposto un numero discreto di links non lineari sia in direzione ortogonale che nel piano delle interfacce stesse.

I due principali elementi del modello sono pertanto un elemento quadrilatero, costituito appunto da un quadrilatero articolato, e da un elemento interfaccia destinato alla caratterizzazione dell'interazione tra i quadrilateri e con i supporti esterni.

Il link diagonale del quadrilatero è inserito per la simulazione della deformabilità a taglio nel proprio piano. Ogni quadrilatero è definito, oltre che dalle coordinate geometriche dei suoi vertici, anche dalle quattro normali alla superficie e dagli spessori dell'elemento curvo in corrispondenza degli stessi vertici. L'inclinazione e la forma dell'interfaccia vengono determinate proprio a partire dalle normali alla superficie e dagli spessori nei punti iniziale e finale della stessa interfaccia. Nei links delle interfacce vengono concentrate la deformabilità membranale e flessionale della porzione di muratura considerata, oltre alla deformabilità torsionale e al controllo dell'attivazione dei meccanismi di scorrimento. I gradi di libertà di un elemento quad sono 7: le 3 traslazioni e le 3 rotazioni del centro di massa nello spazio rispetto al sistema di riferimento globale, più 1 scorrimento angolare dovuto alla deformabilità a taglio nel piano del macro-elemento.

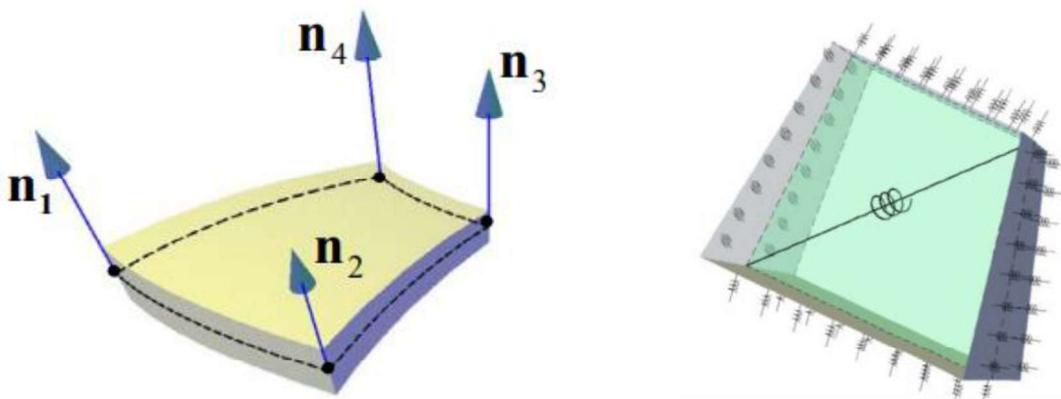


Figura 2.2 – Macro-elemento a 4 nodi

### 2.1.2 Macro-elemento a tre nodi: Vertex

Il macro-elemento a 3 nodi, detto *vertex*, è un macro-elemento rigido (non deformabile nel suo piano) nato per far fronte alle esigenze di modellazione di strutture a geometria curva e irregolare, poiché non sempre è possibile l'uso esclusivo di elementi quadrangolari. Questi elementi consentono la modellazione di zone come quella in chiave di una cupola o quelle di intersezione tra superfici che sono parti di volta composta, che risultano spesso decisive per cogliere il danneggiamento nelle strutture murarie a geometria curva.

Questi elementi sono individuati da tre nodi e risultano quindi costituiti, in analogia con l'elemento quadrangolare, da tre interfacce rigide. Tale condizione impedisce di articolare l'elemento con la conseguente impossibilità di cogliere la deformabilità a taglio nel proprio piano della porzione di muratura modellata con un elemento vertex. Tale approssimazione può essere tuttavia ritenuta accettabile, sia perché l'utilizzo di questi elementi può essere limitato a piccole zone della struttura, sia perché il meccanismo di rottura prevalente è generalmente quello membranale e pertanto l'introduzione degli elementi a tre nodi non comporta una significativa perdita di accuratezza della soluzione.

L'interazione degli elementi speciali triangolari può avvenire sia tra elementi dello stesso tipo, sia con eventuali quadrilateri con i quali vengono condivisi dei lati, sia con vincoli esterni. Ad ogni modo l'interazione avviene mediante gli stessi elementi di interfaccia descritti per l'interazione tra elementi quadrangolari. I parametri lagrangiani necessari per descrivere la cinematica dell'elemento si riducono a 6, per l'assenza di deformabilità a taglio nel proprio piano: le 3 traslazioni e le 3 rotazioni attorno al centro di massa rispetto ai tre assi del sistema di riferimento globale.

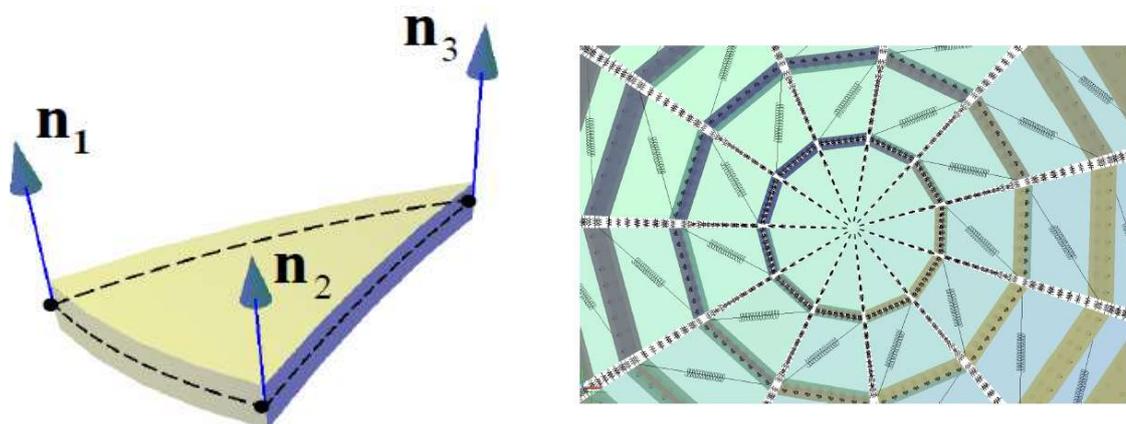


Figura 2.3 – Macro-elemento a 3 nodi

### 2.1.3 Elemento truss

L'elemento *truss* consiste di un unico elemento finito dotato di sei gradi di libertà, tre traslazioni dei nodi di estremità rispetto al sistema di riferimento globale. Questo tipo di elemento può resistere a sforzi assiali di trazione e/o di compressione e può essere introdotto per modellare elementi di rinforzo (tirante, catena) nell'elemento strutturale voltato.

### 2.1.4 Elemento fiber

L'elemento *fiber* è un elemento computazionale a 4 nodi, dotato di 6 gradi di libertà di corpo rigido, che consente di modellare gli elementi di rinforzo in FRP o FRCM.

La strategia di modellazione proposta è basata sugli studi condotti da Caddemi et al. (cfr. [1], [2]) su volte in muratura rinforzate con compositi in FRP e consiste nel discretizzare la volta in muratura in una mesh di macro-elementi curvi (Quad), e da elementi computazionali detti Fiber (*Fiber Macro-Element*) per la modellazione del composito in FRP (Figura 2.4). La modellazione dell'interazione tra il composito in FRP e il supporto murario è reso possibile attraverso interfacce capaci di simulare i meccanismi di modo 1, dovuti al distacco normale alla superficie di interfaccia, e di modo 2, causati dallo scorrimento per delaminazione del rinforzo in direzione tangente alla superficie dell'interfaccia.

Il meccanismo di modo 1 (Figura 2.5a) viene modellato mediante un letto di molle normali al piano dell'interfaccia, ciascuna delle quali ha un legame costitutivo non lineare fratturante calibrato mediante un approccio a fibre sulle proprietà geometriche e meccaniche della muratura e del rinforzo.

Il meccanismo di modo 2 (Figura 2.5b) viene modellato mediante molle parallele al piano dell'interfaccia, caratterizzate da un legame costitutivo non-lineare fratturante, calibrato anch'esso mediante un approccio a fibre sulle proprietà geometriche e meccaniche della muratura e del rinforzo.

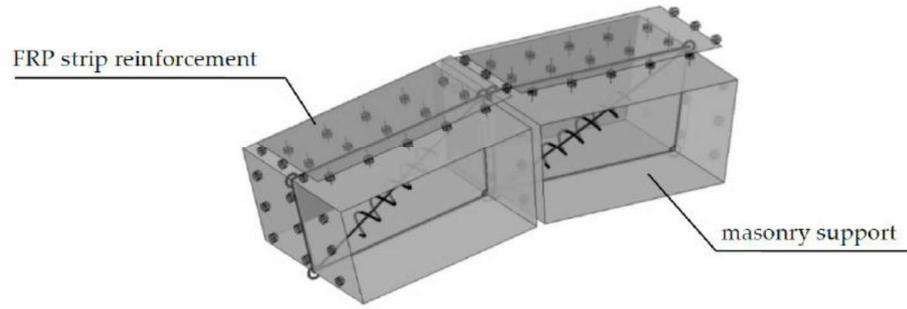


Figura 2.4 – Strategia di modellazione del rinforzo di volte in muratura mediante applicazione di FRP

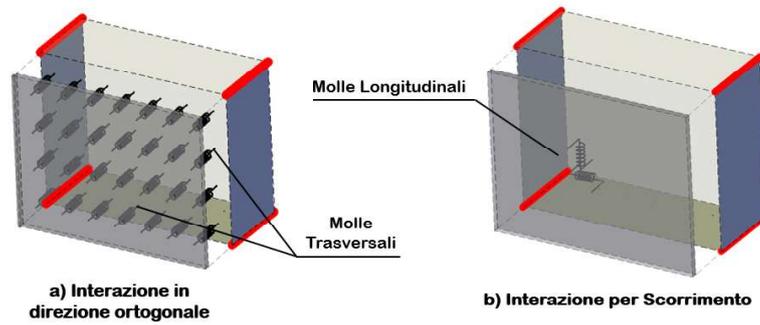


Figura 2.5 – Interazione in direzione normale e per scorrimento all'interfaccia tra rinforzo e support in muratura.

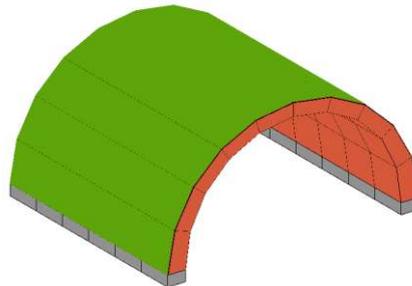


Figura 2.6 – Modello di calcolo

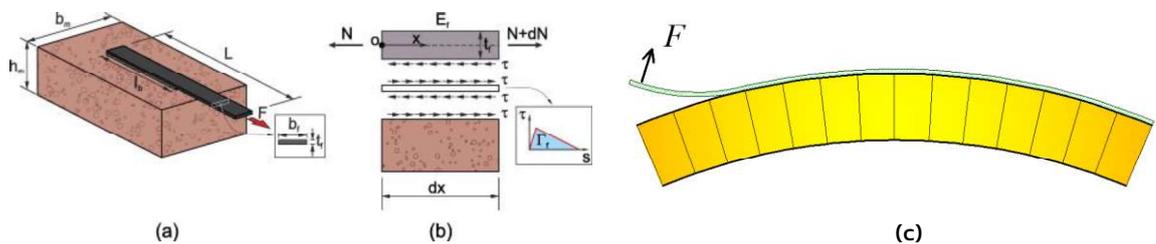


Figura 2.7 – a) e b) Scorrimento del rinforzo sulla muratura, c) Distacco per sollevamento del rinforzo dalla muratura di support

## 2.15 Sistemi di coordinate

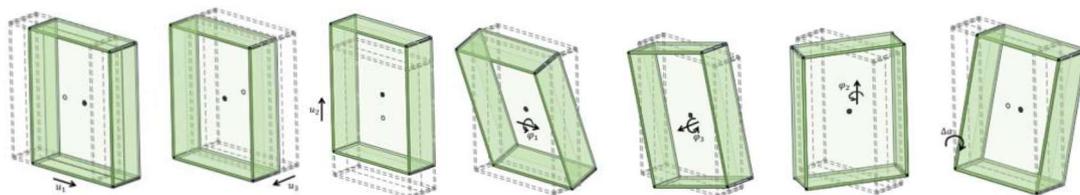
I sistemi di coordinate sono utilizzati per posizionare parti diverse del modello geometrico, definire la direzioni di carichi, spostamenti, sollecitazioni e tensioni.

Tutti i sistemi di coordinate del modello sono definiti facendo capo a un unico sistema di coordinate globali. Ciascun elemento del modello è dotato di un proprio sistema di coordinate locali. Tutti i sistemi di coordinate sono tridimensionali, destrorsi e cartesiani. L'asse Z è assunto verticale, con direzione positiva verso l'alto. Il carico di peso proprio agisce sempre verso il basso, in direzione  $-Z$ .

Gli assi X, Y, e Z del sistema di coordinate globali sono perpendicolari tra loro e soddisfano la regola della mano destra. Il piano XY è orizzontale.

## 2.16 Gradi di libertà

L'approccio di modellazione implementato nel software HISTRA prevede l'uso di macro-elementi quali elementi computazionali. A differenza dei tipici approcci agli elementi finiti in cui i gradi di libertà fanno riferimento ai singoli nodi dei singoli elementi finiti, nell'approccio a macro-elementi discreti i gradi di libertà sono associati direttamente al macro-elemento (e non ai singoli nodi di esso). In particolare i gradi di libertà del macro-elemento irregolare a quattro nodi (Quad) sono sette e corrispondono alle sei componenti di spostamento nello spazio (tre traslazioni e tre rotazioni) e alla componente che ne definisce la deformabilità a taglio nel piano. I gradi di libertà del macro-elemento a tre nodi (Vertex) sono invece sei in quanto esso è rigido nel proprio piano per conformazione geometrica e corrisponde alle sei componenti di spostamento nello spazio.



## 2.17 Principi generali per la discretizzazione in mesh

La discretizzazione avviene attraverso una mesh più o meno fitta di elementi ognuno dei quali rappresentativo di una porzione di muratura. Nel caso di porzioni murarie a geometria curva, la discretizzazione può avvenire considerando una griglia di linee curve, utili a determinare la suddivisione della struttura in macro-conci. Nella suddivisione occorre tener presente che il singolo concio dovrà essere rappresentato da un macro-elemento solido che, nella sua formulazione geometrica, individua un piano deformabile a taglio coincidente con il piano medio del macro-elemento, individuato dai suoi nodi; pertanto i risultati saranno tanto più accurati quanto più il piano deformabile a taglio del macro-elemento risulterà vicino alla superficie media del concio. Il numero degli elementi deve, in qualunque caso essere sufficiente a descrivere la geometria della struttura: per linee e contorni dritti anche un numero abbastanza limitato di elementi è sufficiente, per linee e superfici curve è opportuno utilizzare un numero maggiore di elementi.

Le superfici curve semplici o composte, possono essere ricondotte a superfici cilindriche (con curva direttrice di varia natura) o superfici di rivoluzione. Nel caso delle superfici cilindriche è possibile individuare nella direzione della retta generatrice e nelle curve parallele alla curva direttrice le due direzioni principali secondo cui costruire una griglia di suddivisione della superficie (Figura 2.8).

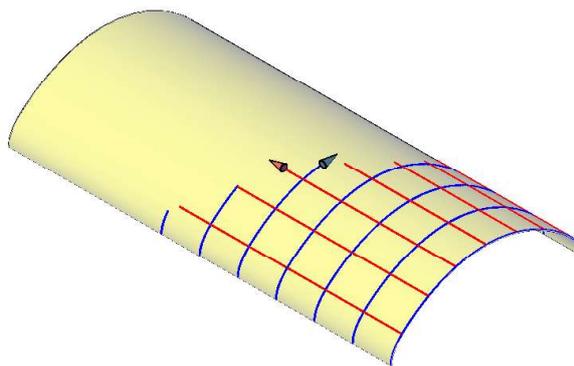


Figura 2.8 - Generatrici e direttrici di una volta cilindrica.

Nel caso delle superfici di rivoluzione, i due fasci di linee intersecanti sono rappresentati dalle linee di intersezione della superficie con dei piani ortogonali all'asse di rivoluzione da un lato (paralleli), come mostrato in Figura 2.9, e da quelle di intersezione tra piani contenenti l'asse di rivoluzione e la superficie stessa (meridiani o curve di profilo) dall'altro (Figura 2.9).

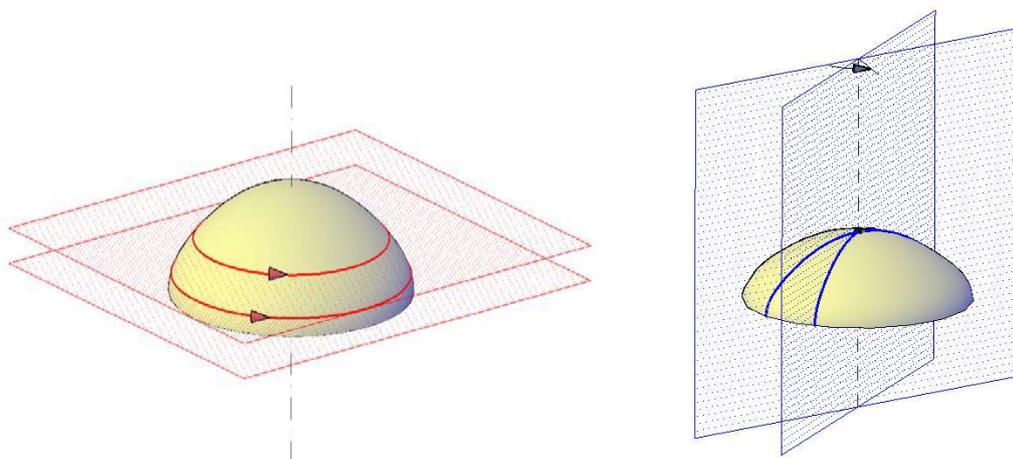


Figura 2.9 - Generatrici e direttrici di una cupola.

In tutti questi casi è sempre possibile determinare una suddivisione della superficie in elementi quadrangolari, per i quali è possibile dimostrare che i vertici di ciascuno di essi giacciono su un piano. Elementi triangolari si rendono necessari per le superfici di rivoluzione se le linee di profilo convergono in un punto (caso di curva di profilo che si interseca con l'asse di rivoluzione), e nel caso di volte composte (nelle zone di intersezione tra le superfici).

Rispetto a un classico approccio agli elementi finiti nonlineari, il modello implementato in HISTRA presenta numerosi vantaggi qui di seguito riassunti:

- 1) La filosofia di discretizzazione per macro-conci consente di mantenere un livello di dettaglio di modellazione contenuto; questo consente di contenere i tempi di calcolo anche per modelli complessi (e comunque di mantenerli più basso rispetto ad approcci classici)
- 2) L'adozione delle nonlineari avviene attraverso legami monoassiali (mediante link nonlineari) senza far ricorso a complesse leggi costitutive bi o tri-dimensionali; questo migliora la robustezza e la stabilità numerica delle analisi

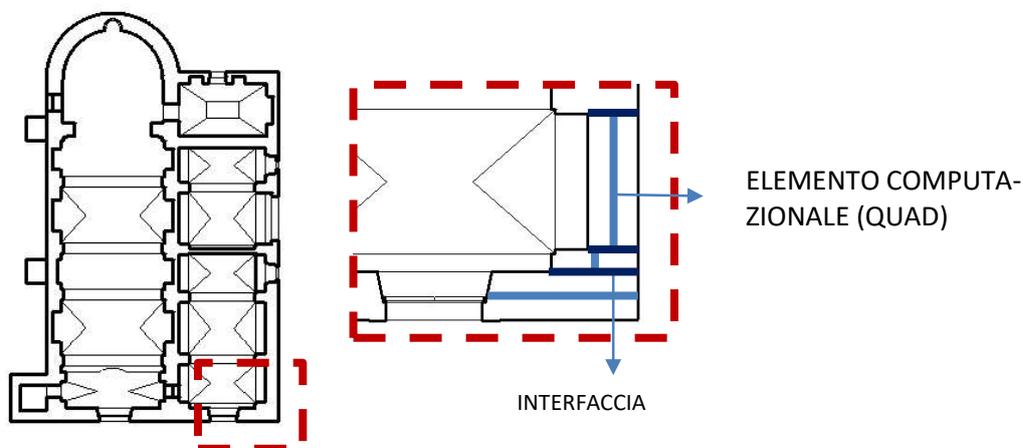
I legami costitutivi adottati sono specifici per il solido murario, e consentono di cogliere i meccanismi di collasso tipici di queste tipologie strutturali (fessurazione, scorrimenti, meccanismo di taglio per fessurazione diagonale).

## 2.1.8 Considerazioni di modellazione

Ai fini della creazione del modello geometrico e e del conseguente modello strutturale va posta l'attenzione ad alcuni aspetti di modellazione particolari.

I contorni di un elemento, e di conseguenza i suoi nodi, devono essere posizioni in corrispondenza di punti, linee o superfici di discontinuità. Per discontinuità si intende:

- Discontinuità strutturale, come angoli e spigoli. In questi casi bisogna porre attenzione al collegamento tra elementi perpendicolari e adiacenti. È necessario infatti porre attenzione al fatto che, considerando gli spessori strutturali (si ricorda che il macro-elemento approssima il piano medio dell'elemento strutturale), i due elementi siano adiacenti.



- Cambiamenti nelle proprietà del materiale. Ogni materiale va assegnato al singolo elemento. Due materiali diversi e adiacenti devono corrispondere a due diversi macro-elementi adiacenti.
- Cambiamenti di spessore o di altre proprietà geometriche. Ogni macro-elemento può essere a tre o a quattro nodi (un diverso numero di nodi non è ammissibile), ad ogni nodo del singolo macro-elemento può essere assegnato uno spessore. Cambiamenti bruschi di spessore (come nicchie, ingrossamenti delle pareti murarie, ecc.) vanno modellati separando i macro-elementi nel punto in cui cambia lo spessore.

## Bibliografia Capitolo 2

- [1] S. Caddemi, I. Calì, F. Cannizzaro, P.B. Lourenco, B. Pantò "FRP-reinforced masonry structures: numerical modeling by means of a new discrete element approach", COMPDYN 2017, 6th ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, M. Papadrakakis, M. Fragiadakis (eds.), Rhodes Island, Greece, 15–17 June 2017.
- [2] Bartolomeo Pantò, Francesco Cannizzaro, Salvatore Caddemi, Ivo Calì, César Chácará E Paulo B. Lourenço - "Nonlinear Modelling of Curved Masonry Structures after Seismic Retrofit through FRP Reinforcing", Buildings 2017, 7, 79.
- [3] M. Malena, G. De Felice, "Debonding of composites on a curved masonry substrate: Experimental results and analytical formulation", Composite Structures 112(2014), p.194–206

### 3 CREAZIONE DI UN NUOVO MODELLO

L'analisi di un modello strutturale prevede come primo passaggio la creazione del modello geometrico tridimensionale. Tale modello geometrico sarà poi trasformato in modello computazionale dal software (sia che si tratti di HISTRA BRIDGES sia che si tratti di HISTRA Arches and Vaults) in maniera automatica.

La creazione del modello può avvenire o in maniera manuale, importando un file .dxf, creato mediante software CAD utilizzando elementi "3Dface" (in italiano "Faccia3D") o *PolygonMesh* per modellare superfici piane, o per modellare oggetti 3D utilizzando l'elemento *PolyfaceMesh*, per modellare il singolo macro-elemento a tre o quattro nodi, oppure in maniera guidata e parametrica tramite Wizard.

All'avvio di HISTRA (o selezionando il menu *File* e cliccando *New*), si aprirà in maniera automatica la finestra "HISTRA Wizard". L'utente dovrà scegliere attraverso la finestra "HISTRA Wizard", in Figura 3.1, una delle opzioni per la creazione del modello, disponibili in questo pannello generale di lavoro.

In generale la finestra di Wizard è organizzata nel seguente modo: sul lato sinistro della finestra, al fine di avviare un nuovo modello, sono disponibili numerose tipologie di modelli strutturali cui poter accedere. Se si seleziona una di queste tipologie, l'utente dovrà fornire le caratteristiche geometriche dell'elemento strutturale (vedi paragrafi successivi per i dettagli), in maniera guidata e parametrica. Sulla parte destra sono disponibili altre informazioni, tra cui la versione del software utilizzata e altre opzioni. È possibile infatti aprire un modello già creato e i modelli recentemente creati e utilizzati vengono mostrati in un elenco in ordine cronologico.

In alto a destra viene anche indicato la disponibilità di una versione più aggiornata. Cliccando sulla corrispondente icona si accederà al pannello di controllo HISTRA Manager dal quale sarà possibile aggiornare la versione.

Immediatamente sotto è possibile aprire un modello esistente generico o uno a scelta tra quelli recenti.

I modelli strutturali presenti per la procedura di input guidata sono diversi se si tratta di HISTRA BRIDGES o di HISTRA Arches and Vaults.

#### 3.1 Modelli strutturali da Wizard in HISTRA Arches and Vaults

Nel caso di HISTRA Arches and Vaults i modelli strutturali che possono essere creati tramite input parametrico sono:



Arco



Volta a botte



Volta a crociera

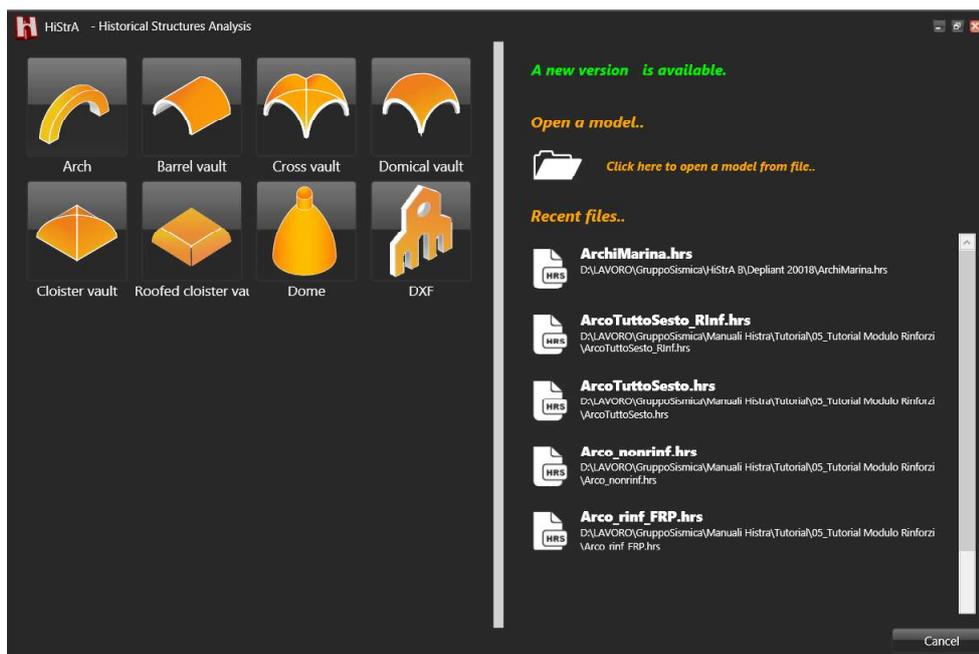


Figura 3.1 – Schermata principale HISTRa Arches and Vaults Wizard per la creazione di un nuovo modello

### 3.2 Modelli strutturali da Wizard in HISTRa BRIDGES

Nel caso di HISTRa BRIDGES possono invece essere creati mediante procedura di input parametrico:

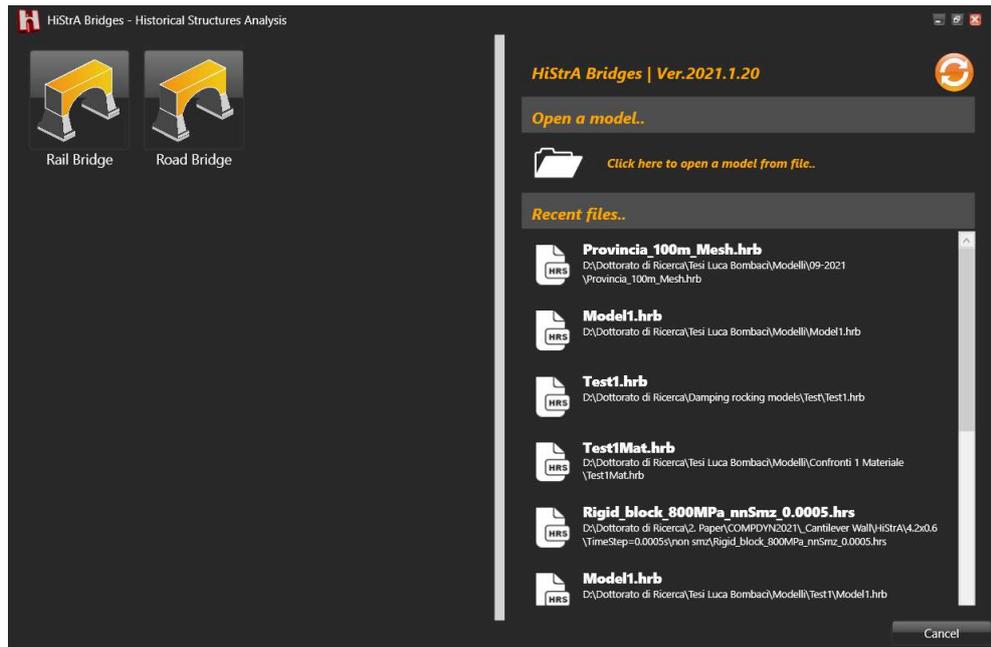
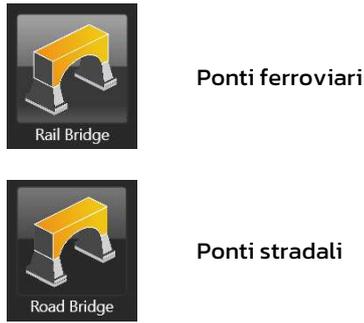


Figura 3.2 – Schermata principale HISTRA BRIDGES Wizard per la creazione di un nuovo modello

## 4 HISTRA ARCHES AND VAULTS: PROCEDURA GUIDATA DI INPUT

HISTRA Arches and Vaults è il software dedicato alla modellazione e l'analisi non lineare di strutture a carattere storico e monumentale. La piattaforma informatica è basata su un approccio innovativo sia per le procedure di input degli elementi strutturali (basati su procedure semplificate e parametrizzate), sia per l'originale approccio di modellazione adottato, su cui sono basate le procedure di calcolo.

### 4.1 DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA MEDIANTE WIZARD

HISTRA Arches and Vaults fornisce all'utente un valido supporto per l'impostazione generale del modello di studio attraverso una interfaccia semplice e intuitiva.

La procedura guidata di *input parametrico*, semplice ed intuitiva, consente di generare in pochi click il modello di calcolo, considerando le diverse tipologie geometriche di archi, volte, cupole ricorrenti. L'utente dovrà fornire in pochi passaggi i parametri geometrici e meccanici che caratterizzano la struttura

Con HISTRA Arches and Vaults è possibile modellare facilmente e velocemente le varie tipologie strutturali a geometria curva, comunemente presenti negli edifici storici. Un accurato algoritmo di meshing genera il modello computazionale automaticamente, a partire dall'input geometrico.

E' inoltre possibile inserire i tiranti e le catene, impiegati per il rinforzo strutturale degli edifici storici (compatibilmente con la tipologia di elemento considerato).

La caratterizzazione dei materiali e la definizione dei parametri geometrici (quali spessore, caratteristiche d'inerzia, proprietà resistenti) descrivono ciascun oggetto geometrico, determinandone il comportamento strutturale.

Oltre ad utilizzare l'input semplificato mediante la *procedura guidata di wizard*, è anche possibile creare il modello in HISTRA importando la geometria da un modello dxf (cfr. § 7.1.8).

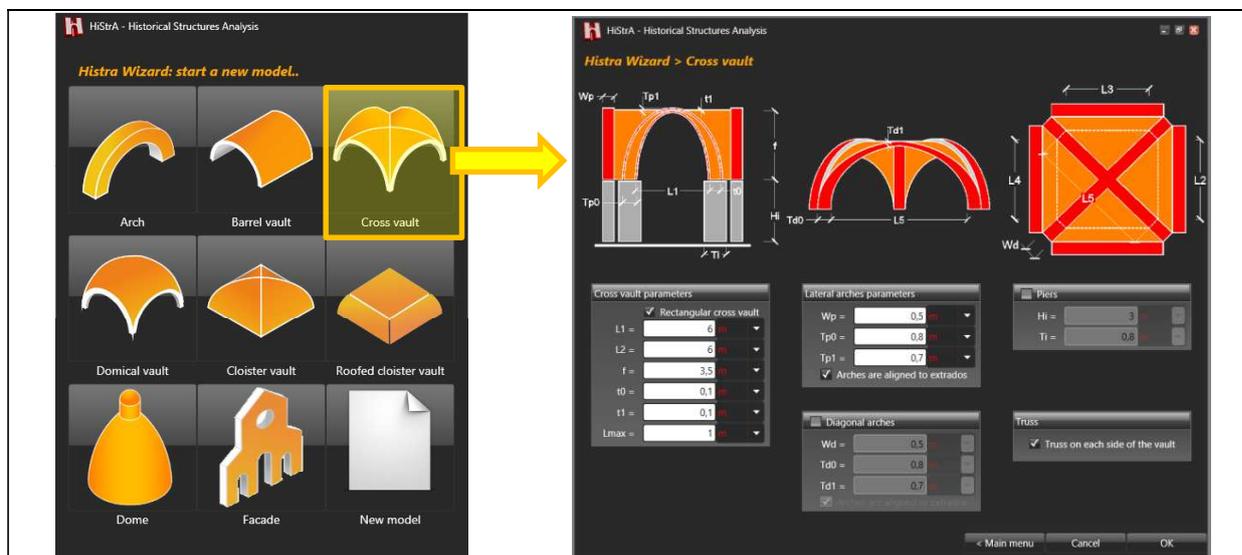


Figura 4.1 – Creazione del modello geometrico di una volta, mediante lo strumento di Wizard.

La generazione degli elementi strutturali avviene in automatico: il programma genera ad ogni variazione della geometria il "modello computazionale", sul quale vengono eseguite le analisi.

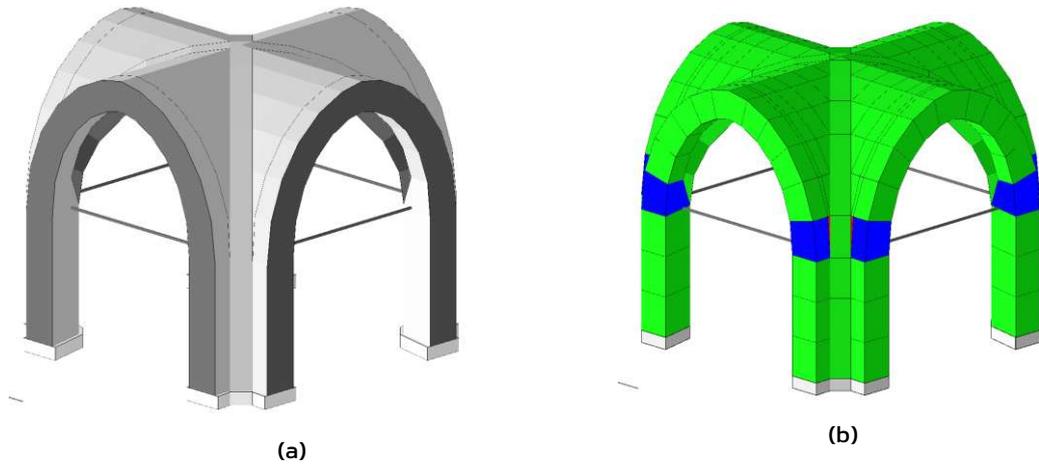


Figura 4.2 - A sinistra (a) vista del modello geometrico di una volta a crociera; a destra (b) vista del modello computazionale equivalente.

## 4.1.1 GLI ARCHI

Le strutture ad arco possono essere modellate mediante assemblaggio di un insieme di macro-elementi *quad*. È possibile orientare i macro-elementi in modo da ottenere una geometria a sezione variabile dalla sezione di imposta a quella di chiave e posizionare una catena ad una certa altezza dal piano di imposta come elemento di rinforzo per aumentarne la capacità di resistenza dell'elemento (cfr. 4.1.1.1).

### 4.1.1.1 Creazione di un arco

Per generare un arco occorre compilare i seguenti riquadri:

<b>Arch parameters</b> L = <input type="text" value="6"/> m f = <input type="text" value="3"/> m t0 = <input type="text" value="0,5"/> m t1 = <input type="text" value="0,35"/> m w = <input type="text" value="0,5"/> m Shape = <input type="text" value="Ellipse"/> Lmax = <input type="text" value="0,4"/> m <input type="checkbox"/> Has truss Ztruss = <input type="text" value="0,8"/> m	<input checked="" type="checkbox"/> <b>Left wall</b> L1top = <input type="text" value="1"/> m L1bot = <input type="text" value="2"/> m H1 = <input type="text" value="2"/> m S1 = <input type="text" value="0,2"/> m	<input checked="" type="checkbox"/> <b>Right wall</b> L2top = <input type="text" value="1"/> m L2bot = <input type="text" value="2"/> m H2 = <input type="text" value="2"/> m S2 = <input type="text" value="0,2"/> m
---	--	---

Figura 4.3 – Input parametrico delle caratteristiche geometriche di un arco

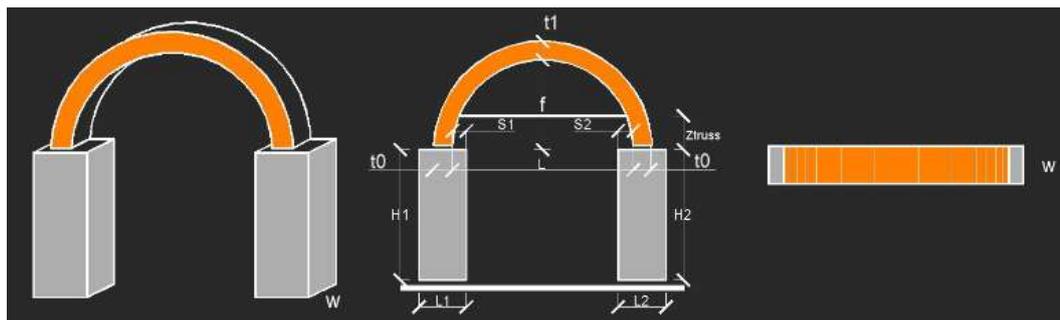


Figura 4.4 – Schermata di riferimento per la creazione del modello geometrico di un arco

- **Arc parameters**
  - Definizione della geometria generale:
    - $L$ =distanza, sul piano d’imposta dell’arco, misurata tra i paramenti d’intradosso;
    - $f$ =freccia dell’arco tra piano d’imposta e intradosso della sezione di chiave dell’arco;
    - $t_0$ =spessore dell’arco sul piano d’imposta;
    - $t_1$ =spessore dell’arco sulla sezione di chiave;
    - $w$ =profondità dell’arco;
  - *Shape*, forma geometrica dell’arco:
    - *Ellipse*;
    - *Parabolic*;
  - $L_{max}$ =lunghezza massima degli elementi utilizzata per la discretizzazione dell’arco nel modello computazionale;
  - Selezionare l’opzione *Has truss* per generare un tirante di rinforzo:
    - $Z_{truss}$ =altezza di posizione del rinforzo misurata a partire dalla sezione d’imposta;
- **Left wall**
  - Selezionare *Left wall* per generare la parete di sinistra:
    - $L_{1top}$ =spessore della parete di sinistra in testa;
    - $L_{1bot}$ =spessore della parete di sinistra al piede;
    - $H_1$ =altezza della parete di sinistra;
    - $S_1$ =distanza tra l’intradosso dell’arco sulla sezione d’imposta di sinistra e il paramento interno della parete di sinistra;
- **Right wall**
  - Selezionare *Right wall* per generare la parete di destra:
    - $L_{2top}$ =spessore della parete di destra in testa;
    - $L_{2bot}$ =spessore della parete di destra al piede;
    - $H_2$ =altezza della parete di destra;
    - $S_2$ =distanza tra l’intradosso dell’arco sulla sezione di imposta di destra e il paramento interno della parete di destra;

Lo schema quotato dell’arco è mostrato in Figura 4.4.

## 4.1.2 LE VOLTE

Mediante la schermata wizard è possibile introdurre nel modello geometrico le forme più ricorrenti di strutture a volta. Anche in questo caso è possibile orientare i macro-elementi in modo da avere una geometria a sezione variabile dal piano di imposta al piano in chiave della volta, ed ottenere dei ringrossi ai bordi dell’elemento.

È possibile scegliere la tipologia di struttura voltata da definire geometricamente tra le seguenti:

- *Barrel vault* (cfr. 4.1.2.1);
- *Cross vault* (cfr. 4.1.2.2);
- *Domical vault* (cfr. 4.1.2.3);
- *Cloister vault* (cfr. 4.1.2.4);
- *Cloister vault intersected with an horizontal plane* (cfr. 4.1.2.5);

#### 4.1.2.1 Creazione di una volta a botte

Per generare una volta a botte occorre compilare i seguenti riquadri:

The screenshot shows the following input parameters:

- Barrel vault parameters:**
  - Plan is rectangular:
  - L1 = 6 m
  - L2 = 6 m
  - f = 3 m
  - t0 = 0,5 m
  - t1 = 0,35 m
  - Shape = Ellipse
  - Lmax = 1 m
- Left wall:**
  - H1 = 2 m
  - D1 top = 0,8 m
  - D1 bot = 1,5 m
  - S1 = 0 m
- Right wall:**
  - H2 = 2 m
  - D2 top = 0,8 m
  - D2 bot = 1,5 m
  - S2 = 0 m
- Lateral arches:**
  - w = 0,5 m
  - T0 = 0,8 m
  - T1 = 0,7 m

Figura 4.5 – Input parametrico delle caratteristiche geometriche di una volta a botte.

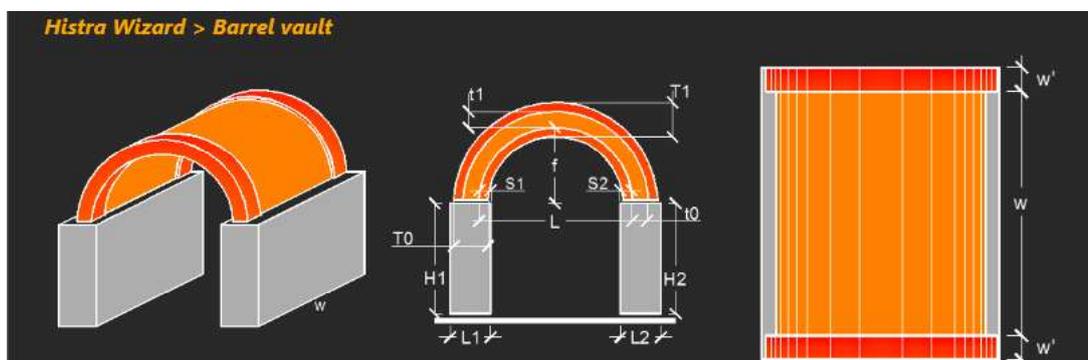


Figura 4.6 – Schermata di riferimento per la creazione del modello geometrico di una volta a botte

- **Barrel vault parameters**
  - Definizione della geometria generale:
    - $L$ =distanza sul piano d'imposta dell'arco, sezione retta della volta, misurata tra i parametri d'intradosso;
    - $f$ =freccia dell'arco, sezione retta della volta;
    - $t_0$ =spessore della volta sul piano d'imposta;
    - $t_1$ =spessore della volta sulla sezione di chiave;
    - $w$ =profondità della volta a botte;
  - *Shape*, la forma geometrica dell'arco, sezione retta della volta:
    - *Ellipse*;
    - *Parabolic*;

- $L_{max}$ = lunghezza massima degli elementi utilizzata per la discretizzazione della volta a botte nel modello computazionale;
- **Left wall**
  - Selezionare *Left wall* per generare la parete di sinistra:
    - $H_1$ =altezza della parete di sinistra;
    - $L_{1top}$ =spessore della parete di sinistra in testa;
    - $L_{1bot}$ =spessore della parete di sinistra al piede;
    - $S_1$ =distanza tra l'intradosso della volta sulla sezione d'imposta di sinistra e il paramento interno della parete di sinistra;
- **Right wall**
  - Selezionare *Right wall* per generare la parete di destra:
    - $H_2$ =altezza della parete di destra;
    - $L_{2top}$ =spessore della parete di destra in testa;
    - $L_{2bot}$ =spessore della parete di destra al piede;
    - $S_2$ =distanza tra l'intradosso della volta sulla sezione di imposta di destra e il paramento interno della parete di destra;
- **Lateral archs**
  - Selezionare *Lateral archs* per generare gli archi di estremità della volta:
    - $w'$ =profondità dei ringrossi degli archi di estremità della volta;
    - $T_0$ =spessore degli archi di estremità, ai bordi della volta a botte, sul piano d'imposta;
    - $T_1$ =spessore degli archi di estremità, ai bordi della volta a botte, sulla sezione di chiave.

Lo schema quotato della volta a botte è mostrato in Figura 4.6.

#### 4.1.2.2 Creazione di una volta a crociera

Per generare una volta a crociera occorre compilare i seguenti riquadri:

The screenshot shows the following input parameters:

- Cross vault parameters:**
  - Rectangular cross vault
  - L1 = 6 m
  - L2 = 6 m
  - f = 3,5 m
  - t0 = 0,1 m
  - t1 = 0,1 m
  - Lmax = 1 m
- Lateral arches parameters:**
  - Wp = 0,5 m
  - Tp0 = 0,8 m
  - Tp1 = 0,7 m
  - Arches are aligned to extrados
- Diagonal arches:**
  - Diagonal arches
  - Wd = 0,5 m
  - Td0 = 0,8 m
  - Td1 = 0,7 m
  - Arches are aligned to extrados
- Piers:**
  - Piers
  - Hi = 3 m
  - Ti = 0,8 m
- Truss:**
  - Truss on each side of the vault

Figura 4.7 – Input parametrico delle caratteristiche geometriche di una volta a crociera.

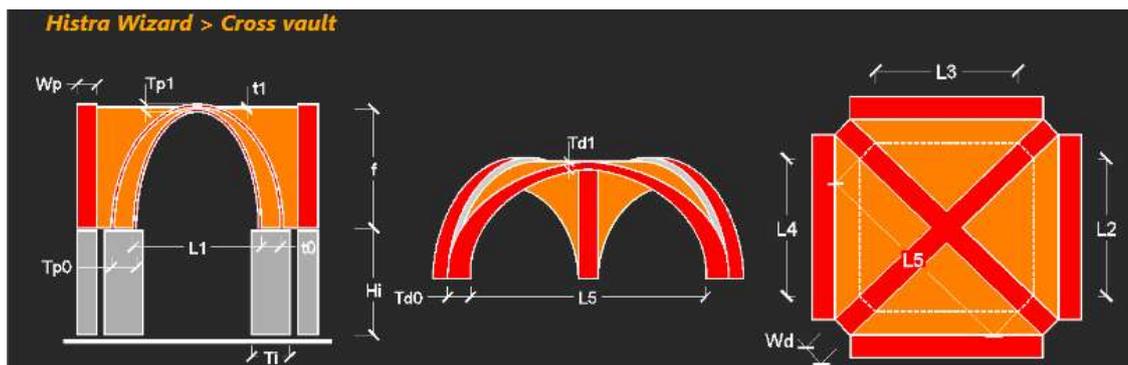


Figura 4.8 - Schermata di riferimento per la creazione del modello geometrico di una volta a crociera

- **Cross vault parameters**
  - Definizione della geometria generale:
    - $L_1$ =distanza, sul piano d'imposta della volta, misurata tra i paramenti d'intradosso del lato 1 della volta;
    - $L_2$ =distanza, sul piano d'imposta della volta, misurata tra i paramenti d'intradosso del lato 2 della volta;
    - $f$ =freccia tra piano di imposta e intradosso della sezione di chiave della volta;
    - $t_0$ =spessore della volta sulla sezione d'imposta;
    - $t_1$ =spessore della volta sulla sezione di chiave;
  - Deselezionare l'opzione *Plan is rectangular* per definire una geometria in pianta non rettangolare:
    - $L_3$ =distanza, sul piano d'imposta della volta, misurata tra i paramenti d'intradosso del lato 3 della volta;
    - $L_4$ =distanza, sul piano d'imposta della volta, misurata tra i paramenti d'intradosso del lato 4 della volta;
    - $L_5$ =distanza, sul piano d'imposta della volta, misurata tra i paramenti d'intradosso sulla diagonale della volta;
  - $L_{max}$ = lunghezza massima degli elementi utilizzata per la discretizzazione della volta a crociera nel modello computazionale;
- **Lateral archs parameters**
  - Selezionare *Lateral archs parameters* per generare gli archi laterali:
    - $W_p$ =profondità degli archi ai lati della volta;
    - $T_{p0}$ =spessore degli archi ai lati della volta sul piano d'imposta;
    - $T_{p1}$ =spessore degli archi ai lati della volta sul piano di chiave;
    - Selezionare il pulsante *Archs are aligned to extrados* se gli archi ai lati sono allineati all'estradosso della volta;
- **Piers**
  - Selezionare l'opzione *Piers* per generare i piedritti di appoggio:
    - $H_i$ =altezza dei piedritti;
    - $T_i$ =spessore dei piedritti;
- **Diagonal archs**
  - Selezionare *Diagonal archs* per generare gli archi diagonali:
    - $W_d$ =spessore degli archi diagonali;
    - $T_{d0}$ =spessore degli archi diagonali sul piano di imposta;
    - $T_{d1}$ =spessore degli archi diagonali sul piano di chiave;
    - Selezionare il pulsante *Archs are aligned to extrados* se gli archi diagonali sono allineati all'estradosso della volta.

- **Truss**
  - Selezionare l'opzione per generare elementi catena lungo ogni lato della volta
    - *Truss on each side of the vault.*

Lo schema quotato della volta a crociera è mostrato in Figura 4.8.

#### 4.1.2.3 Creazione di una volta a vela

Per generare una volta a vela occorre compilare i seguenti riquadri:

Figura 4.9 - Input parametrico delle caratteristiche geometriche di una volta a vela.

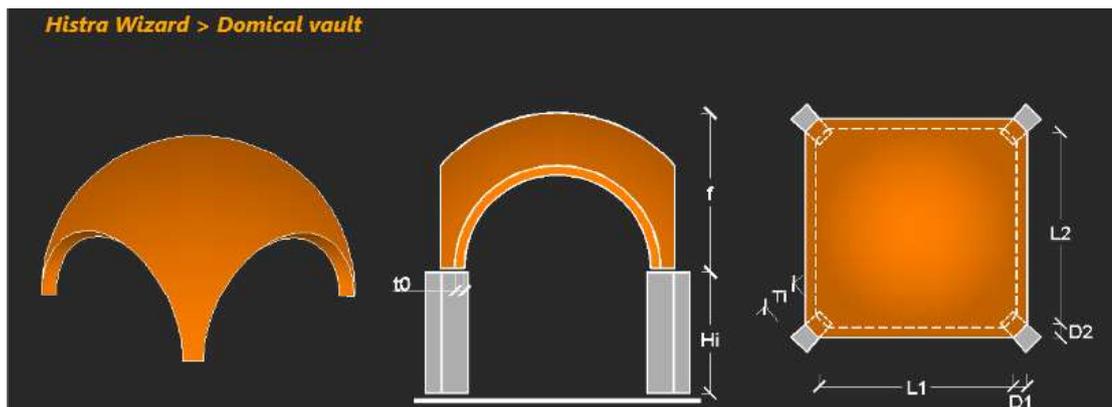


Figura 4.10 - Schermata di riferimento per la creazione del modello geometrico di una volta a vela

- **Domical vault parameters**
  - Definizione della geometria generale:
    - $L_1$ =distanza, sul piano d'imposta della volta, misurata tra i paramenti d'intradosso del lato 1 della volta;
    - $D_1$ =proiezione dello spessore dei piedritti sul lato 1;
    - $L_2$ =distanza, sul piano d'imposta della volta, misurata tra i paramenti d'intradosso del lato 2 della volta;
    - $D_2$ =proiezione dello spessore dei piedritti sul lato 2.
    - $f$ =freccia tra piano di imposta e intradosso della sezione di chiave della volta;
    - $t_0$ =spessore della volta nella sezione d'imposta;
    - $t_1$ =spessore della volta nella sezione di chiave;
  - $L_{max}$ = lunghezza massima degli elementi utilizzata per la discretizzazione della volta a vela nel modello computazionale;
- **Piers**

- Selezionare l'opzione *Piers* per generare i piedritti di appoggio:
  - $H_i$ =altezza dei piedritti;
  - $T_i$ =spessore dei piedritti;
- **Truss**
  - Selezionare l'opzione per generare elementi catena lungo ogni lato della volta
    - *Truss on each side of the vault.*

Lo schema quotato della volta a vela è mostrato in Figura 4.10.

#### 4.1.2.4 Creazione di una volta a padiglione

Per generare una volta a padiglione occorre compilare i seguenti riquadri:

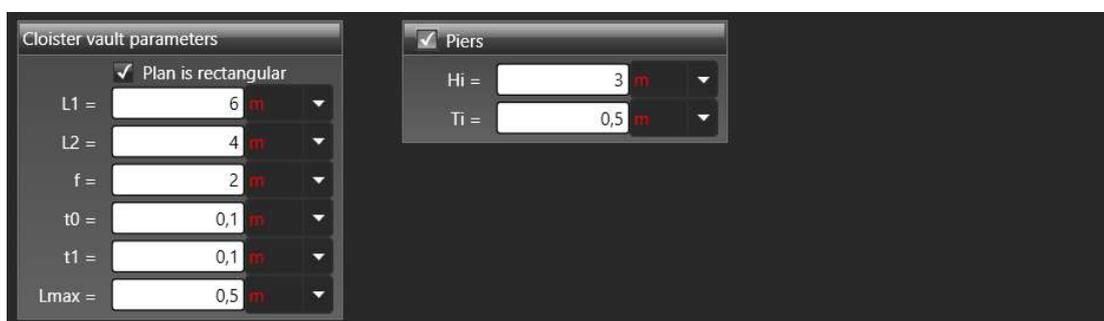


Figura 4.11 – Input parametrico delle caratteristiche geometriche di una volta a padiglione.

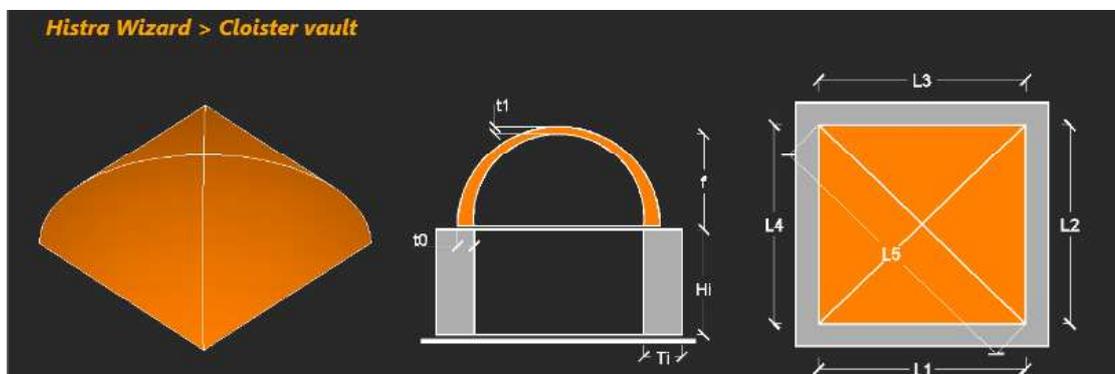


Figura 4.12 – Schermata di riferimento per la creazione del modello geometrico di una volta a padiglione

- **Cloister vault parameters**
  - Definizione della geometria generale:
    - $L_1$ =distanza, sul piano d'imposta della volta, misurata tra i paramenti d'intradosso del lato 1 della volta;
    - $L_2$ =distanza, sul piano d'imposta della volta, misurata tra i paramenti d'intradosso del lato 2 della volta;
    - $f$ =freccia tra piano di imposta e intradosso della sezione di chiave della volta;
    - $t_0$ =spessore della volta sul piano di imposta;
    - $t_1$ =spessore della volta sul piano di chiave;

- Deselezionare l'opzione *Plan is rectangular* per definire una geometria in pianta non rettangolare:
  - $L_3$ =distanza, sul piano d'imposta della volta, misurata tra i paramenti d'intradosso del lato 3 della volta;
  - $L_4$ =distanza, sul piano d'imposta della volta, misurata tra i paramenti d'intradosso del lato 4 della volta;
  - $L_5$ =distanza, sul piano d'imposta della volta, misurata tra i paramenti d'intradosso sulla diagonale della volta.
- $L_{max}$ = lunghezza massima degli elementi utilizzata per la discretizzazione della volta a padiglione nel modello computazionale;
- **Base walls**
  - Selezionare l'opzione *Piers* per generare i piedritti di appoggio:
    - $H_i$ =altezza dei piedritti;
    - $T_i$ =spessore dei piedritti;

Lo schema quotato della volta a padiglione è mostrato in Figura 4.12.

#### 4.1.2.5 Creazione di una volta a specchio

Per generare una volta a specchio occorre compilare i seguenti riquadri:



Figura 4.13 - Input parametrico delle caratteristiche geometriche di una volta a specchio.

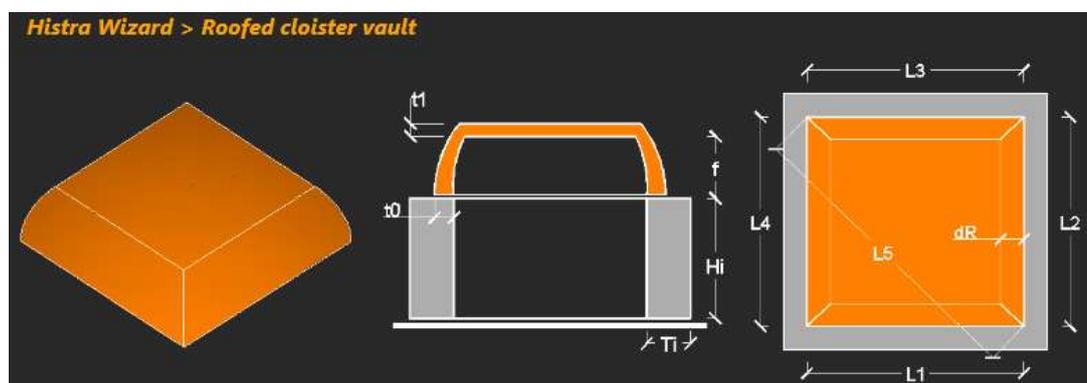


Figura 4.14 - Schermata di riferimento per la creazione del modello geometrico di una volta a specchio

- **Cloister vault intersected with an horizontal plane parameters**
  - Definizione della geometria generale:

- $L_1$ =distanza, sul piano d'imposta della volta, misurata tra i paramenti d'intradosso del lato 1 della volta;
- $L_2$ =distanza, sul piano d'imposta della volta, misurata tra i paramenti d'intradosso del lato 2 della volta;
- $f$ =freccia tra piano di imposta e intradosso della sezione di chiave della volta;
- $t_0$ =spessore della volta sul piano di imposta;
- $t_1$ =spessore della volta sul piano di chiave;
- $dR$ =distanza in pianta tra il paramento interno di un lato di bordo della volta e l'intradosso del punto di piegatura della copertura, della volta ribassata.
- Deselezionare il pulsante *Plan is rectangular* per definire una geometria in pianta non rettangolare:
  - $L_3$ =distanza, sul piano d'imposta della volta, misurata tra i paramenti d'intradosso del lato 3 della volta;
  - $L_4$ =distanza, sul piano d'imposta della volta, misurata tra i paramenti d'intradosso del lato 4 della volta;
  - $L_5$ =distanza, sul piano d'imposta della volta, misurata tra i paramenti d'intradosso sulla diagonale della volta;
- $L_{max}$ = lunghezza massima degli elementi utilizzata per la discretizzazione dalla volta a specchio nel modello computazionale;
- **Base walls**
  - Selezionare l'opzione *Piers* per generare i piedritti della volta:
    - $H_i$ =altezza dei piedritti;
    - $T_i$ =spessore dei piedritti;

Lo schema quotato della volta specchio è mostrato in Figura 4.14.

#### 4.1.2.6 Creazione di una cupola

La cupola può essere schematizzata mediante le quattro parti mostrate in Figura 4.15:

- tamburo di base > *Drum bottom*;
- cupola > *Dome*;
- tamburo della lanterna > *Drum top*;
- cupola della lanterna > *Dome top*.

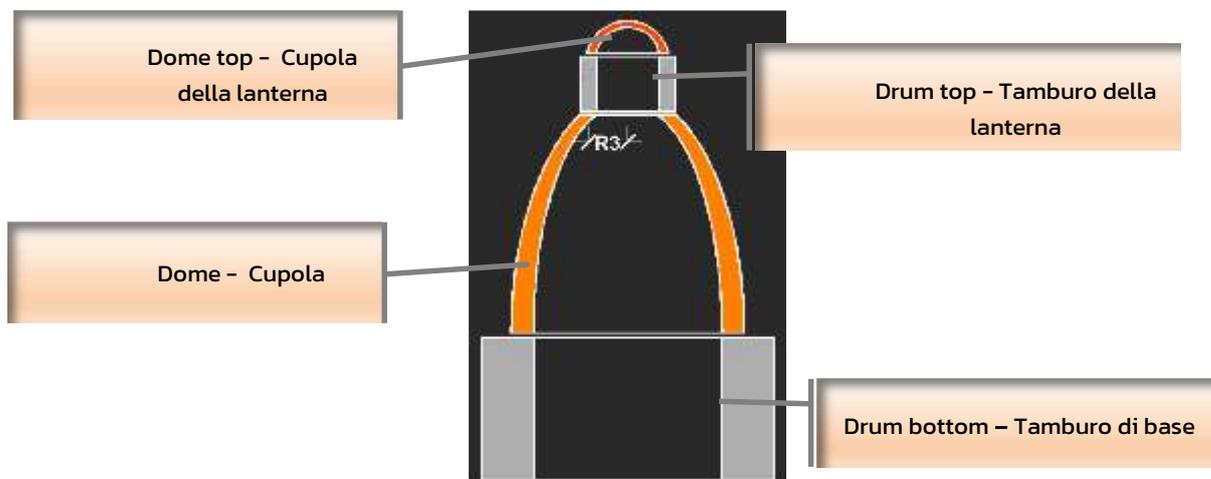


Figura 4.15 – Parti costituenti una cupola

Per generare una cupola occorre compilare i seguenti riquadri, ciascuno corrispondenti alle parti in cui essa viene schematizzata:

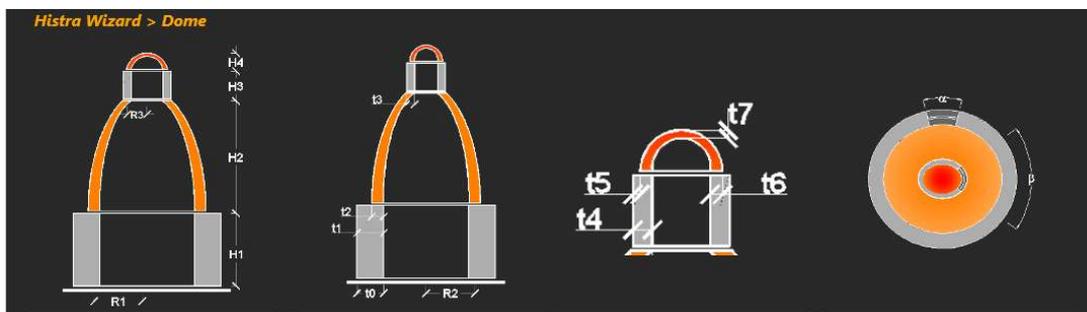


Figura 4.16 – Schermata di riferimento per la creazione del modello geometrico di una cupola

- **General parameters**
  - Definizione della geometria generale:
    - $R_1$ =raggio del tamburo di base in direzione 1;
    - $R_2$ =raggio del tamburo di base in direzione 2;
  - $L_{max}$ = lunghezza massima degli elementi utilizzata per la discretizzazione della cupola nel modello computazionale;
- **Dome**
  - Caratteristiche geometriche della cupola:
    - $R_{3\ Dir}$ , per la selezione della direzione principale 1 o 2:
      - $Dir\ 1$ ;
      - $Dir\ 2$ ;
    - $R_3$ =raggio in testa cupola;
    - $H_2$ =altezza della cupola;
    - $t_2$ =spessore sul piano d'imposta della cupola;
    - $t_3$ =spessore in cima alla cupola in corrispondenza dell'attacco col tamburo della lanterna;
- **Drum bottom**
  - Selezionare l'opzione *Drum bottom* per definire la geometria del tamburo di base:
    - $H_1$ =altezza del tamburo di base;
    - $t_0$ =spessore del tamburo di base al piede;
    - $t_1$ =spessore del tamburo di base in testa;
  - Selezionare l'opzione *Windows in drum bottom* per definire la geometria di eventuali aperture nel tamburo di base:
    - $N_b$ =numero di aperture;
    - $\alpha$ =angolazione dell'apertura;
    - $H_{b1}$ =altezza della finestra dal piede del tamburo di base;
    - $H_{b2}$ =altezza in testa della finestra dal piede del tamburo di base;
- **Drum top**
  - Selezionare l'opzione *Drum top* per definire la geometria del tamburo della lanterna:
    - $H_3$ =altezza del tamburo della lanterna;
    - $t_4$ =spessore del tamburo della lanterna al piede;
    - $t_5$ =spessore del tamburo della lanterna in testa;

- Selezionare l'opzione *Windows in drum top* per definire la geometria di eventuali aperture nel tamburo della lanterna:
  - $N_t$ =numero di aperture;
  - $\beta$ =angolazione dell'apertura;
  - $H_{t1}$ =altezza della finestra dal piede del tamburo della lanterna;
  - $H_{t2}$ =altezza in testa della finestra dal piede del tamburo della lanterna;
- **Dome top**
  - Selezionare l'opzione *Dome top* per definire la geometria della cupola della lanterna:
    - $H_4$ =freccia della cupola della lanterna;
    - $t_6$ =spessore al piano d'imposta della cupola della lanterna;
    - $t_7$ =spessore al piano in chiave della cupola della lanterna.

Lo schema geometrico quotato del modello cupola è mostrato in Figura 4.16.

### 4.1.3 Creazione di un modello tramite .dxf

Nel caso di HISTRA Arches and Vaults, c'è anche la possibilità che si importi un modello geometrico, modellato all'esterno tramite software CAD in formato .dxf.

A tale opzione si accede cliccando, dalla finestra "HISTRA Wizard" il tasto DXF.



Elemento facciata

Quando si seleziona questa opzione viene generato un nuovo modello e consentita l'importazione della mesh da file .dxf. In questo caso la mesh predisposta in ambiente CAD sarà quella effettiva, e sarà valida, senza limitazioni di dimensioni nè numero di elementi, per una parete piana. Questo implica che tutti gli elementi giaceranno sullo stesso piano, ma il modello di calcolo sarà a tutti gli effetti tridimensionale e consentirà analisi nel piano e fuori piano.

Bisogna prestare attenzione alla creazione in ambiente CAD del modello: in particolare ogni singolo elemento va modellato con un elemento noto come "3Dface" in ambiente CAD (o "Faccia3D" in italiano). Tali elementi sono elementi piani a tre o quattro nodi (una volta importati saranno letti rispettivamente come vertex o quad). Bisogna prestare attenzione che ogni elemento 3Dface abbiamo i nodi tutti giacenti nello stesso piano e che tra un elemento e quello adiacente ci sia coincidenza nodale (o che almeno la distanza tra i due nodi sia sotto una certa tolleranza che può essere gestita dall'utente). L'utente può gestire il valore di tolleranza accettato mediante il Menù Model → Advanced options (Paragrafo 7.2.2).

E' possibile anche importare come *Polyface Mesh* che consente di associare alla mesh elementi di tipo *Quad/Vertex*, o di tipo *Solid*.



## 5 HISTRA BRIDGES: PROCEDURA GUIDATA DI INPUT

*HISTRA BRIDGES* fornisce all'utente un valido supporto per l'impostazione generale del modello di progetto, attraverso un'interfaccia semplice ed intuitiva. Con la *procedura guidata di "Wizard"* è possibile inizializzare facilmente un nuovo modello ed impostarne tutte le caratteristiche, mediante un semplice input parametrico.

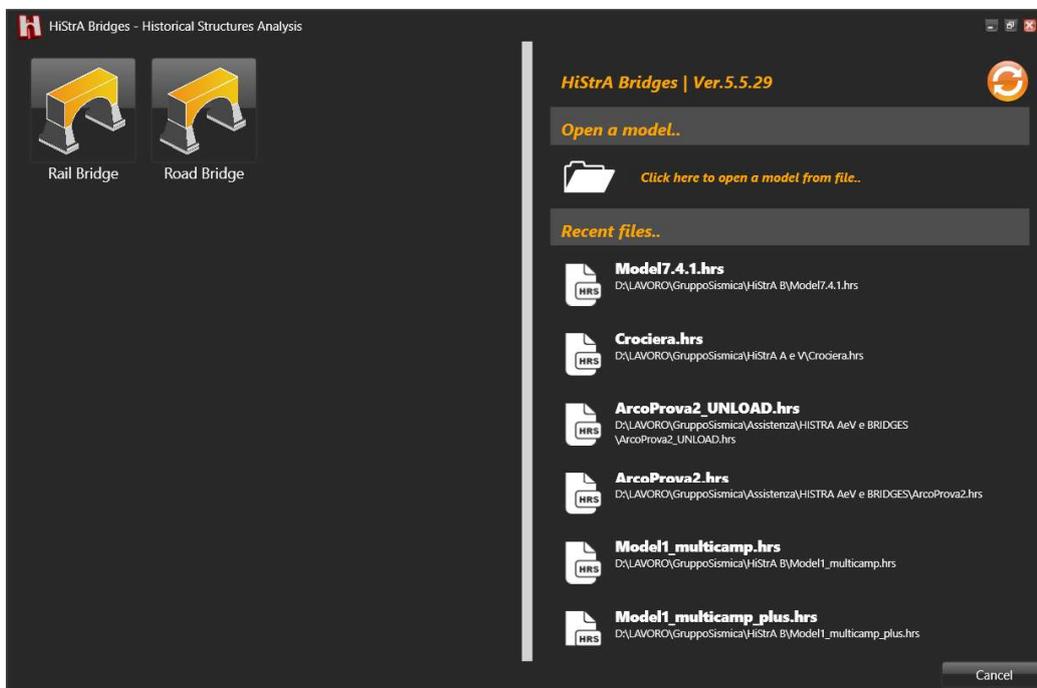


Figura 5.1 – Finestra di avvio programma o crea nuovo modello. Selezionare la tipologia di ponte Rail Bridge o Road Bridge,

All'avvio di *HISTRA BRIDGES* (o creando un nuovo modello da menu *File > New*), si apre una finestra in cui è possibile selezionare la tipologia di ponte che si vuole modellare: *Rail BRIDGES* avvia la procedura guidata di input per i ponti ferroviari, mentre *Road Bridge* avvia quella per i ponti stradali. La procedura guidata di input consente passo-passo di creare e definire:

- Modello geometrico del ponte (*Geometry*) mediante l'input dei parametri geometrici degli elementi che lo compongono (campate, spalle, pile);
- Materiali (*Material*);
- Carichi (*Loads*);
- Schemi di carico corrispondenti alle azioni variabili di traffico (*Schema*)
- Analisi (*Analysis*).

Il software dispone di librerie avanzate per la gestione dei carichi e delle combinazioni, allineate alle normative vigenti, sia per ponti stradali che ferroviari.

L'input dei dati avviene per successivi step e la navigazione delle finestre di input viene guidata automaticamente.

La finestra di Wizard è composta come segue. In alto il menu dei bottoni relativi a Geometria (*Geometry*), Materiali (*Material*), Carichi (*Loads*), Schemi di carico (*Schema*) e Analisi (*Analysis*). Ciascuno consente di accedere alla specifica sezione.

Per poter navigare attraverso la finestra di Wizard ed accedere alle varie sezioni (Geometria, Materiali, Carichi, Schemi di carico e Analisi) è possibile muoversi con i pulsanti *Next* e *Back*, posti in basso a destra.

Il pulsante *Cancel* consente di uscire dalla procedura guidata di input (in tal caso nessuno dei dati inseriti verrà salvato) e di tornare nell'ambiente principale del programma.

Il pulsante *OK* invece consente di confermare i dati inseriti ed avvia la generazione automatica del modello geometrico e computazionale del ponte, visualizzato sulla finestra principale del programma.

Con *Main menu* è possibile tornare sulla finestra di avvio di *HISTRA BRIDGES*.

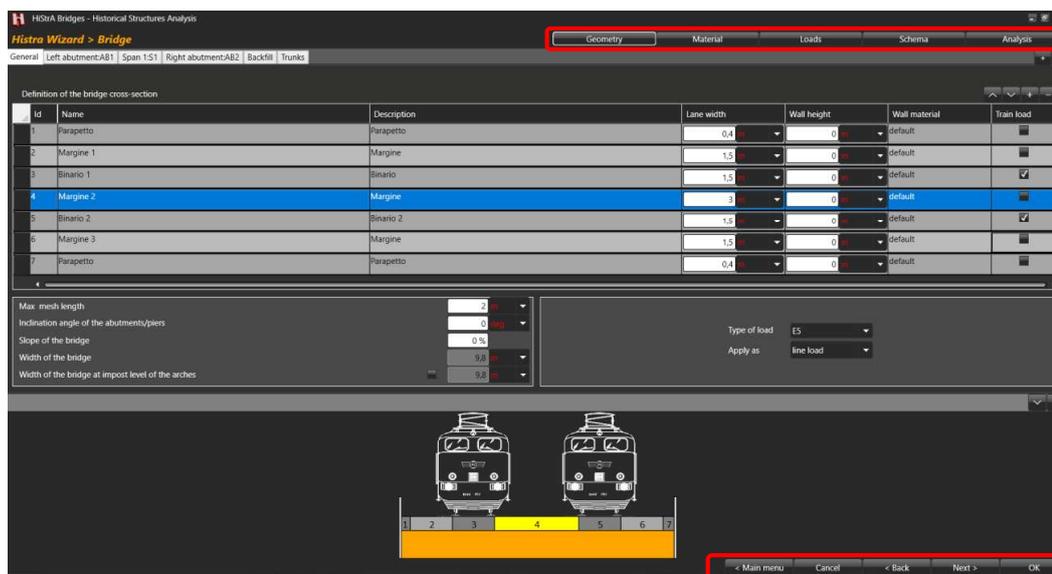


Figura 5.2 - Schermata generale Wizard di HISTRA BRIDGES, per l'input geometrico di un ponte ferroviario – Rail Bridge

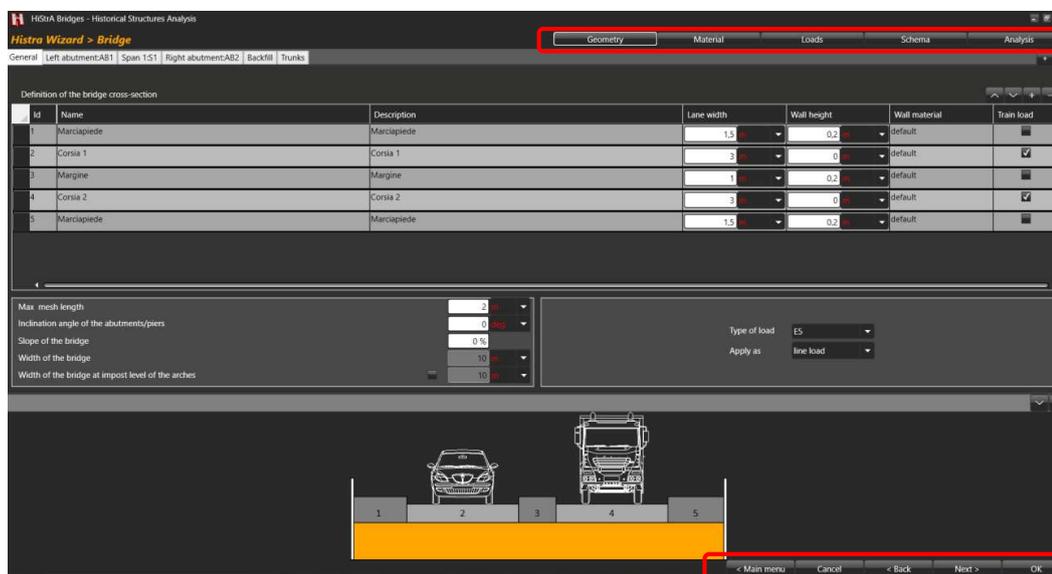


Figura 5.3 - Schermata generale Wizard di HISTRA BRIDGES, per l'input geometrico di un ponte stradale – Road Bridge

## 5.1 DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA DEL PONTE

La definizione della Geometria si articola attraverso l'input delle caratteristiche geometriche di tutte le parti e/o degli elementi che lo costituiscono.

L'ambiente di definizione della Geometria è costituito da una struttura multi-schede. Queste ultime si attivano via via, per successivi passi di input, cliccando sul bottone *Next*, posto in basso a destra.

Questa procedura consente di usufruire di particolari controlli automatici di coerenza e congruenza dei dati geometrici inseriti: dopo avere effettuato l'input di tutti i dati di una specifica scheda, cliccando sul bottone *Next*, vengono attivate le successive schede di input da compilare, in funzione dei dati precedentemente inseriti.

Se la label di una scheda viene evidenziata in rosso, il programma segnala una mancata coerenza di alcuni dati geometrici precedentemente inseriti e che devono quindi essere editati. Accedendo alla scheda i campi corrispondenti (errati o non coerenti) vengono a loro volta evidenziati, in modo da poterli individuare immediatamente ed editare.

Accedendo all'ambiente "*Geometry*" sono visualizzabili solo cinque schede di input, e nello specifico: "*General*" (con le caratteristiche generali della carreggiata), "*Left abutment:AB1*" (spalla sinistra) e "*Span1:S1*" (Campata 1); "*Right abutment:AB2*" (spalla destra); "*Backfill*" (Stratigrafia) (v. Figura 5.4).

Da questo ambiente in particolare è possibile caratterizzare:

- **Sezione trasversale**, con definizione della con definizione dell'ampiezza di corsie, banchine, parapetti o eventuali spazi di separazione tra le corsie, tenendo conto della presenza di carico viaggiante (stradale o ferroviario) e dell'eventuale pendenza longitudinale del ponte ed inclinazione in pianta dell'asse longitudinale.
- **Pile e spalle**, a sezione costante o variabile, caratterizzate da semplici parametri geometrici della sezione trasversale, l'altezza, l'allineamento rispetto alla campata del ponte, il materiale e le caratteristiche della fondazione, tenendo conto anche dell'interazione terreno-struttura delle terre ai fianchi di spalle e pile (spinta attiva e passiva);
- **Campate**, assegnando tutti i parametri che caratterizzano la geometria della volta (luce, freccia, sezione, etc.);
- **Profilo stratigrafico**, anche con altezza variabile, dei rinfianchi e del riempimento gravante sulle volte del ponte, definendone la geometria e caratterizzandone il materiale.

L'anteprima della sezione trasversale del ponte è disponibile nella area grafica in fondo alla finestra, da cui è possibile visualizzare, step by step, il modello che si sta creando, mentre con i tasti "+" e "-" in alto a destra consentono di aggiungere o eliminare una campata (*Span*) (prima o dopo quella in selezione). Aggiungendo una o più campate, le pile corrispondenti vengono aggiunte automaticamente (*Pile*) (v. Figura 5.5).

Se nessuna scheda "*Span*" è stata selezionata, viene rilasciato un messaggio, che suggerisce di selezionare una scheda "*Span*", per poter aggiungere gli elementi desiderati.

Per eliminare una campata (*Span*) e la relativa pila, basta selezionare la scheda corrispondente (*Span*) e cliccare sul pulsante "-".

Man mano che geometria viene definita, la sezione longitudinale del ponte viene rappresentata nello spazio sottostante. (v. Figura 5.6).



Figura 5.4 - Etichette delle schede di input e pulsanti "+" e "-" (aggiungi/elimina schede)

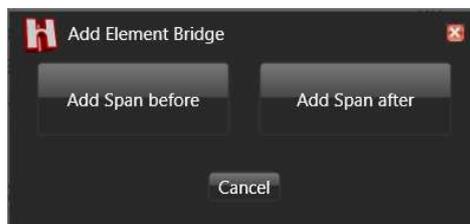


Figura 5.5 - Aggiungi una campata al ponte (add span before o add span after)

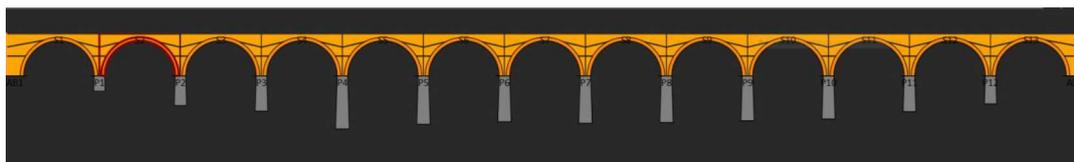


Figura 5.6 - Anteprima della sezione longitudinale di un ponte multi-campata

### 5.1.1 Caratteristiche generali (General)

La prima scheda "General" consente di assegnare tutte le caratteristiche generali che riguardano la geometria del ponte e che condizionano i criteri di generazione della mesh, come meglio specificato al capitolo introduttivo. Nella tabella *Definition of the BRIDGES cross-section* vengono definite le proprietà geometriche della sezione trasversale del ponte e della carreggiata, ovvero la composizione della sede stradale (o ferroviaria) con le dimensioni di ciascuna porzione che la costituisce: ad esempio parapetti, banchine, corsie o binari, spazi di separazione tra le corsie o margini, etc... E' altresì possibile tenere conto della presenza e posizione di carichi viaggianti, attivando le voci corrispondenti: "Train Load" per ponti ferroviari, o assegnando lo *schema di carico* per i ponti stradali (*Schemi da a 5...* secondo la definizione di cui al par. 5.1.3.3.5 e Figura 5.1.2 delle NTC2018).

In funzione delle dimensioni delle singole porzioni (corsie, margini, banchine, etc.) di cui si compone la sezione trasversale, la larghezza del ponte risulta automaticamente definita.

Il software propone di default una configurazione articolata secondo i criteri di normativa. Per i ponti ferroviari, ad esempio, due banchine laterali e tre corsie convenzionali, separate tra loro da uno spazio per ponti stradali, oppure unico binario, due margini laterali e parapetti per ponti ferroviari (v. Figura 5.8); per ponti stradali viene proposta di default la configurazione con due corsie e area rimanente. Ciascuna corsia, di larghezza pari a tre metri (cfr. par. 5.1.3.3.5 delle NTC2018), è composta da tre porzioni. In Figura 5.11 un esempio di definizione della sezione trasversale del ponte, costituito da due corsie carrabili e area

Per inserire una nuova riga alla tabella *Definition of the BRIDGES cross-section*, portarsi su una riga della tabella e cliccare sul tasto "+" (aggiungi riga). La riga sarà aggiunta dopo quella selezionata.

Per eliminare una riga esistente, invece, basta selezionare la riga e cliccare sul tasto "-" (elimina riga).

E' possibile anche spostare ciascuna riga (traslando ciascuna parte della sezione trasversale del ponte) all'interno della tabella, utilizzando i pulsanti "su" e "giù".

Max mesh length	<input type="text" value="2"/>	m
Inclination angle of the abutments/piers	<input type="text" value="0"/>	deg
Slope of the bridge	<input type="text" value="0"/>	%
Width of the bridge	<input type="text" value="5,3"/>	m
Width of the bridge at impost level of the arches	<input type="text" value="5,3"/>	m

Figura 5.7 – Scheda General – assegnazione delle caratteristiche generali

- *Max mesh length* > massima lunghezza degli elementi computazionali (quad) nella direzione trasversale e longitudinale del ponte. Questo parametro concorre ad individuare il criterio di discretizzazione in mesh degli elementi geometrici, per la creazione del modello computazionale;
- *Inclination angle of the abutments/piers* > angolo di inclinazione della spalla o della pila, nel piano xy, rispetto all'asse longitudinale del ponte;
- *Slope of the bridge* > pendenza (rapportata a 100) della sezione longitudinale del ponte. Ad esempio 0.01 esprime una pendenza del 1%;
- *Width of the bridge at top section of the piles* > se il ceck "custom" è attivo è possibile assegnare e personalizzare la larghezza trasversale del ponte in corrispondenza della sezione in testa delle pile;
- *Width of the BRIDGES at impost level of the arches* > larghezza del ponte alla quota dell'imposta delle volte (questo campo non è editabile, ma il valore contenuto si aggiorna automaticamente, in funzione delle larghezze di ciascuna porzione di carreggiata, assegnate nella soprastante tabella *Roadway*);

### 5.1.11 Definizione della sezione trasversale per ponti ferroviari (Rail BRIDGES)

Per i ponti ferroviari, la definizione della sezione trasversale del ponte viene effettuata inserendo i seguenti parametri:

Id	Name	Description	Lane width	Wall height	Wall material	Train load
1	Parapetto	Parapetto	0,4 m	0 m	default	<input type="checkbox"/>
2	Margine 1	Margine	1,5 m	0 m	default	<input type="checkbox"/>
3	Binario 1	Binario	1,5 m	0 m	default	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Margine 2	Margine	1,5 m	0 m	default	<input type="checkbox"/>
5	Parapetto	Parapetto	0,4 m	0 m	default	<input type="checkbox"/>

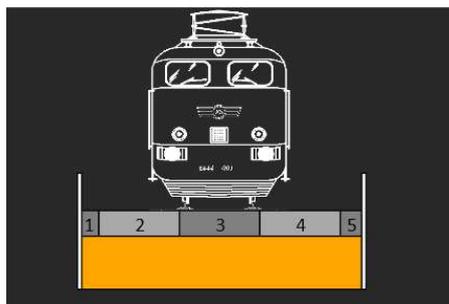


Figura 5.8 – Esempio di definizione della sezione trasversale, per ponti ferroviari

- *Name* > nome della parte o porzione di carreggiata (Parapetto, Banchina, Corsia o Binario, Margine, etc.);
- *Description* > Descrizione della parte o porzione sezione trasversale;
- *Lane Width* > Larghezza della corsia/binario o in generale della porzione della sezione trasversale;
- *Wall height* > Altezza dell'eventuale parapetto;

- *Wall material* > Materiale di cui è composto il parapetto, se definito
- *Train Load* > Presenza di carico viaggiante. Se selezionato consente di considerare la presenza carichi viaggianti. La presenza del carico viaggiante viene rappresentata anche nella sottostante area grafica, nella anteprima della sezione trasversale del ponte. Ad esempio viene rappresentato nella sezione una immagine del convoglio o del veicolo (v. Figura 5.2).

Inoltre è possibile assegnare eventuali diverse larghezze del ponte, in corrispondenza della sezione in testa alle spalle (v. figura Figura 5.9 – B) e personalizzare le proprietà di natura computazionale del modello di calcolo:

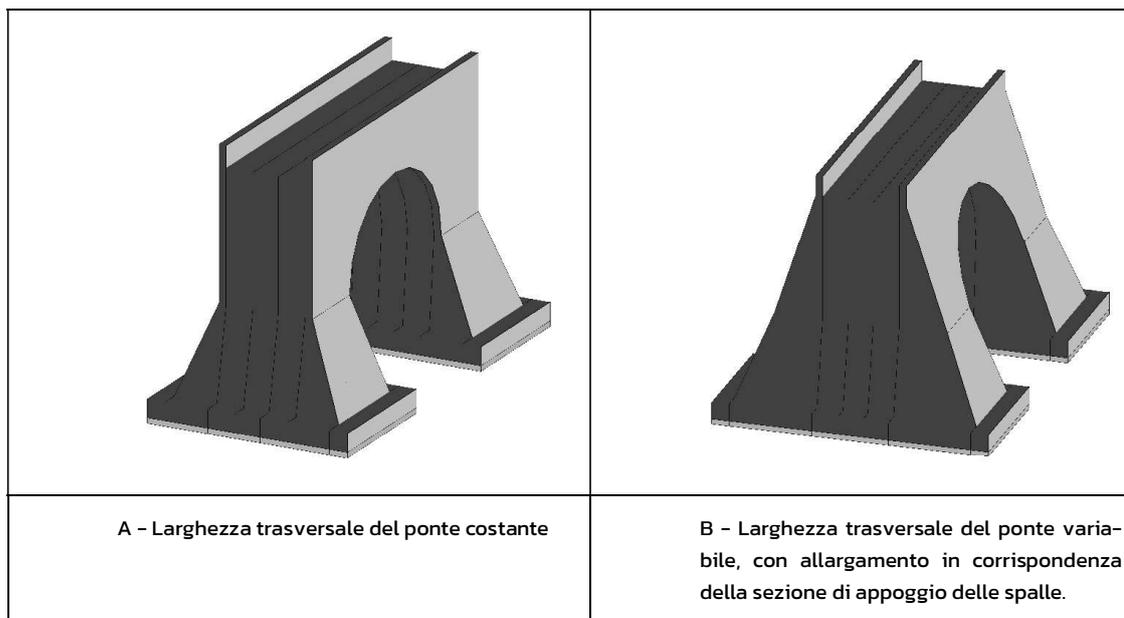


Figura 5.9 – Caratterizzazione della larghezza trasversale del ponte

Per i ponti ferroviari è possibile scegliere dal combobox *'Apply as'* la distribuzione di carico equivalente all'azione da traffico ferroviario secondo una distribuzione di carico di linea (*line load*) ovvero secondo una distribuzione di carichi concentrati (*vehicle load*) che saranno applicati in accordo agli schemi di carico definiti (cfr S 5.4). Inoltre è possibile selezionare dal combobox *'Type of load'* il relativo carico presente in archivio in accordo al tipo di distribuzione di carico selezionato, rendendo personalizzabile la definizione degli schemi di carico.

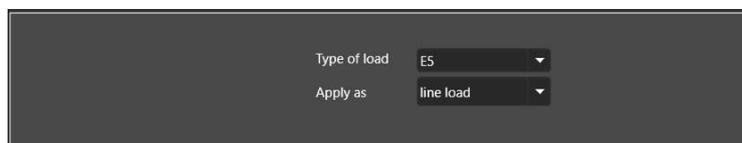


Figura 5.10 – Scheda *General* – assegnazione del tipo di carico

### 5.1.1.2 Definizione della sezione trasversale per ponti stradali (Road BRIDGES)

La definizione della sezione trasversale dei ponti stradali richiede la suddivisione del ponte in corsie convenzionali. Le azioni da traffico stradale possono essere rappresentate mediante un set di carichi concentrati applicati in corrispondenza degli assali del veicolo secondo i modelli di carico da traffico suggeriti dalle norme (vedi Figura 5.55, Figura 5.56). Tali azioni possono essere definite come Vehicle

Loads; i punti di applicazione delle forze concentrate sul piano carrabile saranno individuati attraverso la definizione degli schemi di carico (vedi par.5.4).

Ciascuna corsia convenzionale può essere modellata discretizzando la stessa in una o più componenti della sezione al fine di condizionare la generazione della mesh. In tal senso, in funzione della discretizzazione della corsia convenzionale, l'utente dovrà applicare, nella componente centrale il carico Vehicle Load ( $Q_{ik}$ , vd. NTC18), mentre il carico  $q_{jk}$  uniformemente distribuito su tutte le componenti.

Per i ponti stradali, la definizione della sezione trasversale del ponte viene effettuata inserendo i seguenti parametri:

Definition of the bridge cross-section										
id	Name	Description	Lane width	Wall height	Wall material	Schema 1	Schema 2	Schema 3	Schema 4	Schema 5
1	Lane 1 q	Lane 1: area load q	1 m	0 m	default	Lane1 loads (	none	none	none	Load applied
2	Lane 1 Q+q	Lane 1: vehicle load Q +	1 m	0 m	default	Lane1 loads (	none	none	none	Load applied
3	Lane 1 q	Lane 1: area load q	1 m	0 m	default	Lane1 loads (	none	none	none	Load applied
4	Lane 2 q	Lane 2: area load q	1 m	0 m	default	Lane2 loads (	none	none	none	Load applied
5	Lane 2 Q+q	Lane 2: vehicle load Q +	1 m	0 m	default	Lane2 loads (	none	none	none	Load applied
6	Lane 2 q	Lane 2: area load q	1 m	0 m	default	Lane2 loads (	none	none	none	Load applied
7	Remaining area	Remaining area: area load	1 m	0 m	default	Remaining ar	none	none	none	Load applied

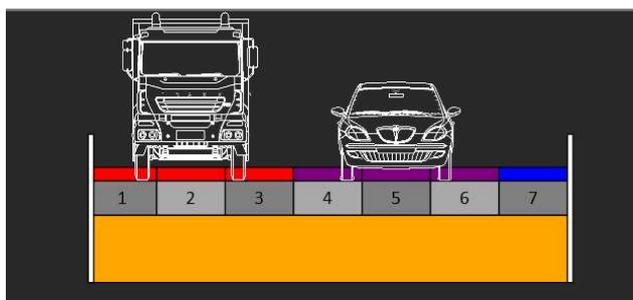


Figura 5.11 – Esempio di definizione della sezione trasversale, per ponti stradali

Tab. 5.1.1 - Numero e larghezza delle corsie

Larghezza della superficie carrabile "w"	Numero di corsie convenzionali	Larghezza di una corsia convenzionale [m]	Larghezza della zona rimanente [m]
$w < 5,40 \text{ m}$	$n_l = 1$	3,00	$(w-3,00)$
$5,4 \leq w < 6,0 \text{ m}$	$n_l = 2$	$w/2$	0
$6,0 \text{ m} \leq w$	$n_l = \text{Int}(w/3)$	3,00	$w - (3,00 \times n_l)$

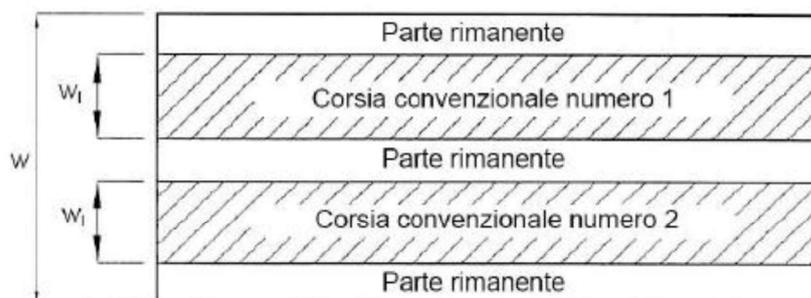


Figura 5.12 – Schema e numerazione corsie secondo le NTC2018 (cfr- figura 5.1.1 par. 5.1.3.3.2)

- *Name* > nome della parte o porzione di carreggiata (corsia o porzione di corsia, parte rimanente, etc.);
- *Description* > Descrizione della parte o porzione sezione trasversale;
- *Lane Width* > Larghezza della porzione di sezione trasversale. la larghezza della corsia dovrà essere discretizzata in un numero dispari di porzioni in modo da identificare una porzione centrale a cui applicare il carico tandem  $Q_{ik}$  oltre al carico uniformemente distribuito  $q_{ik}$  (figura. 5.1.2 delle NTC2018);
- *Wall height* > Altezza dell'eventuale parapetto;
- *Wall material* > Materiale di cui è composto il parapetto, se definito;
- *Schema 1, Schema 2, ... Schema 5* > Schemi di carico di cui al par. 5.1.3.3.5 delle NTC2018. La presenza del carico mobile corrispondente a un determinato schema viene assegnata selezionando la voce *Load applied* (per gli schemi di carico da 2 a 5) oppure, per lo schema 1, assegnando il carico corrispondente - *Lane1, Lane2, etc...* (cfr. figura 5.1.2 delle NTC2018).

La presenza del carico viaggiante viene rappresentata anche nella sottostante area grafica, con l'anteprima della sezione trasversale del ponte.

Nel groupbox *Group of action* è possibile assegnare il Gruppo di azioni secondo la definizione della Tabella 5.1.IV delle NTC2018. Selezionando la voce si generano tutti gli schemi associati al gruppo di azioni corrispondente. Ogni gruppo di azioni di carico ammette più schemi di carico (cfr. Schema S 5.4). Si veda tabella 5.1.IV di normativa sotto riportata. In funzione del gruppo di azioni considerato, i carichi vengono assunti con il loro valore caratteristico o frequente. (v. Figura 5.15).

**Group of actions (Tab. 5.1.IV, NTC18)**

- Group of actions 1 (schema 1,2,3,4 on traveled way, schema 5 on sidewalk)
- Group of actions 2a (schema 1,2,3,4 plus braking action on traveled way)
- Group of actions 3 (schema 5 on sidewalk, only for footbridge)
- Group of actions 4 (schema 5 on traveled way and sidewalk)

Figura 5.13 – Assegnazione dei Gruppi di azioni secondo le NTC2018, Tabella 5.1.IV.

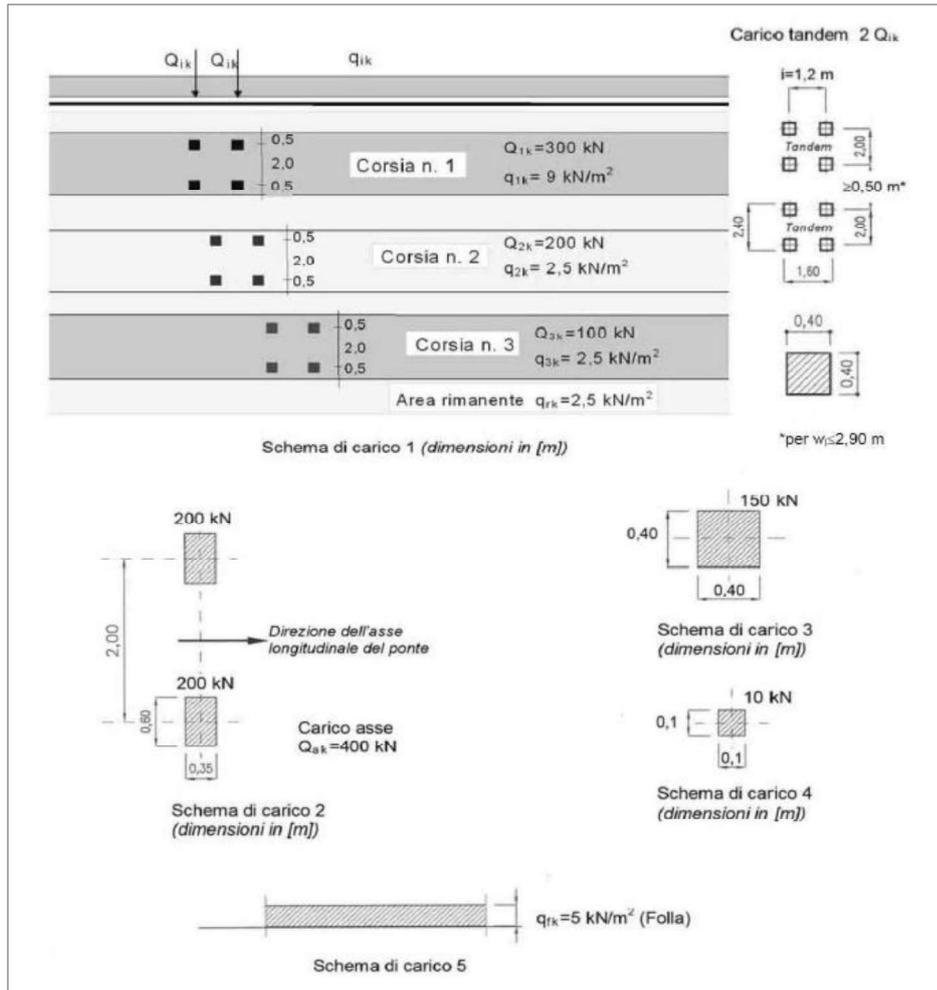


Figura 5.14 – Disposizione dei carichi mobili - Schemi di carico 1 – 5 (dimensioni in m) – Figura 5.1.2 delle NTC2018

Tab. 5.1.IV – Valori caratteristici delle azioni dovute al traffico

Gruppo di azioni	Carichi sulla superficie carrabile					Carichi su marciapiedi e piste ciclabili non sormontabili
	Carichi verticali			Carichi orizzontali		Carichi verticali
	Modello principale (schemi di carico 1, 2, 3, 4 e 6)	Veicoli speciali	Folla (Schema di carico 5)	Frenatura	Forza centrifuga	Carico uniformemente distribuito
1	Valore caratteristico					Schema di carico 5 con valore di combinazione 2,5kN/m <sup>2</sup>
2a	Valore frequente			Valore caratteristico		
2b	Valore frequente				Valore caratteristico	
3 (*)						Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0kN/m <sup>2</sup>
4 (**)			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0kN/m <sup>2</sup>			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0kN/m <sup>2</sup>
5 (***)	Da definirsi per il singolo progetto	Valore caratteristico o nominale				

(\*) Ponti pedonali  
 (\*\*) Da considerare solo se richiesto dal particolare progetto (ad es. ponti in zona urbana)  
 (\*\*\*) Da considerare solo se si considerano veicoli speciali

Figura 5.15 – Gruppi di azioni dovute al traffico- Tabella 5.1.IV delle NTC2018.

### 5.1.2 Definizione geometria spalle (Left/Right abutment)

Accedendo alle schede *Left abutment (AB1)* e *Right abutment (AB2)* vengono assegnate tutte le caratteristiche geometriche delle spalle del ponte (sinistra e destra).

Durante l’input dei dati geometrici, nella rappresentazione grafica in basso viene raffigurata la sezione trasversale del ponte ed individuati interattivamente i parametri geometrici che si stanno editando (v. Figura 5.16).

Per definire i parametri geometrici di ciascun elemento del ponte (spalla, pila, campata) è sufficiente selezionare l’elemento nell’area grafica e accedendo automaticamente alla scheda di input.

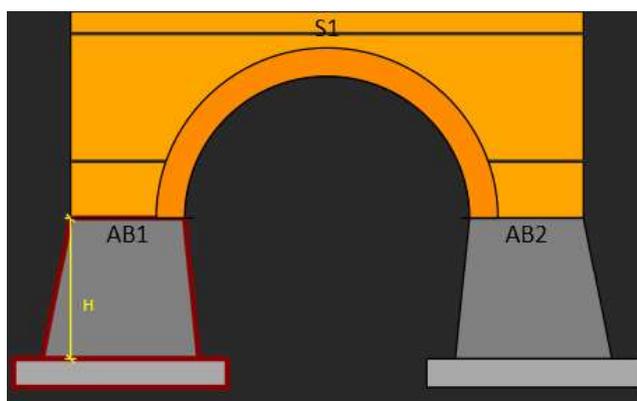


Figura 5.16 – Rappresentazione grafica della sezione trasversale del ponte e individuazione interattiva dei parametri geometrici della spalla

I parametri geometrici richiesti per l'input delle spalle sono i seguenti (Figura 5.19):

- **Abutment parameters:**
  - *Height, H* = altezza della spalla, misurata dall'estradosso della fondazione;
  - *w1, w3* = allargamenti della sezione trasversale alla base della spalla, misurata lungo la direzione trasversale del ponte. Questi parametri possono assumere valore nullo;
  - *w2* = larghezza della sezione trasversale in testa della spalla, misurata nella direzione trasversale rispetto allo sviluppo del ponte. Questo dato deve essere sempre maggiore o al massimo uguale alla larghezza del ponte (*Width of the BRIDGES*, assegnato nella scheda *General*). Se *w2* risulta inferiore a  $W_{bridge}$ , la cella (come anche il nome della scheda) viene evidenziata in rosso.
  - *Width, W* = larghezza della sezione trasversale alla base della spalla, misurata lungo la direzione trasversale del ponte. Questo parametro non è editabile, ma assume il valore ottenuto dalla somma di *w1, w2* e *w3*;
  - *b1, b3* = allargamenti della sezione trasversale alla base della spalla, misurata lungo la direzione longitudinale del ponte. Questi parametri possono assumere valore nullo;
  - *b2* = larghezza della sezione trasversale in testa della spalla, misurata nella direzione longitudinale rispetto allo sviluppo del ponte;
  - *Base, B* = larghezza della sezione trasversale alla base della spalla, misurata lungo la direzione longitudinale del ponte. Questo parametro non è editabile, ma assume il valore ottenuto dalla somma di *b1, b2* e *b3*;
  - *Alignment* = indica l'allineamento in direzione trasversale della sezione trasversale della campata del ponte, rispetto alla sezione di testa della spalla. L'allineamento può essere centrale, in alto o in basso ( *Center, Top, Bottom*);
  - *Abutment Material* = indica il materiale di cui è costituita la spalla del ponte;
  - *Add lateral restraint (Left/Right)* = se selezionato, aggiunge un vincolo laterale offerto dalla presenza di terreno a monte (o a valle) della spalla;
  - *Height, Hsp* = altezza del terreno spingente lato monte *Hsp1* o lato valle *Hsp2* (questa deve essere maggiore di zero e non maggiore dell'altezza totale del ponte – data dalla somma della altezza della spalla più la altezza del ponte);
  - *Geotechnical material* = indica il materiale geotecnico che caratterizza il terreno spingente. Può essere diverso a monte e a valle della spalla.

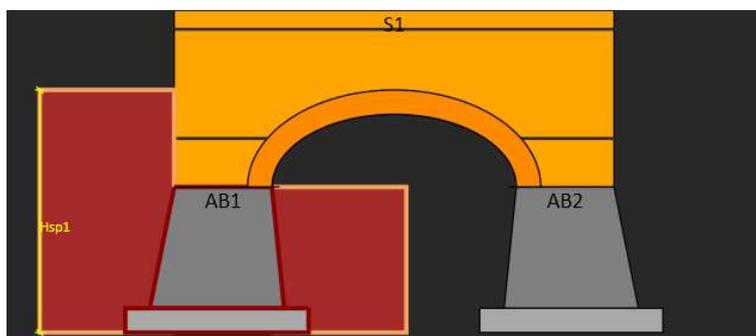


Figura 5.17 - Rappresentazione grafica della sezione trasversale del ponte e caratterizzazione della altezza spinta terreno a monte e a valle

□ **Foundation parameters:**

- *Height, H<sub>f</sub>* = altezza della fondazione della spalla;
- *b1<sub>f</sub>, b3<sub>f</sub>* = allargamenti della fondazione, rispetto alla sezione trasversale di base della spalla, misurati nella direzione longitudinale di sviluppo del ponte;
- *w1<sub>f</sub>, w3<sub>f</sub>* = allargamenti della fondazione, rispetto alla sezione trasversale di base della spalla, misurati nella direzione trasversale di sviluppo del ponte;
- *Foundation material* = indica il materiale di cui è costituita la fondazione della spalla;

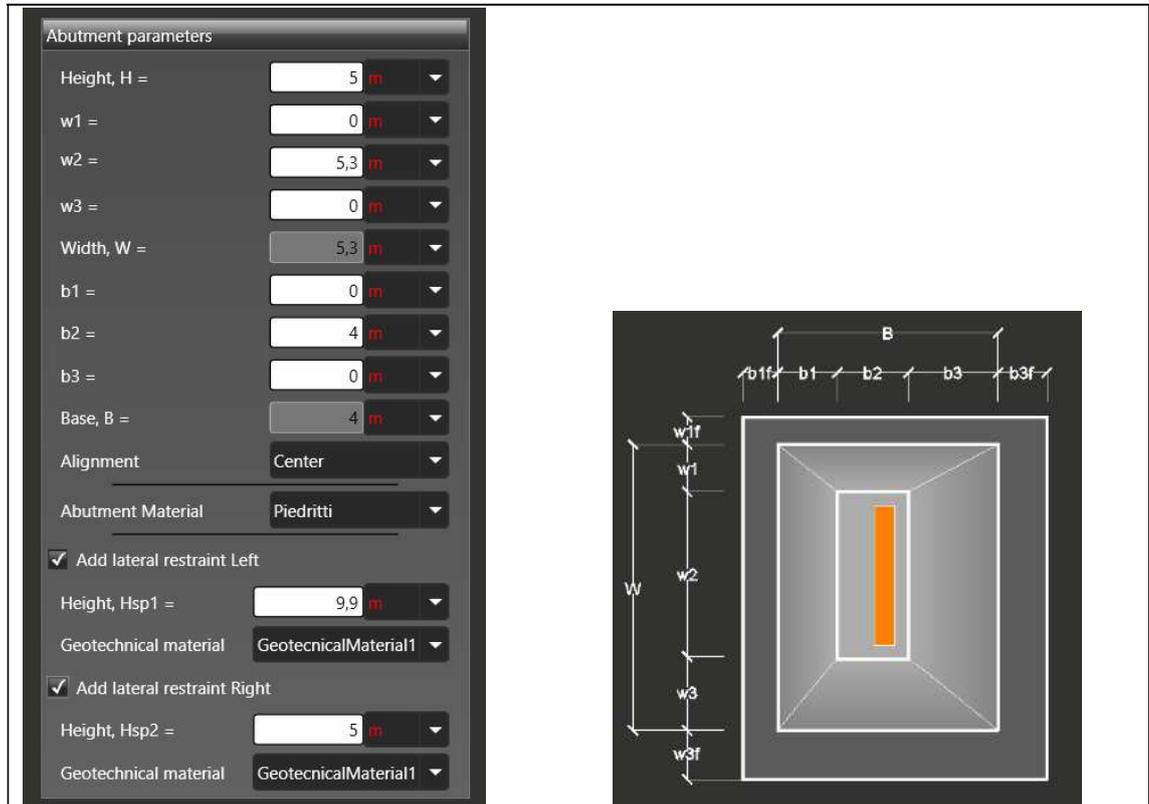


Figura 5.18 - Left / Right abutment - input delle proprietà geometriche della Spalla (*Abutment parameters*)

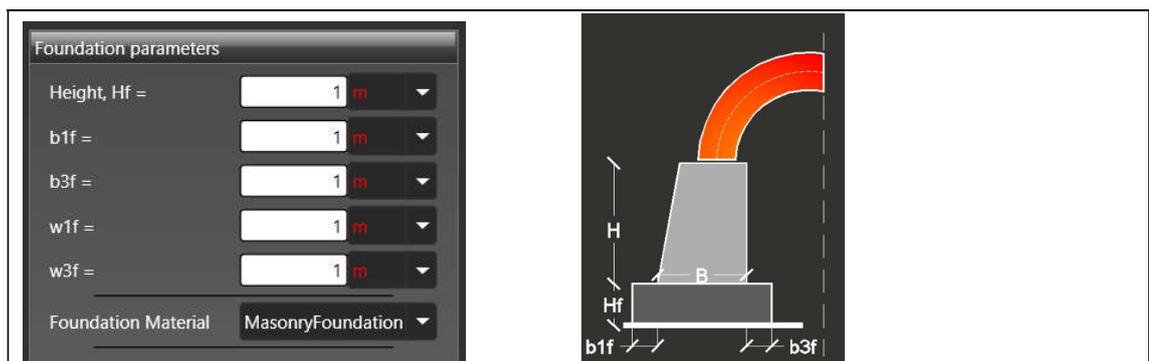


Figura 5.19 - Left / Right abutment - input delle proprietà geometriche della fondazione della Spalla (*Foundation parameters*)

### 5.1.3 Definizione geometria campate (Span N)

Nella scheda *Span 1, 2, ... N (S1, S2, ... SN)* vengono assegnate tutte le caratteristiche geometriche della campata selezionata, secondo quanto riportato in Figura 5.20:

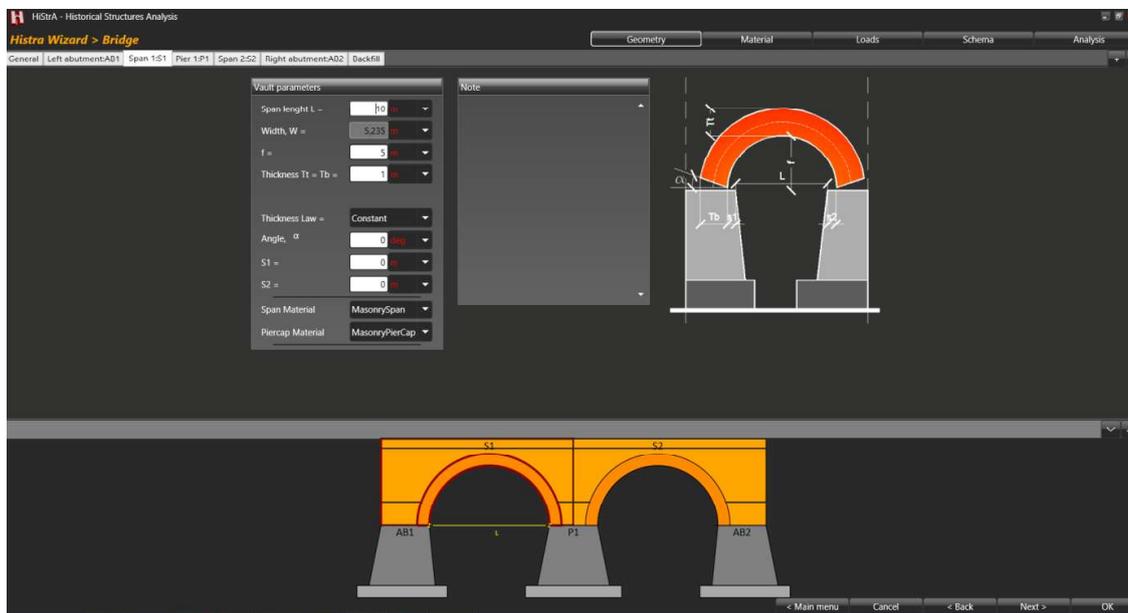


Figura 5.20 – Scheda *Span 'N'* – input delle proprietà geometriche della campata n-esima del ponte (*Vault parameters*).

□ **Vault parameters:**

- *Span length, L* = luce della campata (ovvero della volta), pari alla distanza tra il paramento interno della pila a sinistra (o spalla sinistra) e quello della pila a destra (o spalla destra), misurata in corrispondenza della sezione di imposta della volta;
- *Width, W* = larghezza della volta. Questo parametro coincide con la larghezza del ponte in direzione trasversale e non è editabile (questo parametro dipende dalla geometria della sezione trasversale precedentemente definita);
- *f* = freccia dell'arco, sezione retta della volta;
- *Thickness Tt* = spessore della sezione retta della volta sul piano d'imposta;
- *Thickness Tb* = spessore della sezione retta della volta sulla sezione di chiave;
- *Thickness Law* = legge di variazione dello spessore della sezione retta della volta, *Costante* o *Lineare*. Se *Costante*, viene richiesto un unico parametro  $Tt = Tb$ , mentre se *Lineare*, vengono richiesti i due valori  $Tt$  e  $Tb$ ;
- *Angle, alpha* = angolo di inclinazione della sezione di imposta della volta, rispetto alla sezione di testa della spalla (o della pila); se positivo determinerà la generazione dell'elemento 'pulvino';
- *s1* = distanza tra l'intradosso della volta sulla sezione d'imposta di sinistra e il paramento interno della spalla (o pila) alla sua sinistra;
- *s2* = distanza tra l'intradosso della volta sulla sezione d'imposta di destra e il paramento interno della spalla (o pila) alla sua destra;
- *Span Material* = indica il materiale della campata del ponte;
- *Piercap Material* = indica il materiale del pulvino della pila o della spalla.

L'andamento della volta è di tipo ellittico, con centro posto nella mezzeria della campata, ed eventualmente ribassato rispetto alla quota di imposta di una quantità  $\Delta$ . I raggi orizzontale e verticale dell'ellisse, rispettivamente  $R_x$  e  $R_y$  rispettano le seguenti condizioni (v. Figura 5.21):

$$R_x \geq \frac{L}{2}$$

$$R_y = f + \Delta$$

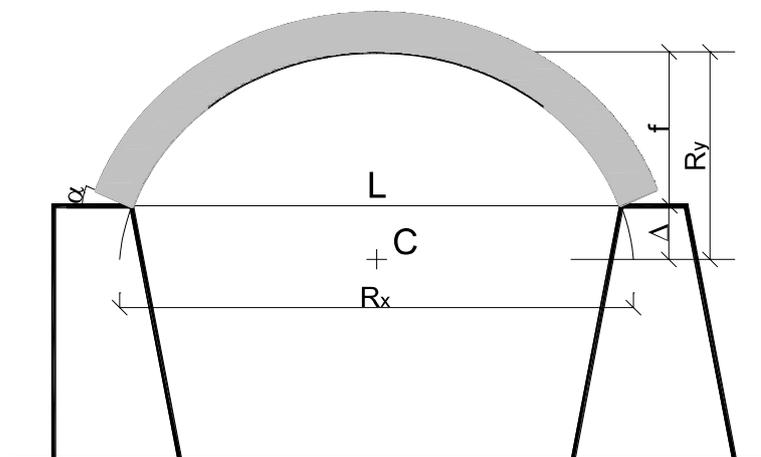


Figura 5.21 - Schema geometrico della sezione della volta.

#### 5.1.4 Caratteristiche geometriche della pila

Nella scheda *Pila N*, è possibile assegnare tutte le caratteristiche geometriche della pila n-esima del ponte. Detta scheda viene aggiunta automaticamente nel momento in cui si decide di aggiungere una nuova campata al ponte

In particolare viene richiesto, secondo quanto riportato in Figura 5.23:

- **Abutment parameters:**
  - *Height, H* = altezza della pila, misurata dall'estradosso della fondazione;
  - *w1, w3* = allargamenti della sezione trasversale alla base della pila, misurata lungo la direzione trasversale del ponte. Questi parametri possono assumere valore nullo;
  - *w2* = larghezza della sezione trasversale in testa della pila, misurata nella direzione trasversale rispetto allo sviluppo del ponte;
  - *Width, W* = larghezza della sezione trasversale alla base della pila, misurata lungo la direzione trasversale del ponte. Questo parametro non è editabile, ma assume il valore ottenuto dalla somma di *w1, w2* e *w3*;
  - *b1, b3* = allargamenti della sezione trasversale alla base della pila, misurata lungo la direzione longitudinale del ponte. Questi parametri possono assumere valore nullo;
  - *b2* = larghezza della sezione trasversale in testa della pila, misurata nella direzione longitudinale rispetto allo sviluppo del ponte;
  - *Base, B* = larghezza della sezione trasversale alla base della pila, misurata lungo la direzione longitudinale del ponte. Questo parametro non è editabile, ma assume il valore ottenuto dalla somma di *b1, b2* e *b3*;
  - *Alignment* = indica l'allineamento in direzione trasversale della sezione trasversale delle campate del ponte, che insistono sulla pila, rispetto alla sezione in testa alla pila stessa (L'allineamento può essere centrale, in alto o in basso);

- *Pier Material* = indica il materiale della pila del ponte;
  - *Add lateral restraint (Left/Right)* = se selezionato, aggiunge un vincolo laterale offerto dalla presenza di terreno a monte (o a valle) della spalla;
  - *Height, Hsp1, Hsp2* = altezza del terreno spingente lato monte e valle della pila.
  - *Geotechnical material* = indica il materiale geotecnico che caratterizza il terreno spingente. Può essere diverso a monte e a valle della pila.
- **Foundation parameters:**
- *Height, Hf* = altezza della fondazione della pila;
  - *b1f, b3f* = allargamenti della fondazione, rispetto alla sezione trasversale di base della pila, misurati nella direzione longitudinale di sviluppo del ponte;
  - *w1f* = allargamento della fondazione, rispetto alla sezione trasversale di base della pila, misurati nella direzione trasversale di sviluppo del ponte;
  - *Foundation Material* = selezionare e assegnare il materiale della fondazione della pila;
  - *Type of restraint - Rigid / Elastic* = definisce il tipo di vincolo alla base (rigido o elastico);
  - *kz Winkler* = costante di winkler del terreno

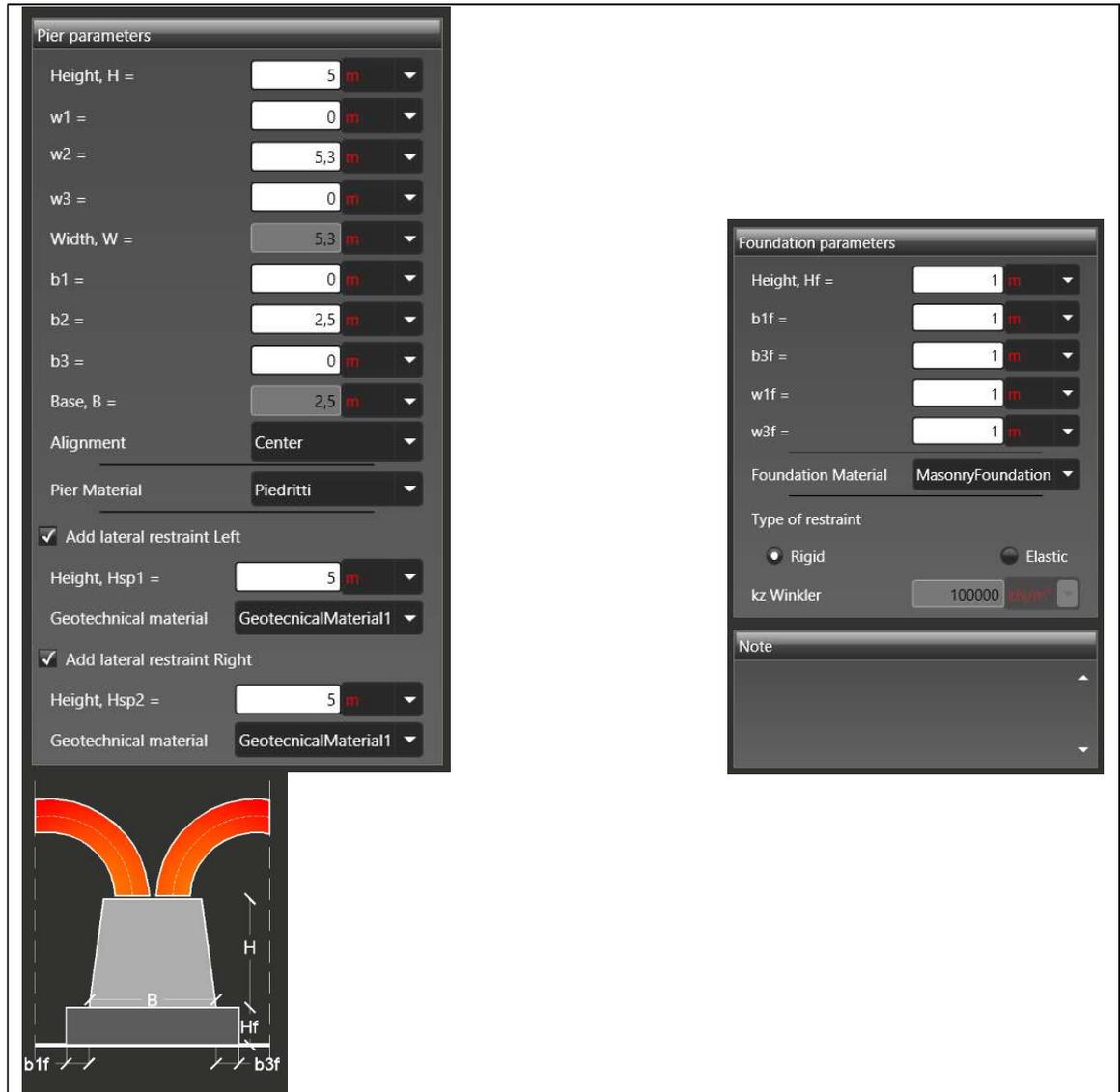


Figura 5.22 - *Pile N* - input delle proprietà geometriche della pila.

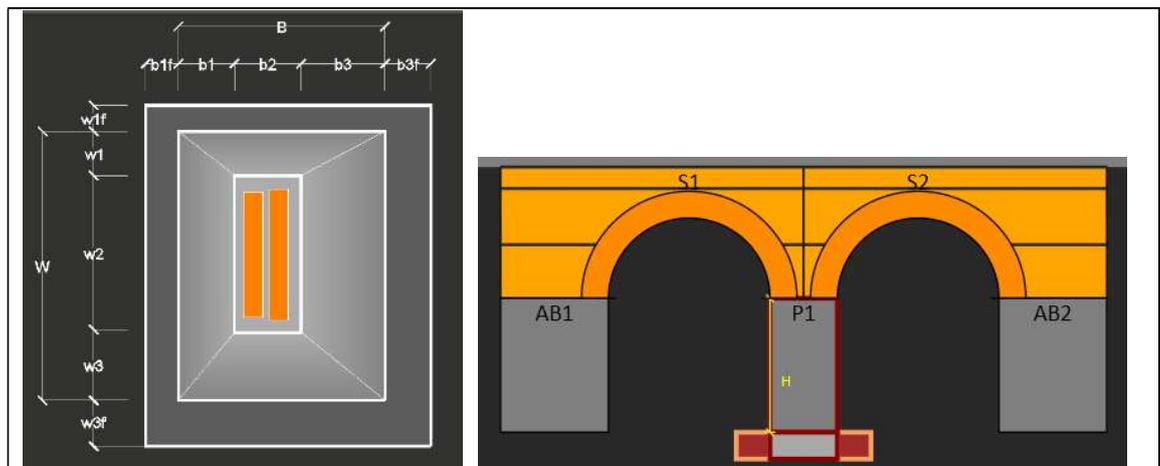


Figura 5.23 - *Pile N* - input delle proprietà geometriche della fondazione della pila e vista trasversale del ponte.

## 5.1.5 Backfill

Nella scheda *Backfill* è possibile definire le caratteristiche del profilo stratigrafico del riempimento gravante sulle volte. E' possibile ad esempio caratterizzare gli strati di rinfianchi, riempimento, ballast e definire un profilo stratigrafico con andamento costante o variabile, lungo lo sviluppo longitudinale del manufatto.

Se il **profilo stratigrafico è costante**, lungo tutto lo sviluppo longitudinale del ponte, dovranno essere assegnate nella riga corrispondente alla X position 0 le corrispondenti altezze dei vari strati H1, H2, H3.

Assegnare altezza nulla per annullare lo strato.

L'opzione "*Variable Stratigraphy*" se selezionata consente di definire un **profilo stratigrafico variabile**. Le altezze H1, H2, H3 di ciascuno strato devono essere assegnate per ogni posizione (*X Position*) o ordinata.

Le ordinate (*X position*) automaticamente individuate coincidono con le sezioni significative del ponte, ovvero con la sezione in corrispondenza dell'estremità del ponte, ovvero delle spalle, ed in corrispondenza del centro di ciascuna campata e del centro di ciascuna pila. Assegnare una altezza (ad esempio H1, H2, H3) dei vari strati di riempimento (*Backfill Layer 1, 2, 3*).

Un'altezza variabile lungo lo sviluppo longitudinale del ponte consente anche di definire una livelletta del piano superiore del manufatto.

X Position	H1	H2	H3
73.4	1.6	0.85	0
78.725	1	0.85	0.6
84.05	1.6	0.85	0
89.375	1	0.85	0.6
94.7	1.6	0.85	0
100.025	1	0.85	0.6
30.8	1.6	0.85	0
110.675	1	0.85	0.6
116	1.6	0.85	0
121.3	1	0.85	0.6

Figura 5.24 - Scheda *Backfill* - input delle proprietà del profilo stratigrafico di rinfianchi e riempimento.

Nelle schede corrispondenti ai *Backfill Layer* occorre definire e caratterizzare il materiale di riempimento, si riferiscono rispettivamente agli strati di altezza H1, H2 ed H3 sopra definiti (v. Figura 5.25).

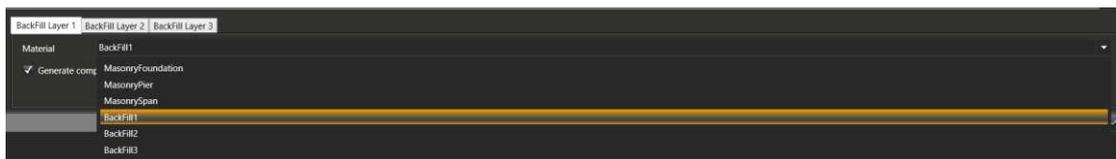


Figura 5.25- Scheda Backfill – seleziona materiale riempimento rinfianchi (Backfill).

Se la voce *“Generate computational elements”* è attiva, il riempimento viene modellato mediante elementi computazionali (quad) e non trattato come carico esplicito.

## 5.2 DEFINIZIONE DEI MATERIALI

La sezione *Material* consente di accedere alla finestra di definizione dei Materiali. Dal menu a tendina sulla sinistra è possibile selezionare il tipo di materiale. Sono disponibili le seguenti tipologie:

- Masonry materials:** avvia la finestra dei materiali di tipo muratura;
- Elastic Materials:** avvia la finestra del materiale elastico;
- Steel materials:** avvia la finestra dei materiali di tipo acciaio;
- Fiber Materials:** avvia la finestra dei materiali di tipo fibre;
- Geotechnical Materials:** avvia la finestra delle proprietà meccaniche del terreno. Quest’ultimo presente solo in HISTRA BRIDGES.

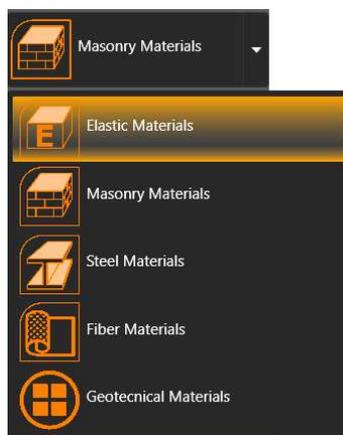


Figura 5.26 – Menu selezione Tipologia Materiali

### 5.2.1 Material > Masonry materials

La finestra di definizione del materiale si compone di due sezioni, in cui vengono riportati: a sinistra la lista dei materiali definiti e a destra le proprietà di ciascun materiale selezionato dalla lista.

I parametri di definizione del materiale sono:

- Name:** definisce il nome associato al materiale;
- Description:** consente di associare una descrizione al materiale selezionato;

- **Specific weight W:** consente di specificare il peso specifico della muratura, secondo le unità di misura selezionate nell'apposito menu a tendina.

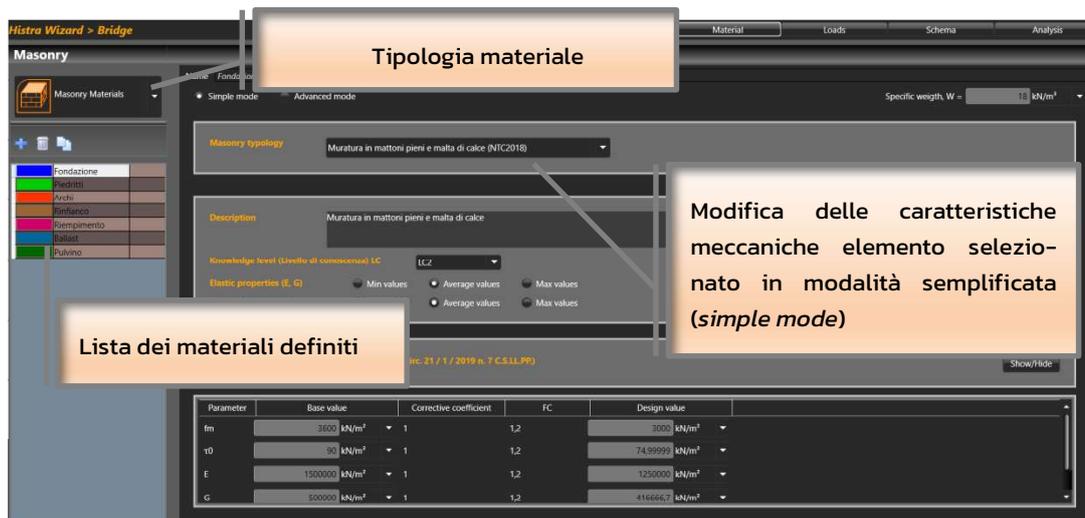


Figura 5.27 – Schermata per la definizione di un materiale muratura (modalità semplificata).

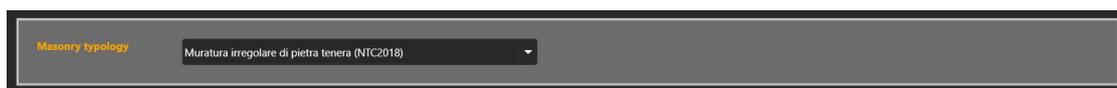
E' possibile definire le caratteristiche meccaniche della muratura secondo due modalità:

- **Simple mode:** modalità semplificata;
- **Advanced mode:** modalità avanzata;

### 5.2.1.1 Caratterizzazione del materiale muratura in modalità semplificata

In modalità semplificata vengono richiesti i seguenti dati:

- **Masonry typology:** l'utente può scegliere il tipo di muratura (muratura in pietrame disordinata, etc...), selezionando la relativa voce dal menu a tendina. Tale scelta consentirà all'utente di attribuire rapidamente i valori minimi delle caratteristiche meccaniche (modulo di elasticità normale o di Young E, modulo di elasticità tangenziale G, etc...), consigliate dalla normativa vigente (cfr tab. C8.5.I Circolare n.7 del 21/01/2019, se si seleziona NTC2018, e tab. C8.A.2.1 Circolare n.617, 09/02/2019 se si seleziona NTC2008). La scelta della tipologia muraria risulta decisiva ai fini della possibilità di applicare i coefficienti correttivi previsti dalla normativa in presenza di particolari caratteristiche della muratura, o di eventuali interventi di miglioramento delle caratteristiche su di essa applicati.



- **Description:** sintetica descrizione della tipologia materiale muratura.
- **Elastic properties (E, G) e Strength properties:** selezionare una delle tre voci: Min / Average / Max Values. Cliccando sul bottone corrispondente (minimo, medio, massimo) viene modificato/aggiornato il valore caratteristico (minimo, medio, massimo) delle proprietà meccaniche del materiale, rispettivamente di rigidezza e di resistenza (tab. C8.5.I Circolare n.7 del 21/01/2019 per NTC2018 e tab. C8.A.2.1 Circolare 2 febbraio 2009 n. 617 per NTC2008).
- **Knoulege level (livello di conoscenza) LC:** LC1, LC2, LC3. Rappresenta il grado di conoscenza della struttura portante dell'edificio, ed è una proprietà comune a tutte le normative. La scelta del livello di conoscenza implica l'adozione del corrispondente fattore di confidenza FC : il minore livello di conoscenza dell'edificio determina una riduzione della resistenza a compressione e della resistenza a taglio secondo la seguente espressione:  $f_m = f_{m,k} / FC$  (Circolare n.7 del 21/01/2019).

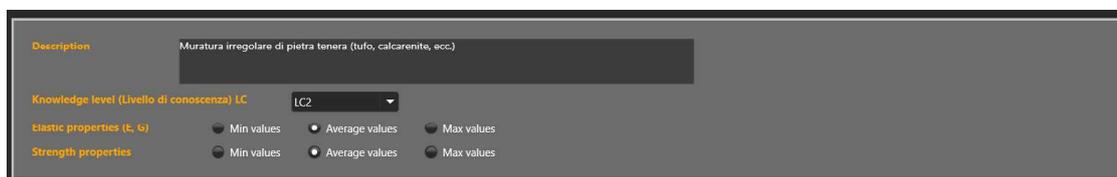


Figura 5.28 – Materiale muratura: descrizione, livello di conoscenza e selezione valore caratteristico delle proprietà meccaniche

- **Corrective coefficients of mechanical properties (Circolare n.7 del 21/01/2019):** Il valore di base, o caratteristico, precedentemente determinato deve essere corretto, ai sensi della normativa adottata, applicando opportuni coefficienti correttivi. Questi ultimi dipendono dalle caratteristiche della muratura (malta di buona qualità, giunti sottili, ricorsi o listature connessione trasversale, nucleo scadente e/o ampio, iniezioni di miscele leganti, intonaco armato, diatoni artificiali). In assenza di particolari specifiche i valori delle proprietà meccaniche della muratura si attestano sui valori minimi previsti dalla tabelle specifiche per la normativa adottata sulla base della tipologia muraria selezionata. È possibile editare tali informazioni nel caso in cui si disponga di dati più precisi.

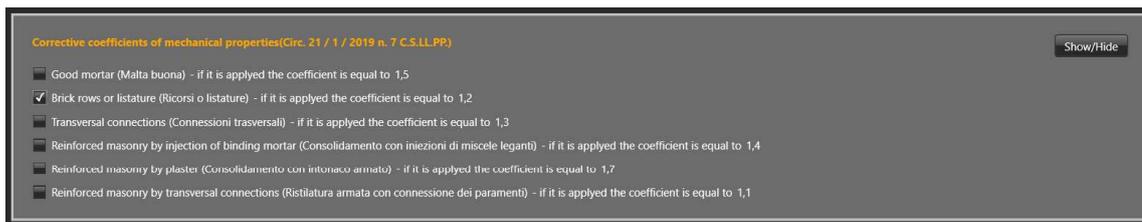


Figura 5.29 – Materiale muratura: selezione coefficienti correttivi delle proprietà meccaniche.

- **Caratteristiche meccaniche del materiale muratura:** In questa tabella sono visualizzate le caratteristiche meccaniche di calcolo principali (modulo di elasticità normale o di Young  $E$ , modulo di elasticità tangenziale  $G$ , resistenza a compressione  $f_m$ , resistenza a taglio  $\tau_0$ , peso specifico  $w$ ). Di default questi valori sono ottenuti a partire dai valori medi consigliati dalla normativa adottata per la tipologia di muratura selezionata, penalizzati per il corrispondente fattore di confidenza.

	Base value	Corrective coefficient	FC	Design value
$f_m$	1800 $\text{N/m}^2$	1,2	1,2	1800 $\text{N/m}^2$
$\tau_0$	35 $\text{N/m}^2$	1,2	1,2	35 $\text{N/m}^2$
$E$	1080000 $\text{N/m}^2$	1	1,2	900000 $\text{N/m}^2$
$G$	360000 $\text{N/m}^2$	1	1,2	300000 $\text{N/m}^2$

Figura 5.30 – Materiale muratura: caratteristiche meccaniche del materiale Valore di calcolo.

### 5.2.1.2 Caratterizzazione del materiale muratura in modalità avanzata

Il materiale muratura possiede delle peculiarità che distinguono il suo comportamento rispetto a tutti gli altri materiali (calcestruzzo, acciaio etc...). Essa è infatti caratterizzata da comportamenti diversi, a seconda delle azioni che coinvolgono il pannello murario (cfr. manuale teorico). HISTRA è un codice di calcolo che simula in maniera precisa il comportamento non lineare di questo materiale e dispone di un input specifico che consente di definire in maniera precisa il legame caratteristico del materiale muratura per ciascun meccanismo considerato.

- **Meccanismo di rottura flessionale (rocking mechanism)**

Si definiscono le **caratteristiche meccaniche di calcolo a trazione e a compressione**, del materiale muratura, con riferimento al meccanismo di rottura a flessione.

- **Behavior:** tipo di comportamento *Isotropic* o *Orthotropic (isotropo o ortotropo)*. Se Ortotropo, vengono richieste le caratteristiche meccaniche per le due direzioni (Local direction1 e Local direction2)
- **Young’s modulus  $E$ :** il modulo di elasticità  $E=\sigma/\epsilon$  caratterizzante il tratto elastico lineare iniziale del legame costitutivo del materiale.
- **Tensile constitutive Law e Compression constitutive Law:** selezionare il tipo di legame costitutivo del materiale lineare o non lineare rispettivamente a trazione e compressione:
  - *Elastic*, legame costitutivo elastico lineare;
  - *Linear hardening*, legame costitutivo di tipo elasto-plastico con incrudimento cinematico lineare e duttilità fissata;

- *Linear softening*, legame costitutivo di tipo elastico con softening lineare calibrato in funzione dell'energia di frattura;
- *Exponential softening*, legame costitutivo di tipo elastico con softening non lineare calibrato in funzione dell'energia di frattura (solo per legame costitutivo a trazione);
- *Parabolic*, legame costitutivo di tipo non lineare con legge parabolica, calibrato in funzione dell'energia di frattura (solo per legame costitutivo a compressione).

Con riferimento al legame **Linear hardening** è possibile definire i seguenti parametri meccanici:

- **Tensile/Compressive strength**  $\sigma_{yt} / \sigma_{yc}$ : massima tensione di calcolo a trazione/compressione sopportabile dalla muratura.
- **Traction ratio,  $\kappa_t$  / Compressive ratio,  $\kappa_c$**  : =  $E_2 / E$  = rapporto tra il modulo di elasticità post-elastico  $E_2$  e quello iniziale  $E$  a trazione o a compressione (parametro richiesto nel caso di legame costitutivo di tipo elasto plastico con incrudimento cinematico lineare e duttilità fissata)
- **Tensile ductility**  $\mu_{ut}$  / **Compressive ductility**  $\mu_{uc}$ : la duttilità a trazione o a compressione può essere infinita (se non viene espresso un valore spuntando il check) o limitata. Se selezionato, è possibile inserire il valore della duttilità in compressione e a trazione. Il valore indicato è espresso come rapporto tra la deformazione ultima (a trazione o compressione) e la corrispettiva al limite elastico  $\mu = \epsilon_u / \epsilon_y$ .
- **Unload tensile/compressive behavior**: definisce il tipo di scarico nel legame isteretico con degrado. E' possibile scegliere tra tre tipi di scarico: "Initial" se lo scarico è con rigidità iniziale ( $\beta=0$ ), "Origin" se lo scarico è orientato all'origine ( $\beta=1$ ), oppure "Mixed" ( $0 < \beta < 1$ ).
- **Unload tensile parameter,  $\beta_t$  / Unload compression parameter  $\beta_c$** : valore editabile solo se il comportamento isteretico è di tipo mixed. Il valore deve essere compreso tra 0 e 1:  $\beta=0$  se lo scarico avviene con rigidità iniziale,  $\beta=1$  se lo scarico è orientato all'origine.

Nel caso di Legame costitutivo **Elastico Lineare**, viene richiesto solo il **Young's modulus  $E$** , il modulo di elasticità  $E = \sigma / \epsilon$ .

Con riferimento ai legami **Linear softening, Exponential softening e Parabolic** è possibile definire oltre quelli sopra indicati i seguenti parametri meccanici:

- **Tensile/ Compressive strength**  $\sigma_{yt}, \sigma_{yc}$  : massima tensione di calcolo a trazione (e a compressione) sopportabile dalla muratura;
- **Tensile / Compressive fracture energy,  $G_t, G_c$** : Energia di frattura a trazione o a compressione pari all'area sottesa dalla curva scheletro (*backbone curve*) espressa in termini di tensione e ampiezza della fessura.

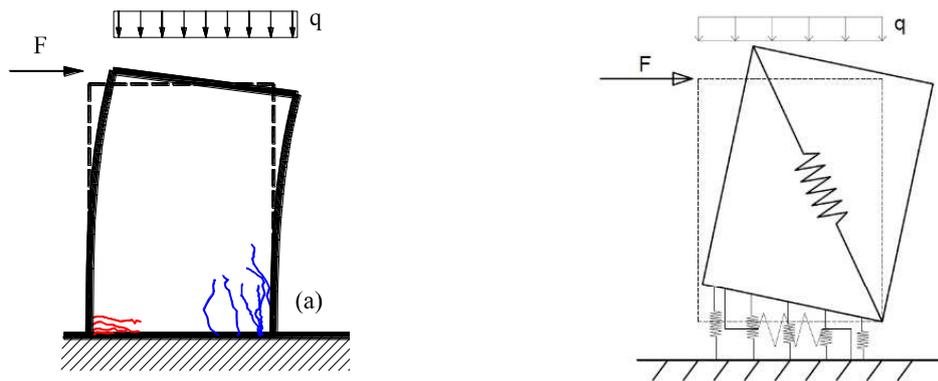
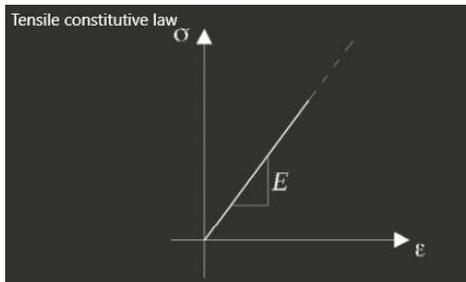
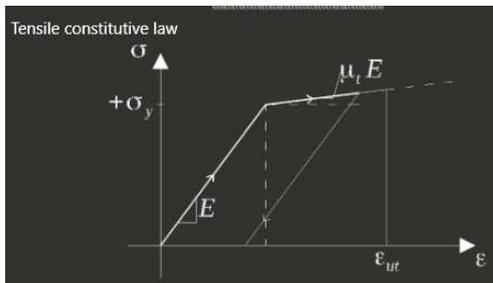


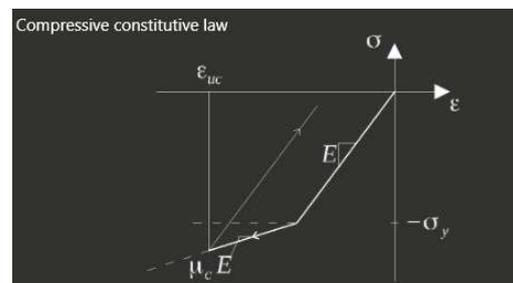
Figura 5.31 – a) Meccanismo di rottura a flessione di un pannello murario; a') Attivazione del meccanismo di rocking sul macro-elemento a quattro nodi di HISTRA



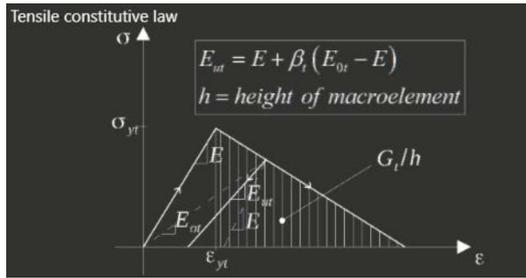
A) Elastic – legame costitutivo elastico lineare



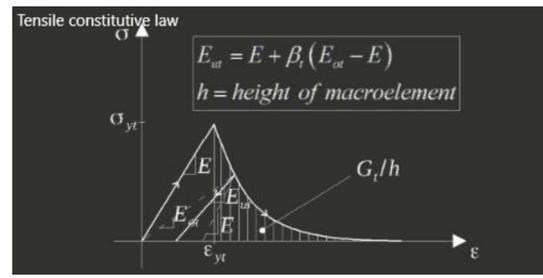
B1) *Linear hardening* - legame costitutivo a trazione di tipo elasto-plastico con incrudimento cinematico lineare e duttilità fissata



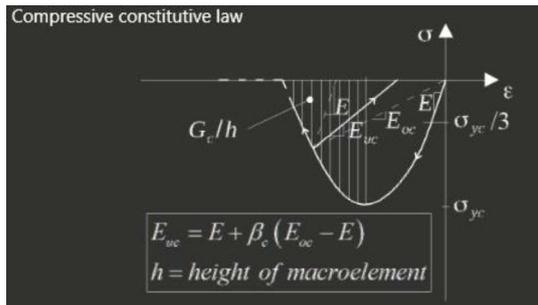
B2) *Linear hardening* - legame costitutivo a compressione di tipo elasto-plastico con incrudimento cinematico lineare e duttilità fissata



C) Linear softening - Legame costitutivo elastico con softening lineare calibrato in funzione dell'energia di frattura

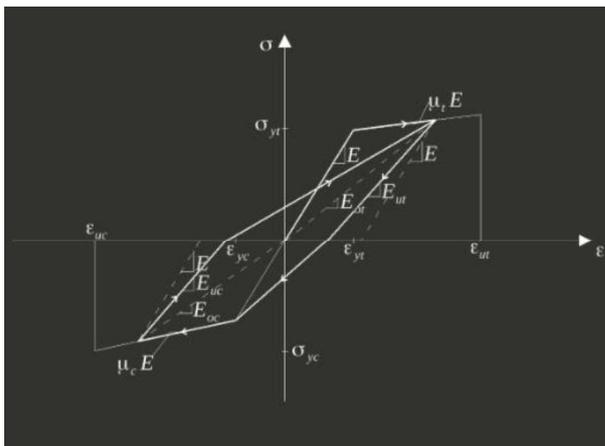


D) Exponential softening - legame costitutivo elastico con softening non lineare calibrato in funzione dell'energia di frattura



E) Parabolic: legame costitutivo di tipo non lineare con legge parabolica, calibrato in funzione dell'energia di frattura

Figura 5.32 - Meccanismo di rottura a flessione (Rocking mechanism) – Constitutive law



$E$  : modulo di elasticità normale;

$\sigma_{yt}, \sigma_{yc}$  : resistenza a trazione e compressione;

$\epsilon_{ut}$  : deformazione ultima a trazione;

$\epsilon_{uc}$  : deformazione ultima a compressione;

$\epsilon_{yt}$  : deformazione al limite elastico a trazione;

$\epsilon_{yc}$  : deformazione al limite elastico a compressione.

$$E_{ut} = E - \beta_t (E - E_{0,t})$$

$$E_{uc} = E - \beta_c (E - E_{0,c})$$

Figura 5.33 – Legame costitutivo elasto-plastico con incrudimento cinematico lineare e duttilità fissata

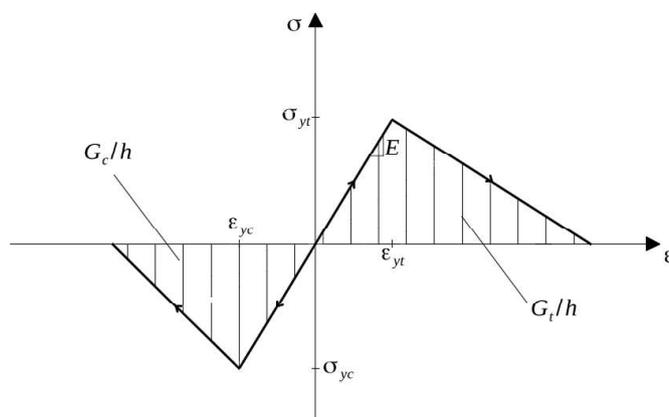


Figura 5.34 – Individuazione della energia di frattura nel caso di legame costitutivo elastico con softening lineare

### • Meccanismo di rottura per fessurazione diagonale (shear mechanism)

Vengono specificate le **caratteristiche meccaniche di calcolo del materiale muratura**:

- **Constitutive law:** è possibile definire il tipo di legame costitutivo selezionando:
  - *Elastic:* elastico lineare;
  - *Elasto-Plastic:* elastico infinitamente plastico
  - *Elasto-Plastic and ductility-fixed:* elastico-plastico con duttilità fissata;
  - *Elasto-Plastic and linear-softening:* elasto-plastico con softening lineare;
- **Yelding domain (Mohr-Coulomb, Turnsek Cacovic):** i due criteri *Mohr-Coulomb* e *Turnsek Cacovic* sono identici, eccezion fatta per la superficie di snervamento.

Si rimanda al manuale teorico per maggiori approfondimenti.

- **Shear modulus  $G$ :** il modulo di elasticità  $G = \tau/\gamma$  caratterizzante il tratto elastico lineare del legame costitutivo a taglio del materiale.
- **Shear strength  $\tau_0$ :** valore della tensione tangenziale media che, in assenza di carichi verticali ( $\sigma_n = 0$ ), attiva il meccanismo di rottura per fessurazione del puntone diagonale.  
dove in tal caso non è necessario immettere tale parametro  $\mu$ .

Con riferimento al dominio di snervamento alla **Mohr Coulomb** è necessario definire inoltre i seguenti parametri meccanici:

- **Friction ratio**  $\mu = \tan \varphi$ : valore del coefficiente d'attrito utilizzato nel dominio di resistenza alla Mohr-Coulomb ( $\mu \geq 0$ ):

$$\tau_u = \tau_0 + \mu \sigma_n$$

- **Stiffness shear/Sliding ratio,  $\alpha$**  percentuale di rigidità a taglio attribuita al pannello murario compreso tra 0 e 1 ( $\alpha = 0$  pannello rigido a taglio e deformabile a scorrimento;  $\alpha = 1$  pannello deformabile a taglio e rigido a scorrimento).
- **Reload stiffness ratio**  $\kappa_{rs} = G_{reload} / G$ : rapporto tra il modulo di elasticità tangenziale nella fase di ricarico dalla fase di slip  $G_{reload}$  ed il modulo di elasticità tangenziale iniziale  $G$ . La fase di slip si manifesta quando la tensione normale  $\sigma$  è maggiore della tensione limite:  $\sigma > \sigma_0 = \tau_0 / \mu$ .
- **Max tensile ratio:**  $\sigma_{t,max} / \sigma_0$  rapporto tra la tensione massima a trazione ammissibile e la tensione limite  $\sigma_0 = \tau_0 / \mu$  (valore significativo solo se  $\mu > 0$ )
- **Ultimate shear strain,  $\gamma_p$** : selezionando il legame costitutivo a duttilità fissata o con linear softening è necessario definire il valore ultimo della deformazione a taglio, oltre il quale si determina la perdita di resistenza del legame ( $\tau=0$ ).

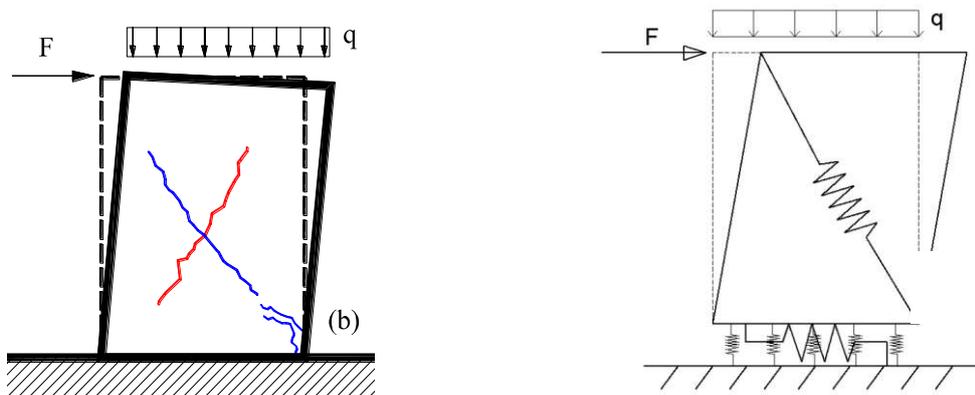
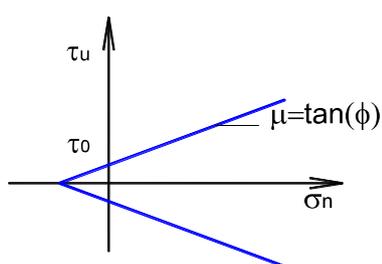
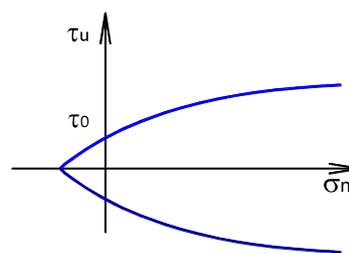


Figura 5.35 – b) Meccanismo di rottura per fessurazione diagonale; b') Attivazione del meccanismo sul macro-elemento a quattro nodi di HISTRA



Legame costitutivo secondo Mohr-Coulomb



Legame costitutivo secondo Turnsek-Cacovic

$\tau_u$  : resistenza a taglio;

$\tau_0$  : resistenza a taglio in assenza di sforzo normale (coesione);

$\mu = \tan\phi$ : coefficiente di attrito del materiale;

$\sigma_n$ : tensione normale.

Figura 5.36 – Legami costitutivi per meccanismo di rottura a taglio per fessurazione diagonale

Nel caso di dominio di snervamento alla **Turnsek-Cacovic**, si adotta la seguente espressione per la definizione del criterio di resistenza:

$$\tau_u = \tau_0 \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_n}{1.5 \cdot \tau_0}}$$

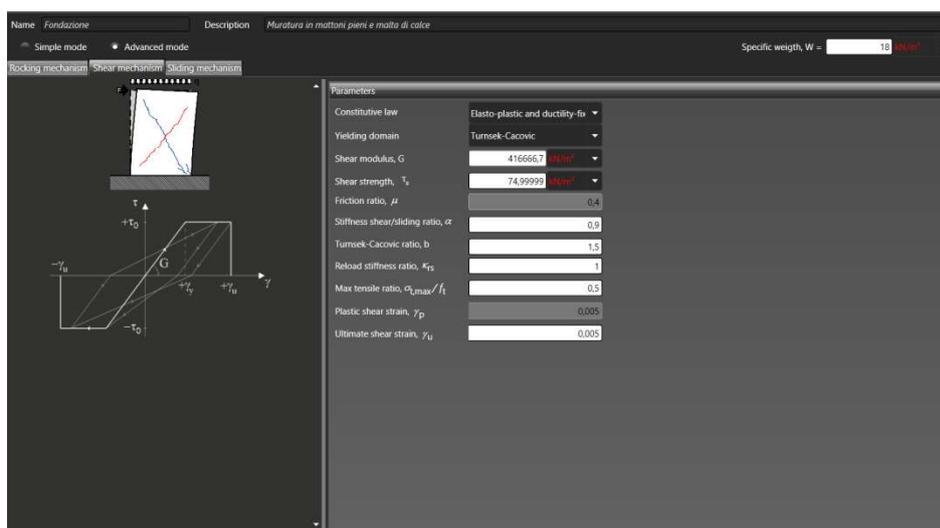


Figura 5.37 - Finestra per la modifica dei parametri che regolano il meccanismo di rottura a taglio per fessurazione diagonale

### • Meccanismo di rottura per scorrimento (sliding mechanism)

In questa schermata devono essere specificate le **caratteristiche meccaniche di calcolo**, quali:

- **Constitutive law:** è possibile definire il tipo di legame costitutivo selezionando:
  - *Elastic*: elastico lineare;
  - *Elasto-Plastic*: elastico infinitamente plastico
  - *Linear-softening*: elasto-plastico con softening lineare;
- **(Mohr-Coulomb, Turnsek Cacovic):** i due criteri *Mohr-Coulomb* e *Turnsek Cacovic* sono identici, eccezion fatta per la superficie di snervamento.
- **Cohesion c:** valore della tensione tangenziale che, in assenza di carichi verticali ( $\sigma_n = 0$ ), attiva il meccanismo di rottura per scorrimento in coerenza al legame costitutivo alla *Mohr-Coulomb*.

- **Friction ratio**  $\mu = \tan \varphi$ : valore del coefficiente d'attrito secondo il legame costitutivo alla Mohr-Coulomb ( $\tau_u = \tau_0 + \mu\sigma_n$ ).
- **Plastic stiffness ratio**,  $\kappa$ : è il rapporto tra la rigidezza post-elastica  $G_p$  e quella elastica iniziale  $G$ .  $\kappa = G_p/G$ .
- **Fracture energy**: se attivata, viene assegnata l'energia di frattura.
- **Check contact area during analysis**: se non selezionato considera come area di contatto su cui calcolare il contributo coesivo della resistenza quella totale dell'interfaccia, altrimenti aggiorna l'area di contatto considerando solo l'area corrispondente a link trasversali che non hanno superato il limite elastico a trazione.

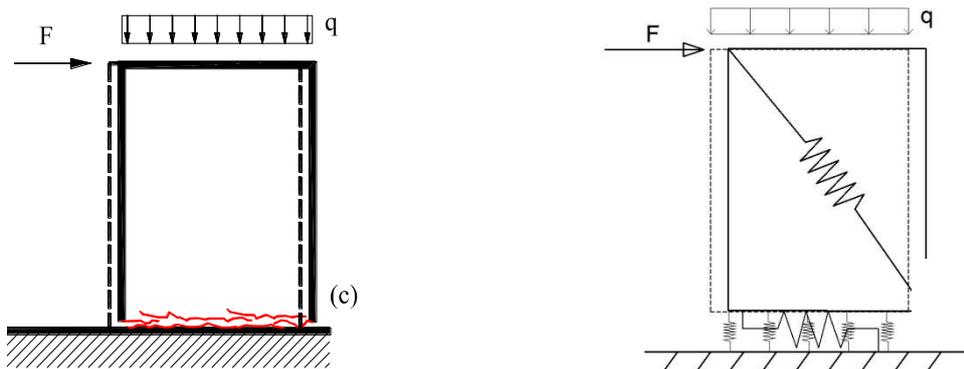
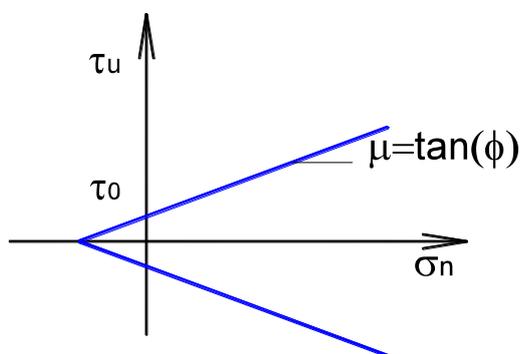


Figura 5.38 - c) Meccanismo di rottura a taglio per scorrimento; c') Attivazione del meccanismo sul macro-elemento a quattro nodi di HISTRA



$\tau_u$  : resistenza a taglio;  
 $\tau_0$  : resistenza a taglio in assenza di sforzo normale (coesione);  
 $\mu = \tan \varphi$ : coefficiente di attrito del materiale;  
 $\sigma_n$  : tensione normale.

Figura 5.39 – Legame costitutivo per meccanismo di rottura a taglio per scorrimento all'interfaccia

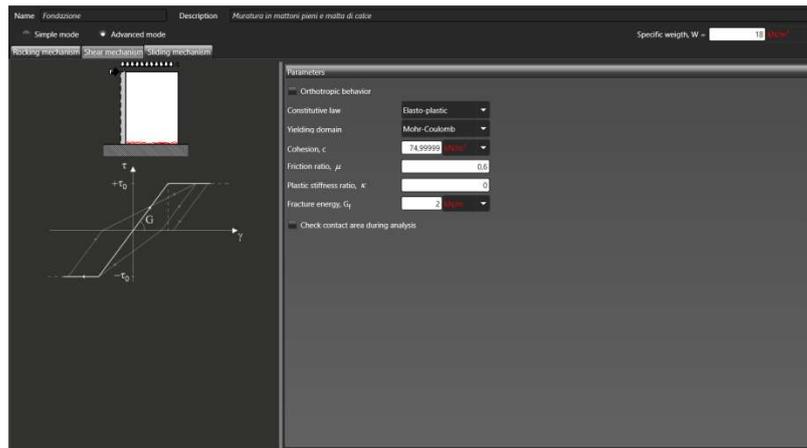


Figura 5.40 - Finestra per la modifica dei parametri che regolano il meccanismo di rottura a taglio per scorrimento

## 5.2.2 Material > Steel materials

E' possibile definire materiali di tipo acciaio (ad esempio per caratterizzare le catene). Nella schermata di definizione dei materiali devono essere specificate le **caratteristiche meccaniche di calcolo**, quali:

- **Constitutive law:** definisce il tipo di legame costitutivo selezionando:
  - *Elastic:* elastico lineare;
  - *Hysteretic:*
  - *Steel01:* acciaio 1
  - *Steel02:* acciaio 2;

Se materiale è elastico lineare:

- **Specific weight W:** peso specifico del materiale;
- **Young's modulus E:** valore del modulo di elasticità normale;

Se il legame costitutivo è isteretico, è possibile inoltre definire i seguenti parametri:

- **Is symmetric:** se spuntato considera un comportamento simmetrico a trazione e compressione, altrimenti sdoppia il pannello sottostante per differenziare le proprietà nei due casi;
- **Yielding strength  $\sigma_y$ :** tensione di snervamento;
- **Strain-hardening factor,  $\mu$ :** fattore di incrudimento;
- **Ultimate strain  $\epsilon_u$ :** deformazione ultima.

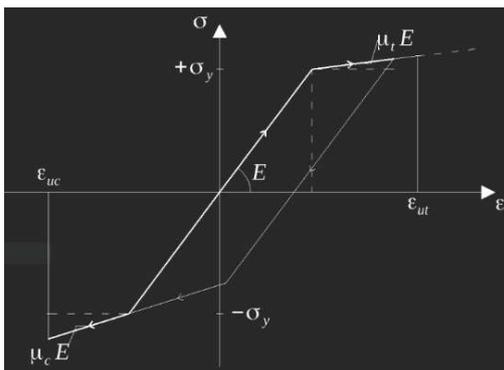


Figura 5.41 - Legame costitutivo acciaio

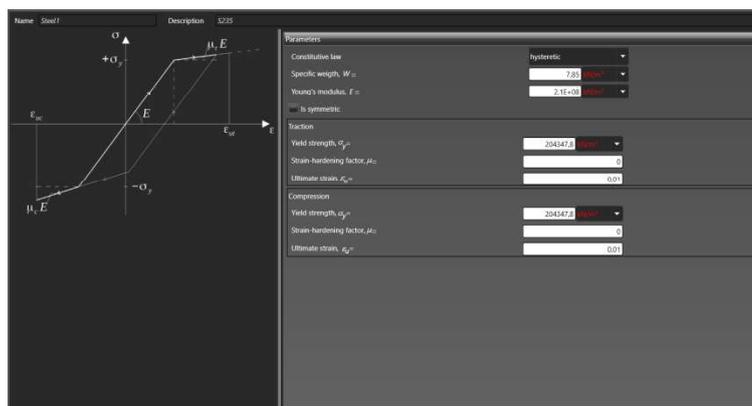


Figura 5.42 - Finestra per la definizione dei materiali di tipo acciaio

### 5.2.3 Material > Fiber materials

E' possibile introdurre materiali di tipo fibre, da applicare ai rinforzi. In questa schermata devono essere specificate le **caratteristiche meccaniche di calcolo**. Esse sono suddivise in:

**Fiber Parameters (Parametri delle Fibre):**

- **Specific weight W:** peso specifico del materiale;
- **Young's modulus E:** valore del modulo di elasticità normale;
- **Tensile strength  $\sigma_y$ :** massima tensione di calcolo a trazione sopportabile dalla fibra
- **Ductility,  $\eta$**  rapporto tra la deformazione ultima e quella al limite elastico
- 

**Flexural Parameters (Parametri di resistenza a flessione):**

- **Normal stiffness,  $K_n$ :** rigidezza normale
- **Tensile strength  $\alpha$ :** massima tensione di calcolo a trazione sopportabile dall'interfaccia fibra-supporto

- **Tensile fracture energy,  $G_t$** : energia di frattura a trazione
- **Compressive strength  $\sigma_c$** : massima tensione di calcolo a compressione sopportabile dall'interfaccia fibra-supporto
- **Compressive fracture energy,  $G_c$** : energia di frattura a compressione

**Bond Slip Law (comportamento a delaminazione):**

- **Sliding stiffness,  $K_s$** : rigidezza a scorrimento dell'interfaccia fibra-supporto
- **Cohesion,  $c$** : coesione dell'interfaccia fibra-supporto
- **Friction coefficient,  $\mu$** : coefficiente di attrito
- **Sliding fracture energy,  $G_s$** : energia di frattura che governa il meccanismo di delaminazione

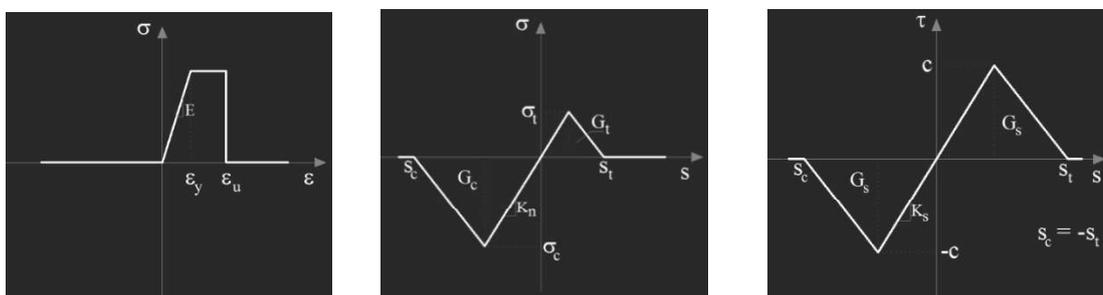


Figura 5.43 - Legame costitutivo materiale FRP

Fiber parameters	
Specific weight, $w$	0 $kN/m^3$
Young modulus, $E$	8,4251E+07 $kN/m^2$
Tensile strength, $\sigma_t$	1310000 $kN/m^2$
Ductility, $\eta$	1
Thickness	0,03 $m$
Flexural parameters	
Normal stiffness, $K_n$	4,8E+07 $kN/m^3$
Tensile strength, $\sigma_t$	44000 $kN/m^2$
Tensile fracture energy, $G_t$	0,15 $kN/m$
Compressive strength, $\sigma_c$	780000 $kN/m^2$
Compressive fracture energy, $G_c$	10000 $kN/m$
Bond slip parameters	
Sliding stiffness, $K_s$	2,475556E+07 $kN/m^3$
Cohesion, $c$	2200 $kN/m^2$
Friction coefficient, $\mu$	0
Sliding fracture energy, $G_s$	0,05 $kN/m$

Figura 5.44 - Finestra per la definizione dei materiali di tipo FRP

**5.2.4 Material > Geotechnical materials**

E' possibile introdurre materiale geotecnico (terreno). In questa schermata devono essere specificate le **caratteristiche meccaniche di calcolo**, quali:

- **Specific weight  $W$** : peso specifico del terreno;

- **Friction angle,  $\phi$** : angolo attrito del terreno;
- **Coesion, C**: Coesione
- **Horizontal Stiffness of the soil,  $K_0$ ,  $K_1$** : coefficienti che consentono di caratterizzare la rigidità orizzontale del terreno. Detta rigidità è caratterizzata mediante la seguente equazione di rigidità  $K_h = K_0 + K_1 \cdot H^k$ , in cui H è la altezza del terreno interagente col manufatto;
- **Exponent in stiffness equation, k**: esponente nella equazione di rigidità;
- **Over consolidation ratio, OCR**: rapporto di sovraconsolidazione;
- **Over consolidation ratio coefficient, m**: coefficiente di sovraconsolidazione.

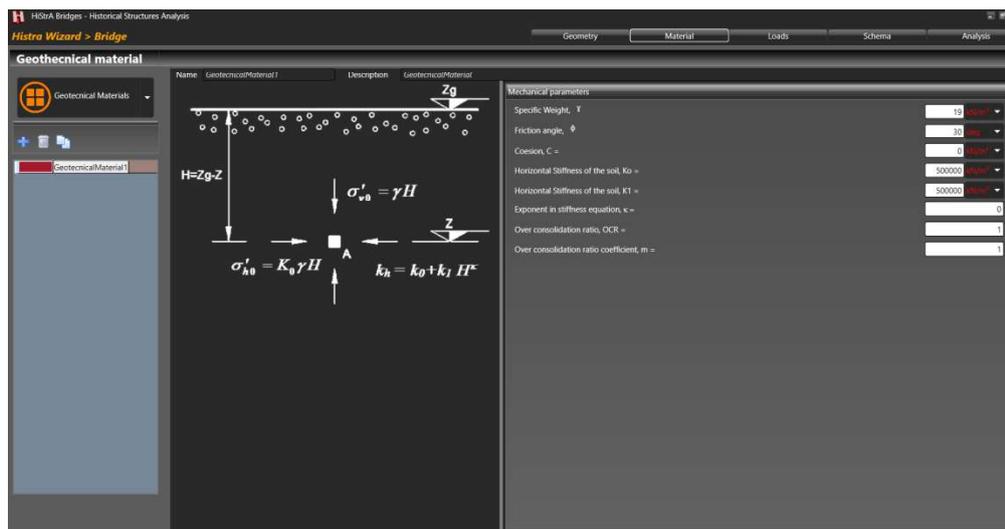


Figura 5.45 – Finestra per la definizione dei materiali di tipo geotecnico (caratteristiche geotecniche del terreno)

### 5.3 DEFINIZIONE DEI CARICHI

Proseguendo con la procedura guidata di wizard, si passa alla definizione dei carichi. HISTRA BRIDGES dispone di librerie avanzate per la gestione dei carichi e, come vedremo più avanti, anche delle combinazioni (schemi di carico), adeguate alle normative vigenti (NTC 2018 e UIC code 700), per ponti stradali e ferroviari, che consentono di definire i carichi secondo diverse modalità:

- **Carichi di linea equivalenti (Line load)**. Nel caso di ponti ferroviari sono applicati in asse a ciascun binario. (schemi di carico secondo le UIC code 700).
- **Carichi concentrati (Vehicle load)** mediante l’inserimento di una distinta voce di carico elementare, su ciascuna ruota, associata ad una condizione di carico (schemi di carico secondo le NTC2018). Nel caso di ponti ferroviari sono applicati su ciascuna rotaia, in corrispondenza degli assi dei vagoni.

Selezionare la tipologia, dal menu a tendina a sinistra:

- *Vehicles (5.3.2)*
- *Area loads (5.3.3)*
- *Line loads (5.3.4)*
- *Point loads (5.3.5)*

Eventuali altre azioni, neve, vento, etc. potranno essere definite dall'utente conformemente alle NTC2018.

La definizione dei carichi, indipendentemente dalla tipologia selezionata, avviene attraverso una finestra dallo schema ricorrente (v. Figura 5.46).

La finestra è divisa in due parti. Nella parte destra viene visualizzata la tabella di definizione dei carichi. Nella parte sinistra è invece presente un pannello di controllo generale, dove viene visualizzata la "lista degli elementi" definiti e la barra dei menu per introdurre o eliminare gli elementi in lista. Selezionare un elemento e definire le voci di carico a destra.

Con riferimento alla "lista degli elementi" è possibile eseguire le seguenti operazioni:

- definire un nuovo elemento col tasto ;
- cancellare un elemento definito cliccando ;
- copiare un elemento definito col tasto ;
- modificare il nome di un elemento della lista (selezionando l'elemento ed editando il nome);
- accedere alla scheda delle proprietà dell'elemento (selezionandolo in elenco);
- impostare automaticamente o personalizzando i colori per ciascun elemento definito (selezionando dal menu a tendina ).

Nella sezione di destra, in cui viene visualizzata e gestita la definizione delle singole voci di carico, è presente una tabella. Ogni riga corrisponde ad una voce di carico. In alto, sopra la tabella vengono riportati il nome dell'elemento (o carico) che si sta definendo (*Name*), una sintetica descrizione dello stesso (*Description*), ed i tasti *Add*, *Copy* e *Delete*, che consentono rispettivamente di aggiungere, copiare ed eliminare una riga in tabella (corrispondente a una voce elementare di carico).

Qualunque sia la tipologia di carico selezionata, è possibile definire:

- **Dynamic Coefficient:** coefficiente di amplificazione dinamico, che consente di amplificare i valori caratteristici dei carichi, a seguito di effetti dinamici.

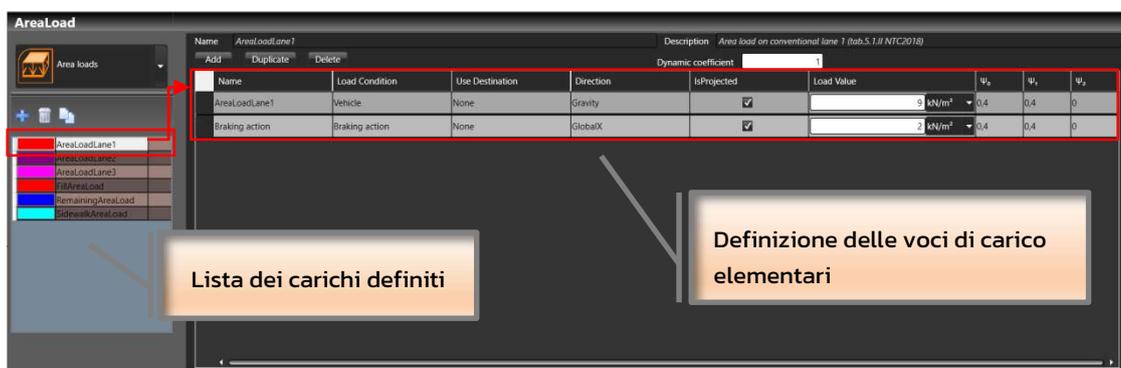


Figura 5.46 – Finestra di definizione dei Carichi

### 5.3.11 Definizione dei carichi per ponti ferroviari

Con particolare riferimento ai ponti ferroviari, il software HISTRA BRIDGES consente di definire i modelli di carico previsti dalle cogenti normative. Secondo le indicazioni del Manuale RFI e delle NTC2018, occorre distinguere il caso di nuove strutture da quello di strutture esistenti, ed in particolare:

- **Carichi di Progetto** (per la progettazione di nuove strutture nuove);
- **Carichi realmente circolanti** (per la verifica di strutture esistenti).

Lo stesso manuale RFI fa riferimento alle NTC 2018, per quanto riguarda la definizione dei modelli di carico teorici da adottare per la progettazione di nuove strutture, e mantiene la definizione dei modello di carico introdotta nella circolare del 2 giugno 95, definendo carichi LM71 per traffico normale e SWO e SW2 per traffico pesante (v.Figura 5.47) Figura 5.47 – Modelli di carico teorici, adottati in fase di progettazione di nuove strutture (LM71, per il traffico normale e SWO e SW2 per il traffico pesante). Sempre dal manuale RFI, vengono definiti carichi individuati dalle categorie delle linee (facendo riferimento alle FICHE UIC code 700), i carichi dovuti a Mezzi di trazione circolanti (locomotori ed automotrici, elettrici e diesel e gli elettrotreni) ed i Carichi/Trasporti eccezionali.

I suddetti modelli sono integrati in maniera automatica nelle librerie di HISTRA BRIDGES. Possono anche essere definiti modelli di carico personalizzati.

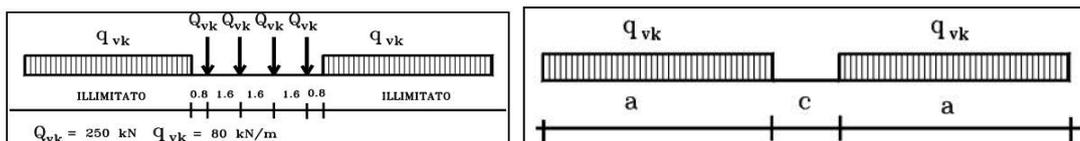


Figura 5.47 – Modelli di carico teorici, adottati in fase di progettazione di nuove strutture (LM71, per il traffico normale e SWO e SW2 per il traffico pesante).

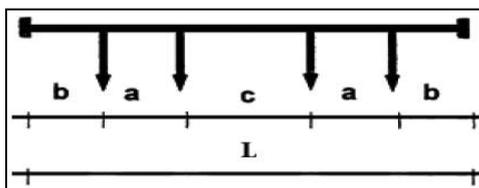


Figura 5.48 – Modelli di carico realmente circolanti (UIC-code 700). Schema geometrico di un carro.

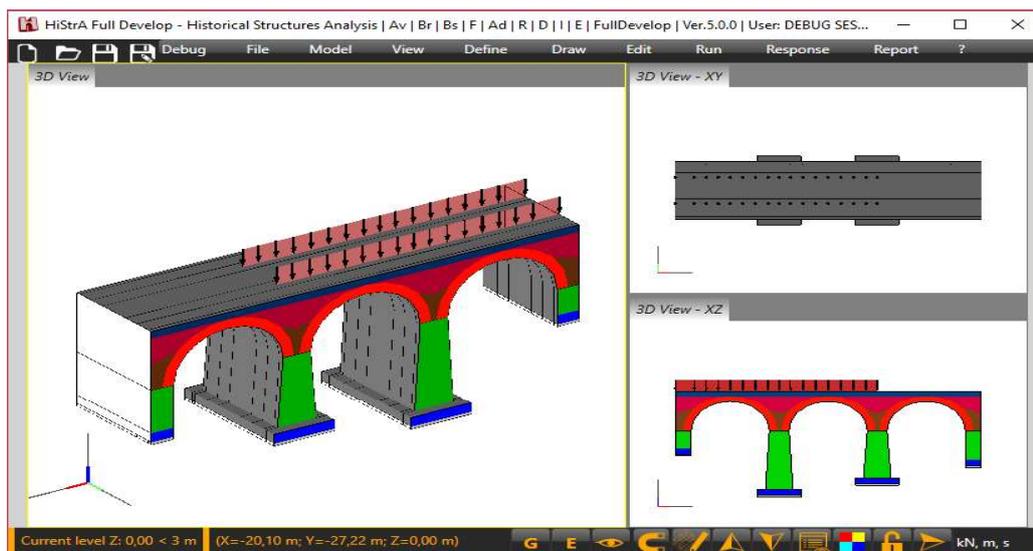


Figura 5.49 – Modellazione mediante carichi lineari equivalenti (Line Load).

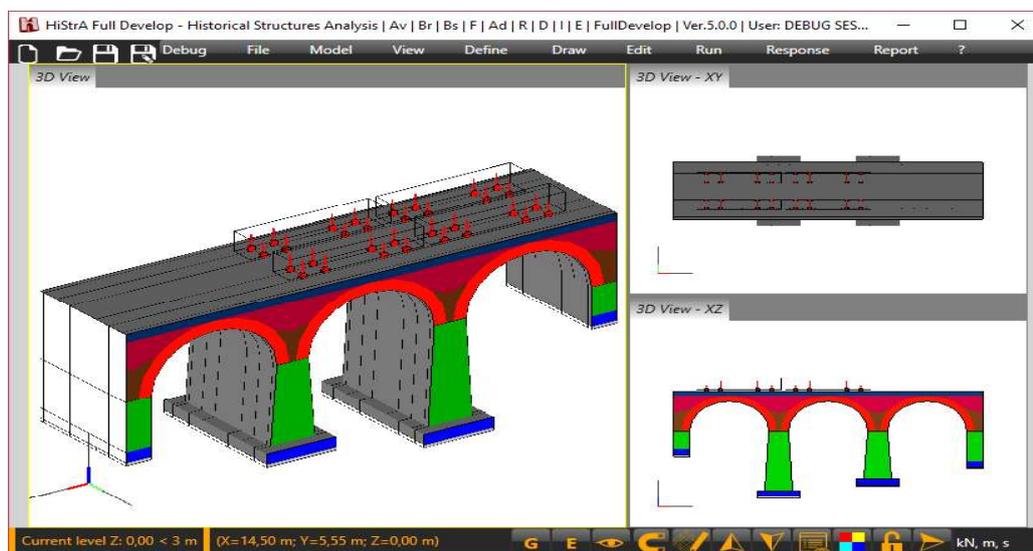


Figura 5.50 – Modellazione mediante carichi concentrati (Vehicle Load)

### 5.3.12 Definizione dei carichi per ponti stradali

Con particolare riferimento ai ponti stradali, il software HISTRA BRIDGES consente di definire i modelli di carico previsti dalle NTC2018.

I carichi su ponti stradali possono essere definiti come:

- **Vehicle Load**, che consente di simulare carichi veicolari concentrati su due assi in tandem, applicati secondo le disposizioni di normativa (v. Figura 5.14).
- **Area Load**, che consente di simulare i carichi distribuiti su superfici di carico, così come indicato dalle norme tecniche in figura 5.1.2 e qui riportato in Figura 5.14.

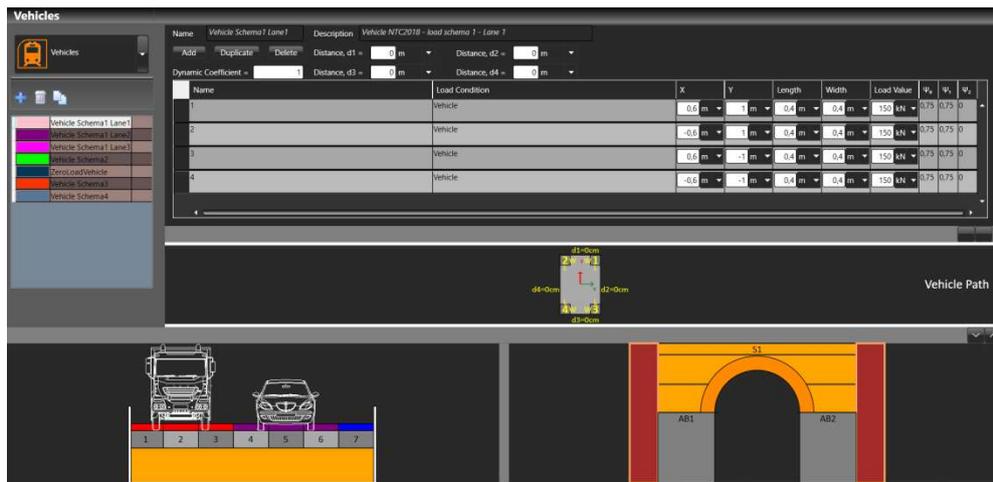


Figura 5.51 – Definizione dei carichi veicolari, modellati come carichi concentrati su due assi in tandem (Vehicle load).

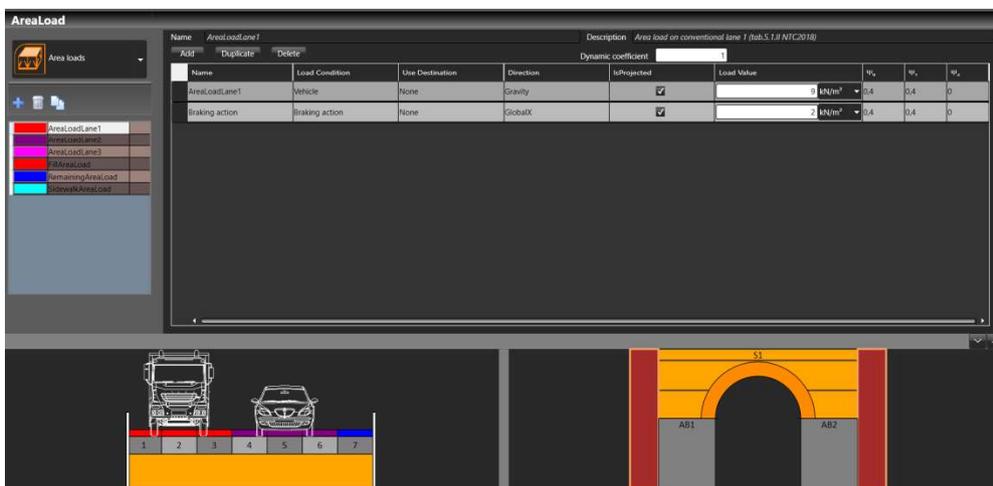


Figura 5.52 – Definizione dei carichi di area (Area load)

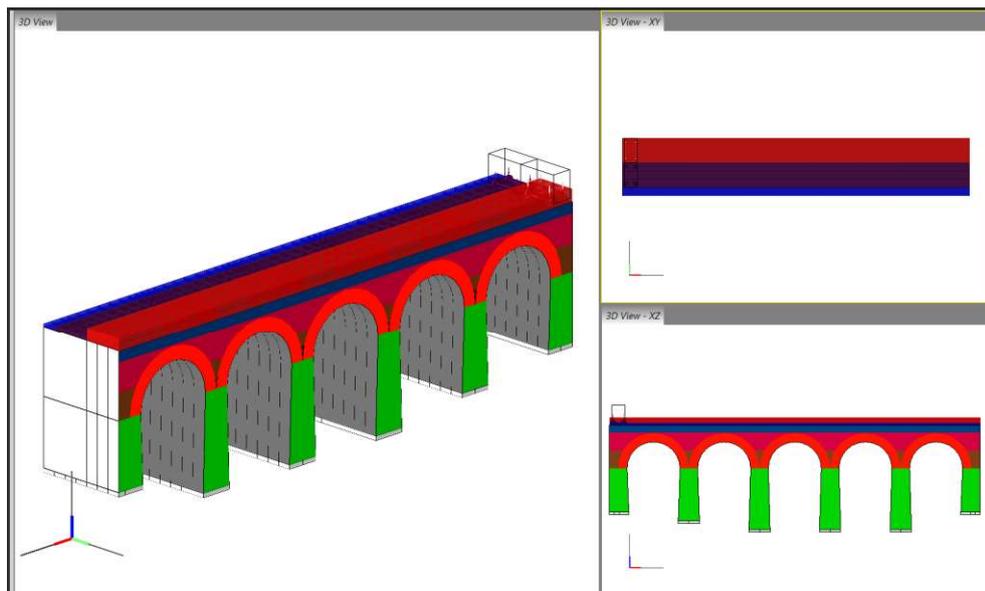
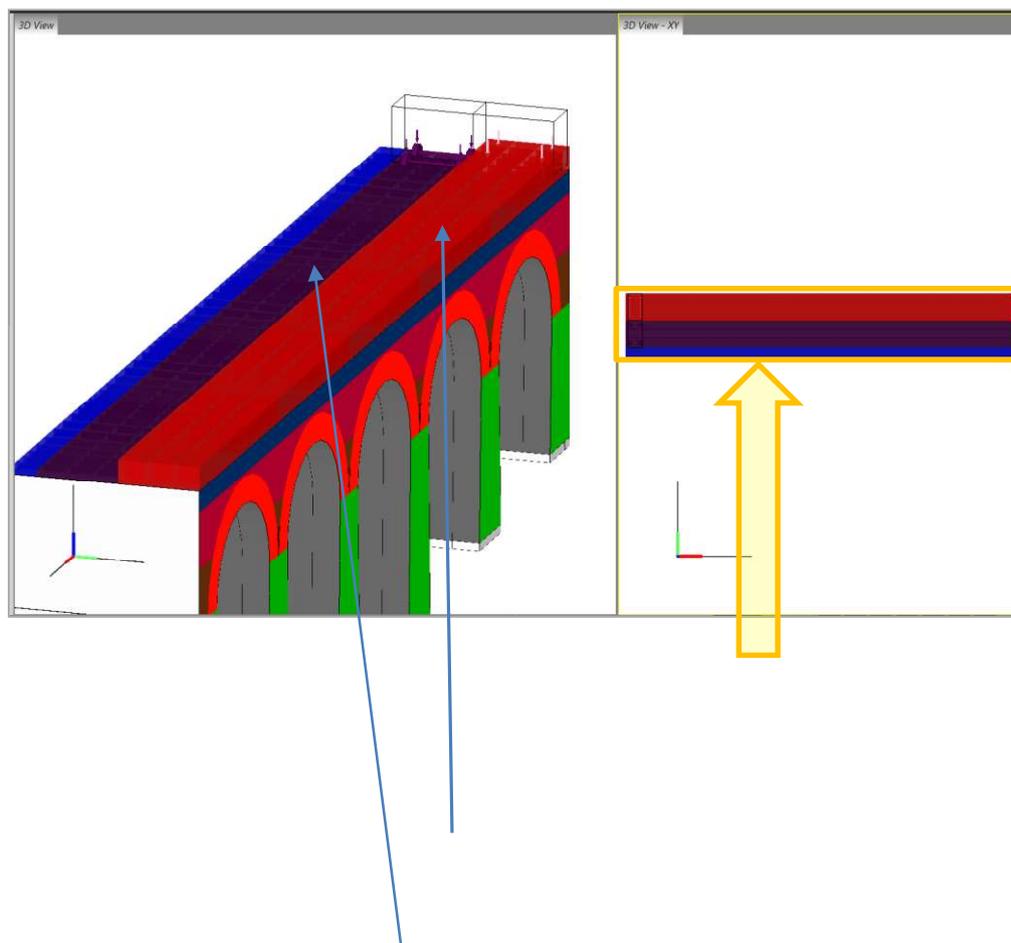


Figura 5.53 – Visualizzazione del modello 3d del ponte e dei carichi veicolari - schema 1



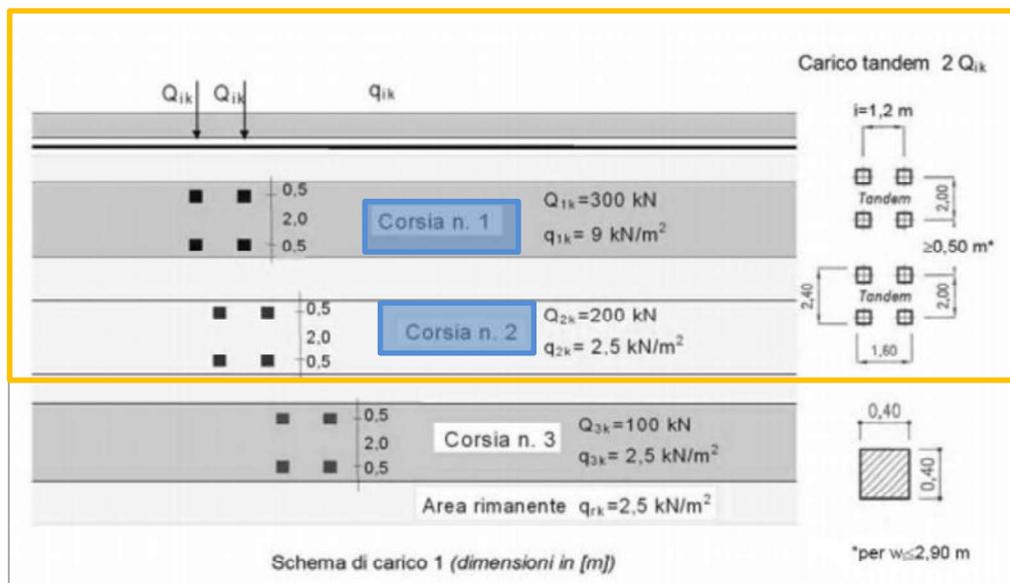


Figura 5.54 – Esempio carichi veicolari schema di carico 1 NTC2018 – figura 5.12 – Schema di carico1.

### 5.3.2 Loads > Vehicles loads

Le azioni da traffico stradale o ferroviario possono essere rappresentate mediante un set di carichi concentrati applicati in corrispondenza degli assali del veicolo secondo i modelli di carico da traffico suggeriti dalle norme (vedi Figura 5.55, Figura 5.56). Tali azioni sono definite come Vehicle Loads; i punti di applicazione delle forze concentrate sul piano stradale o ferroviario saranno individuati attraverso la definizione degli schemi di carico (vedi par. 5.4).

La finestra dei carichi Vehicles, si suddivide in tre parti:

- superiormente è possibile definire il coefficiente di amplificazione dinamico dei carichi e le dimensioni aggiuntive di ingombro del veicolo oltre la sagoma, di forma rettangolare, che inscrive i carichi concentrati. Tali distanze sono utili per la corretta applicazione dei carichi concentrati sul piano estradossale del ponte;
- al centro è presente una tabella attraverso cui è possibile definire le azioni concentrate trasmesse dal veicolo al piano stradale (v. Figura 5.46).
- inferiormente è rappresentata un'anteprima delle azioni concentrate definite nonché la sagoma del veicolo di forma rettangolare;

Le distanze  $d_1, d_2, d_3, d_4$  rappresentano rispettivamente le distanze della sagoma del veicolo, dal rettangolo che circoscrive le aree di carico.

Le colonne della tabella consentono di specificare, per area di carico elementare, le coordinate della ruota, le dimensioni dell'area di impronta (larghezza e lunghezza) e l'intensità del carico, oltre ai coefficienti di combinazione secondo la normativa adottata. In particolare si fa riferimento alle NTC 2018 e agli Schemi di carico specificati al par. 5.13.3.3 e riportati in figura 5.12 (v. Figura 5.55 ) delle stesse NTC 2018.

- **Name:** il nome della voce di carico elementare (Ruota N).
- **Load Condition:** è necessario indicare la condizione di carico corrispondente alla voce di carico che si sta definendo, ad esempio permanente, variabile, veicolare, carico laterale, serpeggio, etc....
- **X e Y:** coordinate locali che individuano la posizione del baricentro delle ruote del veicolo, rispetto al centro del veicolo stesso.
- **Lenght:** lunghezza dell'area di impronta della ruota. Nel caso di carichi ferroviari, questo valore va posto pari a zero.
- **Width:** larghezza dell'area di impronta della ruota. Nel caso di carichi ferroviari, questo valore va posto pari a zero.
- **Load Value:** è il valore dell'intensità del carico espresso nell'unità di misura selezionate dall'apposito menu a tendina. Se il carico è di tipo "variabile" di default viene inserita l'intensità secondo la normativa italiana in base alla destinazione d'uso della struttura. È possibile modificare tale valore, secondo le scelte del progettista .
- **Coefficienti di combinazione  $\psi_0, \psi_1, \psi_2$ :** visualizza i coefficienti di combinazione del carico secondo la normativa italiana NTC 2008 (per i carichi veicolari stradali si fa riferimento alla tabella 5.1.VI, mentre per i carichi veicolari ferroviari, si fa riferimento alle UIC700). Cliccando sui valori è possibile editare tali coefficienti.

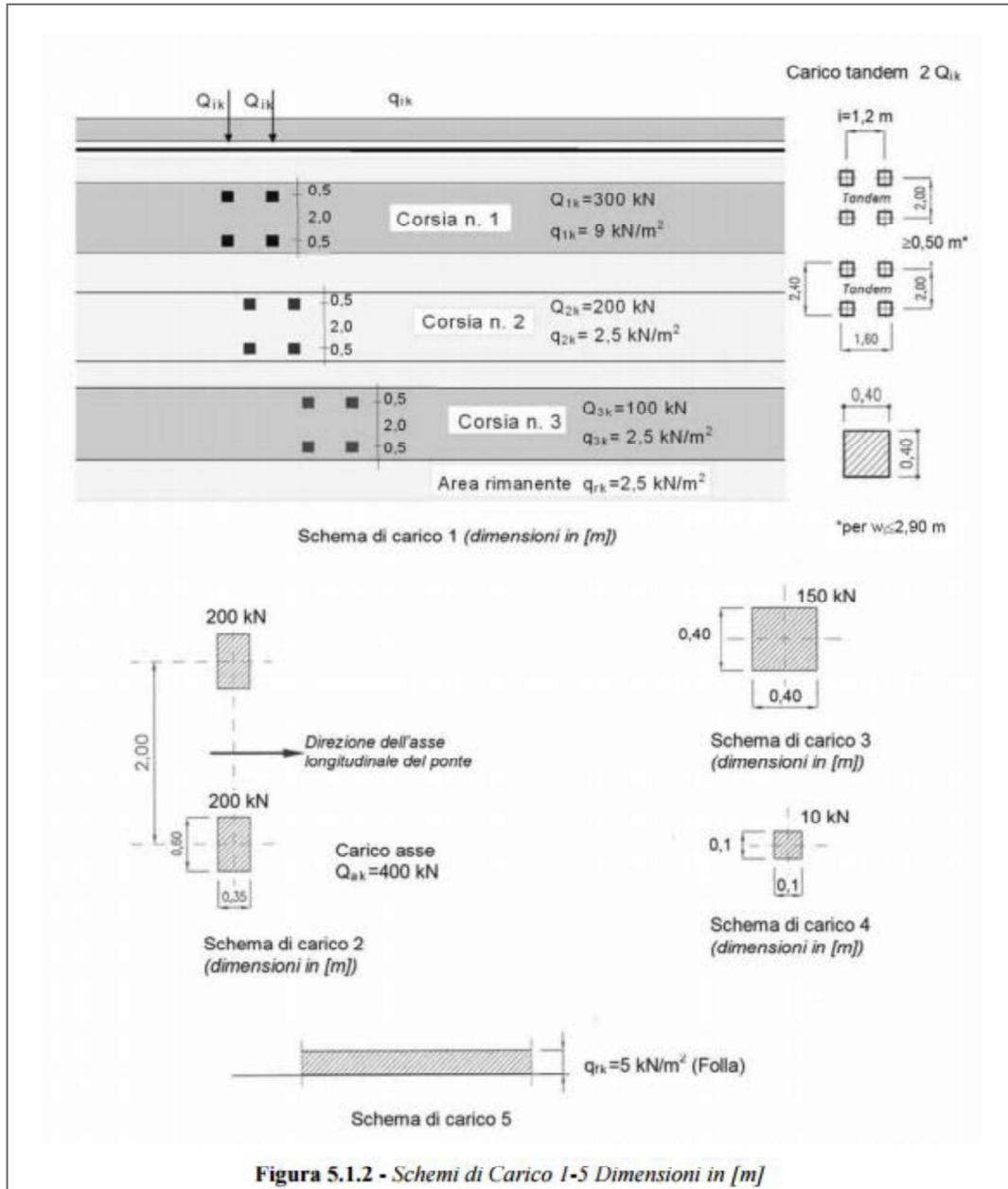


Figura 5.55 - Schemi di carico veicolari secondo le NTC 2018

Category	Mass per axle	Mass per unit length	Geometrical characteristics
<b>A</b>	P = 16 t	p = 5,0 t/m	
<b>B1</b>	P = 18 t	p = 5,0 t/m	
<b>B2</b>	P = 18 t	p = 6,4 t/m	
<b>C2</b>	P = 20 t	p = 6,4 t/m	
<b>C3</b>	P = 20 t	p = 7,2 t/m	
<b>C4</b>	P = 20 t	p = 8,0 t/m	
<b>D2</b>	P = 22,5 t	p = 6,4 t/m	
<b>D3</b>	P = 22,5 t	p = 7,2 t/m	
<b>D4</b>	P = 22,5 t	p = 8,0 t/m	
<b>E4</b>	P = 25 t	p = 8,0 t/m	
<b>E5</b>	P = 25 t	p = 8,8 t/m	

Figura 5.56 - Schemi di carico ferroviario secondo le UIC 700.

### 5.3.3 Loads > Area loads

La schermata dei carichi di area, è costituita da una tabella ove ciascuna riga consente l’inserimento di una distinta voce di carico elementare (peso proprio, variabile, etc...) associata ad una condizione di carico. Le colonne della tabella consentono di specificare, per ogni voce di carico elementare, l’intensità del carico, direzione, tipo ed i coefficienti di combinazione per carichi variabili, secondo la normativa adottata:

- **Name:** il nome della voce di carico elementare (Ballast, Marciapiedi, etc...).
- **Load Condition:** è necessario indicare la condizione di carico elementare tra quelle predefinite (“permanente”, “variabile”, etc.).

- **Use Destination:** nel solo caso in cui sia stato selezionato “variabile” nella colonna Load condition, è necessario indicare la destinazione d’uso della struttura modellata. Ciò consente l’attribuzione automatica dei coefficienti di combinazione, secondo la normativa italiana, che l’utente può comunque modificare, cliccando nell’apposita casella o selezionando la voce “User”.
- **Type Load:** tipo di carico.
- **Direction:** consente di selezionare la direzione di applicazione del carico.
- **Is Projected:** se attivo, considera l’area di carico agente pari alla proiezione dell’area di carico sul piano orizzontale di riferimento globale xy. Questo comando è efficace nei casi in cui la superficie dell’elemento computazionale (quad) su cui viene applicato il carico di area è inclinata rispetto al piano orizzontale.
- **Load Value:** è il valore dell’intensità del carico espresso nell’unità di misura selezionate dall’apposito menu a tendina. Se il carico è di tipo “variabile” di default viene inserita l’intensità secondo la normativa italiana in base alla destinazione d’uso della struttura. È possibile modificare tale valore, secondo le scelte del progettista. La forza di frenamento (*Braking action*) su ponti stradali va valutata dall’utente secondo le indicazioni di normativa di cui al par. 5.1.3.5 delle NTC2018, equazione [5.1.4] e ridistribuita sulla corrispondente superficie.
- **Coefficienti di combinazione  $\psi_0, \psi_1, \psi_2$ :** visualizza i coefficienti di combinazione del carico secondo la normativa italiana. Cliccando sui valori è possibile editare tali coefficienti.

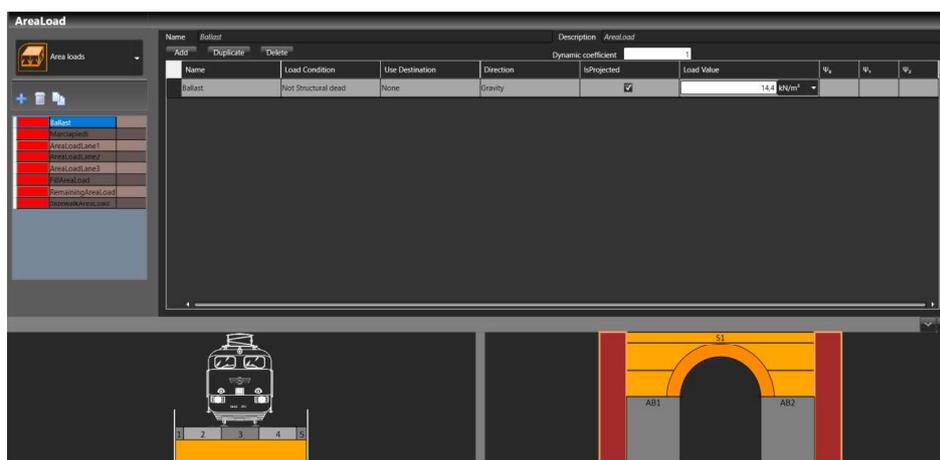


Figura 5.57 – Definizione dei Carichi di Area – Area Loads – Esempio carico di area per ponti ferroviari.

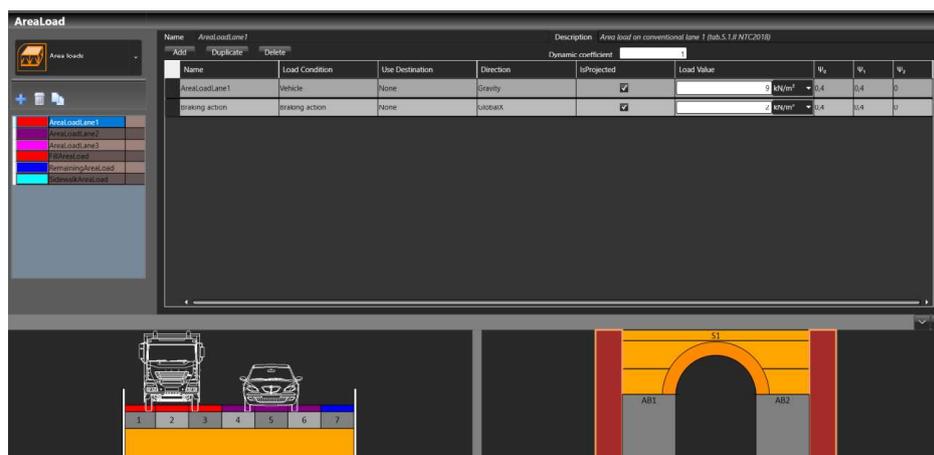


Figura 5.58 – Definizione dei Carichi di Area – Area Loads – Esempio carico veicolare e azione frenante su ponti stradali.

### 5.3.4 Loads > Line loads

Analogamente a quanto esposto superiormente per i carichi di area, è possibile definire i carichi di linea da assegnare alle linee passanti tra due nodi del modello, inserendo: nome e descrizione facoltativa del carico, condizione di carico ed eventuale destinazione d'uso, se si sta definendo un carico variabile, direzione, intensità del carico, oltre ai coefficienti di combinazione.

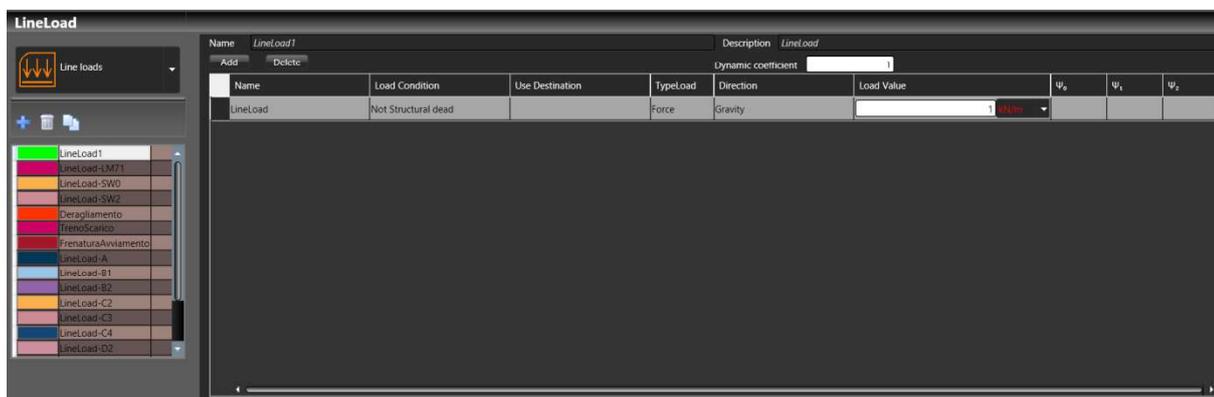


Figura 5.59 - Definizione dei Carichi di Linea - Line Loads

- **Name:** il nome della voce di carico elementare (LineLoadN, Deragliamento, TrenoScarico, etc..).
- **Load Condition:** è necessario indicare la condizione di carico elementare tra quelle predefinite ("permanente", "variabile", etc.).
- **Use Destination:** nel solo caso in cui sia stato selezionato "variabile" nella colonna Load condition, è necessario indicare la destinazione d'uso della struttura modellata. Ciò consente l'attribuzione automatica dei coefficienti di combinazione, secondo la normativa italiana, che l'utente può comunque modificare, cliccando nell'apposita casella o selezionando la voce "User".
- **Type Load:** tipo di carico
- **Direction:** consente di selezionare la direzione di applicazione del carico.
- **Load Value:** è il valore dell'intensità del carico espresso nell'unità di misura selezionate dall'apposito menu a tendina. Se il carico è di tipo "variabile" di default viene inserita l'intensità secondo la normativa italiana in base alla destinazione d'uso della struttura. È possibile modificare tale valore, secondo le scelte del progettista.
- **Coefficienti di combinazione  $\psi_0, \psi_1, \psi_2$ :** visualizza i coefficienti di combinazione del carico secondo la normativa italiana. Cliccando sui valori è possibile editare tali coefficienti.

### 5.3.5 Loads > Point loads

E' possibile definire i carichi di punto, da assegnare in corrispondenza di un nodo del modello, inserendo: nome e descrizione facoltativa del carico, condizione di carico ed eventuale destinazione d'uso, se si sta definendo un carico variabile, direzione, intensità del carico, oltre ai coefficienti di combinazione.

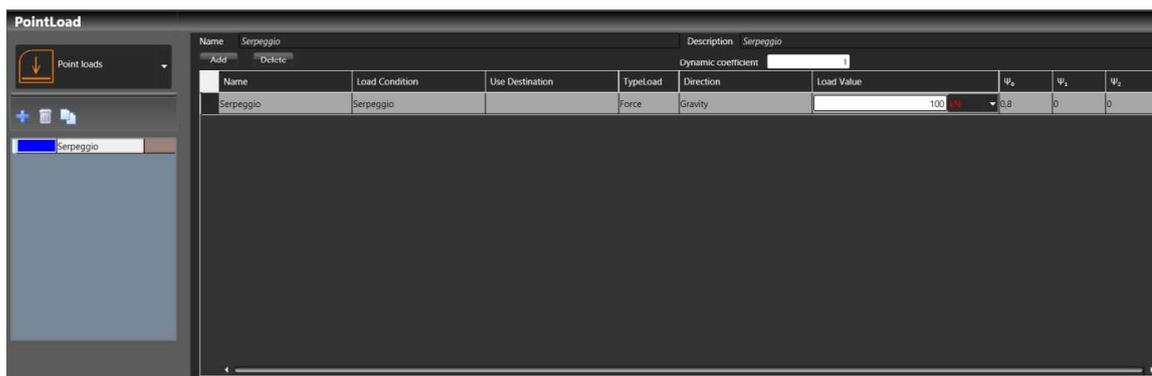


Figura 5.60 – Definizione dei Carichi di Punto - Point Loads

- **Name:** il nome della voce di carico elementare.
- **Load Condition:** è necessario indicare la condizione di carico elementare tra quelle predefinite (ad esempio il serpeggio, nei casi di carichi ferroviari).
- **Use Destination:** nel solo caso in cui sia stato selezionato “variabile” nella colonna Load condition, è necessario indicare la destinazione d’uso della struttura modellata. Ciò consente l’attribuzione automatica dei coefficienti di combinazione, secondo la normativa italiana, che l’utente può comunque modificare, cliccando nell’apposita casella o selezionando la voce “User”.
- **Type Load:** tipo di carico
- **Direction:** consente di selezionare la direzione di applicazione del carico.
- **Load Value:** è il valore dell’intensità del carico espresso nell’unità di misura selezionate dall’apposito menu a tendina. Se il carico è di tipo “variabile” di default viene inserita l’intensità secondo la normativa italiana in base alla destinazione d’uso della struttura. È possibile modificare tale valore, secondo le scelte del progettista.
- **Coefficienti di combinazione  $\Psi_0, \Psi_1, \Psi_2$ :** visualizza i coefficienti di combinazione del carico secondo la normativa italiana. Cliccando sui valori è possibile editare tali coefficienti.

La definizione dei carichi viene eseguita specificando: nome e descrizione facoltativa del carico, condizione di carico ed eventuale destinazione d’uso se si definisce un carico variabile, direzione, intensità attraverso il peso specifico (la geometria del carico, che è l’altro parametro per determinare l’intensità finale del carico, dipenderà dalla specifica assegnazione) e coefficienti di combinazione. Tuttavia in questo caso è possibile definire una sola voce di carico e non cumularle.

### 5.4 DEFINIZIONE DEGLI SCHEMI DI CARICO

Seguendo ancora la procedura guidata di input (*Wizard*) si passa alla definizione degli *Schemi di Carico*. Cliccando sul tasto *Next*, in basso a destra, infatti, si accederà al corrispondente ambiente di input, all'interno della scheda *Schema* (v. Figura 5.61).



Figura 5.61 – Definizione degli Schemi di Carico per ponte ferroviario e stradale

Gli schemi di carico individuano le condizioni di carico più gravose, in funzione delle disposizioni (o possibili posizioni) dei carichi, definiti precedentemente.

Come già visto per la definizione dei carichi, anche la finestra di definizione degli Schemi di carico presenta una struttura ricorrente e familiare in ambiente HISTRA (v. Figura 5.61). In particolare l'area è divisa in due parti.

Nella parte a destra viene visualizzata la tabella (o le tabelle) di definizione, specifica per la tipologia di elemento considerata (selezionata sulla griglia posta a sinistra).

Nella parte sinistra, invece, è presente un pannello di controllo generale, con l'elenco degli schemi di carico definiti e dei comandi di gestione degli stessi.

Con riferimento alla parte a destra della finestra, per ciascuno schema di carico, occorre definire, nella tabella in alto il carico presente su ciascuna parte del ponte (Banchina, corsia, margine, etc.), siano essi carichi mobili veicolari (*Vehicle*) o fissi (*Area Load* o *Line Load*).

Lane	Vehicle	NumVehicle	Opposite	AreaLoad	Exclude	L1	L2	LineLoad	Exclude	L1	L2
(1) Parapetto	none			none		0	0	none		0	0
(2) Margine 1	none			none		0	0	none		0	0
(3) Binario 1	ZeroLoadVehicle			none		0	0	LineLoad-D4	<input checked="" type="checkbox"/>	+inf	0
(4) Margine 2	none			none		0	0	none		0	0
(5) Parapetto	none			none		0	0	none		0	0

Figura 5.62 – Schema di carico denominato “Schema-D4” dalle UIC700, per ponti ferroviari. In azzurro evidenziati carichi di area, in giallo carichi di linea.

Lane	Vehicle	NumVehicle	Opposite	AreaLoad	Exclude	L1	L2	LineLoad	Exclude	L1	L2
(1) Lane 1 q	none			AreaLoadLane1		m	oe m	none		0 m	0 m
(2) Lane 1 Q+q	Vehicle Schema1 Lane1			AreaLoadLane1		m	oe m	none		0 m	0 m
(3) Lane 1 q	none			AreaLoadLane1		m	oe m	none		0 m	0 m
(4) Lane 2 q	none			AreaLoadLane2		m	oe m	none		0 m	0 m
(5) Lane 2 Q+q	Vehicle Schema1 Lane2			AreaLoadLane2		m	oe m	none		0 m	0 m
(6) Lane 2 q	none			AreaLoadLane2		m	oe m	none		0 m	0 m
(7) Serravalle area	none			AreaLoadLane2		m	oe m	none		0 m	0 m

Figura 5.63 – Schema di carico denominato “Schema 1” tabella 5.1.IV NTC2018 – per ponti stradali. In azzurro evidenziati carichi di area, in giallo carichi di linea.

Il nome dei “Lane” è predefinito in base alla definizione della Geometria della campata del ponte (v. la scheda Geometry cfr. par. 5.1). Il numero di righe viene quindi ereditato dalla configurazione geometrica del ponte.

Nella colonna “Vehicle” viene indicata la presenza di carico veicolare (*Vehicle load*). In assenza selezionare “none”.

“NumVehicle” è il numero di veicoli viaggianti sulla stessa linea. Assegnare un numero maggiore o uguale ad 1 equivale ad assegnare un numero finito di vagoni (tanti quanto è il numero assegnato), mentre assegnare -1 significa definire un convoglio infinito di vagoni.

L’opzione “Opposite” se selezionata consente di definire carichi viaggianti in direzioni opposta. Se questa opzione è attiva viene invertito l’ordine delle posizioni dei carichi veicolari.

Nelle colonne “Area Load” e “Line Load” viene indicata la eventuale presenza rispettivamente di carichi di area e di linea.

Selezionando il check nella colonna "Exclude", il carico di area e di linea viene escluso in corrispondenza dell'ingombro del veicolo. Pertanto non viene sovrapposto all'impronta di quest'ultimo.

L1 ed L2 rappresentano rispettivamente la lunghezza del carico di linea o di area che precede e/o che segue il carico viaggiante (se presente).

Indicare L1 o L2 pari a "+infinito" significa assegnare un carico di linea o di area che si sviluppa (prima e dopo il carico veicolare) per tutta la lunghezza del ponte. Per assegnare "infinito", digitare "i" da tastiera. Queste lunghezze possono anche essere finite.

Viceversa, porre L1 ed L2 pari a zero equivale a non considerare alcun carico aggiuntivo di linea e/o di area che preceda e/o segua il carico viaggiante o in generale che non è presente carico di linea o di area su quella porzione della sezione trasversale del ponte.

Nella tabella in basso, vengono definite le posizioni dei carichi viaggianti (Vehicle position), siano essi veicolari (per ponti stradali) o ferroviari (per ponti ferroviari), riferite a tutto lo sviluppo longitudinale del ponte.

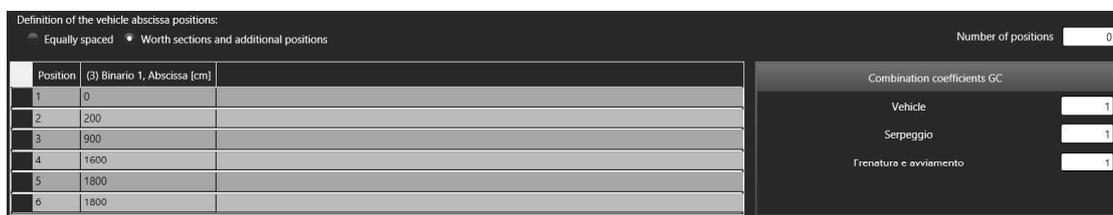


Figura 5.64 – Posizioni dei carichi viaggianti

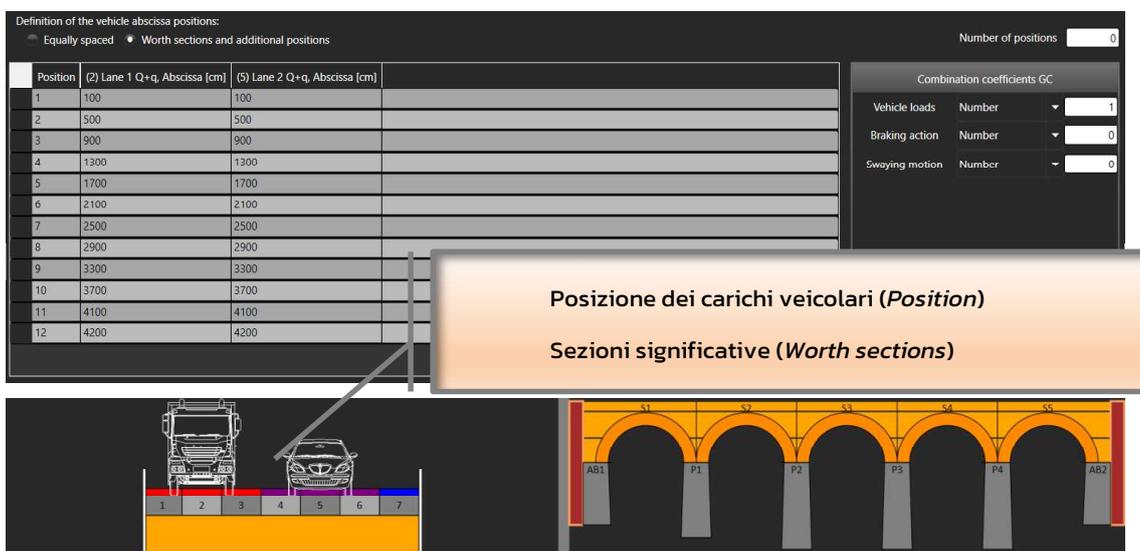


Figura 5.65 – Posizioni dei carichi viaggianti. Esempio ponte stradale.

E' possibile individuare le posizioni del carico viaggiante, seguendo due possibili modalità:

- **Equally spaced:** individua le posizioni del carico veicolare suddividendo la lunghezza globale longitudinale del ponte in segmenti ugualmente spazati. Il numero di posizioni è pari al numero indicato nella cella *Number of position*.
- **Worth sections and additional positions:** le posizioni del carico veicolare vengono individuate in corrispondenza delle sezioni significative (*worth sections*) del ponte, lungo il suo sviluppo longitudinale. Si

considerano di default le sezioni significative in corrispondenza degli appoggi (spalle e pile) e della mezzzeria delle campate. In tal caso il numero di posizioni indicato nella cella *Number of positions* individua il numero di posizioni aggiuntive, che verranno inserite all'interno di ciascun segmento, individuato da due successive sezioni significative. Il numero di posizioni aggiuntive proposte di default è pari a zero (v. campo *Additional number of position*).

Nella tabella "*Vehicle Position*" vengono create tante righe quante sono le possibili posizioni del carico viaggiante, e per ciascun carico vengono riportate le corrispondenti ascisse, lungo l'asse longitudinale del ponte, espresse in cm.

Infine, nella sezione *Combination coefficients GC* vengono riportati i coefficienti di combinazione dei Gruppi di Carico, inerenti la simultaneità delle azioni da traffico combinate in gruppi di carico, così come definiti dalle NTC 2018 in Tabella 5.1.VI, per quanto riguarda i ponti stradali, e dalle Tabella 5.2.III delle NTC2018 e Norme UIC700, per quanto riguarda i ponti ferroviari.

**Tab. 5.1.VI - Coefficienti  $\psi$  per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali**

Azioni	Gruppo di azioni (Tab. 5.1.IV)	Coefficiente $\psi_0$ di combinazione	Coefficiente $\psi_1$ (valori frequenti)	Coefficiente $\psi_2$ (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tab. 5.1.IV)	Schema 1 (carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	--	0,75	0,0
	5	0,0	0,0	0,0
Vento	a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	in esecuzione	0,8	0,0	0,0
	a ponte carico SLU e SLE	0,6	0,0	0,0
Neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	in esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	SLU e SLE	0,6	0,6	0,5

Figura 5.66 – Coefficienti relativi ai carichi variabili per ponti stradali e pedonali, secondo D.M.17/01/2018.

**Tabella 5.2.III - Carichi mobili in funzione del numero di binari presenti sul ponte**

Numero di binari	Binari Carichi	Traffico normale		Traffico pesante <sup>(2)</sup>
		caso a <sup>(1)</sup>	caso b <sup>(1)</sup>	
1	Primo	1,0 (LM 71 <sup>++</sup> SW/0 <sup>++</sup> )	-	1,0 SW/2
2	Primo	1,0 (LM 71 <sup>++</sup> SW/0 <sup>++</sup> )	-	1,0 SW/2
	secondo	1,0 (LM 71 <sup>++</sup> SW/0 <sup>++</sup> )	-	1,0 (LM 71 <sup>++</sup> SW/0 <sup>++</sup> )
≥ 3	Primo	1,0 (LM 71 <sup>++</sup> SW/0 <sup>++</sup> )	0,75 (LM 71 <sup>++</sup> SW/0 <sup>++</sup> )	1,0 SW/2
	secondo	1,0 (LM 71 <sup>++</sup> SW/0 <sup>++</sup> )	0,75 (LM 71 <sup>++</sup> SW/0 <sup>++</sup> )	1,0 (LM 71 <sup>++</sup> SW/0 <sup>++</sup> )
	Altri	-	0,75 (LM 71 <sup>++</sup> SW/0 <sup>++</sup> )	-

<sup>(1)</sup> LM71 “+” SW/0 significa considerare il più sfavorevole fra i treni LM 71, SW/0

<sup>(2)</sup> Salvo i casi in cui sia esplicitamente escluso

**Figura 5.67 – Coefficienti relativi ai carichi mobili in funzione di binari presenti sul ponte ferroviario, secondo D.M.17/01/2018**

**Tabella 5.2.IV - Valutazione dei carichi da traffico**

TIPO DI CARICO	Azioni verticali		Azioni orizzontali			Commenti
	Carico verticale (1)	Treno scarico	Frenatura e avviamento	Centrifuga	Serpeggio	
<b>Gruppo 1 (2)</b>	1,00	-	0,5 (0,0)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	massima azione verticale e laterale
<b>Gruppo 2 (2)</b>	-	1,00	0,00	1,0 (0,0)	1,0(0,0)	stabilità laterale
<b>Gruppo 3 (2)</b>	1,0 (0,5)	-	1,00	0,5 (0,0)	0,5 (0,0)	massima azione longitudinale
<b>Gruppo 4</b>	0,8 (0,6; 0,4)	-	0,8 (0,6; 0,4)	0,8 (0,6; 0,4)	0,8 (0,6; 0,4)	fessurazione

Azione dominante  
<sup>(1)</sup> Includendo tutti i fattori ad essi relativi (Φ,α, ecc...)  
<sup>(2)</sup> La simultaneità di due o tre valori caratteristici interi (assunzione di diversi coefficienti pari ad 1), sebbene improbabile, è stata considerata come semplificazione per i gruppi di carico 1, 2, 3 senza che ciò abbia significative conseguenze progettuali.

**Figura 5.68 – Coefficienti relativi alla simultaneità delle azioni da traffico combinate in gruppi di carico secondo D.M.17/01/2018 (Ponti ferroviari).**

Tipo di carico	Verticale		Orizzontale			Commento
	Convogli	Treno scarico	Centrifuga	Serpeggio	Frenatura ed avviamento	
GC1	1	-	1 (0.0)	1 (0.0)	0.5 (0.0)	Massima azione laterale e verticale
GC2	-	1	1 (0.0)	0.5 (0.0)	0.0	Stabilità laterale
GC3	1 (0.7)	-	0.5 (0.0)	0.5 (0.0)	1	Massima azione longitudinale
GC4	0.8	-	1	1 (0.0)	0.5 (0.0)	Massima azione laterale
GC5	0.5	-	0.5 (0.0)	1	0.5 (0.0)	Effetti locali laterali
GC5	0.8 (0.6; 0.4)	-	0.8 (0.6; 0.4)	0.8 (0.6; 0.4)	0.8 (0.6; 0.4)	fessurazione

Tabella 4.2 Gruppi di carico che definiscono le azioni contemporanee su un ponte ferroviario: coefficienti di combinazione per azioni indotte dai convogli

**Figura 5.69 – Coefficienti relativi alla simultaneità delle azioni da traffico combinate in gruppi di carico secondo UIC700 (Ponti ferroviari)**

### 5.5 DEFINIZIONE E ASSEGNAZIONE DELLE COMBINAZIONE DI CARICO ANALISI

Nella finestra *Analysis* (v. Figura 5.70), accessibile proseguendo con la procedura guidata (Wizard), è possibile definire le Analisi, assegnando a ciascuna combinazione (Paragrafo 1217.4.4) (Statica e Sismica), selezionata dal menu a tendina, il corrispondente Schema di Carico. Lo schema di carico viene assegnato, selezionandoli mediante il menu a tendina tra quelli precedentemente definiti. In HISTRA BRIDGES le analisi vengono definite automaticamente, per ponti ferroviari e stradali. In HISTRA Arches and Vaults la combinazione di carico può essere assegnata all'analisi mediante il menù Define → Analysis (vd. par. 7.4.5)

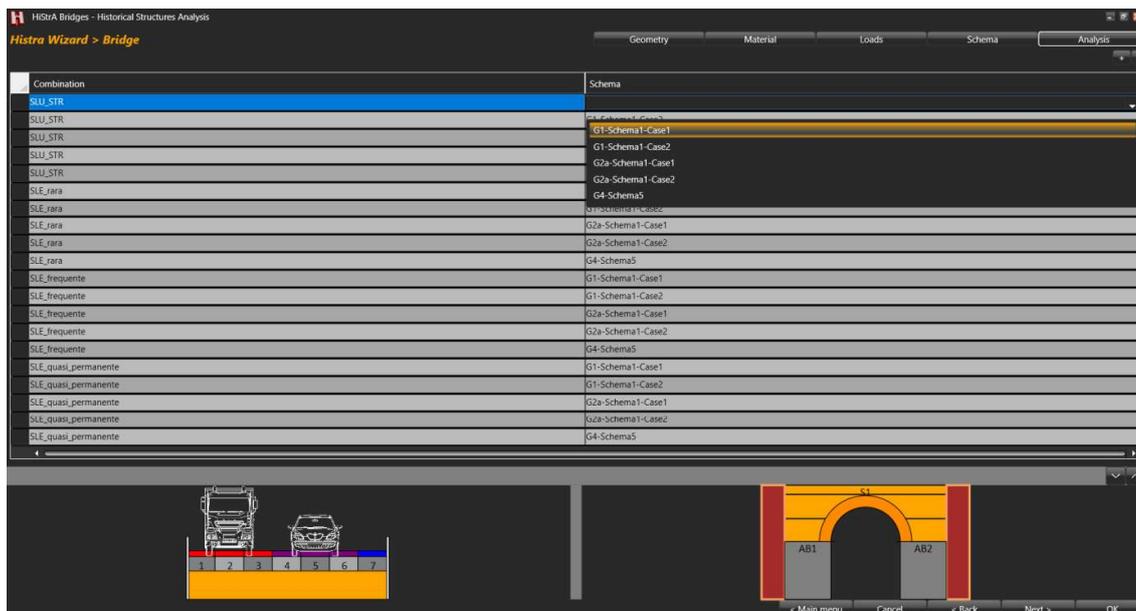


Figura 5.70 – Definizione delle combinazioni di carico nelle Analisi – HISTRA BRIDGES

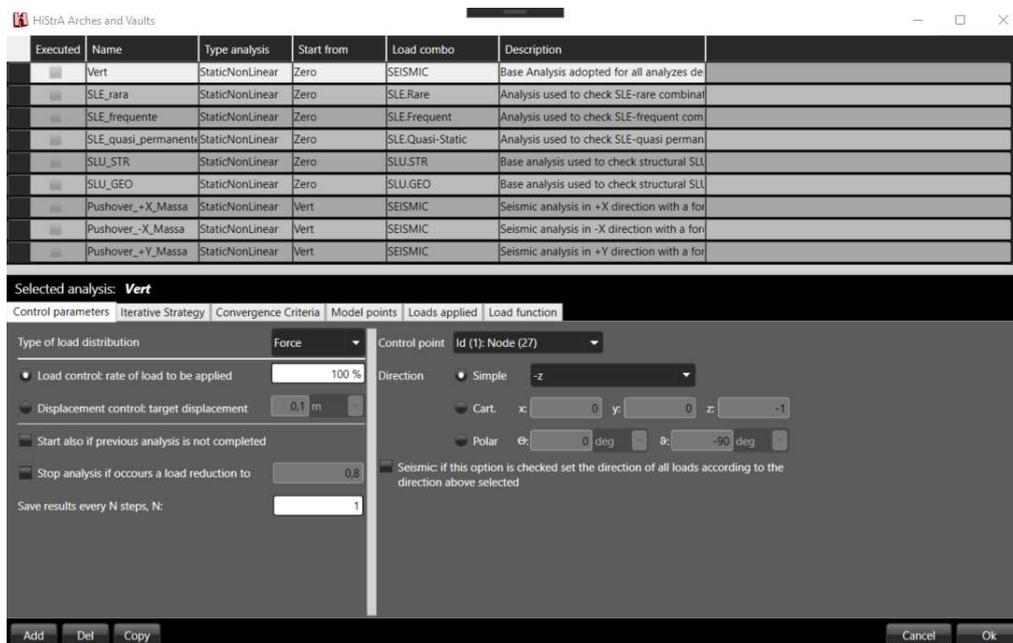


Figura 5.71 – Definizione delle combinazioni di carico nelle Analisi – HISTRA Arches and Vaults

## 6 AREA DI LAVORO

L'interfaccia utente è semplice ed intuitiva e consente un'agevole visualizzazione ed analisi dei modelli strutturali anche più complessi ed articolati. Pertanto i manuali messi a disposizione costituiscono un utile, indispensabile supporto, per l'utilizzo del software. Con questa interfaccia HISTRA si propone agli utenti per effettuare analisi immediate e con una reportistica ricca di contenuti, utili per poter formulare motivate valutazioni sull'effettivo comportamento strutturale dei ponti in muratura.

**L'area di lavoro principale** (v. Figura 6.1), che è la finestra di apertura del programma, è quella nell'ambito della quale possono essere gestite la visualizzazione e le opzioni del modello. Si suddivide nelle seguenti parti:

- **Menu principale** (cfr. § 6.2), posto superiormente alla finestra centrale;
- **Menu comandi rapidi** (cfr. § 6.3), posto in alto sulla sinistra della schermata principale;
- **Finestra centrale**, per la vista del modello 3D;
- **Barra delle informazioni** (cfr. § 6.4), posta in basso alla finestra centrale;
- **Finestra delle proprietà del modello** (cfr. § 6.5), posta sulla destra della schermata principale.

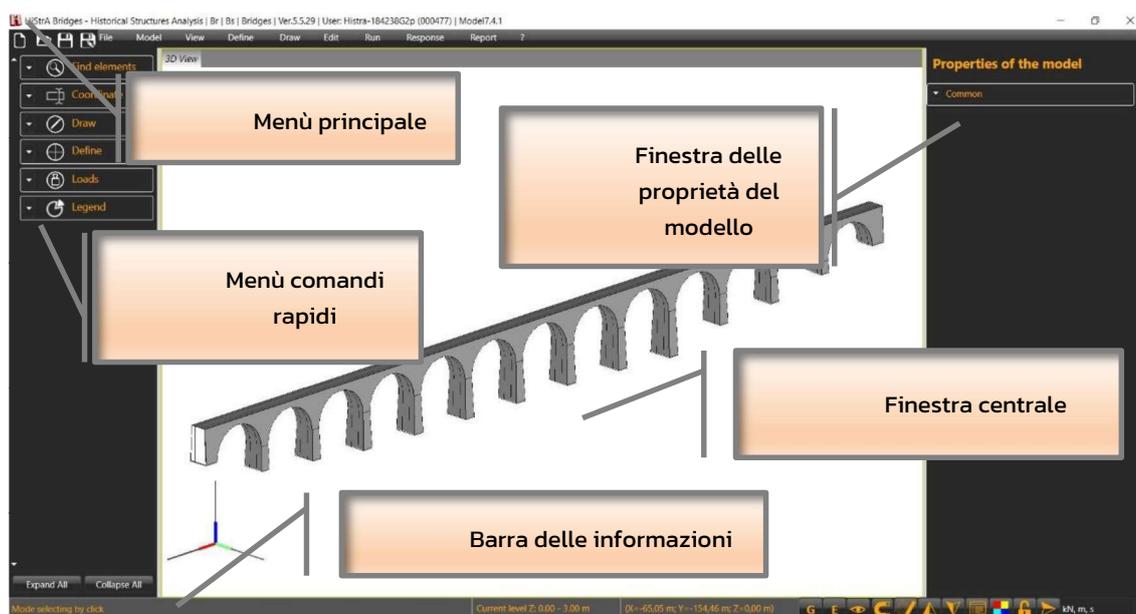


Figura 6.1 - Interfaccia utente - Schermata principale del programma

Al fine di lavorare con maggiore efficacia è utile conoscere le principali modalità di lavoro nell'area di lavoro principale. In particolare:

- **Tasto sinistro del mouse:** serve per selezionare elementi quando non si è attivato nessun comando, o per eseguire le operazioni di un comando se si è fatto accesso ad un comando;
- **Selezione a finestra,** in maniera analoga con quando avviene nei software CAD se la finestra va da sinistra a destra vengono selezionati tutti gli elementi completamente compresi nella finestra, altrimenti vengono selezionati tutti gli elementi che anche parzialmente ricadono nella finestra;
- **Tasto destro,** se non si ha niente in selezione ripete l'ultimo comando altrimenti accede al menu contestuale dell'elemento in selezione (cfr. § 6.1);
- **Tasto destro con pressione prolungata,** accede al comando orbita che consente di ruotare il modello;

- **Tasto shift**, la pressione prolungata di questo tasto consente di accedere alla possibilità di selezionare più elementi cliccando col tasto sinistro sui diversi elementi che si vogliono aggiungere alla selezione.
- **Combinazione di tasti Alt+c**, consente di passare dalla vista del modello computazionale a quella del modello geometrico e viceversa (cfr. § 7.3.2)
- **Tasto Canc**, cancella gli elementi in selezione
- **Tasto Esc**, consente di uscire dalla modalità del comando corrente

## 6.1 MENU CONTESTUALE

Il menu contestuale consente di accedere ad alcune funzionalità utili per operare direttamente sugli elementi in selezione. Per accedere al menu contestuale basta cliccare col tasto destro nella finestra principale, sugli elementi in selezione. La lista dei comandi cui si può accedere è funzione dell'elemento/i in selezione.

Il menu dei comandi comprende una parte comune a tutte le tipologie di elementi e una parte specifica. Se in selezione sono presenti elementi appartenenti a diverse tipologie, quando si opera con i comandi generali, questi saranno applicati a tutti gli elementi in selezione; se si accede al sottomenu specifico di una certa tipologia quei comandi saranno validi solo per gli elementi di tale tipologia.

I comandi generali, indipendenti dalla tipologia di elemento, sono:

- **Set this element as view target**: imposta l'elemento corrente come punto di vista target
- **Show all / only selected elements**: consente di visualizzare tutto il modello o solo l'elemento selezionato (cfr. § 7.3.3);
- **Invert visibility**: nasconde gli elementi visibili e mostra quelli nascosti nella vista corrente (cfr. § 7.3.8);
- **Save as image**: salva come immagine la vista corrente;
- **Show / Hide selected elements**: mostra / nasconde gli elementi in selezione (cfr. § 7.3.4 e § 7.3.6);
- **Deselect**: consente di deselezionare gli elementi ed è equivalente a premere il tasto Esc;
- **Add selected elements to group**: aggiunge l'elemento selezionato a un gruppo;
- **Copy selected objects**: consente di copiare tutti gli oggetti in selezione;
- **Delete all selected objects**: consente di eliminare tutti gli oggetti in selezione ed è equivalente a premere il tasto Canc.

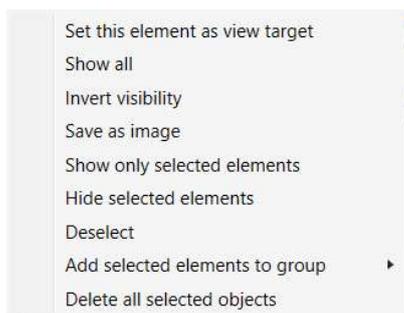


Figura 6.2 – Menu contestuale – comandi generali

Alcuni dei comandi sono disponibili solo a calcolo eseguito e servono per accedere ai dati di output. Inoltre, in base all'elemento selezionato sono disponibili dei comandi più specifici, quali ad esempio:

- **Apply area/line/point load**: consente di applicare un carico di area, di linea o di punto all'elemento selezionato (cfr. § 7.4.2);

- **Apply material:** consente di applicare un materiale tra quelli già definiti (per la definizione cfr. S5.3);
- **Internal Constraint:** consente di applicare o rimuovere vincoli all'elemento computazionale selezionato.

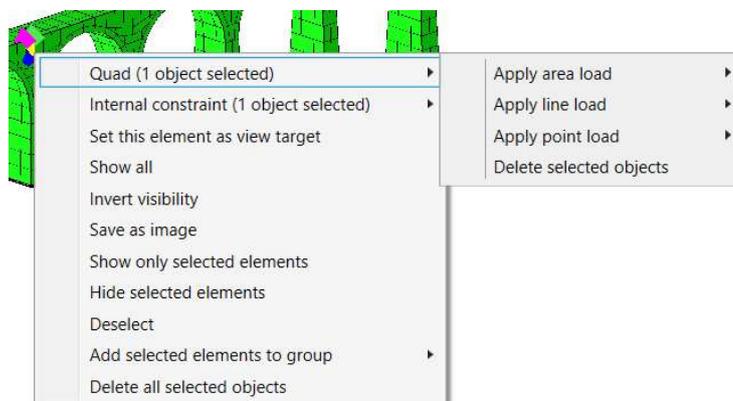


Figura 6.3 – Menu contestuale – Quad

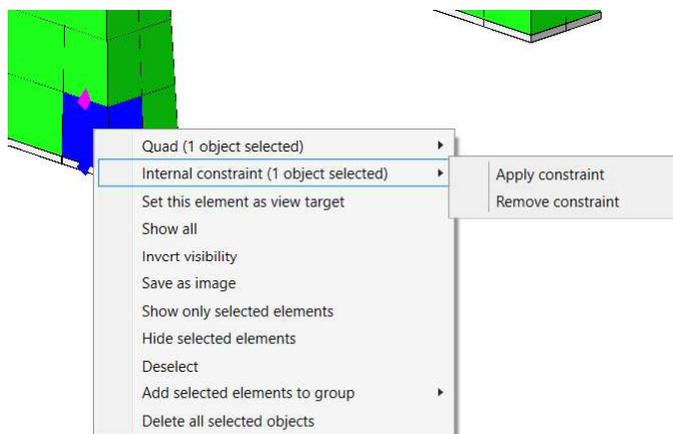


Figura 6.4 – Menu contestuale – Internal Constraint – Applica o rimuovi

## 6.2 MENU PRINCIPALE

Il menu principale, posto in alto, è il menu di controllo e di comando del programma. È costituito dai seguenti menu a tendina:

- File (cfr. S 7.1);
- Model (cfr. S 7.2);
- View (cfr. S 7.3);
- Define (cfr. S 7.4);
- Edit
- Run (cfr. S 7.7)
- Response (cfr. S 7.8);
- Report (cfr. S 7.9);
- ? – Help (cfr. S 7.10)

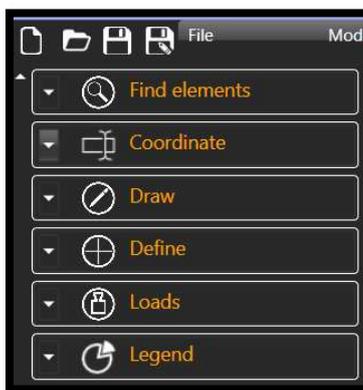
Dai singoli menu è possibile accedere alle singole funzioni e finestre di comando, descritte specificatamente nel successivo capitolo.



Figura 6.5 – Voci del Menu principale

### 6.3 MENU COMANDI RAPIDI

Questo menu contiene i comandi che l'utente si troverà ad utilizzare con maggiore frequenza. E' possibile infatti accedere agli strumenti di disegno, ai comandi per l'assegnazione e modifica delle proprietà e al menu di output della risposta. La maggior parte di questi comandi ha un corrispondente disponibile nel menu principale.



Il menu dei comandi rapidi è composto dai seguenti gruppi. Per espandere e vedere i contenuti cliccare sul corrispondente comando

- Find elements
- Coordinate
- Draw
- Define
- Loads
- Legend

#### COMANDO

#### DESCRIZIONE

##### **Barra comandi rapidi**



Nuovo: Apre un file nuovo su cui modellare nuovi elementi strutturali (cfr. S7.1.1)



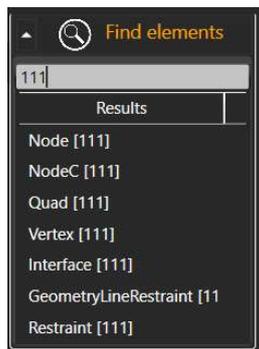
Apri: Apre un file esistente precedentemente salvato (cfr. S7.1.2)



Save: Aggiorna il modello con le modifiche apportate e salva i dati su file (cfr. S7.1.4)



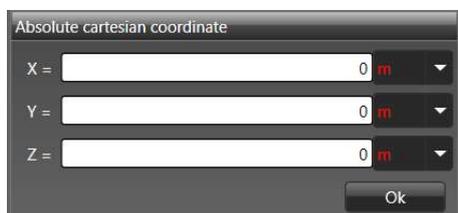
**Find elements**



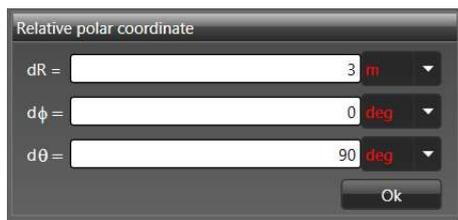
Digitando nell'apposito campo è possibile trovare elementi computazionali nel modello.



**Coordinate**



*Absolute cartesian / polar coordinate:* consente di indicare le coordinate nel sistema di riferimento globale (cartesiane o polari), di un punto che si vuole inserire.



*Relative cartesian/polar coordinate:* consente di indicare le coordinate relative (cartesiane o polari), di un punto che si vuole inserire.



**Draw**



*Draw Truss:* permette di modellare elementi catena



*Draw opening:* permette di modellare una finestra all'interno di un pannello in muratura



*Draw ground beam:* permette di modellare una trave di fondazione



**Define**

*Edit Bridge:* consente di accedere alla procedura guidata di input per modificare le caratteristiche geometriche del ponte (disponibile per HISTRA BRIDGES)



*Masonry Material:* permette di accedere alla schermata di definizione dei materiali muratura (cfr. §5.2.1)



*Steel Material:* permette di accedere alla schermata di definizione dei materiali acciaio (cfr. §5.2.2)



*Area Loads:* consente di accedere alla schermata di definizione dei carichi di area (cfr. §5.3.3)



*Line Loads:* consente di accedere alla schermata carichi di linea (cfr. §5.3.4)



*Point Loads:* consente di accedere alla schermata carichi di punto (cfr. §5.3.5)



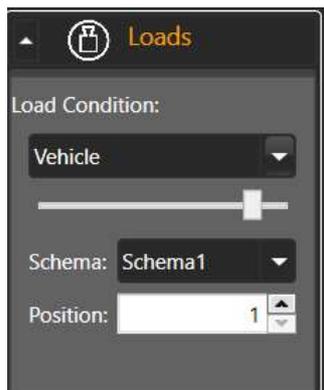
*Geotechnical Materials:* consente di definire materiale geotecnico (terreno) (cfr. §5.2.4)



*Vehicle Loads:* consente di definire i carichi veicolari, per ponti stradali e ferroviari. (cfr. §5.3.2).



**Loads**



**Load Condition:** Consente di filtrare la visualizzazione delle condizioni di carico e lo schema, oltre le vari posizioni nel caso di carico viaggiante. E' possibile amplificarne il fattore di scala nella rappresentazione grafica, che viene visualizzata nell'ambiente principale.



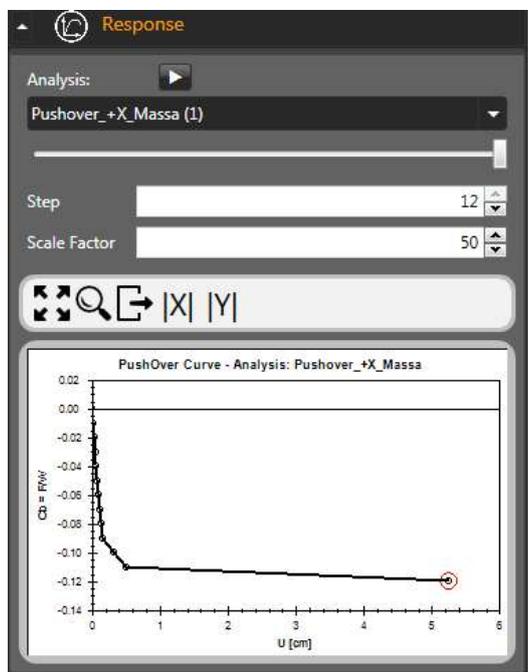
**Legend**



Di volta in volta, a seconda delle opzioni di visualizzazione selezionate, compariranno le opportune indicazioni con i colori.



**Response**



Si tratta di una serie di comandi utili per la navigazione della risposta tra le analisi e tra i diversi step. In particolare si può:

- vedere l'animazione della risposta in termini di deformata
- selezionare un'analisi tra quelle eseguite
- selezionare un passo generico tra quelli dell'analisi selezionata attraverso un cursore di avanzamento
- selezionare un passo generico tra quelli dell'analisi selezionata digitando il numero del passo desiderato
- amplificare il fattore di scala della deformata
- visualizzare un'anteprima della curva di capacità
- accedere a tutte le funzioni dei grafici (ad es. esportazione)
- selezionare un passo generico tra quelli dell'analisi selezionata cliccando sullo step corrispondente nella curva di capacità

## 6.4 BARRA DELLE INFORMAZIONI

Nella barra delle informazioni, posta in basso a sinistra della finestra principale, sono indicate alcune informazioni di carattere molto generale che è bene aver sempre presente. Da sinistra verso destra le informazioni riportate sono:



Figura 6.6 – Barra delle informazioni

- Il tipo di vista 3D del modello (cfr. § 7.3.2):
  - *Geometric Model*;
  - *Computational Model*;
- Un menu a tendina delle unità di misura con cui si sta operando nella creazione del modello geometrico;
- Un pulsante che consente di passare da vista geometrica a computazionale 
- Un pulsante che consente di passare da vista estrusa a computazionale 
- Le frecce *up/down*  per cambiare quota nella griglia di riferimento;
- Il menu *vista*  per scegliere il tipo di vista piana o tridimensionale del modello;
- Il menu a tendina  per selezionare il tipo di *osnap* che serve ad attaccarsi col puntatore agli spigoli dell'elemento disegnato o alla griglia di riferimento creata;
- Il pulsante griglia di riferimento  che serve a creare le linee di costruzione per disegnare un modello geometrico di un elemento strutturale;
- La quota corrente e le coordinate del puntatore:

Current level: (Z = 0cm) (X=894,06; Y=550,84; Z=0,00)

- Il pulsante rapido *Run*  per eseguire le analisi ;
- Il pulsante di *blocco/sblocco*  del modello;
- Il pulsante per il *set color*  ;
- Il pulsante  che consente di visualizzare le proprietà del modello.

Sulla parte sinistra della barra delle informazioni si trovano invece suggerimenti. Ad esempio se si è fatto accesso ad un comando viene indicato il comando e il tipo di operazione attesa. Questa funzionalità risulta molto utile quando il comando prevede operazioni in sequenza: in questo caso via via che vengono svolte le operazioni, viene suggerita l'operazione corrente da eseguire.

Inoltre, quando si esegue doppio click sulla barra delle informazioni è possibile visualizzare la lista degli ultimi comandi eseguiti. Tale funzionalità risulta particolarmente utile (soprattutto quando si sono eseguite una o più misure di distanza) poiché è possibile selezionare uno o più comandi, copiarli e incollarli in un file di testo.

## **6.5 FINESTRA DELLE PROPRIETA' DEL MODELLO**

Si tratta di una barra dinamica che si aggiorna in base agli elementi in selezione. E' molto utile per almeno tre funzionalità: visualizzazione delle proprietà (dati geometrici e assegnazioni), visualizzazione numerica della risposta degli elementi (spostamenti e sollecitazioni) e infine per la possibilità di editare numerose proprietà in fase di input (spostare coordinate, cambiare assegnazioni, ecc...).



## 7 MENU PRINCIPALE

In questo capitolo vengono descritti nel dettaglio tutti i comandi eseguibili sul modello dal menu principale dell'area di lavoro. In ciascuno dei paragrafi seguenti viene descritta dettagliatamente ciascuna delle voci del menu principale, di seguito elencate:

- *File* (cfr. §7.1)
- *Model* (cfr. §7.2)
- *View* (cfr. §7.3)
- *Define* (cfr. §7.4)
- *Draw* (cfr. §7.5)
- *Edit* (cfr. § 7.6)
- *Run* (cfr. §7.7)
- *Response* (cfr. §7.8)
- *Report* (cfr. §7.9)
- *? - Help* (cfr. §7.10)

### 7.1 FILE

Questo menu consente l'accesso e la gestione dei file dei modelli. I comandi di questo menu coinvolgono tutte le istruzioni applicabili in misura generale a tutta la finestra.

I comandi disponibili sono:

- *New* (cfr. § 7.1.1)
- *Save* (cfr. § 7.1.4)
- *Save as* (cfr. § 7.1.5)
- *Open* (cfr. § 7.1.2)
- *Recent files* (cfr. § 7.1.3)
- *Close* (cfr. § 7.1.6)
- *Open log file* (cfr. § 7.1.7)
- *Import dxf* (cfr. § 7.1.8)
- *Export dxf* (cfr. § 7.1.9)

#### 7.1.1 New

Questo comando elimina tutti i dati pre-esistenti e avvia un nuovo lavoro.

#### 7.1.2 Open

Questo comando apre un lavoro memorizzato su hard-disk o su qualunque tipo di supporto di memoria (file con estensione .hrs).

#### 7.1.3 Recent files

Questo comando attiva un menu a tendina da cui è possibile aprire gli ultimi lavori utilizzati sul PC.

#### 7.1.4 Save

Questo comando salva il lavoro corrente sovrascrivendo il file esistente.

### 7.1.5 Save as

Questo comando salva il lavoro corrente specificando un nuovo nome e/o percorso.

### 7.1.6 Close

È il comando che chiude il programma in esecuzione.

### 7.1.7 Open log file

Apri il file di log che riepiloga le operazioni eseguite dal programma.

### 7.1.8 Import dxf

Apri la finestra per l'importazione della geometria del modello da file DXF.

**Comando disponibile solo per chi possiede il modulo "Import".**

Per importare da file DXF, occorre selezionare il file DXF cliccando sull'apposito comando, quindi personalizzare le proprietà dei layer individuati nel modello.

Si può scegliere se abilitare o meno il layer del modello che si sta importando, mediante il check di spunta su ciascuna riga. È possibile assegnare un materiale e uno spessore del quad (o sezione del truss) diverso per ciascun layer.

Infine bisogna indicare a quanto corrisponde una unità CAD.

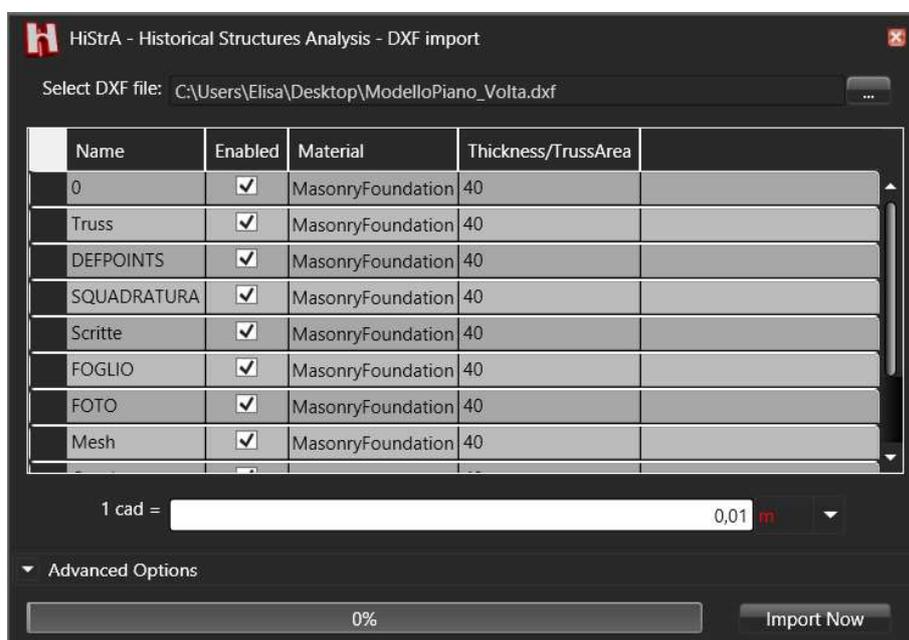


Figura 7.1 – Finestra DXF Import – importazione modello da file DXF

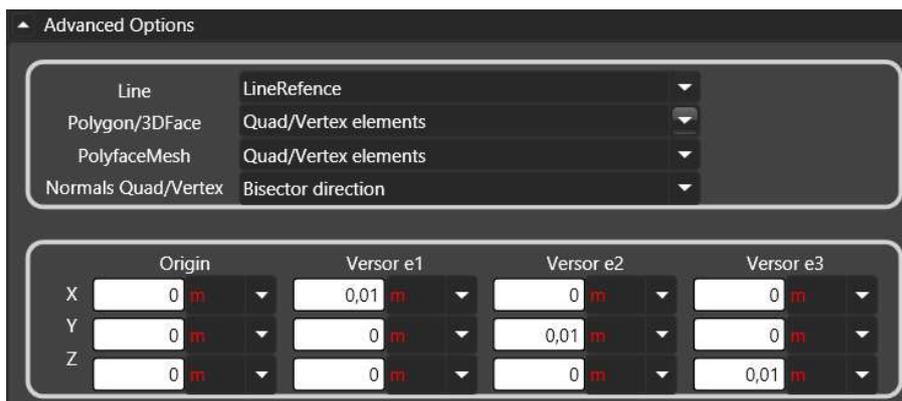


Figura 7.2 – Opzioni avanzate per importazione di modello da file dxf

Cliccando su *Advanced Options*, si apre un pannello aggiuntivo in cui è possibile personalizzare le opzioni avanzate di importazione del dxf.

- **Line:** consente di selezionare il tipo di elemento corrispondente agli elementi di tipo linea in ambiente CAD, scegliendo tra Linee di Riferimento (*Line Reference*), elementi computazionali di tipo *Truss*, elementi asta (*Frame elements*);
- **Polygon/3DFace:** consente di associare agli elementi di tipo *Poligono* o *3DFace*, importati da CAD, elementi computazionali di tipo *Quad* o *Vertex*;
- **Polyface Mesh:** consente di associare alla mesh elementi di tipo *Quad/Vertex*, o di tipo *Solid*;
- **Normals Quad/Vertex:** consente di selezionare come direzione normale al *Quad* (o *Vertex*) la direzione della bisettrice (*Bisector direction*) o quella *Ortagonale* (*Orthogonal direction*).

### 7.1.9 Export dxf

Aprire la finestra per l'importazione della geometria del modello da file dxf.

**Comando disponibile solo per chi possiede il modulo "Export".**

Nella suddetta finestra occorre selezionare il tipo di elemento CAD a cui far corrispondere gli elementi computazionali *Quad/Vertex*, salvandoli come *3DFace* o come *PolyfaceMesh*.

Indicare la misura corrispondente ad una unità CAD e cliccare sul tasto *Export Now*.

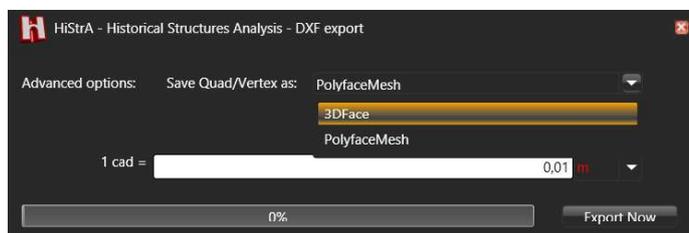


Figura 7.3 – Finestra DXF Export – Esportazione del modello in formato DXF

## 7.2 MODEL

L'accesso al menu *Model* consente l'impostazione di alcuni settaggi generali, quali la gestione della operazione di selezione di oggetti mediante gruppi o materiali o carichi, la creazione di una griglia di disegno, le opzioni di mesh per la generazione del modello computazionale, l'accesso all'ambiente di creazione del modello geometrico del ponte (procedura di wizard spiegata nel precedente capitolo).

In particolare vengono distinte le seguenti voci, che vengono di seguito esaminate in dettaglio:

- Info*
- Advanced options*
- Update computational model*
- Select*

### 7.2.1 Info

La finestra *Info* consente di gestire tutte le informazioni generali del modello. È costituita da una struttura multi-schede. Sono disponibili le seguenti schede

- Building (par. 7.2.1.1)*
- Seismic Response Spectrum*
- User*

#### 7.2.1.1 Building

Consente di gestire le informazioni generali relative alla struttura che si sta analizzando, e le norme tecniche alle quali si fa riferimento.

In particolare è possibile definire:

- *Building Name* > Nome dell'edificio;
- *Building owner's* > Proprietario dell'edificio (committente);
- *Country* > Paese in cui sorge l'edificio;
- *Region/State* > Stato in cui sorge l'edificio;
- *Province* > Provincia in cui sorge l'edificio;
- *City* > Città in cui sorge l'edificio;
- *Address* > Indirizzo
- *CAP / ZIP*
- *Latitude* > Latitudine
- *Intitude* > Longitudine
- *Notes* > Eventuali note informative;

Per quanto riguarda le coordinate spaziali (latitudine e longitudine) è possibile mostrarle mediante geo-localizzazione in google Maps, tramite il pulsante;



### 7.2.1.2 Seismic Response Spectrum

Mediante tale schede è possibili definire e visualizzare gli spettri di risposta ai diversi stati limite così come definiti dalle Norme Tecniche. In particolare è necessario inserire i relativi parametri strutturali e di sito secondo i quali verranno calcolati gli spettri di risposta.

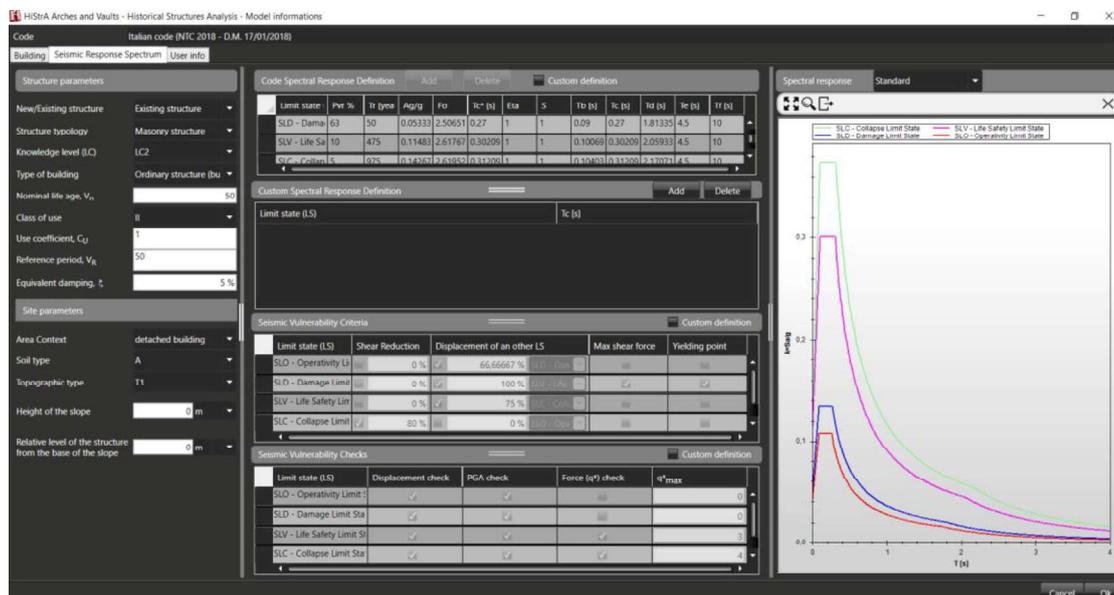


Figura 7.4 – Finestra Seismic Response Spectrum

### 7.2.1.3 User Info

La finestra User Info consente di definire le informazioni generali dell'utente. In particolare sarà possibile inserire:

- Name
- Society
- Country
- Region / State
- Province
- City
- Address
- CAP / ZIP
- Email
- Telephone

### 7.2.2 Advanced options

La finestra *Advanced options* consente di gestire tutte le opzioni generali del modello. In particolare è costituita da una struttura multi-schede. In questo manuale vengono riportate le sole schede di pertinenza, tralasciando quelle relative alla modellazione di Arches and Vaults, per cui si rimanda al Manuale Utente di HISTRA Arches and Vaults.

Sono disponibili, tra le altre, le seguenti schede:

- *Interface* (cfr. § 7.2.2.1)
- *Solver* (cfr. § 7.2.2.2)
- *General* (cfr. § 7.2.2.3)
- *Mass Matrix* (cfr. § 7.2.2.4)

### 7.2.2.1 Interface

All'interno della scheda *Interface* sono disponibili le opzioni di discretizzazione delle molle di interfaccia.

- *Max links distance* > massima distanza tra le molle presenti sulle superfici di interfaccia;
- *Number of links rows* > numero di righe lungo cui vengono disposte le molle di interfaccia.

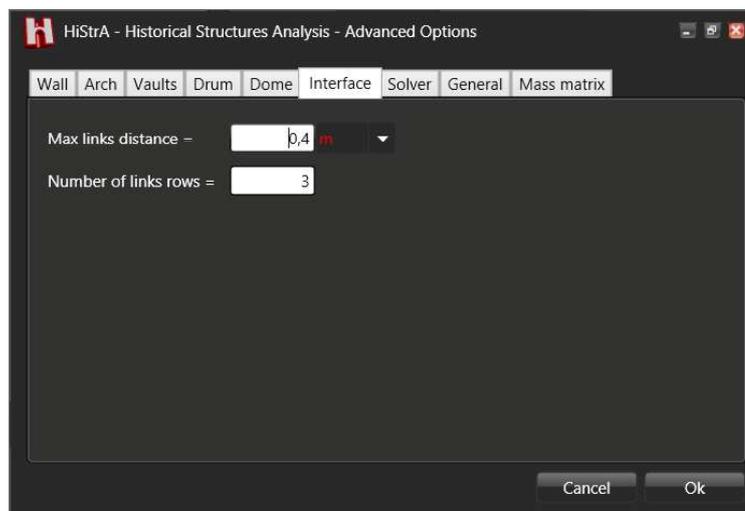


Figura 7.5 – Finestra *Advanced Options - Interface* - per l'impostazione delle opzioni avanzate di modellazione delle interfacce.

### 7.2.2.2 Solver

La scheda *Solver* contiene tutte le impostazioni secondo le quali opera il solutore. La finestra è suddivisa in due gruppi di comandi:

#### Other Options:

- *Save all links status* > se selezionato, salva tutti gli stati delle molle;
- *Show graph error* > riporta in fase di analisi un grafico che ad ogni passo indica l'andamento dello squilibrio globale;
- *Show graph error Dof* > riporta in fase di analisi un grafico che ad ogni passo indica l'andamento dello squilibrio corrispondente a ciascun grado di libertà;
- *Number of records saved for each step* > numero di passi entro cui vengono salvate le informazioni sulle analisi;
- *Max number of thread for save* > massimo numero di processi di salvataggio eseguibili parallelamente;

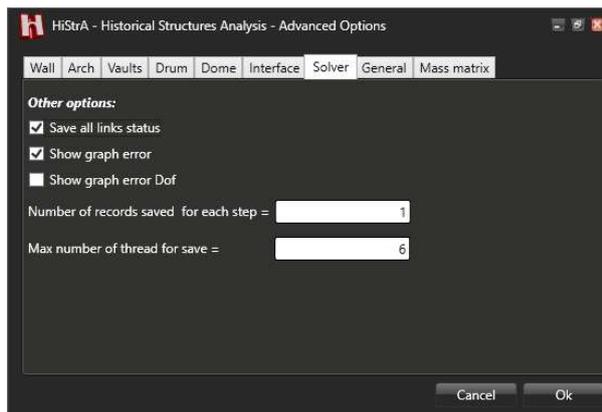


Figura 7.6 – Finestra *Advanced Options - Solver*, per l'impostazione delle opzioni di gestione del solutore.

### 7.2.2.3 General

All'interno della scheda *General* sono disponibili le opzioni di gestione delle tolleranze, per la gestione e la creazione del modello computazionale.

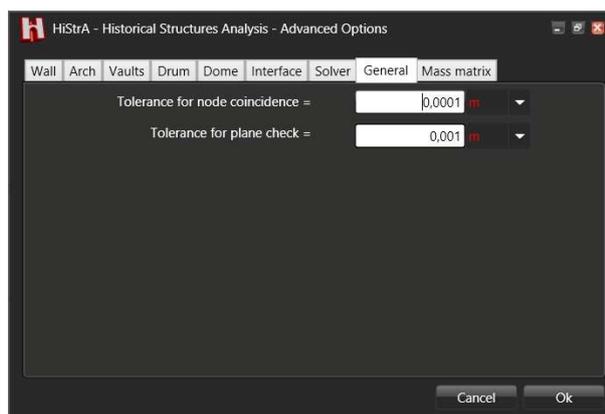
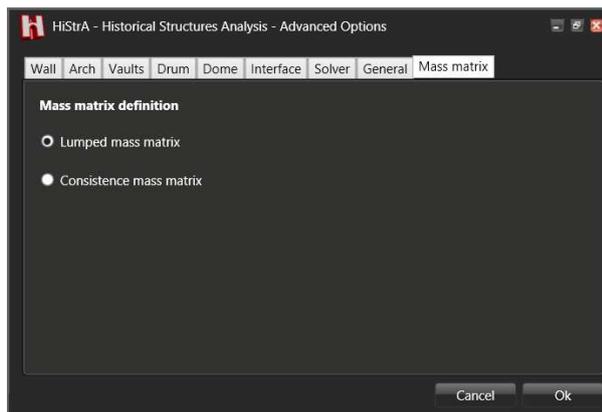


Figura 7.7 – Finestra *Advanced Options - General*, per l'impostazione delle opzioni generali di modellazione.

### 7.2.2.4 Mass Matrix

E' possibile selezionare l'opzione *Lumped mass matrix*, che consiste nel concentrare la massa di ciascun elemento nel suo baricentro, o in alternativa l'opzione *Consistent mass matrix*, che impiega la matrice di massa coerente.

Figura 7.8 – Finestra *Advanced Options - Mass Matrix*

### 7.2.3 Update computational model

Consente di aggiornare il modello computazione al seguito di modifiche al modello geometrico.

### 7.2.4 Select

Aprire la finestra che consente di selezionare gli elementi in base a gruppi di oggetti, materiali assegnati o carichi applicati:

- **Select by Group:** consente di selezionare un insieme di elementi, in base al gruppo di oggetti di appartenenza. Il gruppo di oggetti viene definito mediante il comando *Define > Group object* ;
- **Select by Materials:** consente di selezionare un gruppo di elementi, in base al materiale assegnato;
- **Select by Loads:** consente di selezionare un gruppo di elementi in base ai carichi assegnati.

Figura 7.9 – Finestra di selezione elementi in base al *Group Object* di appartenenza



Figura 7.10 – Finestra di selezione elementi in base al *Materiale* assegnato

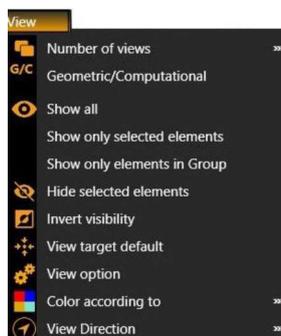


Figura 7.11 – Finestra di selezione elementi in base al *Carico* applicato

### 7.3 VIEW

Questo menu consente di modificare il modo di visualizzazione del modello. Inoltre comprende tutti i comandi utili per migliorare la lettura grafica del modello nell'ambiente principale del programma, per colorare gli elementi secondo i criteri desiderati, e per visualizzare, nel modo più efficace possibili, le informazioni sugli oggetti del modello.

I comandi disponibili sono:



- *Number of views* (cfr. § 7.3.1)
- *Geometric/Computational* (cfr. § 7.3.2)

- *Show all* (cfr. § 7.3.3)
- *Show only selected elements* (cfr. § 7.3.4)
- *Show only elements in group* (cfr. § 7.3.5)
- *Hide selected elements* (cfr. § 7.3.6)
- *Invert visibility* (cfr. § 7.3.8)
- *View options* (cfr. § 7.3.9)
- *Color according to* (cfr. § 7.3.10)
- *View direction* (cfr. § 7.3.11)

### 7.3.1 Number of views

Questo comando consente di visualizzare contemporaneamente una o più viste (da una, a quattro viste) del modello tridimensionale, nell'ambiente principale del programma.

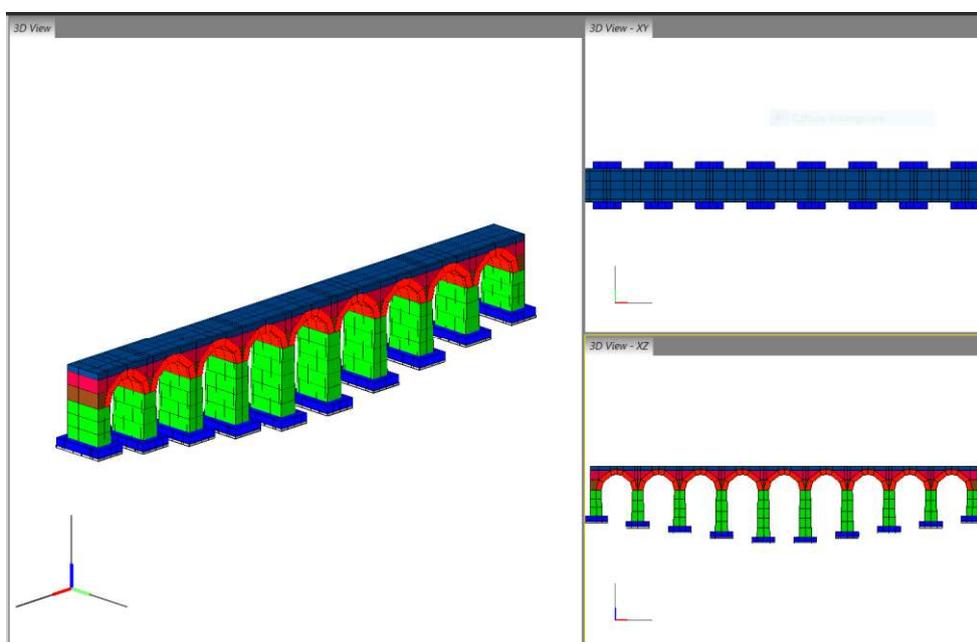


Figura 7.12 – Number of views – visualizzazione a multi finestra.

### 7.3.2 Geometric/Computational

Questo comando consente di visualizzare alternativamente il modello (cfr. Figura 7.13) geometrico o computazionale (cfr. Figura 7.14). E precisamente, viene visualizzato:

- il modello geometrico, se nella vista corrente è visualizzato il modello computazionale;
- il modello computazionale (tasti rapidi Alt+C), se nella vista corrente è visualizzato il modello geometrico.

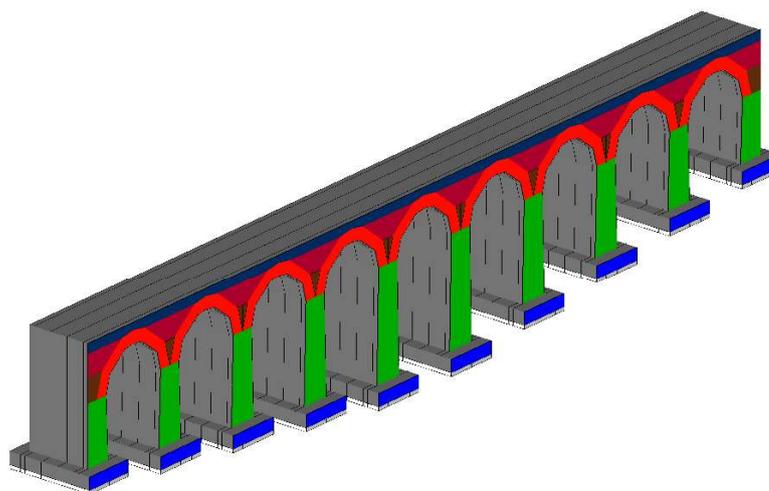


Figura 7.13 – Vista del modello geometrico

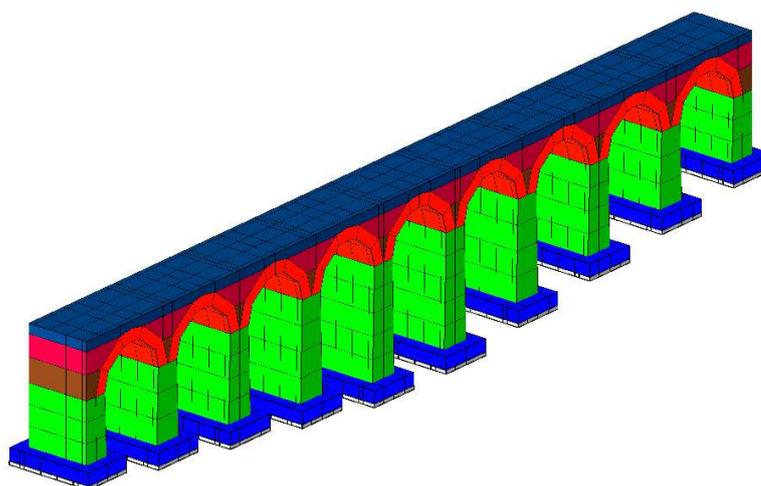


Figura 7.14 – Vista del modello computazionale

### 7.3.3 Show all

Questo comando consente di visualizzare tutti gli elementi del modello, quindi gli elementi la cui visibilità è stata nascosta.

### 7.3.4 Show only selected elements

Questo comando consente di visualizzare gli elementi del modello in selezione, e di nascondere tutti gli altri.

### 7.3.5 Show only elements in groups

Questo comando consente di visualizzare solo gli elementi appartenenti a un gruppo.

### 7.3.6 Hide selected elements

Questo comando consente di aggiungere gli elementi del modello in selezione a quelli attualmente già nascosti.

### 7.3.7 Show only elements in group

Questo comando consente di aggiungere gli elementi del modello in selezione a quelli attualmente già nascosti.

### 7.3.8 Invert visibility

Questo comando consente di rendere invisibili gli elementi visualizzati nella finestra centrale e viceversa rendere visibili gli elementi di cui la visualizzazione è stata nascosta.

### 7.3.9 View options

Questo comando consente di modificare le opzioni di vista degli elementi costituenti il modello geometrico, il modello computazionale ed altri elementi del programma, quali assi locali/globali e linee di riferimento. E' possibile accedere a questo comando anche attraverso l'opzione presente nella barra delle informazioni.

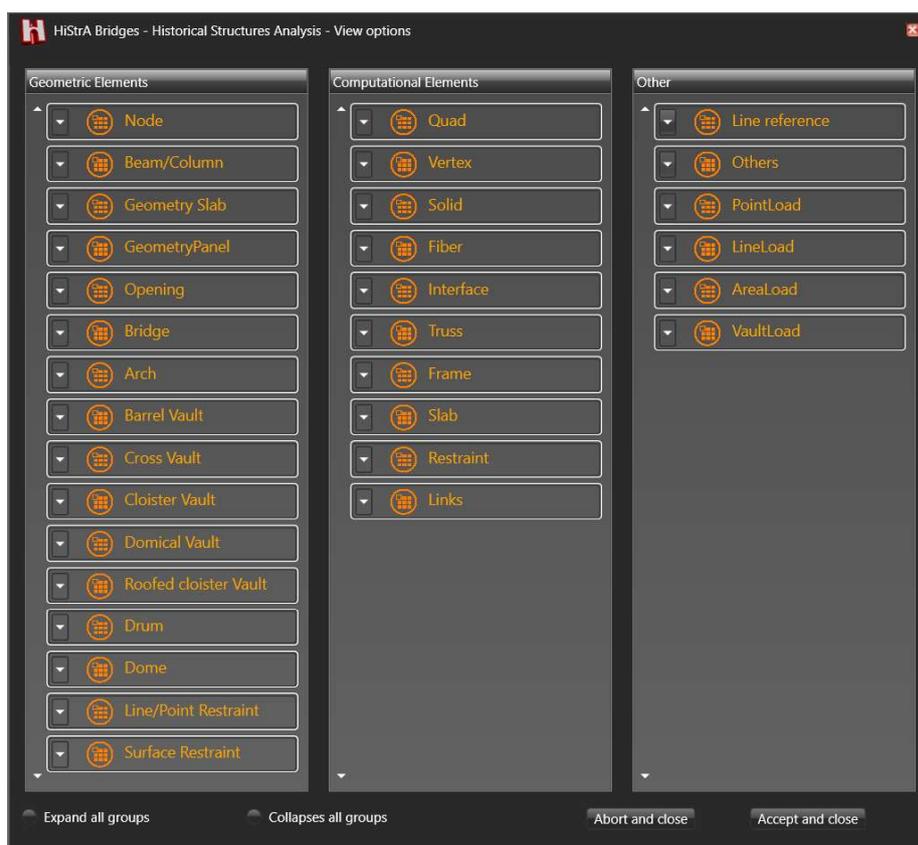


Figura 7.15 – Schermata *View options* - opzioni di visualizzazione

Nella parte in basso a sinistra della finestra sono disponibili dei comandi che consentono di espandere/comprimere (*Expand/Collapses all groups*) tutti i gruppi di opzioni di visualizzazione.

Per confermare le impostazioni delle opzioni di visualizzazione cliccare sul bottone *Accept and close*. Se non si vogliono confermare le modifiche di visualizzazione apportate, cliccare sul comando *Abort and close*, che consente di uscire senza salvare.

Per tutti gli **elementi geometrici (Geometric Elements)**, nodi, aste pannelli, ponti, archi, volte. Vincoli (line/point restraint o surface restaraint), etc., sono disponibili le seguenti opzioni, visibili espandendo ciascun gruppo.

- **Visible:** consente di nascondere o rendere visibile la tipologia di elemento considerata;
- **Color:** consente di modificare il colore associato a quella tipologia di elemento;
- **Transparency:** consente di regolare la trasparenza degli elementi associati a quella determinata tipologia.

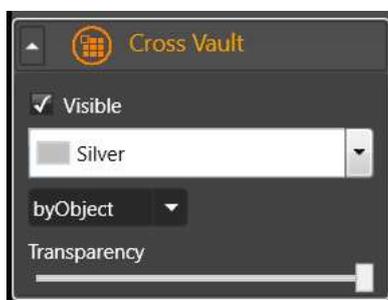


Figura 7.16 - View options – Geometric Elements

Per gli **elementi computazionali** (Quad, Vertex, Truss, etc...) le opzioni disponibili sono le seguenti:

- **Visible:** consente di nascondere o rendere visibile la tipologia di elemento considerata;
- **Extruded:** consente di abilitare la vista estrusa (tridimensionale) o piatta degli elementi;
- **Shrink:** consente di attivare o disattivare una modalità di vista in cui gli elementi sono leggermente ritirati rispetto alle loro reali dimensioni, utile in alcuni casi per rendere la connessione tra elementi più chiara;
- **Local axes:** consente di rendere visibile o no la terna di assi locale per quella tipologia di elementi;
- **Color:** consente di modificare il colore associato a quella tipologia di elemento;
- **Color according to:** consente di colorare gli elementi di quella tipologia in base al colore selezionato per la stessa tipologia o in base al materiale associato a ciascun elemento;
- **Transparency:** consente di regolare la trasparenza degli elementi associati a quella determinata tipologia.

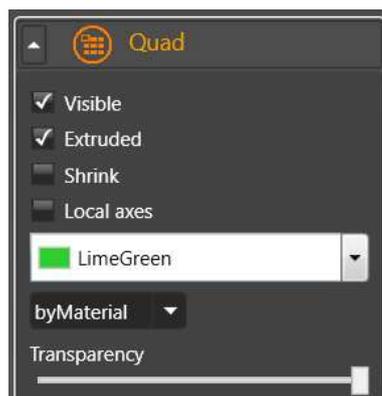


Figura 7.17 – View options – Computational Elements

L'ultima colonna *Other* (altri elementi) contiene le opzioni di visualizzazione dei carichi (Point Load, Line Load e Area Load), quelle delle Linee di riferimento (Line reference), e altre opzioni generali (ambiente principale di lavoro).

Le opzioni di visualizzazione per i carichi sono:

- Visible:** consente di nascondere o rendere visibile la tipologia di carico considerata;
- Color:** consente di modificare il colore associato a quella tipologia di carico;
- Transparency:** consente di regolare la trasparenza dei carichi associati a quella determinata tipologia;
- Scale factor,** consente di regolare l'amplificazione del fattore di scala dei carichi associati a quella tipologia.

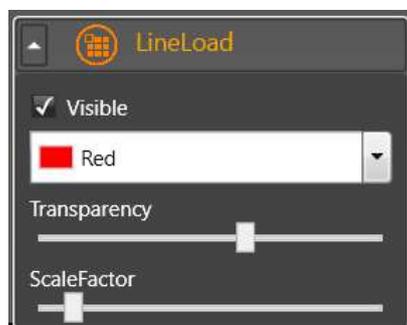


Figura 7.18 – View options – Carichi (Area, Point, Line Load)

### 7.3.10 Color according to

Questo menu consente di gestire la visualizzazione degli elementi, secondo criteri diversi, che permettono una verifica efficace della bontà delle assegnazioni effettuate durante la modellazione. Consente di visualizzare i colori degli elementi costituenti il modello secondo le seguenti proprietà assegnate per:

- Object** > gli elementi vengono colorati proprietà degli oggetti;
- Material** > gli elementi che costituiscono il modello vengono colorati secondo i materiali assegnati;
- AreaLoad** > gli elementi che costituiscono il modello vengono colorati secondo i carichi di area assegnati;
- LineLoad** > gli elementi che costituiscono il modello vengono colorati secondo i carichi di linea assegnati.

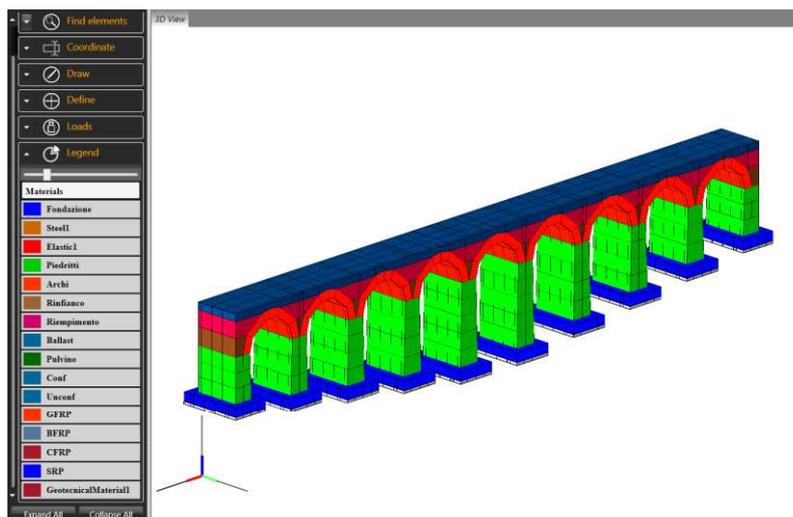


Figura 7.19 – Visualizzazione del modello e degli elementi, colorati in funzione dei materiali assegnati

### 7.3.11 View direction

Questo comando consente di selezionare il tipo di vista del modello nella finestra centrale, secondo le preferenze dell'utente, tra le seguenti:

- 3D
- 3D-XY
- 3D-YZ
- 3D-XZ
- Plane-XY
- Plane-YZ
- Plane-XZ

## 7.4 DEFINE

Dal menu *Define* si accede alla definizione delle principali proprietà degli elementi del modello

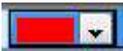
- Material*: definizione dei materiali. Vengono distinti i materiali per le murature, acciaio e calcestruzzo, oltre il materiale elastico lineare (cfr. 7.4.1).
- Load condition* (cfr. § 7.4.2.1): avvia la finestra dei tipi di carico che si possono assegnare nel modello;
- Load definition*: avvia la finestra per la definizione dei seguenti carichi:
  - *Vehicle load* (cfr. § 7.4.2.2);
  - *Area load* (cfr. § 7.4.2.3);
  - *Line load* (cfr. § 7.4.2.4);
- Schema*: avvia la finestra di definizione degli schemi di carico (cfr. § 7.4.3);
- Load combination* (cfr. § 7.4.3): avvia la finestra sulle combinazioni di carico;
- Schema-Load combination definition*: consente di associare ad ogni combinazione dei carichi, uno schema di carico;
- Analyses* (cfr. § 7.4.5): avvia la finestra per la definizione delle analisi da eseguire.
- Group Object*: (cfr. 0): consente di definire un gruppo di oggetti.

La definizione dei materiali avviene mediante finestre dallo schema ricorrente. In particolare l'area è divisa in due parti. Nella parte destra verrà visualizzata la parte di definizione specifica per la tipologia di elemento considerata. Nella parte sinistra è invece presente un pannello di controllo generale.

In particolare, in alto è presente un menu a tendina che consente di accedere a uno dei sottogruppi della tipologia considerata (ad esempio carichi->carichi di linea/area/veicolari).

Subito sotto viene visualizzata la "lista degli elementi" definiti e la barra dei menu per introdurre o eliminare gli elementi in lista. Quando si seleziona uno degli elementi in lista la parte destra della finestra verrà riempita con i dati corrispondenti.

Attraverso la "lista degli elementi" è possibile eseguire le seguenti operazioni:

- definire un nuovo elemento col tasto ;
- cancellare un elemento definito cliccando ;
- copiare un elemento definito col tasto ;
- modificare il nome di un elemento della lista (selezionando l'elemento ed editando il nome);
- accedere alla scheda delle proprietà dell'elemento (selezionandolo in elenco);
- impostare automaticamente o personalizzando i colori per ciascun elemento definito (selezionando dal menu a tendina ).

## 7.4.1 Materiali

Da questo menu è possibile accedere alla definizione della tipologia di materiali. Per le singole finestre, ciascuna delle quali fa riferimento a una specifica tipologia si rimanda a quanto già specificato nel capitolo dedicato alla procedura di modellazione tramite Wizard (v. § 5.2).

## 7.4.2 Definizione dei carichi

La definizione dei carichi comprende diverse sezioni, che consentono di definire i carichi che verranno applicati sugli elementi strutturali del modello. È possibile accedere alla definizione delle "condizioni di carico", la cui definizione verrà ampiamente descritta nell'apposito paragrafo, ed è possibile accedere alla finestra di definizione vera e propria dei carichi (Veicolari, di area, o di linea).

I carichi agenti sulla struttura possono essere definiti attraverso i seguenti comandi:

1. **Condizioni di carico** (cfr. § 7.4.2.1): insieme delle condizioni di carico elementari;
2. **Carico veicolare** (cfr. § 7.4.2.2): carico viaggianti lungo l'asse del ponte;
3. **Carico di area** (cfr. § 7.4.2.3): carico agente in modo uniforme su una superficie;
4. **Carico di linea** (cfr. § 7.4.2.4): carico agente in modo uniforme su un elemento linea;
5. **Carico di punto** (cfr. § 7.4.2.5): carico agente su un punto;
6. **Carico di volta**: carico agente sull'estradosso di una volta (non di specifica pertinenza di *HISTRA BRIDGES* – disponibile solo per *HISTRA Arches and Vaults*).

Selezionando uno dei carichi dal menu Define, nella corrispondente finestra è presente sulla sinistra la lista dei carichi definiti, che li elenca per tipologia, dal relativo menu a tendina.

### 7.4.2.1 Load condition

La finestra definisci condizioni di carico consente di definire le condizioni di carico elementari, utili per poter assegnare rapidamente i coefficienti di combinazione dei carichi nell'ambito della definizione dei carichi sugli elementi strutturali. Le condizioni di carico di default non possono essere rinominate, né eliminate e sono di seguito elencate:

- **Gravity**: pesi propri degli elementi strutturali calcolate automaticamente da HISTRA.
- **Structural Dead**: carichi permanenti derivanti da pesi strutturali, quali ad esempio, elementi secondari non inseriti esplicitamente nel modello.
- **Not structural dead**: carichi permanenti derivanti da elementi non strutturali.
- **Not structural dead CD**: carichi permanenti derivanti da elementi non strutturali, dei quali si conosce l'esatta intensità e l'esatta collocazione.
- **Variable**: carichi variabili di tipo "antropico", derivanti da una specifica destinazione d'uso della struttura o di parti di essa.
- **Vehicle**: azioni dovute ai veicoli, ovvero i carichi viaggianti.

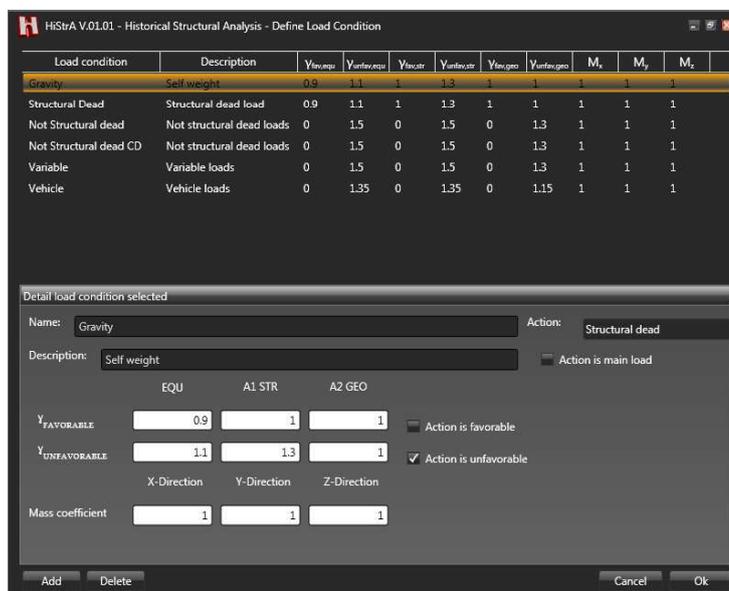


Figura 7.20 – Finestra definisci condizioni di carico

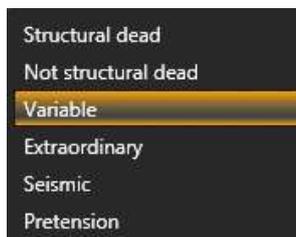
Oltre a quelle sopra riportate possono essere aggiunte ulteriori condizioni di carico, personalizzate secondo le esigenze dell'utente. Tale necessità si può manifestare nel caso in cui si debbano introdurre

carichi di tipo diverso, rispetto a quelli elencati superiormente, quali ad esempio i carichi variabili da neve, dove i coefficienti di combinazione sono comunque diversi rispetto a quelli definiti per i carichi variabili di tipo "antropico" dalla normativa adottata.

I comandi disponibili per gestire le condizioni di carico aggiuntive sono:

- **Add:** aggiunge una nuova condizione di carico;
- **Delete:** elimina la condizione di carico selezionata;
- **Cancel:** annulla le modifiche e chiude la schermata delle condizioni di carico;
- **Ok:** chiude la finestra e salva le modifiche apportate.

Ciascuna condizione di carico aggiuntiva può essere personalizzata dall'utente, selezionando il tipo di azione a cui appartiene tra quelle presenti nel menu *Action*:



#### 7.4.2.2 Load definition > Vehicle Load

La schermata dei carichi veicolari, avviene tramite una tabella ove ciascuna riga consente l'inserimento di una distinta voce di carico elementare, sulla singola ruota, associata ad una condizione di carico (v. Figura 5.46).

Per la definizione dei carichi veicolari si rimanda al par. 5.3.2 della procedura guidata di input su HISTRA BRIDGES.

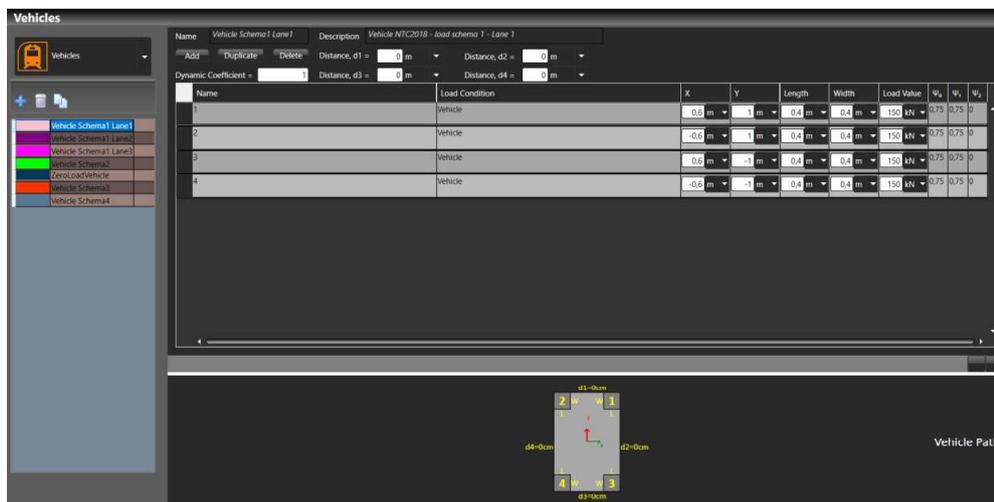


Figura 7.21 – Esempio definizione carichi veicolari per ponte stradale.

### 7.4.2.3 Load definition > Area Load

La finestra riporta l'archivio dei carichi di area applicabili agli elementi Quad e Vertex. I parametri sono contenuti in una tabella ove ciascuna riga consente l'inserimento di una distinta voce di carico elementare (peso proprio, variabile, etc...) associata ad una condizione di carico (7.4.2.1). Le colonne della tabella consentono di specificare, per ogni voce di carico elementare, l'intensità del carico ed i coefficienti di combinazione secondo la normativa adottata:

- **Name:** il nome della voce di carico elementare (peso proprio, peso pavimento, peso tramezzi, carico accidentale, etc...).
- **Load Condition:** è necessario indicare se la voce di carico elementare è di tipo "permanente" ovvero "variabile" o selezionare una delle condizioni di carico definite dall'utente tra quelle descritte sopra.
- **Use Destination:** nel caso in cui sia stato selezionato "variabile" nella colonna Load condition, è necessario indicare la destinazione d'uso della struttura modellata. Ciò consente l'attribuzione dei coefficienti di combinazione secondo la normativa italiana, che l'utente può sempre modificare cliccando nell'apposita casella.
- **Direction:** consente di selezionare la direzione di applicazione del carico.
- **Is Projected:** se attivo, il carico di area viene proiettato sul piano medio orizzontale del quad, moltiplicando l'intensità del carico per il coseno dell'angolo compreso tra la direzione di carico e quella della normale al piano medio del macro-elemento (Quad o Vertex).
- **Load Value:** è il valore dell'intensità del carico espresso secondo le unità di misura selezionate dall'apposito menu a tendina. Se il carico è "variabile" di default viene inserita l'intensità secondo la normativa italiana in base alla destinazione d'uso della struttura. È possibile variare tale valore secondo le scelte del progettista.
- **Coefficienti di combinazione  $\psi_0$ ,  $\psi_1$ ,  $\psi_2$ :** visualizza i coefficienti di combinazioni del carico secondo la normativa italiana. Cliccando sui valori è possibile modificare tali coefficienti.

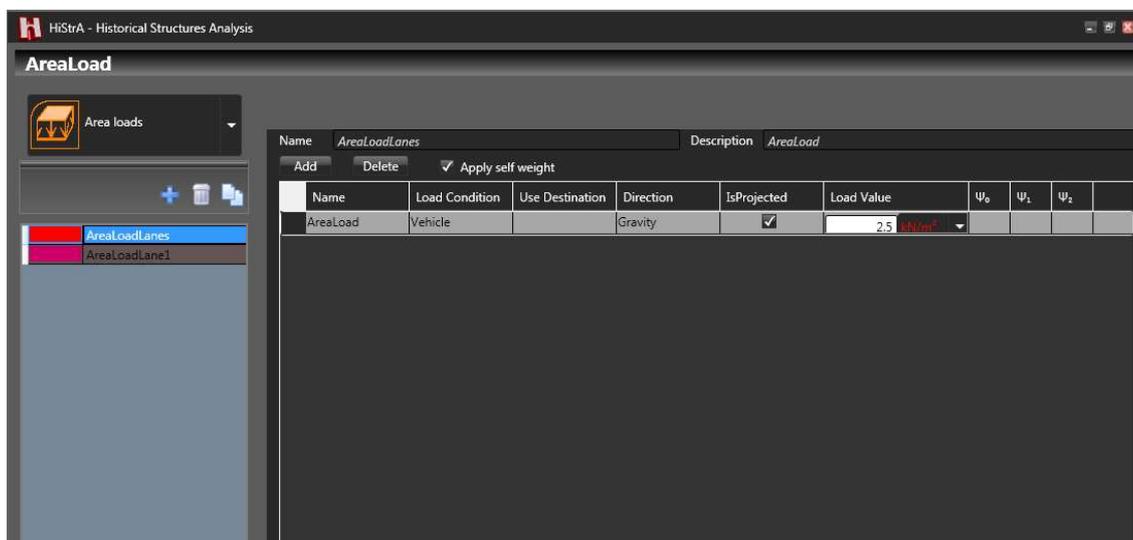


Figura 7.22 - Definizione dei Carichi di Area - Area Load

In generale, per **assegnare un carico di area** al piano medio degli elementi computazionali (Quad, Vertex), bisogna selezionare l'elemento computazionale:

- Premere il tasto destro del mouse per accedere al relativo menu contestuale di applicazione dei carichi;

- Selezionare il comando: *Quad > Apply area load > LoadArea*.

Il carico di area è assegnato al piano medio degli elementi computazionali.

**Nota bene:**

nel caso di strutture modellate con macro-elementi il cui piano medio risulta verticale (per cui la normale a tale piano medio risulta orizzontale), e selezionando l'opzione "IsProjected" nella definizione dei carichi di area ed assumendo il carico agente nella direzione gravitazionale ("Gravity" direction), ne consegue che l'applicazione del carico di area a detti macro-elementi comporterà che l'intensità del carico risultante sarà pari a zero (indipendentemente dal valore assegnato in archivio), in quanto il prodotto scalare tra la normale al piano medio (orizzontale) e la direzione di carico (verticale) è pari a zero.

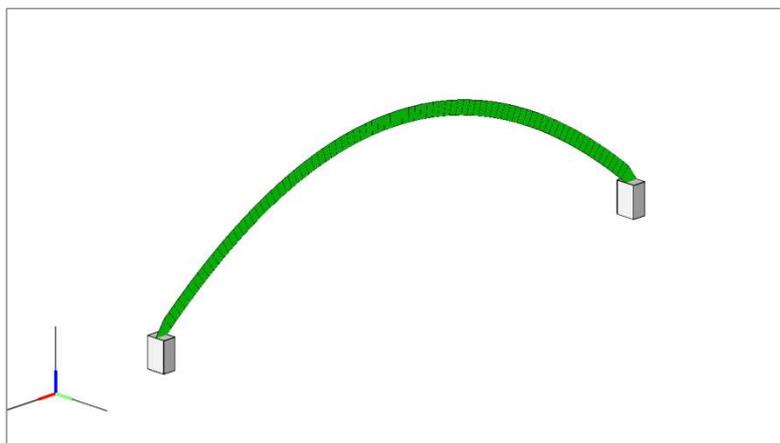


Figura 7.23 – Esempio Modello computazionale e piano medio elementi Quad.

Nel caso di modelli generati con il wizard per archi, al fine di rendere orizzontale il piano medio dei quad, selezionare il modello geometrico e dal pannello delle proprietà dell'elemento "Arch", deselezionare l'opzione "IsQuadPlaneVertical". In tal modo il modello sarà generato orientando i macroelementi in modo dal

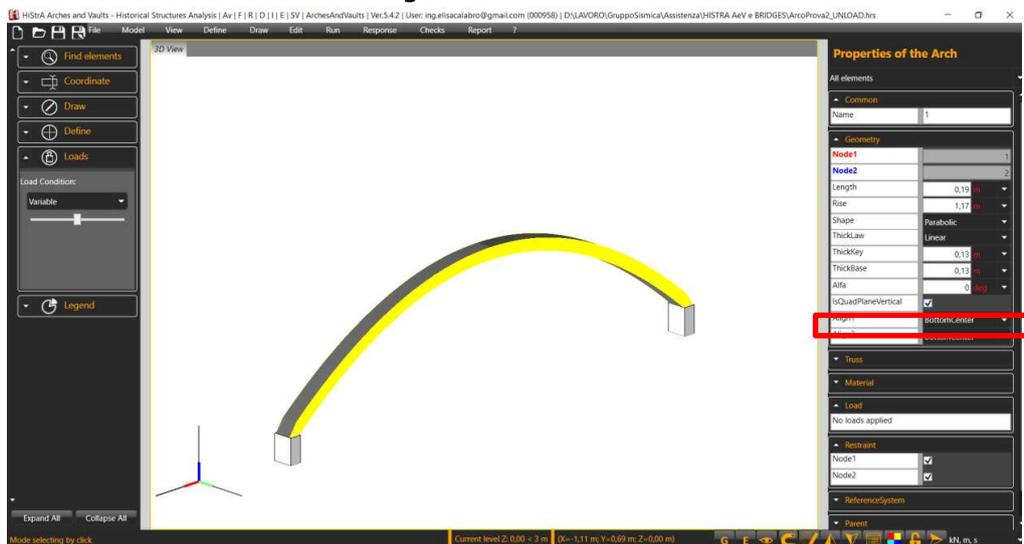


Figura 7.24 – Modifica direzione del piano medio degli elementi Quad.

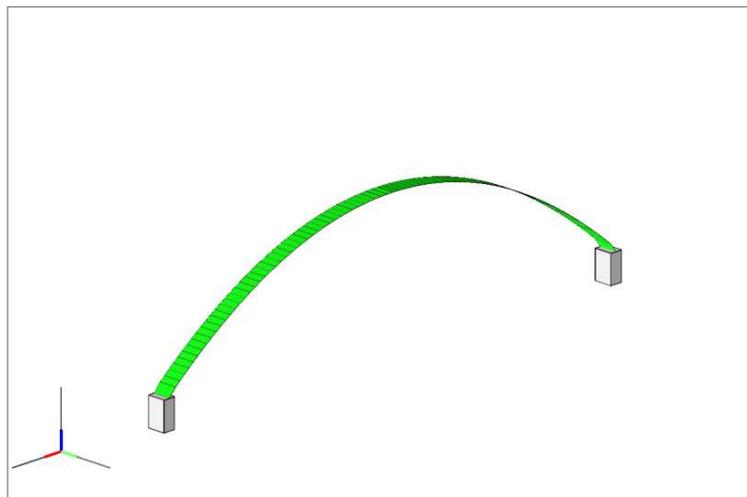


Figura 7.25 – Piano medio elementi Quad orizzontale.

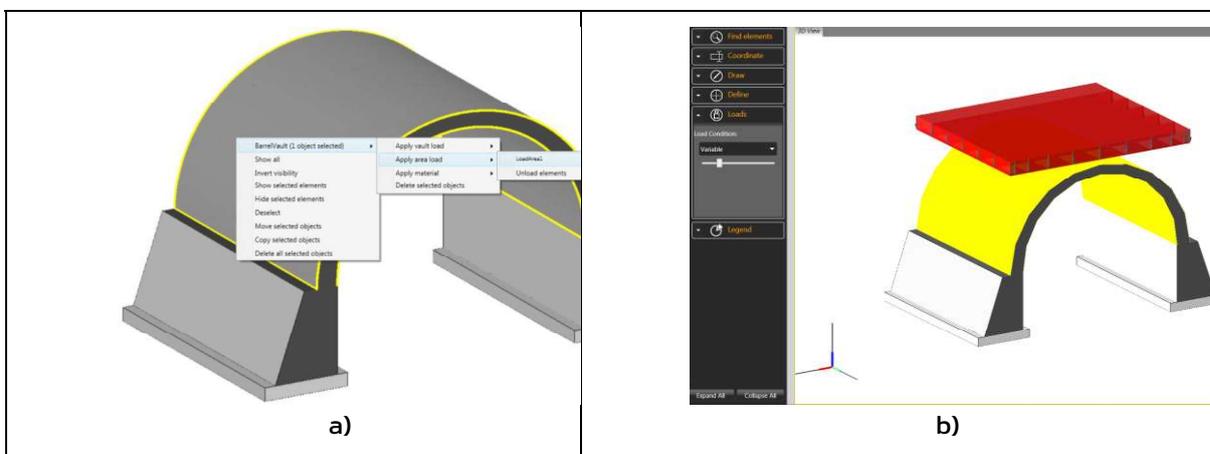


Figura 7.26 – a) Assegnazione di un carico di area ad una volta a botte;  
b) Visualizzazione del carico di area assegnato (visualizzazione dei carichi appartenenti alla condizione di carico selezionata)

Per **rimuovere un carico di area** occorre selezionare l'elemento caricato:

- Premere il tasto destro del mouse per accedere al relativo menu contestuale di applicazione dei carichi;
- Cliccare *Quad > Apply area load > Unload elements*.

### **HISTRA BRIDGES**

In HISTRA BRIDGES è possibile applicare i carichi di area sulla faccia del macro-elemento corrispondente alla superficie carrabile selezionando le voci in archivio all'interno della tabella di definizione degli schemi di carico come riportato nel paragrafo 7.4.3.



Figura 7.27 – Assegnazione dei carichi di area, nell'ambito della definizione degli Schemi di Carico

#### 7.4.2.4 Load definition > Line Load

Analogamente a quanto esposto superiormente per i carichi di area, è possibile definire i carichi di linea da assegnare alle linee passanti tra due nodi del modello, inserendo: nome e descrizione facoltativa del carico, condizione di carico ed eventuale destinazione d'uso se si definisce un carico variabile, direzione, intensità e coefficienti di combinazione.

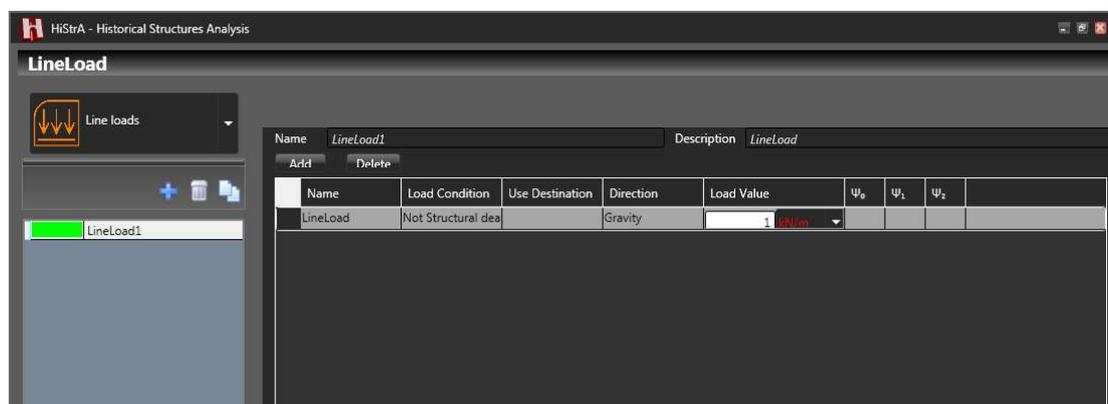


Figura 7.28 – Definizione dei Carichi di Linea - Line Load

- **Name:** il nome della voce di carico.
- **Load Condition:** riporta la condizione di carico, tra quelle precedentemente definite. Va indicato se la voce di carico è di tipo "permanente" ovvero "variabile", etc.
- **Use Destination:** nel caso in cui sia stato selezionato "variabile" nella colonna Load condition, è necessario indicare la destinazione d'uso. Ciò consente l'attribuzione dei coefficienti di combinazione secondo la normativa utilizzata (NTC2018). E' possibile modificare i coefficienti di combinazione e personalizzarli, cliccando sulla apposita casella.

- **Direction:** consente di selezionare la direzione di applicazione del carico. Gravity rappresenta la direzione della forza di gravità (lungo l'asse Z del sistema di riferimento globale).
- **Specific weight:** è il peso specifico del materiale di riempimento che caratterizza il carico di volta.
- **Coefficienti di combinazione  $\psi_1, \psi_2, \psi_3$ :** visualizza i coefficienti di combinazione del carico secondo la normativa italiana. Cliccando sui valori è possibile modificare tali coefficienti.

Per **assegnare un carico di linea** bisogna selezionare l'elemento:

- selezionare l'elemento computazionale (quad)
- premere il tasto destro del mouse per accedere al relativo menu contestuale di applicazione dei carichi di linea
- cliccare *Apply line load > LoadLine*;
- selezionare i due nodi del quad che identificano i punti di estremità della linea lungo cui si distribuisce il carico.

Per **rimuovere un carico di linea** occorre selezionare l'elemento:

- premere il tasto destro del mouse per accedere al relativo menu contestuale di applicazione dei carichi;
- cliccare *Apply line load > Unload elements*.

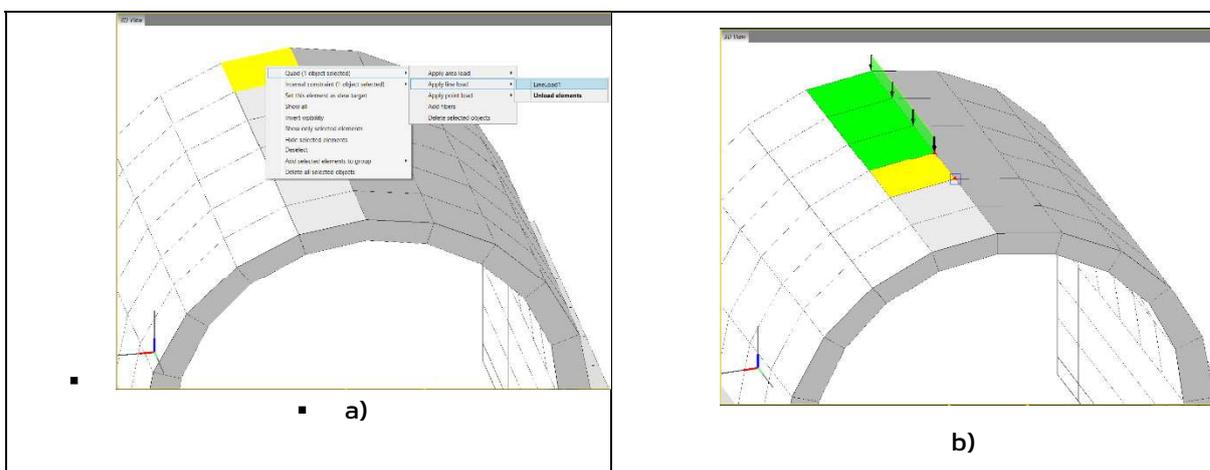


Figura 7.29 – a) Menu contestuale per l'assegnazione di un carico di linea; b) Applicazione e visualizzazione del un carico di linea assegnato sulla volta

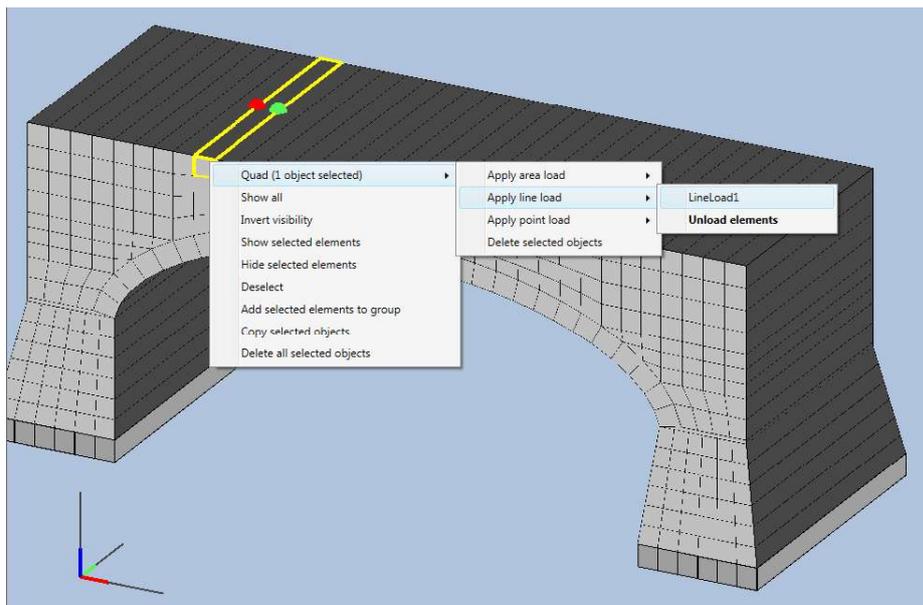


Figura 7.30 – Assegnazione di un carico di linea.

### 7.4.2.5 Load definition > Point Load

E' possibile definire i carichi di punto, da assegnare in corrispondenza di un nodo del modello, inserendo: nome e descrizione facoltativa del carico, condizione di carico ed eventuale destinazione d'uso, se si sta definendo un carico variabile, direzione, intensità del carico, oltre ai coefficienti di combinazione.

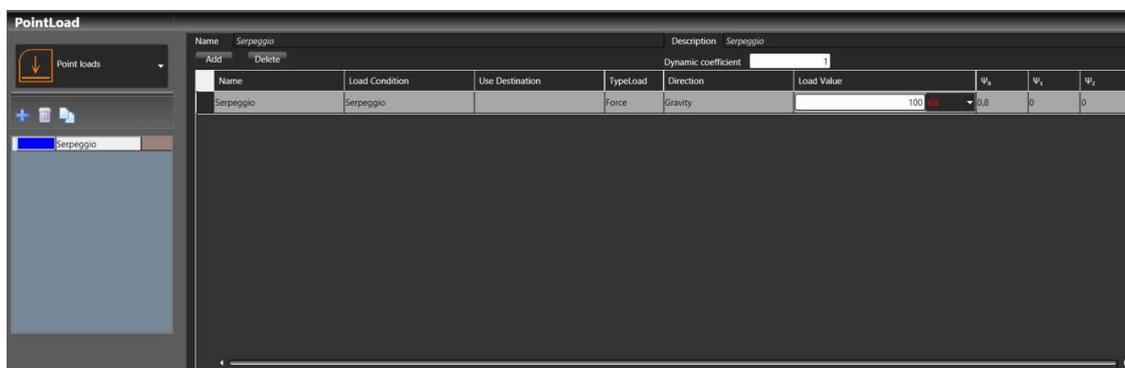


Figura 7.31 – Definizione dei Carichi di Punto - Point Loads

- ❑ **Name:** il nome della voce di carico elementare.
- ❑ **Load Condition:** è necessario indicare la condizione di carico elementare tra quelle predefinite (ad esempio il serpeggio, nei casi di carichi ferroviari).
- ❑ **Use Destination:** nel solo caso in cui sia stato selezionato "variabile" nella colonna Load condition, è necessario indicare la destinazione d'uso della struttura modellata. Ciò consente l'attribuzione automatica dei coefficienti di combinazione, secondo la normativa italiana, che l'utente può comunque modificare, cliccando nell'apposita casella o selezionando la voce "User".
- ❑ **Type Load:** tipo di carico
- ❑ **Direction:** consente di selezionare la direzione di applicazione del carico.

- **Load Value:** è il valore dell'intensità del carico espresso nell'unità di misura selezionate dall'apposito menu a tendina. Se il carico è di tipo "variabile" di default viene inserita l'intensità secondo la normativa italiana in base alla destinazione d'uso della struttura. È possibile modificare tale valore, secondo le scelte del progettista.
- **Coefficienti di combinazione  $\psi_0, \psi_1, \psi_2$ :** visualizza i coefficienti di combinazione del carico secondo la normativa italiana. Cliccando sui valori è possibile editare tali coefficienti.

Per **assegnare un carico concentrato** bisogna selezionare l'elemento:

- premere il tasto destro del mouse per accedere al relativo menu contestuale di applicazione dei carichi di punto;
- cliccare *Apply point load > LoadPoint*;
- selezionare il punto da caricare.

Per **rimuovere un carico concentrato** occorre selezionare l'elemento caricato (cfr. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**):

- premere il tasto destro del mouse per accedere al relativo menu contestuale di applicazione dei carichi;
- cliccare *Apply point load > Unload elements*.

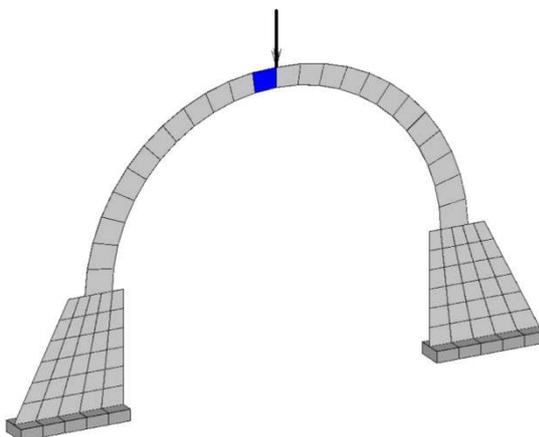


Figura 7.32 – Visualizzazione di un arco caricato da una forza concentrata in sommità sulla sezione di chiave

#### 7.4.2.6 Load definition > Vault Load

La definizione dei carichi viene eseguita specificando: nome e descrizione facoltativa del carico, condizione di carico ed eventuale destinazione d'uso se si definisce un carico variabile, direzione, intensità attraverso il peso specifico (la geometria del carico, che è l'altro parametro per determinare l'intensità finale del carico, dipenderà dalla specifica assegnazione) e coefficienti di combinazione. Tuttavia in questo caso è possibile definire una sola voce di carico e non cumularle.

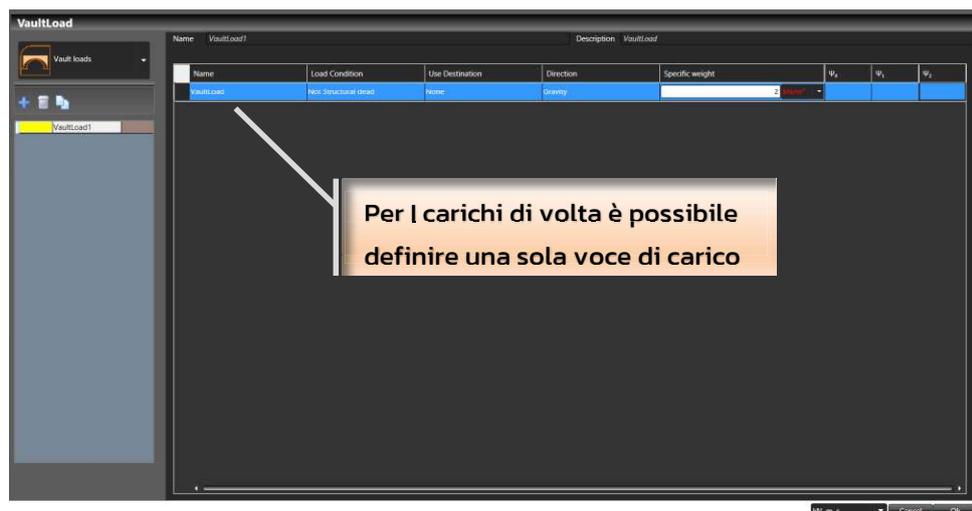


Figura 7.33 – Schermata di definizione dei carichi di volta

- **Name:** il nome della voce di carico. Nel caso di carichi di volta è possibile definire una sola voce di carico elementare.
- **Load Condition:** riporta la condizione di carico, tra quelle precedentemente definite. Va indicato se la voce di carico è di tipo "permanente" ovvero "variabile", etc.
- **Use Destination:** nel caso in cui sia stato selezionato "variabile" nella colonna Load condition, è necessario indicare la destinazione d'uso. Ciò consente l'attribuzione dei coefficienti di combinazione secondo la normativa utilizzata (NTC2018). E' possibile modificare i coefficienti di combinazione e personalizzarli, cliccando sulla apposita casella.
- **Direction:** consente di selezionare la direzione di applicazione del carico. Gravity rappresenta la direzione della forza di gravità (lungo l'asse Z del sistema di riferimento globale).
- **Specific weight:** è il peso specifico del materiale di riempimento che caratterizza il carico di volta.
- **Coefficienti di combinazione  $\psi_1, \psi_2, \psi_3$ :** visualizza i coefficienti di combinazione del carico secondo la normativa italiana. Cliccando sui valori è possibile modificare tali coefficienti.

Per **assegnare un carico da volta** bisogna selezionare l'elemento:

- premere il tasto destro del mouse per accedere al relativo menu contestuale di applicazione dei carichi;
- cliccare *Apply vault load > LoadVault*;

specificare l'altezza H del materiale da riempimento,

- settando l'opzione (Figura 69°):
  - *Relative* e impostando H a partire dal piano d'imposta della struttura voltata;
  - *Absolute* e impostando H a partire dalla quota zero del sistema di riferimento globale.

Per **rimuovere un carico da volta** occorre selezionare l'elemento caricato (cfr. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**):

- premere il tasto destro del mouse per accedere al relativo menu contestuale di applicazione dei carichi;
- cliccare *Apply vault load > Unload elements*.

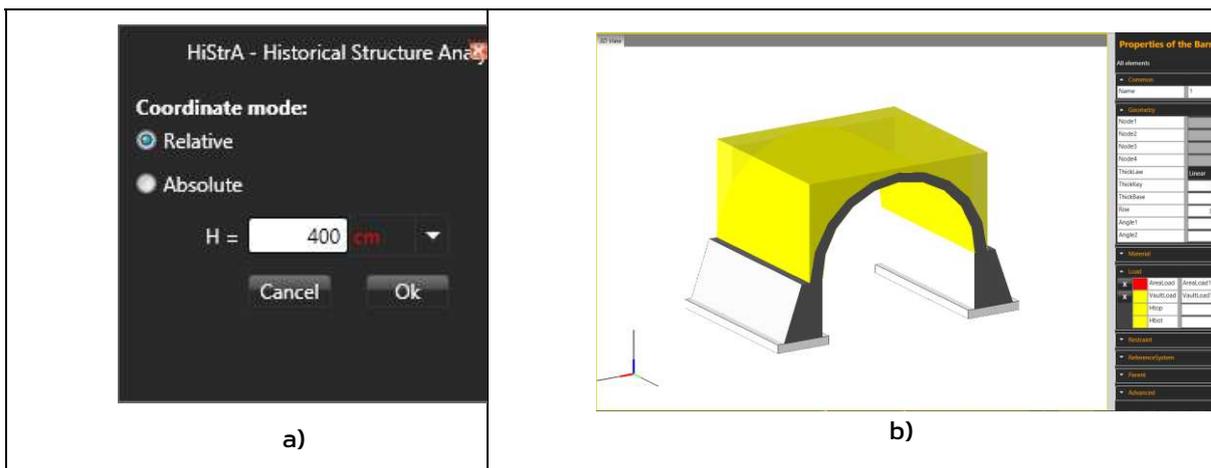


Figura 7.34 – a) Menu contestuale per l’assegnazione dell’altezza di riempimento di un carico da volta; b) Visualizzazione del carico da volta assegnato ad una volta a botte e modifica del carico dal pannello delle proprietà

### 7.4.3 Schema

Con questo comando si accede alla schermata di definizione degli Schemi di carico, in cui è possibile gestire gli schemi di carico, riferiti ai carichi di tipo veicolare. Detti schemi individuano le condizioni di carico più gravose, in funzione delle disposizioni (posizioni) dei carichi mobili, precedentemente definiti.

Come già visto per la definizione dei carichi, anche la finestra di definizione degli Schemi di carico presenta una struttura ricorrente e familiare in ambiente HISTRA. In particolare l'area è divisa in due parti. Nella parte a destra viene visualizzata la tabella (o le tabelle) di definizione, specifica per la tipologia di elemento considerata (selezionata sulla griglia posta a sinistra).

Nella parte sinistra, invece, è presente un pannello di controllo generale, con l'elenco degli schemi di carico definiti e dei comandi di gestione degli stessi.

Con riferimento alla parte a destra della finestra, per ciascuno schema di carico, occorre definire, nella tabella in alto il carico presente su ciascuna parte del ponte (Banchina, corsia, etc.), siano essi carichi mobili (*Vehicle*) o fissi (*Area Load* o *Line Load*). In corrispondenza di Banchine e Spazi non è consentito assegnare carichi veicolari mobili. Nella tabella in basso, invece, vengono definite le posizioni dei carichi viaggianti, per tutto lo sviluppo longitudinale del ponte.

Il Numero delle posizioni viene indicato nell'apposito campo "*Number of position*". Di default il programma propone un numero di posizioni pari al numero delle sezioni significative del ponte stesso, ovvero in corrispondenza degli appoggi (spalle e pile) e della mezzeria delle campate.

Nella sottostante tabella vengono create tante righe quante sono il numero delle posizioni e per ciascun carico veicolare assegnate le corrispondenti posizioni lungo l'asse longitudinale del ponte, espresse in cm.

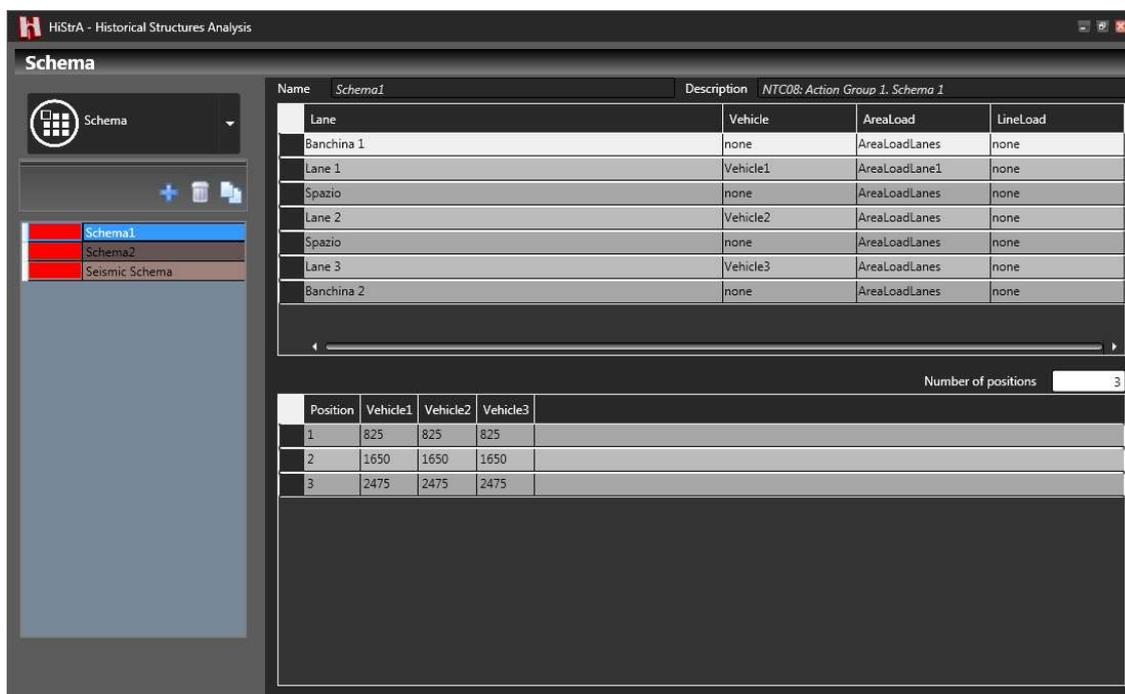


Figura 7.35 - Definizione degli Schemi di Carico - Schema

#### 7.4.4 Load combination

Con questo comando si accede alla schermata delle combinazioni di carico, in cui è possibile gestire i coefficienti amplificativi di carico associati ad ogni tipo di combinazione. Vengono distinte le combinazioni di carico sismiche e quelle non sismiche.

Le **combinazioni di carico non sismiche** sono quelle in cui la struttura è soggetta ad azioni statiche, diverse da quella sismica, dovute cioè all'azione dei carichi gravitazionali, strutturali e non strutturali, variabili e veicolari.

Tali analisi sono condotte per la **verifica agli stati limite**, ovvero per la valutazione dello stato di sollecitazione della struttura, da tenere in conto come configurazione iniziale del modello in sede di analisi sismica, in conformità a quanto prescritto dalla normativa adottata.

Le **combinazioni di carico sismiche** sono quelle in cui la struttura è soggetta ad una distribuzione di forze orizzontali (proporzionali alla massa o al modo fondamentale di vibrazione dell'edificio nella direzione di carico considerata), che hanno lo scopo di simulare, in maniera approssimata, l'azione del sisma. Tali forze, almeno nelle opzioni predefinite, sono determinate in proporzione ai carichi dell'analisi di partenza che definisce la configurazione iniziale del modello.

Le combinazioni di carico previste dalle attuali normative ed impostate di default sono le seguenti:

- SLU, di tipo:
  - STR
  - GEO
- SLE, di tipo:
  - Rara
  - Frequente
  - Quasi permanente
- SISMICA

Queste combinazioni sono tuttavia personalizzabili, modificandone i coefficienti amplificativi delle azioni, secondo le preferenze dell'utente e la normativa di riferimento.

Inoltre, nell'ambito delle SLU, tanto di tipo STR, che GEO, vengono generate più combinazioni, tante quante sono le possibili permutazioni degli schemi di carico (creati per la definizione dei carichi veicolari), e delle rispettive posizioni che i carichi veicolari possono assumere, viaggiando lungo l'asse del ponte.

Ad esempio, se sono stati definiti 2 schemi di carico e per ciascuno di essi 4 posizioni dei carichi viaggianti, si genereranno in totale 8 combinazioni di tipo SLU\_STR, ed altrettante per SLU\_GEO.

Inoltre, viene creata anche una combinazione denominata SLU\_Base, sia di tipo STR che di tipo GEO, nella quale non vengono considerati i carichi veicolari, ma solo quelli fissi, di tipo gravity, e variabili.

Figura 7.36 – Combinazioni di carico - Evidenziata la generazione di tutte le possibili comb. SLU.STR, legata a Schemi e Posizione dei carichi veicolari

### 7.4.5 Analyses

La finestra di definizione delle analisi è composta da due parti:

- La tabella di riepilogo delle analisi, posta nella parte superiore;
- Le schede di definizione dei parametri delle analisi, posta nella parte centrale, permettono di caratterizzare l'analisi selezionata nella tabella di riepilogo relativamente alla metodologia di analisi, ai parametri di controllo, alle strategie di iterazione, ai criteri di convergenza e alle modalità di applicazione del carico;
- Toolbar dei comandi, posta nella barra inferiore.

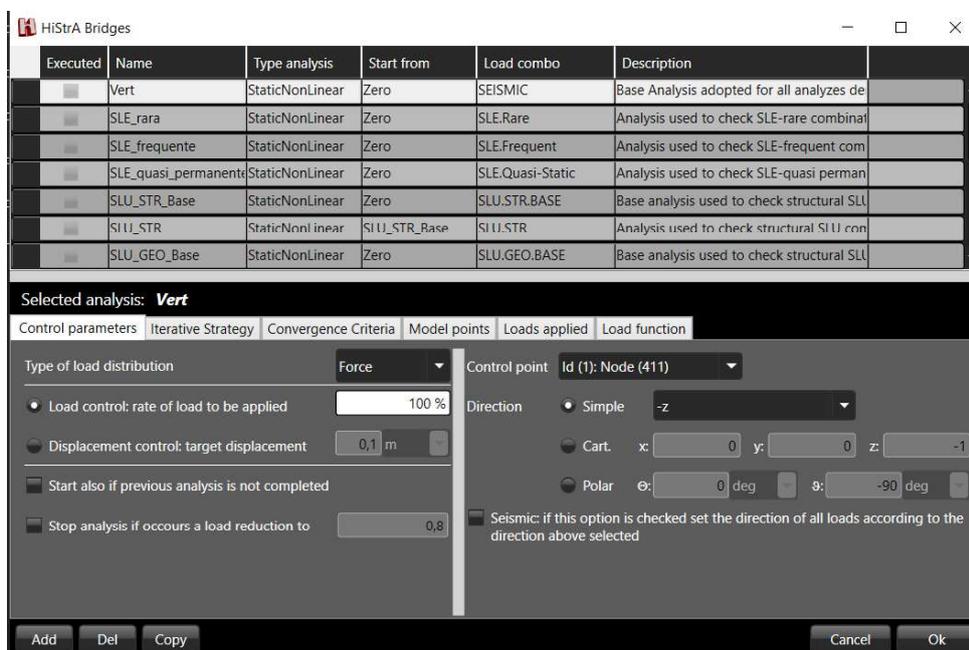


Figura 7.37 – Finestra definizione analisi

Le analisi previste nel codice di calcolo di HISTRA si possono distinguere in:

- Analisi statiche non lineari, distinte in analisi a controllo di forza e analisi a controllo di spostamento;
- Analisi modale per il calcolo dei modi e frequenze di vibrare della struttura.

Le **analisi statiche non lineari a controllo di forza** sono basate sull'**algoritmo di Newton-Raphson** ed assumono come criterio principale il raggiungimento di un fissato moltiplicatore dei carichi (*rate of load to be applied*), valutato rispetto alla combinazione di carico prescelta. L'algoritmo di Newton-Raphson risolve iterativamente il seguente problema:

$${}^i d\mathbf{R} = \mathbf{K} \cdot {}^i d\mathbf{u} \Rightarrow {}^i d\mathbf{u} = \mathbf{K}^{-1} \cdot {}^i d\mathbf{R} \quad (1)$$

essendo:

${}^i d\mathbf{R} = \mathbf{F}_{ext} - {}^i \mathbf{F}_{int}$  : vettore squilibrio calcolato nell'*i*-esima iterazione

$\mathbf{F}_{ext}$  : vettore di carico delle forze esterne applicate nel passo dell'analisi

${}^i \mathbf{F}_{int}$  : vettore delle forze interne reattive mobilitate nell'*i*-esima iterazione, calcolato mediante l'applicazione del Principio dei Lavori Virtuali  ${}^i \mathbf{F}_{int} = \int_V \mathbf{B}' \cdot \boldsymbol{\sigma} dv$  in funzione della risposta non lineare dei legami costitutivi  $\boldsymbol{\sigma} = \boldsymbol{\sigma}(\boldsymbol{\varepsilon})$  quest'ultima valutata attraverso la predizione elastica dell'incremento delle deformazioni locali  $d\boldsymbol{\varepsilon}(p) = \mathbf{B} \cdot d\mathbf{u}_{el}$  essendo  $d\mathbf{u}_{el} = \mathbf{C} \cdot d\mathbf{u}$  l'incremento degli spostamenti locali dell'elemento computazionale,  $\mathbf{B}$  la matrice di trasformazione contenente gli operatori differenziali per il calcolo delle deformazioni valutato secondo l'approccio agli spostamenti,  $\mathbf{C}$  la matrice di congruenza e  $d\mathbf{u}$  il vettore degli incrementi degli spostamenti globali calcolato in (1); nota la predizione elastica  $d\boldsymbol{\varepsilon}(p)$  si valuta l'incremento di tensione  $d\boldsymbol{\sigma}^e = \mathbf{E} \cdot d\boldsymbol{\varepsilon}$  verificando la condizione di ammissibilità plastica  $\varphi(\boldsymbol{\sigma}^e) \leq 0$ , essendo  $\boldsymbol{\sigma}^e = \boldsymbol{\sigma} + d\boldsymbol{\sigma}^e$ ; nel caso di violazione della condizione di ammissibilità plastica  $\varphi(\boldsymbol{\sigma}^e) > 0$  il solutore calcola la conseguente correzione plastica  $d\boldsymbol{\sigma} = f(d\boldsymbol{\varepsilon})$  e la tensione plasticamente ammissibile  $\boldsymbol{\sigma} = \boldsymbol{\sigma} + d\boldsymbol{\sigma}$ , viceversa  $\boldsymbol{\sigma} = \boldsymbol{\sigma}^e$ .

Le **analisi statiche non lineari a controllo di spostamento** sono basate sull'**algoritmo di Arc Length** ed assumono come criterio principale il raggiungimento di un livello di spostamento in corrispondenza di un punto di controllo della struttura secondo la direzione individuata dall'analisi. L'algoritmo di Arc Length risolve iterativamente il seguente problema:

$$\begin{cases} {}^i \lambda \cdot {}^i d\mathbf{R} = \mathbf{K} \cdot {}^i d\mathbf{u} \\ {}^i d\mathbf{u} \cdot {}^i d\mathbf{u} = dr^2 \end{cases} \quad (2)$$

essendo:

${}^i d\mathbf{R} = \mathbf{F}_{ext} - {}^i \mathbf{F}_{int}$  : vettore squilibrio calcolato nell'*i*-esima iterazione

$\mathbf{F}_{ext}$  : vettore di carico delle forze esterne applicate nel passo dell'analisi

${}^i \mathbf{F}_{int}$  : vettore delle forze interne reattive mobilitate nell'*i*-esima iterazione, calcolato come descritto superiormente.

Le analisi a controllo di spostamento permettono la valutazione della massima capacità portante della struttura poiché la stessa viene spinta fino al raggiungimento dello spostamento target in corrispondenza del punto di controllo, problema tipico delle analisi pushdown per la valutazione del moltiplicatore dei carichi di collasso come quelle per la valutazione della capacità portante di un ponte soggetto all'azione da traffico.

Le analisi a controllo di spostamento possono essere utilizzate per la valutazione della vulnerabilità sismica poiché permettono di calcolare la capacità di spostamento atteso ed il massimo valore del moltiplicatore dei carichi che la struttura può sostenere rispetto ad una distribuzione di carico individuata dalla combinazione prescelta ovvero rispetto ad una distribuzione di forze proporzionali ad un modo o una combinazione di modi di tipo CQC.

Altri tipi di applicazioni sono le simulazioni numeriche di azioni cicliche imposte alla struttura mediante la definizione delle LoadFunctions che permettono di applicare un campo di spostamento ciclico.

Le analisi statiche non lineari possono essere automaticamente interrotte se la curva di carico subisce una diminuzione in termini di forza in corrispondenza di una percentuale fissata attivando l'opzione "Stop analysis if occurs a load reduction".

Le schede di definizione dei parametri permettono di caratterizzare l'analisi selezionata nella tabella di riepilogo relativamente alla metodologia di analisi, ai parametri di controllo, alle strategie di iterazione, ai criteri di convergenza e alle modalità di applicazione del carico.

Di default nel software HISTRA Arches And Vaults sono previste le seguenti analisi:

- Vert:** analisi statica non lineare a controllo di forza del ponte soggetto ai carichi gravitazionali secondo la combinazione sismica.
- SLU\_STR:** analisi statica non lineare a controllo di forza della struttura soggetta ai carichi gravitazionali ed a quelli dovuti all'azione di spinta delle terre, combinati secondo la combinazione SLU.STR.
- SLU\_GEO:** analisi statica non lineare a controllo di forza della struttura soggetta ai carichi gravitazionali ed a quelli dovuti all'azione di spinta delle terre, combinati secondo la combinazione SLU.GEO. Non sono inclusi i carichi mobili. E' l'analisi di partenza per tutte le analisi di tipo SLU\_GEO.
- SLE\_Rare:** analisi statica non lineare a controllo di forza della struttura soggetta ai carichi gravitazionali, adottando la combinazione rara (o caratteristica), impiegata generalmente per le verifiche agli Stati Limite di Esercizio (SLE) irreversibili.
- SLE\_Frequent:** analisi statica non lineare a controllo di forza della struttura soggetta ai carichi gravitazionali, adottando la combinazione frequente, impiegata generalmente per le verifiche agli Stati Limite di Esercizio reversibili (SLE).
- SLE\_Quasi\_Permanent:** analisi statica non lineare a controllo di forza della struttura soggetta ai carichi gravitazionali, adottando la combinazione quasi permanente, impiegata generalmente per le verifiche agli Stati Limite di Esercizio, per gli effetti a lungo termine (SLE).
- Pushover+X Mass:** analisi statica non lineare a controllo di spostamento di tipo pushover della struttura soggetta ad una distribuzione di forze orizzontali proporzionali alla massa nella direzione delle X positive. Richiede l'esecuzione preliminare dell'analisi Vert da cui riparte.
- Pushover-X Mass:** analisi statica non lineare a controllo di spostamento di tipo pushover della struttura soggetta ad una distribuzione di forze orizzontali proporzionali alla massa nella direzione delle X negative. Richiede l'esecuzione preliminare dell'analisi Vert da cui riparte.

- **Pushover+Y Mass:** analisi statica non lineare a controllo di spostamento di tipo pushover della struttura soggetta ad una distribuzione di forze orizzontali proporzionali alla massa nella direzione delle Y positive. Richiede l'esecuzione preliminare dell'analisi Vert da cui riparte.
- **Pushover-Y Mass:** analisi statica non lineare a controllo di spostamento di tipo pushover della struttura soggetta ad una distribuzione di forze orizzontali proporzionali alla massa nella direzione delle Y negative. Richiede l'esecuzione preliminare dell'analisi Vert da cui riparte.
- **Pushover+X Modal:** analisi statica non lineare a controllo di spostamento di tipo pushover della struttura soggetta ad una distribuzione di forze orizzontali proporzionali ad un modo o ad una combinazione di modi di vibrare della struttura, secondo la direzione delle X positive. Richiede l'esecuzione preliminare dell'analisi Vert da cui riparte e dell'analisi Modal.
- **Pushover-X Modal:** analisi statica non lineare a controllo di spostamento di tipo pushover della struttura soggetta ad una distribuzione di forze orizzontali proporzionali ad un modo o ad una combinazione di modi di vibrare della struttura, secondo la direzione delle X negative. Richiede l'esecuzione preliminare dell'analisi Vert da cui riparte e dell'analisi Modal.
- **Pushover+Y Modal:** analisi statica non lineare a controllo di spostamento di tipo pushover della struttura soggetta ad una distribuzione di forze orizzontali proporzionali ad un modo o ad una combinazione di modi di vibrare della struttura, secondo la direzione delle Y positive. Richiede l'esecuzione preliminare dell'analisi Vert da cui riparte e dell'analisi Modal.
- **Pushover-Y Modal:** analisi statica non lineare a controllo di spostamento di tipo pushover della struttura soggetta ad una distribuzione di forze orizzontali proporzionali ad un modo o ad una combinazione di modi di vibrare della struttura, secondo la direzione delle Y negative. Richiede l'esecuzione preliminare dell'analisi Vert da cui riparte e dell'analisi Modal.
- **Modal:** analisi dei modi e frequenze di vibrare della struttura.

Le analisi di default previste nel software HISTRA BRIDGES sono:

- **Vert:** analisi statica non lineare a controllo di forza del ponte soggetto ai carichi gravitazionali secondo la combinazione sismica.
- **SLU\_STR\_Base:** analisi statica non lineare a controllo di forza del ponte soggetto ai carichi gravitazionali ed a quelli dovuti all'azione di spinta delle terre, combinati secondo la combinazione SLU.STR. Non sono inclusi i carichi mobili. E' l'analisi di partenza per tutte le analisi di tipo SLU\_STR e SLU\_STR\_COLLAPSE.
- **SLU\_STR:** analisi statiche non lineari a controllo di forza del ponte soggetto ai carichi mobili, applicati secondo la combinazione agli Stati Limite Ultimi di tipo strutturale (SLU.STR). In particolare verranno eseguite tante analisi quante sono le possibili distribuzioni di carico individuate dagli schemi di carico ed al numero di posizioni assunte dai carichi mobili (7.4.3). Richiede l'esecuzione preliminare dell'analisi SLU\_STR\_BASE da cui riparte.
- **SLU\_STR\_COLLAPSE:** analisi statiche non lineari a controllo di spostamento del ponte soggetto ai carichi mobili, applicati secondo la combinazione agli Stati Limite Ultimi di tipo strutturale (SLU.STR) al fine di determinare il moltiplicatore di carico che determina il collasso della struttura. In particolare verranno eseguite tante analisi quante sono le possibili distribuzioni di carico individuate dagli schemi di carico ed al numero di posizioni assunte dai carichi mobili (7.4.3). Richiede l'esecuzione preliminare dell'analisi SLU\_STR\_BASE da cui riparte.
- **SLU\_GEO\_Base:** analisi statica non lineare a controllo di forza del ponte soggetto ai carichi gravitazionali ed a quelli dovuti all'azione di spinta delle terre, combinati secondo la combinazione SLU.GEO. Non sono inclusi i carichi mobili. E' l'analisi di partenza per tutte le analisi di tipo SLU\_GEO.
- **SLU\_GEO:** analisi statiche non lineari a controllo di forza del ponte soggetto ai carichi mobili, applicati secondo la combinazione agli Stati Limite Ultimi di tipo geotecnico (SLU.GEO). In particolare verranno eseguite tante analisi quante sono le possibili distribuzioni di carico individuate dagli schemi di carico

- ed al numero di posizioni assunte dai carichi mobili (7.4.3). Richiede l'esecuzione preliminare dell'analisi SLU\_GEO\_BASE da cui riparte.
- **SLE\_Rare\_Base:** analisi statica non lineare a controllo di forza del ponte soggetto ai carichi gravitazionali, adottando la combinazione rara (o caratteristica), impiegata generalmente per le verifiche agli Stati Limite di Esercizio (SLE) irreversibili.
  - **SLE\_Rare:** analisi statiche non lineari a controllo di forza del ponte soggetto ai carichi mobili, adottando la combinazione rara (o caratteristica), impiegata generalmente per le verifiche agli Stati Limite di Esercizio (SLE) irreversibili. In particolare verranno eseguite tante analisi quante sono le possibili distribuzioni di carico individuate dagli schemi di carico ed al numero di posizioni assunte dai carichi mobili (7.4.3). Richiede l'esecuzione preliminare dell'analisi SLE\_Rare\_Base da cui riparte.
  - **SLE\_Frequent\_Base:** analisi statica non lineare a controllo di forza del ponte soggetto ai carichi gravitazionali, adottando la combinazione frequente, impiegata generalmente per le verifiche agli Stati Limite di Esercizio reversibili (SLE).
  - **SLE\_Frequent:** analisi statiche non lineari a controllo di forza del ponte soggetto ai carichi mobili, adottando la combinazione frequente, impiegata generalmente per le verifiche agli Stati Limite di Esercizio reversibili (SLE). In particolare verranno eseguite tante analisi quante sono le possibili distribuzioni di carico individuate dagli schemi di carico ed al numero di posizioni assunte dai carichi mobili (7.4.3). Richiede l'esecuzione preliminare dell'analisi SLE\_Frequent\_Base da cui riparte.
  - **SLE\_Quasi\_Permanent\_Base:** analisi statica non lineare a controllo di forza del ponte soggetto ai carichi gravitazionali, adottando la combinazione quasi permanente, impiegata generalmente per le verifiche agli Stati Limite di Esercizio, per gli effetti a lungo termine (SLE).
  - **SLE\_Quasi\_Permanent:** analisi statiche non lineari a controllo di forza del ponte soggetto ai carichi mobili, adottando la combinazione quasi permanente, impiegata generalmente per le verifiche agli Stati Limite di Esercizio, per gli effetti a lungo termine (SLE). In particolare verranno eseguite tante analisi quante sono le possibili distribuzioni di carico individuate dagli schemi di carico ed al numero di posizioni assunte dai carichi mobili (7.4.3). Richiede l'esecuzione preliminare dell'analisi SLE\_Quasi\_Permanent\_Base da cui riparte.
  - **Pushover+X Mass:** analisi statica non lineare a controllo di spostamento di tipo pushover del ponte soggetto ad una distribuzione di forze orizzontali proporzionali alla massa nella direzione delle X positive. Richiede l'esecuzione preliminare dell'analisi Vert da cui riparte.
  - **Pushover-X Mass:** analisi statica non lineare a controllo di spostamento di tipo pushover del ponte soggetto ad una distribuzione di forze orizzontali proporzionali alla massa nella direzione delle X negative. Richiede l'esecuzione preliminare dell'analisi Vert da cui riparte.
  - **Pushover+Y Mass:** analisi statica non lineare a controllo di spostamento di tipo pushover del ponte soggetto ad una distribuzione di forze orizzontali proporzionali alla massa nella direzione delle Y positive. Richiede l'esecuzione preliminare dell'analisi Vert da cui riparte.
  - **Pushover-Y Mass:** analisi statica non lineare a controllo di spostamento di tipo pushover del ponte soggetto ad una distribuzione di forze orizzontali proporzionali alla massa nella direzione delle Y negative. Richiede l'esecuzione preliminare dell'analisi Vert da cui riparte.
  - **Pushover+X Modal:** analisi statica non lineare a controllo di spostamento di tipo pushover del ponte soggetto ad una distribuzione di forze orizzontali proporzionali ad un modo o ad una combinazione di modi di vibrare della struttura, secondo la direzione delle X positive. Richiede l'esecuzione preliminare dell'analisi Vert da cui riparte e dell'analisi Modal.
  - **Pushover-X Modal:** analisi statica non lineare a controllo di spostamento di tipo pushover del ponte soggetto ad una distribuzione di forze orizzontali proporzionali ad un modo o ad una combinazione di modi di vibrare della struttura, secondo la direzione delle X negative. Richiede l'esecuzione preliminare dell'analisi Vert da cui riparte e dell'analisi Modal.

- Pushover+Y Modal:** analisi statica non lineare a controllo di spostamento di tipo pushover del ponte soggetto ad una distribuzione di forze orizzontali proporzionali ad un modo o ad una combinazione di modi di vibrare della struttura, secondo la direzione delle Y positive. Richiede l'esecuzione preliminare dell'analisi Vert da cui riparte e dell'analisi Modal.
- Pushover-Y Modal:** analisi statica non lineare a controllo di spostamento di tipo pushover del ponte soggetto ad una distribuzione di forze orizzontali proporzionali ad un modo o ad una combinazione di modi di vibrare della struttura, secondo la direzione delle Y negative. Richiede l'esecuzione preliminare dell'analisi Vert da cui riparte e dell'analisi Modal.
- Modal:** analisi dei modi e frequenze di vibrare della struttura.

Per aggiungere / cancellare o copiare una analisi nella tabella, utilizzare rispettivamente i bottoni **Add / Del** e **Copy** posti nella Toolbar dei comandi, in basso a sinistra.

La tabella di riepilogo delle analisi riporta per ciascuna analisi i seguenti parametri editabili:

- Name:** nome per l'analisi sismica oppure non sismica.
- Type analysis:** tipo di analisi, se statica non lineare
- Start from:** Indica se l'analisi deve partire dall'ultimo step di un'altra analisi eseguita precedentemente. Cliccando sulla casella appare un menu a tendina da cui è possibile selezionare l'analisi di restart, a partire dalla quale si intende eseguire quella corrente. Selezionando Zero l'analisi parte dalla configurazione indeformata.
- Load combo:** combinazione di carico in archivio, definita nella finestra *load combination*.
- Description:** sintetica descrizione dell'analisi.

Per personalizzare i parametri dell'analisi è necessario selezionare una analisi in tabella e modificare i valori dei parametri nelle schede subito in basso.

*Nota bene: con particolare riferimento alle analisi sismiche, l'opzione Start From consente di avviare l'analisi da uno stato di deformazione e di sollecitazione calcolato da un'altra analisi e consente di considerare l'effetto della sollecitazione di compressione verticale agente sugli elementi murari (dovuta ai carichi gravitazionali), ai fini della corretta valutazione della capacità portante della struttura durante le analisi sismiche. Infatti, secondo il criterio di resistenza di Mohr-Coulomb, la tensione tangenziale limite  $\tau_u$  cresce proporzionalmente con la tensione normale  $\sigma_n$  ( $\tau_u = c + \sigma_n \tan \varphi$ ). Pertanto è indispensabile valutare tale incremento di resistenza ai fini di una corretta valutazione del meccanismo di collasso e della capacità portante della struttura: per questo motivo le analisi di tipo sismico iniziano sempre dall'ultimo step dell'analisi "Vert".*

#### 7.4.5.1 Control parameters

La scheda "**Control parameters**" consente di definire i seguenti parametri relativi sia alla fase a controllo di forza, che a quella a controllo di spostamento:

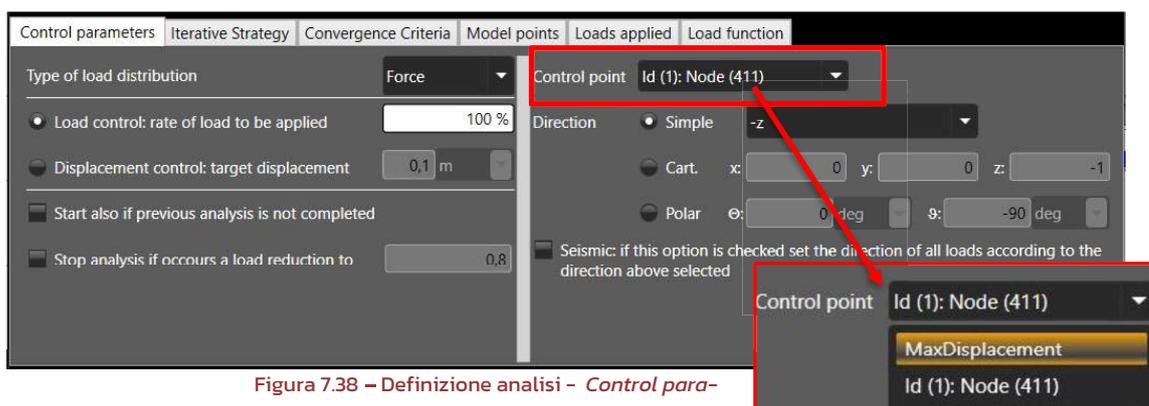


Figura 7.38 – Definizione analisi - *Control parameters*

- **Load control: rate of load to be applied:** analisi a controllo di forza. Consente di impostare il valore target, ossia la percentuale di carico da raggiungere nella analisi a controllo di forza.
- **Displacement control: target displacement:** analisi a controllo di spostamento. Consente di impostare lo spostamento ultimo (detto anche spostamento target), da raggiungere nella analisi a controllo di spostamento.
- **Start also if previous analysis is not completed:** se selezionato, consente di iniziare l'analisi anche se la precedente non è stata completata.
- **Stop analysis if occurs a load reduction to:** indica la percentuale di riduzione della reazione vincolare. (esempio: 0,8 = riduzione della reazione vincolare dell'80%).
- **Control point:** consente di impostare il punto di controllo per monitorare lo spostamento raggiunto dalla struttura durante l'analisi a controllo di spostamento. Il punto di controllo viene selezionato tra tutti i Model points definiti (v. la scheda Model points)
  - **Id(1): Node (...):** se selezionato imposta il punto di controllo su uno dei model point definiti. Il nodo viene identificato dal proprio id; il punto di controllo di default coincide con il primo della lista dei punti di controllo riportati nella omonima scheda (model points)
  - **Max displacement:** se selezionato il solutore sceglierà automaticamente il punto di controllo ossia il grado di libertà da monitorare in ciascun passo dell'analisi. Questa strategia viene usualmente suggerita nel caso di analisi per carichi viaggianti e per analisi sismiche pushover.
- **Direction:** indica il verso e la direzione dell'analisi. Sono disponibili tre modalità di definizione della direzione:
  - **Simple:** indicare solo la direzione, coerente con gli assi del sistema di riferimento globale;
  - **Cart:** caratterizzare la direzione, mediante le coordinate cartesiane;
  - **Polar:** caratterizzare la direzione, mediante coordinate polari.

#### 7.4.5.2 Iterative strategy

La scheda "Iterative Strategy" contiene le seguenti opzioni, relative al metodo numerico da utilizzare:

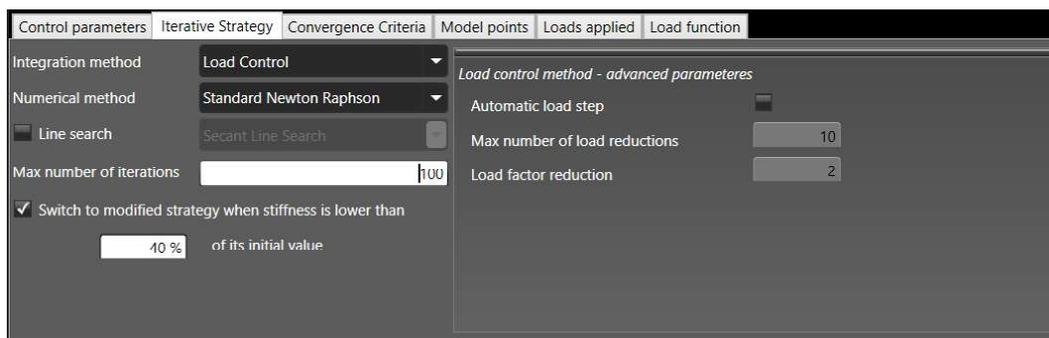


Figura 7.39 – Definizione analisi. – *Iterative Strategy*,

- **Integration method:** metodo di integrazione numerica da utilizzare. *Load control* se il metodo di analisi scelto è a controllo di forza, oppure *Arc Length* se il metodo di analisi è a controllo di spostamento.
- **Numerical method:** scegliere il metodo di analisi al passo che deve eseguire il solutore tra i seguenti:
  - *Standard Newton Raphson:* la matrice di rigidezza della struttura si aggiorna ad ogni iterazione nel passo dell'analisi non lineare; questo metodo consente di ottenere maggiori velocità di convergenza. Tuttavia non è incondizionatamente stabile poiché la matrice di rigidezza può diventare singolare a causa delle non linearità raggiunte nel passo, impedendo la possibilità di risolvere il sistema lineare;
  - *Modified Newton Raphson:* la matrice di rigidezza della struttura viene valutata in corrispondenza della configurazione indeformata e non si aggiorna nelle iterazioni. Questo metodo è incondizionatamente stabile poiché la matrice di rigidezza non viene aggiornata, tuttavia determina un aumento del numero di iterazioni necessarie al fine di ottenere la condizione di convergenza richiesta, in tal caso è opportuno eseguire le analisi con il metodo di *Line search*, attivando la seguente opzione di calcolo, al fine di ridurre il numero di iterazioni richieste.
- **Line search:** attivando l'opzione è possibile scegliere dal menu a tendina le seguenti opzioni (vedi note seguenti)
  - *Secant line search*
  - *Regula-falsi line search*
  - *Bisection line search*
  - *Initial interpolated line search*
- **Max number of iterations:** consente di stabilire il massimo numero di iterazioni nel passo dell'analisi.
- **Switch to modified strategy when stiffness is lower than (percent) of its initial value:** se attivata l'opzione consente di indicare la percentuale della rigidezza iniziale, al di sotto della quale il solutore modifica il metodo numerico da Standard a Modified Newton-Raphson.

#### **Nota sui metodi di Line Search**

*I metodi di Line Search consentono di aumentare la velocità di convergenza della soluzione fornita dal metodo di Newton-Raphson. Solitamente l'incremento di spostamento  $dU$  fornito dal metodo di Newton-Raphson individua una direzione ottimale al fine di ottenere la convergenza ma l'ampiezza del vettore  $dU$  potrebbe non conseguire tale risultato essendo troppo grande o troppo poco rispetto alla condizione di convergenza definita. In tal caso è più economico calcolare il residuo per diversi valori di  $dU$  piuttosto che risolvere un nuovo sistema lineare al fine di ottenere un nuovo vettore  $dU$ . La procedura di Line search consiste nel calcolare il valore ottimale dell'incremento di spostamento al fine di*

minimizzare l'energia potenziale totale  $\phi$  che risulta funzione dello spostamento totale cumulato  $\mathbf{u}$ .  
L'incremento di spostamento sarà pari a

$$\mathbf{u}_{n+1} = \mathbf{u}_n + \eta \cdot d\mathbf{u}$$

essendo  $\eta$  la lunghezza adimensionalizzata dello step della procedura di Line Search che può essere calcolato imponendo la condizione di stazionarietà dell'energia potenziale totale  $\phi$ :

$$\frac{\partial \phi}{\partial \eta} = d\mathbf{u}^t \cdot d\mathbf{R}(\eta) = 0$$

Si definisce la funzione  $\sigma(\eta)$  come

$$\sigma(\eta) = \frac{\partial \phi}{\partial \eta} = d\mathbf{u}^t \cdot d\mathbf{R}(\eta)$$

$$\sigma_0 = d\mathbf{u}_0^t \cdot d\mathbf{R}_0$$

essendo:

$d\mathbf{u}_0 = \mathbf{K}^{-1} \cdot d\mathbf{R}_0$ : vettore incremento di spostamento calcolato nella prima iterazione di Line search

$d\mathbf{R}_0 = \mathbf{F}_{ext} - \mathbf{F}_{int,0}$ : vettore squilibrio calcolato all'inizio della prima iterazione di Line search

$\mathbf{F}_{ext}$ : vettore di carico delle forze esterne applicate nel passo dell'analisi

$\mathbf{F}_{int,0}$ : vettore delle forze interne reattive mobilitate all'inizio della prima iterazione di Line search,

I diversi algoritmi di Line search utilizzano diversi metodi di ricerca del valore della lunghezza dello step  $\eta$  calcolato come radice dell'equazione  $\sigma(\eta) = 0$ . Di seguito si riportano le procedure di calcolo.

**Secant line search:**

$$\text{while}(\sigma_0 / \sigma_n < \text{toll} \text{ and } \text{Iterations} < \text{MaxIterations}) \left\{ \eta_{n+1} = \frac{\eta_n \cdot \sigma_0}{\sigma_0 - \sigma_{n+1}} \right\}$$

**Regula-falsi line search:**

$$\begin{aligned} &\eta_U = 0; \eta_L = 1; \sigma_U = \sigma(\eta_U); \sigma_L = \sigma(\eta_L) \\ &\text{while}(\sigma_0 / \sigma_n < \text{toll and Iterations} < \text{MaxIterations}) \{ \\ &\eta_{n+1} = \eta_U - \frac{\sigma_U \cdot (\eta_L - \eta_U)}{\sigma_L - \sigma_U} \\ &\text{if}(\sigma_{n+1} \cdot \sigma_L < 0) \rightarrow \eta_U = \eta_{n+1}, \sigma_U = \sigma_{n+1} \\ &\text{if}(\sigma_{n+1} \cdot \sigma_U < 0) \rightarrow \eta_L = \eta_{n+1}, \sigma_L = \sigma_{n+1} \} \end{aligned}$$

**Bisection line search:**

$$\begin{aligned} &\eta_U = 0; \eta_L = 1; \sigma_U = \sigma(\eta_U); \sigma_L = \sigma(\eta_L) \\ &\text{while}(\sigma_0 / \sigma_n < \text{toll and Iterations} < \text{MaxIterations}) \{ \\ &\eta_{n+1} = \frac{\eta_L - \eta_U}{2} \\ &\text{if}(\sigma_{n+1} \cdot \sigma_L < 0) \rightarrow \eta_U = \eta_{n+1}, \sigma_U = \sigma_{n+1} \\ &\text{if}(\sigma_{n+1} \cdot \sigma_U < 0) \rightarrow \eta_L = \eta_{n+1}, \sigma_L = \sigma_{n+1} \} \end{aligned}$$

**Secant line search:**

$$\text{while}(\sigma_0 / \sigma_n < \text{toll and Iterations} < \text{MaxIterations}) \left\{ \eta_{n+1} = \eta_n - \frac{\sigma_n \cdot (\eta_{n-1} - \eta_n)}{\sigma_{n-1} - \sigma_n} \right\}$$

**Reference**

M.A. Crisfield, "Nonlinear Finite Element Analysis of Solids and Structures, Volume 1:Essentials", Wiley, 1991.

---

La scheda **Iterative Strategy**, riporta nella parte destra i seguenti parametri

Nel caso in cui l'analisi è a controllo di forza

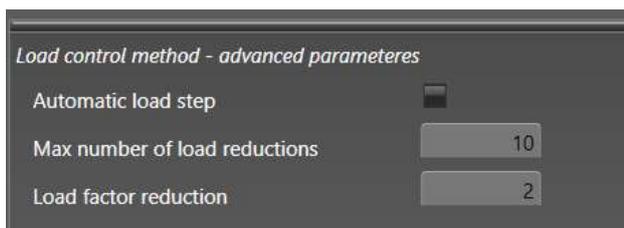


Figura 7.40 – Load control method – parametri specifici

- **Automatic load step:** se attivato nel caso in cui non trova convergenza per eccessive iterazioni, riduce il moltiplicatore dei carichi dividendolo per il fattore di riduzione fino a che non si trovi convergenza;
- **Max number of load reduction:** numero massimo di riduzioni del moltiplicatore dei carichi;
- **Load factor reduction:** fattore di riduzione del moltiplicatore dei carichi

Nel caso in cui l'analisi è a controllo di spostamento (Arc length)

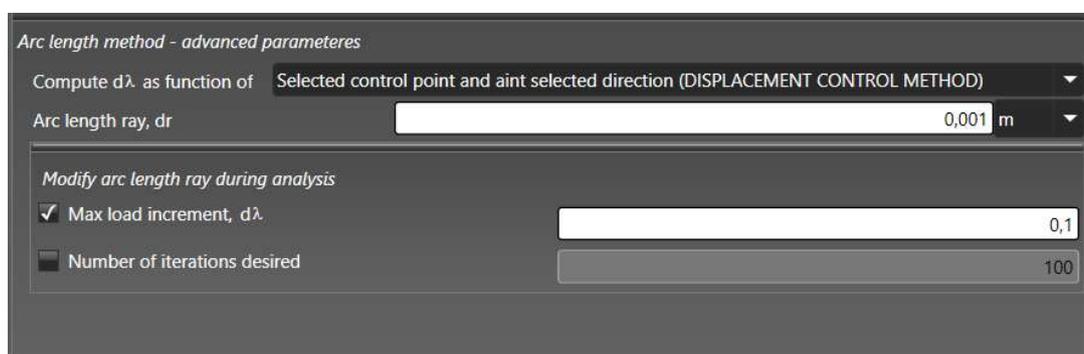


Figura 7.41 – Arc length method – parametri specifici

- **Arch length ray, dr:** ampiezza del raggio del metodo Arc length
- **Compute  $d\lambda$  as function of:** menu a tendina da cui è possibile specificare i gradi di libertà da monitorare nell'analisi di Arc length
  - **Control point selected (Displacement Control):** l'analisi sarà eseguita incrementando il moltiplicatore di carico in funzione dello spostamento del grado di libertà traslazionale del punto di controllo selezionato, secondo la direzione specificata nella scheda "Control parameters";
  - **Model points selected (Reduced Arch Length Method):** l'analisi sarà eseguita incrementando il moltiplicatore di carico in funzione dello spostamento risultante ottenuto come radice quadrata della somma dei quadrati (SRSS) degli spostamenti dei gradi di libertà traslazionali relativi i punti di controllo selezionati, secondo la direzione specificata nella scheda "Control parameters";
  - **All degrees of freedom (Arch Length Method):** l'analisi sarà eseguita incrementando il moltiplicatore di carico in funzione dello spostamento risultante ottenuto come radice quadrata della somma dei quadrati (SRSS) degli spostamenti dei gradi di libertà traslazionali di tutti i nodi del modello, secondo la direzione specificata nella scheda "Control parameters".

E' inoltre possibile chiedere al solutore di modificare in maniera adattiva la lunghezza del raggio dell'arch length  $dr$  (Arc length ray), durante l'analisi adottando le seguenti strategie.

- **Max load increment,  $d\lambda$ :** selezionando questa opzione si chiede al solutore di modificare il valore del raggio di arch length in modo tale da ottenere incrementi del moltiplicatore del carico  $d\lambda$  inferiori rispetto al valore massimo fissato  $d\lambda_{max}$ . Se si adotta una distribuzione di forze modali, è opportuno de-selezionare questa opzione perché la risultante delle forze applicate risulta essere una frazione delle masse applicate e l'uso di questa opzione determinerebbe una eccessiva riduzione del valore del raggio di arc length.
- **Number of iterations desired:** selezionando questa opzione si chiede al solutore di modificare il raggio dell'arch length in modo tale da ottenere un numero di iterazioni inferiore al valore fissato.

#### 7.4.5.1 Convergence Criteria

In questa scheda è possibile specificare il criterio di convergenza e la tolleranza da adottare nelle analisi statiche non lineari. E' bene precisare che la scelta del criterio di convergenza è un aspetto cruciale nel risultato numerico. Una tolleranza troppo ampia può determinare il non soddisfacimento della condizione di equilibrio rigorosamente soddisfatta adottando il criterio di convergenza nelle forze.

- **Tolerance:** valore massimo dell'errore al di sotto del quale l'analisi trova la sua convergenza.
- **Force:** selezionando questo criterio di convergenza l'analisi trova la sua convergenza quando la norma del vettore residuo è inferiore alla tolleranza fissata

$$\left| {}^i d\mathbf{R} \right| = \left| \mathbf{F}_{ext} - {}^i \mathbf{F}_{int} \right| \leq tol$$

- **Displacement:** selezionando questo criterio di convergenza l'analisi trova la sua convergenza quando la norma del vettore incremento di spostamento è inferiore alla tolleranza fissata

$$\left| {}^i d\mathbf{u} \right| \leq tol$$

- **Work:** selezionando questo criterio di convergenza l'analisi trova la sua convergenza quando il lavoro calcolato come prodotto del vettore residuo per il vettore incremento di spostamento è inferiore alla tolleranza fissata

$$\left| {}^i d\mathbf{R} \cdot {}^i d\mathbf{u} \right| \leq tol$$

- **Max displacement:** valore massimo dello spostamento in un grado di libertà traslazionale del modello al di sopra del quale l'analisi viene interrotta per eccessivi spostamenti.

Nelle relazioni  ${}^i d\mathbf{R}$  è il vettore residuo  ${}^i d\mathbf{u}$  è il vettore incremento di spostamento calcolato nella iterazione  $i$ -esima





### 7.4.5.1 Load function

E' possibile definire funzioni di carico, utili soprattutto per poter eseguire analisi monotone o di tipo ciclico.

La funzione di carico è definita attraverso una serie di coppie di valori (pseudo-tempo e moltiplicatore del carico) i cui valori sono introdotti mediante in input tabellare.

L'incremento di carico viene applicato alla serie di dati definiti in tabella rispetto al tempo (pseudo-time) ovvero rispetto al moltiplicatore di carico secondo le opzioni di calcolo di seguito elencate.

- **Discretization by pseudo-time:** scegliendo questa opzione la funzione di carico prevede incrementi del moltiplicatore di carico funzione del valore del passo di discretizzazione nel tempo di analisi (pseudo-time) definito tra gli istanti di tempo dichiarati nella tabella a fianco.
- **Discretization by load multiplier:** scegliendo questa opzione la funzione di carico prevede incrementi del moltiplicatore di carico costanti pari al valore imputato nel parametro Max discretization.
- **Max discretization:** valore del passo di discretizzazione nel tempo ovvero nel moltiplicatore di carico
- **Delete selected row:** cancella la riga selezionata in tabella.

Nella parte destra della finestra è rappresentata graficamente la funzione di carico.

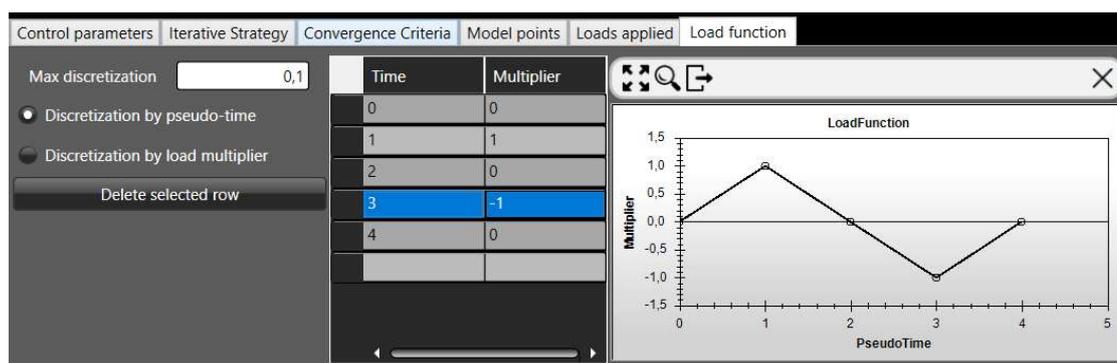


Figura 7.47 – Scheda Load function

### Group Objects

Questo comando apre la finestra di definizione dei gruppi di oggetti. In ciascun gruppo possono essere aggiunti oggetti aventi caratteristiche comuni, di cui si vuole (ad esempio) leggere la risposta (in termini di spostamento o di forze, etc.) in fase di output.

Dopo aver creato il gruppo nell'elenco di sinistra, portarsi nella finestra a destra e aggiungere gli elementi mediante il tasto Add Element.

E' possibile creare i gruppi di oggetti e/o aggiungere gli oggetti selezionati attraverso la finestra di visualizzazione principale. In tal caso è necessario selezionare gli oggetti visualizzati nella vista corrente, cliccare con il tasto destro del mouse e richiamare il comando "Add selected elements to Group" presente nel menu contestuale. Cliccando sul comando "Add to new group" è possibile definire un nuovo gruppo a cui assegnare gli oggetti selezionati.

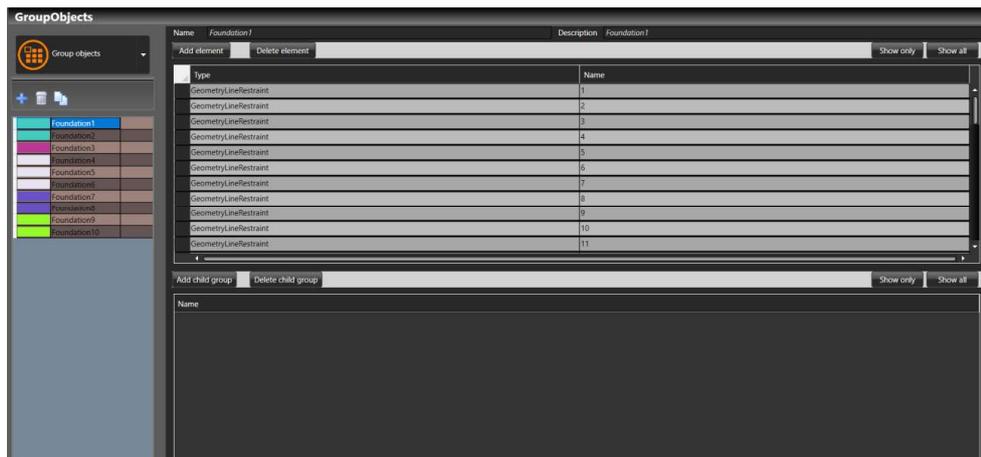


Figura 7.48 – Finestra di definizione dei Gruppi di Oggetti (Group Objects).

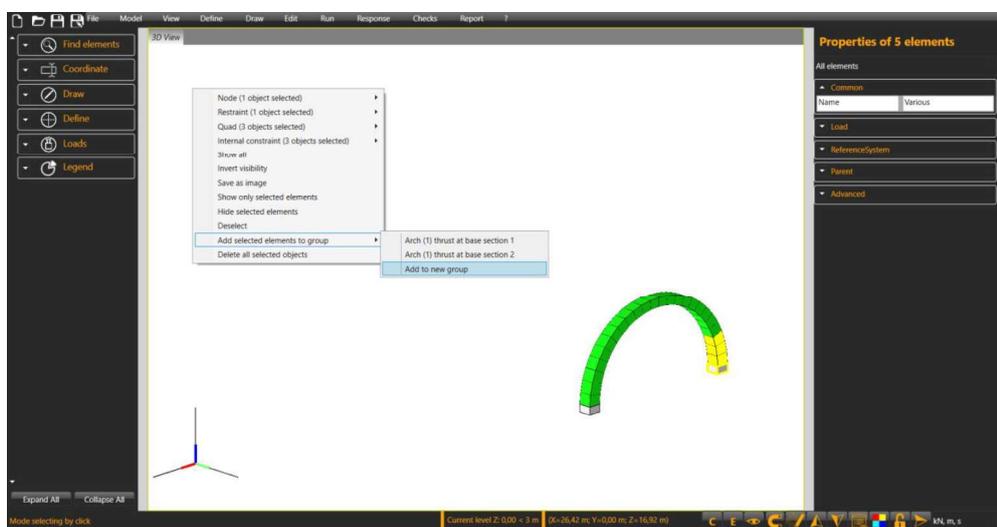


Figura 7.49 – Comando per aggiungere oggetti ai 'GroupObjects'.

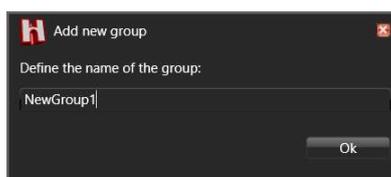


Figura 7.50 – Comando per creare nuovi Gruppi di Oggetti (Group Objects).

## 7.5 DRAW

Dal menu *Draw* è possibile disegnare i seguenti elementi:

- **Line Reference:** disegna linee di riferimento. Per disegnare una linea di riferimento, cliccare sul punto e individuare la direzione utilizzando il mouse, quindi indicare la lunghezza espressa in cm. E' possibile anche indicare la direzione digitando *Lunghezza < Angolo* (es: *100<30*) e cliccando su invio, indicando lunghezza della linea in cm e l'angolo formato tra l'asse x del sistema di riferimento globale e la direzione

della linea che si vuole tracciare. Digitando invece la stringa: *@Lunghezza<Angolo* (es: *@100<30*) è possibile considerare il sistema di riferimento relativo all'ultimo punto cliccato.

- **Restraint:** consente di definire i vincoli di punto, di linea e di superficie. Per disegnare un vincolo di punto basta selezionare un nodo. Per disegnare un vincolo di linea, selezionare primo e secondo nodo, che individuano una linea. Per definire un vincolo di superficie, selezionare in successione tutti i nodi che racchiudono la superficie che si vuole vincolare.
- **Computational elements:** consente di disegnare elementi computazionali quali
  - **Quad:** macro-elementi a quattro nodi deformabili a taglio
  - **Vertex:** macro-elementi a tre nodi non deformabili a taglio
  - **Solid:** macro-elementi a 8 nodi non deformabili a taglio
  - **Truss:** elementi finiti tipo truss (pendolo) unidirezionali, con resistenza a compressione eventualmente limitata.



Figura 7.51 – Menu DRAW.

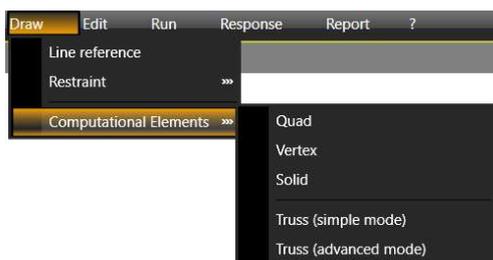


Figura 7.52 – DRAW.> Computational Elements.

## 7.6 EDIT

Dal menu *Edit* è possibile disegnare i seguenti elementi:

- **Distance:** misura distanza lineare tra due punti. Selezionare due punti nell'ambiente principale del programma. Il valore sarà riportato nella barra delle informazioni in basso a sinistra.
- **Area:** selezionare i punti di una maglia e cliccare col tasto destro del mouse. Selezionare il tasto *Fet area measurement* dal menu contestuale. Il valore numerico dell'area selezionata verrà riportato nella barra delle informazioni in basso a sinistra.

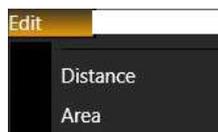


Figura 7.53– Menu EDIT

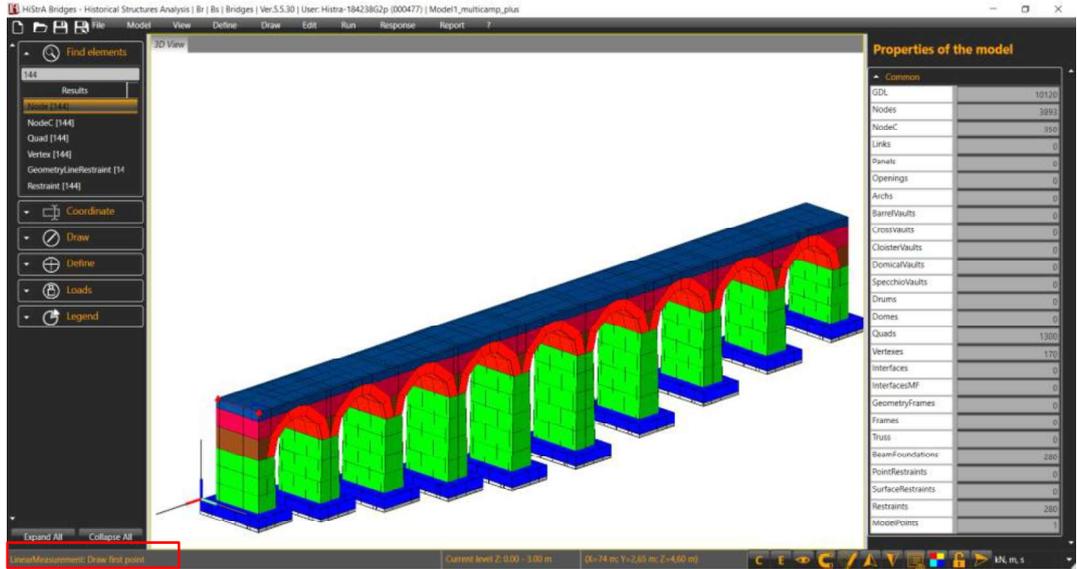


Figura 7.54– Edit > Distance

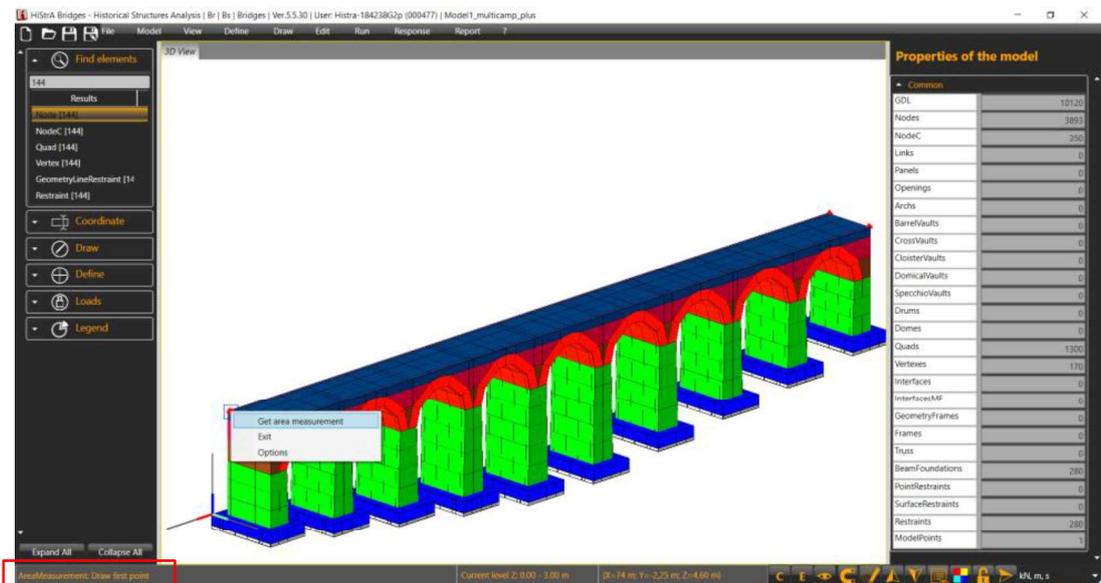


Figura 7.55– Edit > Area measurement.

## 7.7 RUN

Attraverso il comando *Run* posto sulla barra del menu principale, si accede alla finestra per l'avvio del solutore e la selezione delle analisi da eseguire. Essa è composta da:

- toolbar di comando (cfr. 7.7.1);
- tabella di selezione delle analisi da eseguire (cfr. 7.7.2);
- log di output delle analisi (cfr. 7.7.3);
- anteprima della curva di carico (cfr. 7.7.4);
- grafici dell'errore;



Figura 7.56 – Schermata di selezione delle analisi da eseguire

Durante l'esecuzione delle analisi vengono mostrate le curve di carico, il grafico dell'errore (Error value at each iteration), il grafico delle forze esterne e interne rappresentato per ogni grado di libertà del modello (Error at each DOF); durante l'esecuzione delle analisi è possibile visualizzare la configurazione deformata del modello e le mappe di colore del campo nella finestra principale. Il grafico dell'errore rappresentato in basso a destra consente la valutazione del grado di convergenza dell'analisi: l'analisi converge quando l'errore è inferiore alla tolleranza fissata (v. Finestra di definizione delle analisi). Pertanto se l'analisi converge allora il grafico dell'errore diviene monotono e tendente a zero (v. Figura 7.57). Eventuali oscillazioni del grafico dell'errore possono essere causate dalla non linearità del modello in particolare quando si determinano eventi di rottura associati alla perdita di resistenza. Viceversa se il grafico dell'errore diventa divergente vuol dire che non è possibile determinare una configurazione che soddisfa il criterio di convergenza adottato.

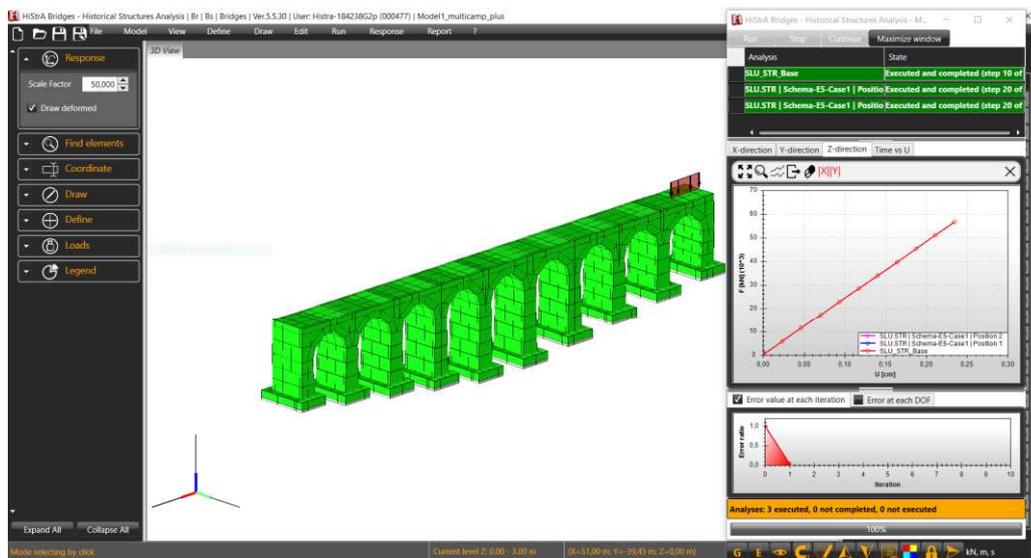


Figura 7.57 – Finestra di esecuzione delle analisi e visualizzazione del modello tridimensionale.

Al termine dell'esecuzione delle analisi, la barra in basso assume il colore arancione e riporta l'esito delle analisi eseguite (v. Figura 7.57).

### 7.7.1 Toolbar dei comandi

Il menu di avvio delle analisi, posto nella parte alta a sinistra della finestra, permette all'utente l'avvio l'arresto del solutore. Sono presenti i seguenti comandi

- Run:** avvia il solutore ed esegue le analisi selezionate;
- Stop:** arresta il solutore ed interrompere l'esecuzione delle analisi salvando anche i risultati calcolati nell'analisi in corso;
- Continue:** interrompere l'esecuzione dell'analisi corrente salvando i risultati calcolati nell'analisi in corso ed avvia l'analisi successiva da eseguire tra quelle selezionate;
- Maximize:** allarga la finestra e rende visibile il log di output delle analisi;
- Minimize:** riduce la finestra e nasconde il log di output delle analisi;
- Over:** imposta la finestra in primo piano;
- Below:** imposta la finestra in secondo piano;
- Quick selector:** selettore rapido delle analisi da eseguire.

### 7.7.2 Tabella di selezione delle analisi

In tale riquadro è possibile scegliere le analisi che si intendono eseguire. La selezione delle analisi da eseguire può essere effettuata mediante i tasti di scelta "rapida" presenti nel menu di avvio analisi, oppure alternativamente l'utente può selezionare singolarmente ciascuna analisi in modo distinto ed esclusivo.

Le colonne del riquadro ambiente di selezione, riportano a partire da sinistra verso destra:

- Execute**, comando per selezionare quelle analisi da eseguire;
- Analysis**, riporta il nome delle analisi da eseguire;
- Type**: riporta il tipo di analisi ed il metodo numerico;
- Start from**, riporta il nome dell'analisi da cui riparte l'analisi da eseguire; assume valore "Zero" qualora l'analisi debba avviarsi dalla configurazione indeformata iniziale;
- State**, indica lo stato di esecuzione delle analisi;
- Details**, descrizione dell'analisi.

### 7.7.3 Log di output delle analisi

Nel riquadro di output vengono riportati tutti i messaggi riguardanti lo stato di esecuzione dell'analisi corrente. Questo riquadro riporta inoltre utili informazioni sul progresso dell'analisi e sull'eventuale raggiungimento della convergenza ovvero le informazioni sul tipo di criterio che ha comportato l'interruzione dell'analisi (labilità, eccessivo numero di iterazioni in un passo, eccessivi spostamenti).

### 7.7.4 Anteprima della curva di carico

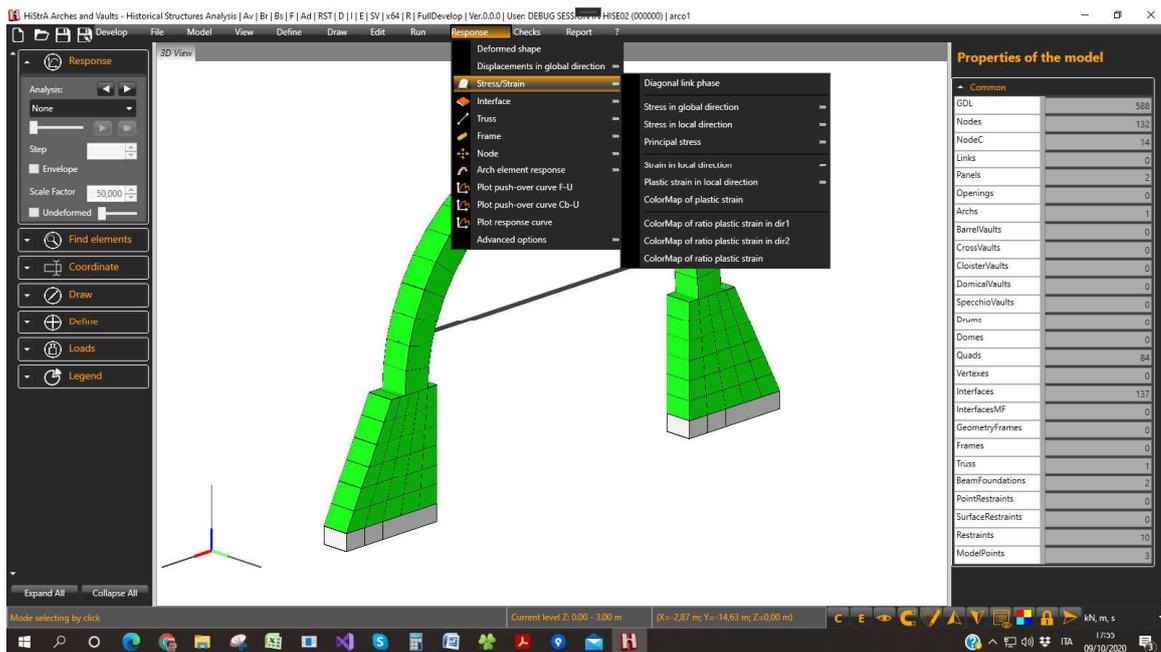
Nel riquadro di anteprima della curva di carico vengono visualizzate le curve di carico della struttura in termini di risultante delle forze applicate e spostamento del punto di controllo secondo la direzione dell'analisi.

## 7.8 RESPONSE

Il menu *Response* consente di visualizzare la risposta del modello. I comandi disponibili sono:

- Deformed shape*: Visualizza la struttura in configurazione deformata.
- Displacement in global direction*: Visualizza gli spostamenti in termini assoluti (ovvero la risultante delle componenti di spostamento), o relativi (in ciascuna delle tre direzioni del sistema di riferimento globale).
- Stress/Strain*: restituisce la risposta in termini di tensioni e deformazioni per elementi quad (cfr. § 7.8.1);
- Interface*: (cfr. § 7.8.2);
- Truss* (cfr. § 7.8.3);
- Arch element response*
- Plot pushover-curve F-U*: restituisce la curva push-over in termini di Forza / Spostamento (cfr. § 7.8.4);
- Plot push-over curve  $\lambda$ -U*: restituisce la la curva push-over in termini di moltiplicatore dei carichi / Spostamento (cfr. § 7.8.4);
- Plot response curve* (cfr. § 7.8.5);
- Influence line*
- Advanced options*

La legenda, presente nel pannello a sinistra della finestra principale, riporta i valori degli spostamenti in base alla scala colorimetrica.



Per poter visualizzare la risposta occorre, prima di tutto, selezionare l'analisi desiderata, mediante la combo-box disponibile sulla sinistra, all'interno del riquadro "Response", presente nel Menu dei comandi rapidi (v. Figura 7.58).

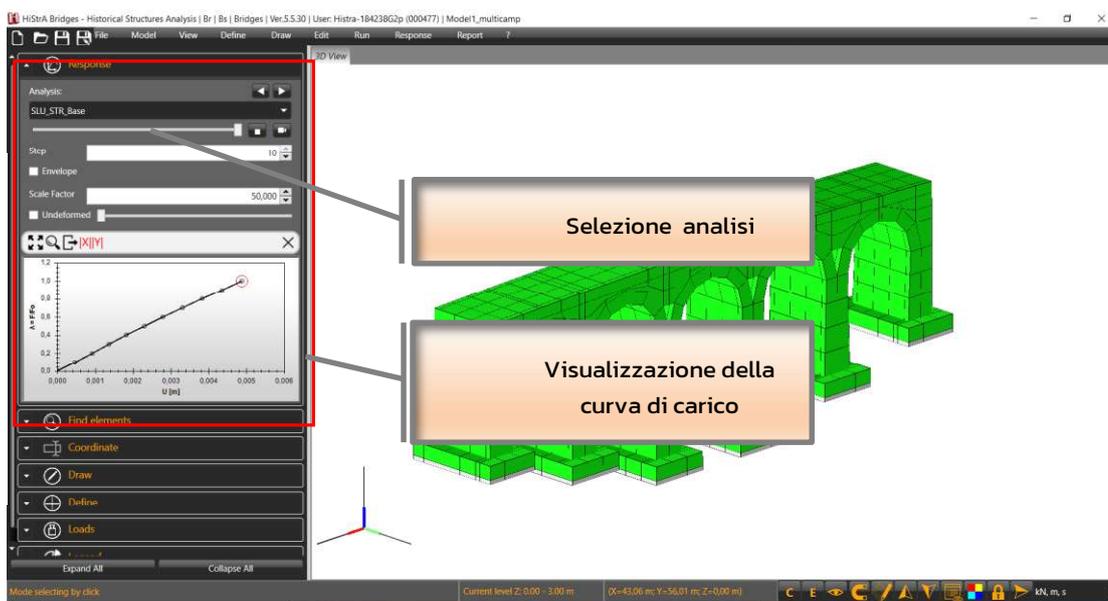


Figura 7.58 – Selezione dell'analisi e visualizzazione della risposta a video

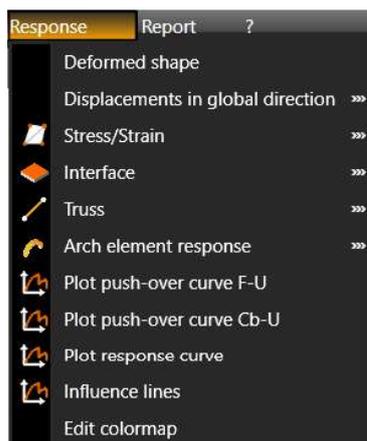


Figura 7.59 – Menu Response

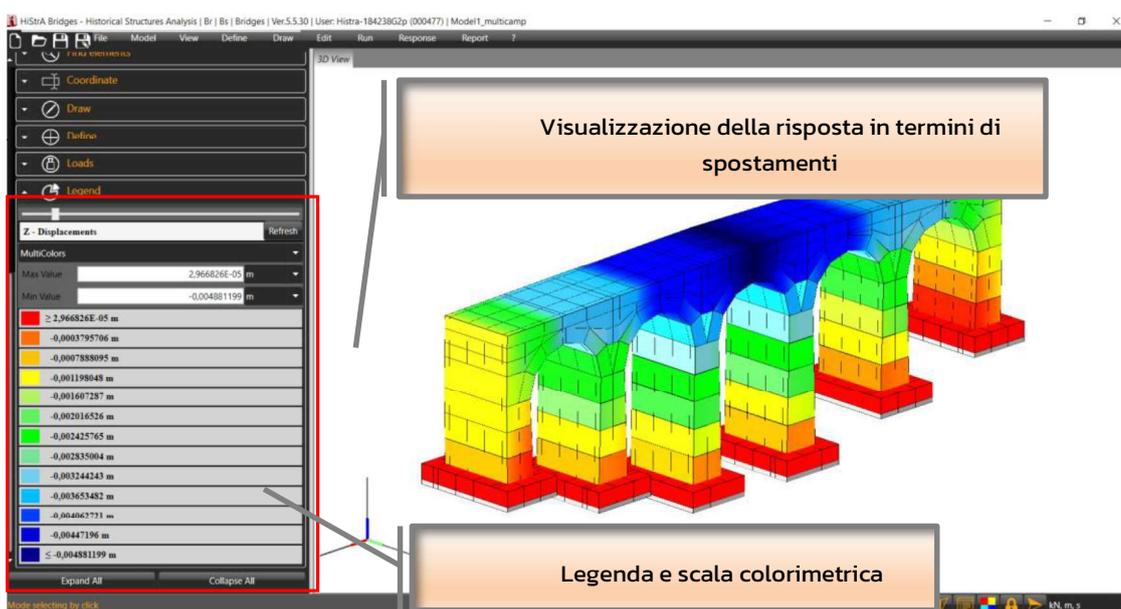


Figura 7.60 – Response – Visualizzazione della risposta in termini di spostamenti

### 7.8.1 Stress / Strain

#### Response > Stress / Strain

I comandi presenti in questo menu sono:

- Diagonal link phase*: consente di visualizzare la fase delle molle diagonali degli elementi quad.
- Show pressure curve in arch elements;
- Quad spring diagonal.
- Color map of diagonal link phase > riporta in scala colorimetrica, sul modello la fase delle molle diagonali (elastica, plastica, etc.)
- Color map of stress in dir. 1, 2 > per ciascuna direzione del sistema di riferimento locale dei quad che costituiscono il modello computazionale, viene rappresentata la mappa colorimetrica delle tensioni sugli elementi quad (v. Figura 7.61).
- Color map of strain in dir. 1, 2 > per ciascuna direzione del sistema di riferimento locale dei quad che costituiscono il modello computazionale, viene rappresentata la mappa colorimetrica, delle deformazioni degli elementi quad.

- Color map of plastic strain > per ciascuna direzione del sistema di riferimento locale dei quad che costituiscono il modello computazionale, o in termini assoluti, viene rappresentata la mappa colorimetrica delle deformazioni plastiche sugli elementi quad.
- Color map of ratio plastic strain > per ciascuna direzione del sistema di riferimento locale, dei quad che costituiscono il modello computazionale, o in termini assoluti, viene rappresentata, la mappa colorimetrica del rapporto  $u_p/u_r$ .

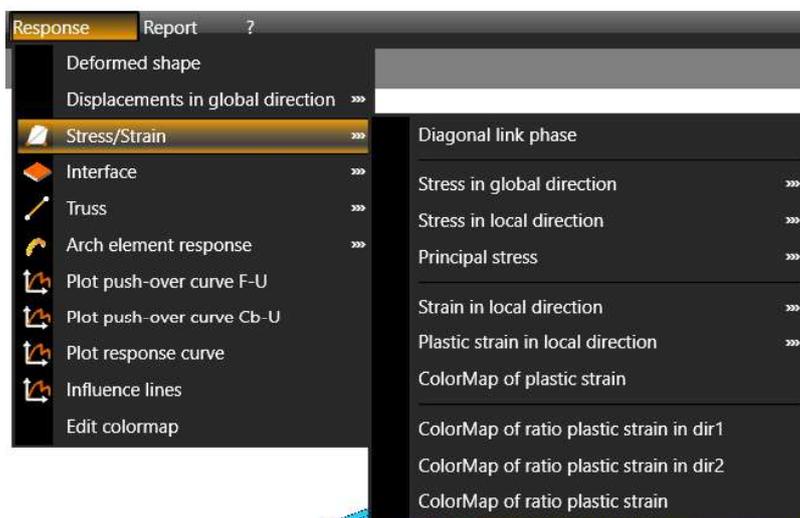


Figura 7.61 – Visualizzazione della risposta in termini tensioni sugli elementi quad

## 7.8.2 Interface

### Response > Interface

I comandi presenti in questo menu sono:

- *Transversal stress*: permette di visualizzare la risposta delle molle flessionali delle interfacce in termini di tensioni mediante apposita mappa dei colori. Il riquadro *Legend*, posto a sinistra nella toolbar dei comandi rapidi, riepiloga i valori di tensione associati alla mappa dei colori
- *Sliding stress*: consente di visualizzare la risposta delle molle a scorrimento "Sliding" delle interfacce, disposte lungo il lato degli elementi connessi, in termini di tensioni mediante apposita mappa dei colori. Il riquadro *Legend*, posto a sinistra nella toolbar dei comandi rapidi, riepiloga i valori di tensione associati alla mappa dei colori;
- *Out of plane sliding stress*: consente di visualizzare la risposta delle molle a scorrimento "Out of plane sliding" delle interfacce, disposte perpendi-colarmente al lato degli elementi connessi, in termini di tensioni mediante apposita mappa dei colori. Il riquadro *Legend*, posto a sinistra nella toolbar dei comandi rapidi, riepiloga i valori di tensione associati alla mappa dei colori.
- *Transversal | Out of plane sliding | Slid out of plane phase*: (cfr. § 7.8.2.1).

### 7.8.2.1 Transversal Phase, Sliding Phase, Out Of Plane Sliding Phase

#### Response > Interface > Transversal Phase | Sliding Phase | Out Of Plane Sliding Phase

Questi comandi consentono di visualizzare la fase delle molle delle interfacce mediante apposita mappa dei colori. Le molle di interfaccia possono trovarsi nelle seguenti fasi:

- fase elastica;

- fase plastica a trazione/compressione;
- fase di scarico a trazione/compressione;
- fase di ricarico a trazione/compressione;
- fase di rottura a trazione/compressione.

Il riquadro *Legend*, posto a sinistra nella toolbar dei comandi rapidi, riepiloga le colorazioni assunte dalle interfacce in funzione delle fasi delle molle.

In particolare:

- **Transversal Phase:** colora le interfacce in funzione della fase delle molle flessionali;
- **Sliding Phase:** colora le interfacce secondo la fase delle molle a scorrimento disposte lungo il lato degli elementi connessi;
- **Out Of Plane Sliding Phase:** colora le interfacce secondo la fase delle molle a scorrimento disposte perpendicolarmente al lato degli elementi connessi.

### 7.8.2.2 Risposta delle molle di interfaccia

Menu contestuale > Interface > Transversal links response | Sliding links response | Out of plane sliding links response

Per visualizzare la finestra della risposta delle molle di interfaccia, selezionare un'interfaccia e, cliccando sul tasto destro del mouse, selezionare il comando Interface > Transversal links response.

La finestra di visualizzazione della risposta delle molle di interfaccia, riporta i seguenti riquadri:

- a sinistra è presente il riquadro di visualizzazione della mesh in cui è discretizzata l'interfaccia, da cui è possibile selezionare e leggere il valore di tensione di ciascuna molla di interfaccia;
- a destra è presente il riquadro di visualizzazione della risposta della molla di interfaccia selezionata, da cui è possibile:
  - selezionare l'analisi e lo step di carico rispetto a cui viene restituita la risposta visualizzata;
  - le informazioni del tipo di molla selezionata;
  - la curva di carico della molla selezionata in termini di forza-spostamento e, per le molle a scorrimento con legame alla Coulomb e con legame alla Turnsek & Cacovic, in termini di forza  $F$  e sforzo normale  $N$ ;
  - *Show backbone curve*, cliccando su questo bottone è possibile visualizzare la curva scheletro in termini di forza-spostamento che caratterizza il legame il legame costitutivo assegnato alla molla e, per le molle a scorrimento con legame alla Coulomb e con legame alla Turnsek & Cacovic, il dominio di resistenza in termini di forza  $F$  e sforzo normale  $N$ ;
  - *Show table*, cliccando su questo bottone è possibile visualizzare la tabella che riepiloga la risposta della molla per tutti gli step di analisi;

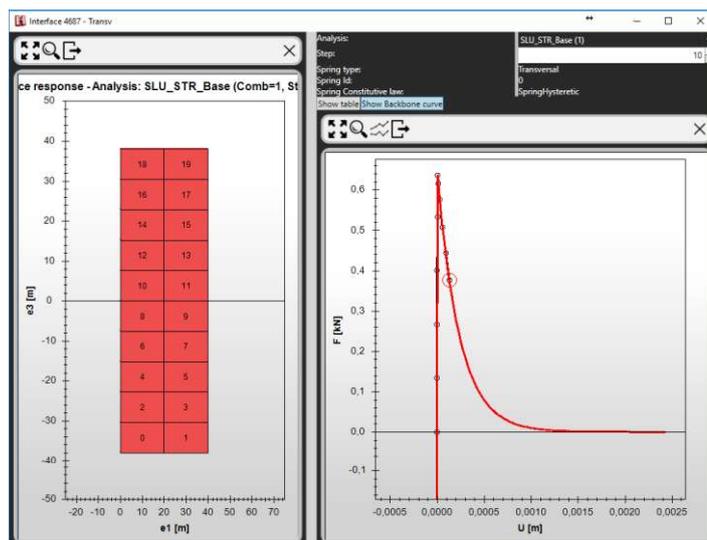


Figura 7.62 - Finestra di visualizzazione della risposta delle molle di interfaccia: curva di carico

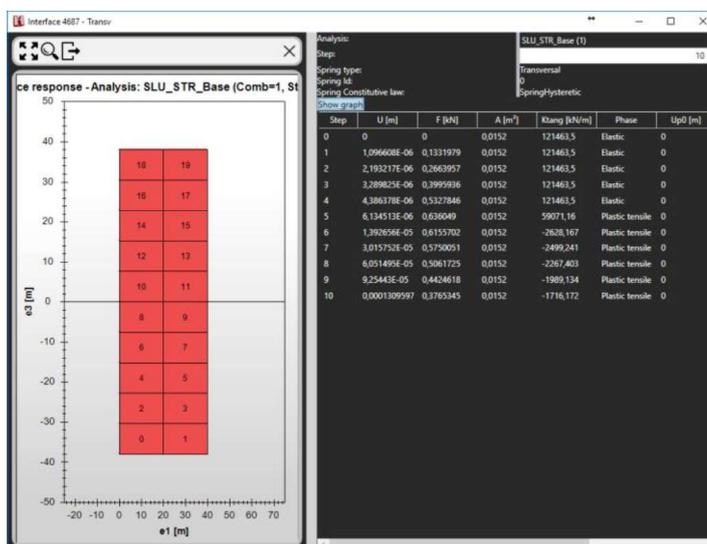


Figura 7.63 - Finestra di visualizzazione della risposta delle molle di interfaccia: tabella della risposta

Ciascun grafico dispone dei seguenti comandi:

- **Zoom all;**
- **Axis limits**, cliccando su questo bottone è possibile regolare i limiti del grafico;
- **Export data to excel**, consente di esportare in excel i valori delle coordinate delle curve visualizzate.

### 7.8.3 Truss

Response > Truss

Questo menu consente di verificare la risposta di un elemento truss in termini di:

- **Stress:** consente di visualizzare la risposta dei truss in termini di tensioni mediante apposita mappa dei colori. Il riquadro Legend, posto a sinistra nella toolbar dei comandi rapidi, riepiloga i valori di tensione associati alla mappa dei colori.
- **Strain:** consente di visualizzare la risposta dei truss in termini di deformazione mediante apposita mappa dei colori.
- **Force:** consente di visualizzare la risposta dei truss in termini di sforzo normale mediante apposita mappa dei colori.
- **Displacement:** consente di visualizzare la risposta dei truss in termini di allungamento mediante apposita mappa dei colori.

## 7.8.4 Plot push-over curve F-U / $\lambda$ -U

Response > Plot push-over curve F-U | Plot push-over curve  $\lambda$ -U

Questo comando consente di visualizzare le curve di carico. La schermata si suddivide in due riquadri principali: nel riquadro di sinistra viene mostrata la curva in termini di forza-spostamento; nel riquadro di destra sono riportate in una tabella le coordinate della curva di carico, per il tipo di analisi selezionata dal menu a tendina il alto a destra.

Ricordiamo che nel caso dei ponti, a ciascuna analisi non sismiche di tipo SLU (STR e GEO) corrisponde una specifica combinazione dei carichi veicolari, in funzione dello schema di carico e della posizione degli stessi, come prescritto dalle norme vigenti.

La curva di capacità è visualizzabile in termini di moltiplicatore dei carichi  $\lambda$  attraverso il tasto *Show  $\lambda$ /Disp curve*, in cui si riporta nelle ordinate la forza adimensionalizzata al peso proprio della struttura.

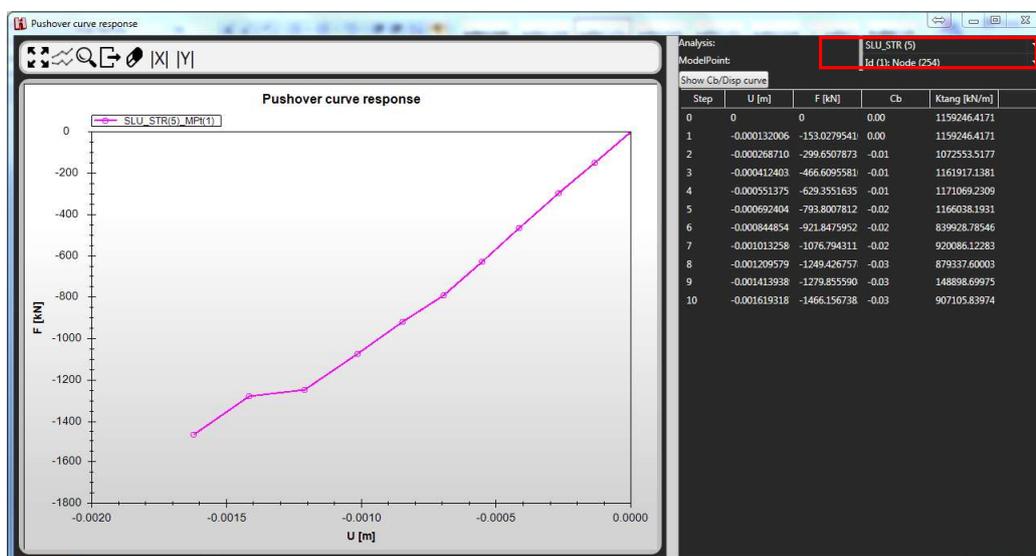


Figura 7.64 – Curva di push-over F-U

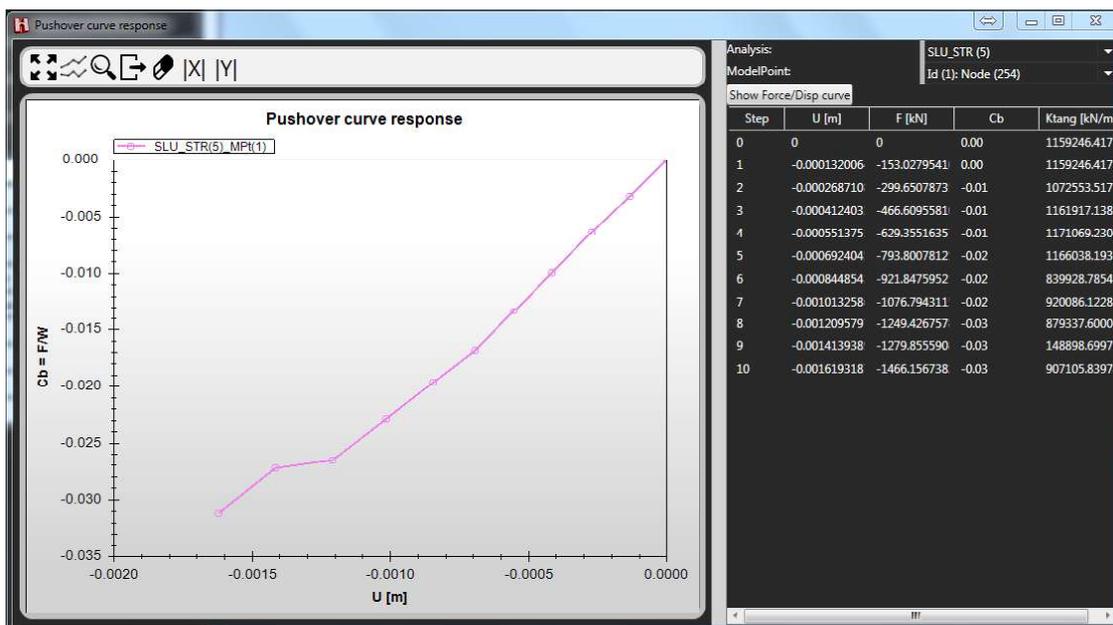


Figura 7.65 – Curva di push-over in termini di moltiplicatore dei carichi -spostamento  $\lambda$ -U

Cliccando sul bottone *Show  $\lambda$ /Disp curve*, è possibile visualizzare la curva di capacità in termini di moltiplicatore dei carichi - spostamento. Si può ritornare alla curva di push-over in termini di forza cliccando il tasto *Show Force/Disp curve*.

I grafici di cui sopra dispongono dei seguenti comandi:

- *Zoom all*;
- *Axis limits*, cliccando su questo bottone è possibile regolare i limiti del grafico;
- *Export data to excel*, consente di esportare in excel i valori delle coordinate delle curve visualizzate;
- Visualizza la curva rappresentando i valori delle coordinate X in valore assoluto;
- Visualizza la curva rappresentando i valori delle coordinate Y in valore assoluto.

### 7.8.5 Plot response curve

Response > Plot push-over curve F-U | Plot response curve

Questo comando consente di visualizzare curve di risposta personalizzate attraverso grafici in cui è possibile riportare negli assi cartesiani lo spostamento di un punto di controllo, la reazione vincolare in termini di risultante di tutti i vincoli definiti nel modello ovvero lo spostamento di un nodo o di un macroelemento, la reazione vincolare di un gruppo di vincoli. In questi ultimi casi è necessario definire un gruppo di oggetti (Group Objects) al fine di visualizzare la risposta della porzione di struttura che si intende osservare (vedi O).

La schermata si suddivide in due riquadri principali: nel riquadro di sinistra viene mostrata la curva in termini di forza-spostamento; nel riquadro di destra è possibile scegliere i parametri da visualizzare sull'asse delle ascisse e delle ordinate. La scelta dei parametri avviene mediante due tabelle che contengono i seguenti comandi.

- **Parameter:** parametro da rappresentare (Time, Step, Displacement, Force,  $\lambda$ , Total energy, Plastic energy, Elastic energy, Inertial energy, Damping energy);
- **Group:** permette la selezione del gruppo di elementi computazionali (vedi §4.4.5 Group Object) rispetto a cui si intende visualizzare la risposta (valore di default Model);
- **Element:** tipo di elemento contenuto nel gruppo selezionato, rispetto a cui si intende visualizzare la risposta;
- **Direction:** componente del parametro rispetto al sistema di riferimento globale. Selezionando "Total" si intende ottenere la radice quadrata della somma dei quadrati (SRSS) delle componenti relative al parametro di risposta selezionato;
- **ModelPoint:** punto di controllo rispetto a cui si intende visualizzare la risposta del parametro selezionato.

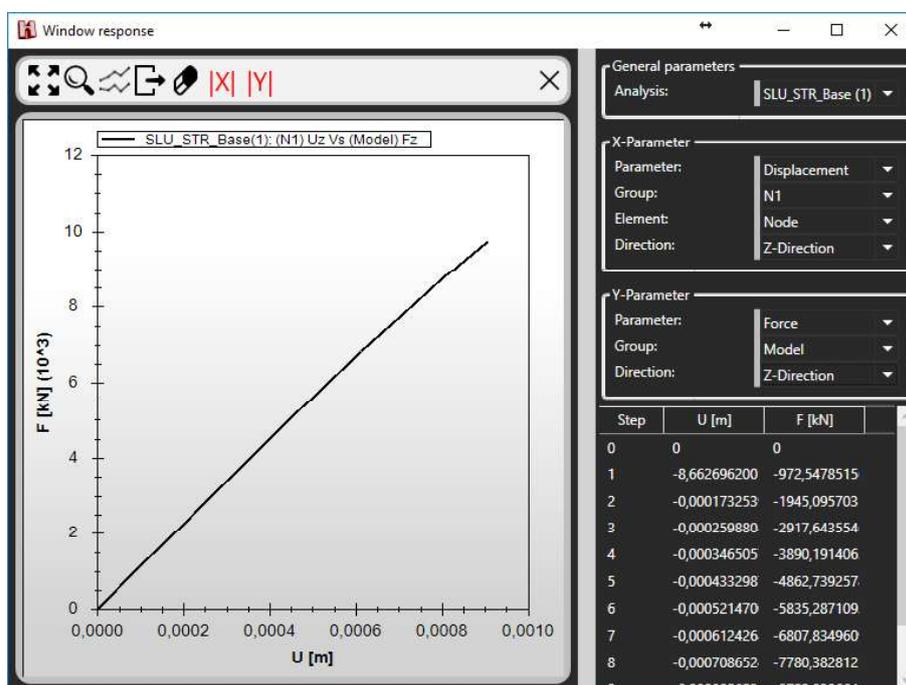


Figura 7.66 – Finestra "Plot Response Curve"

## 7.8.6 Plot Influence Line

Response > Plot push-over curve F-U | Plot response curve

Questo comando (disponibile solo su HISTRA BRIDGES) apre la finestra di visualizzazione della risposta in termini di linee di influenza. Le linee di influenza rappresentano il valore del moltiplicatore dei carichi di collasso al variare della posizione del carico mobile, ovvero lo spostamento di un nodo o di un macro-elemento o la reazione vincolare di un gruppo di vincoli. In questi ultimi casi è necessario definire un gruppo di oggetti (Group Objects) al fine di visualizzare la risposta della porzione di struttura che si intende osservare (vedi O).

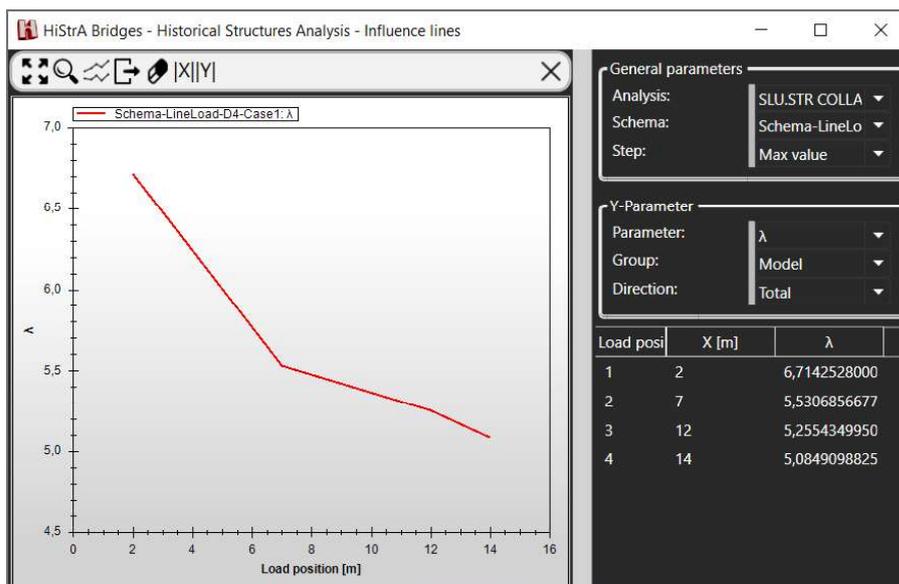


Figura 7.67 – Finestra "Influence Lines" per la visualizzazione delle linee di influenza

## 7.9 REPORT

Tramite il comando Tables, disponibile dal menu Report, è possibile visualizzare ed esportare in excel i tabulati di calcolo, relativi alle analisi eseguite. Queste ultime sono selezionabili nel riquadro a sinistra. I tabulati da esportare vanno invece selezionati nel riquadro a destra.

E' possibile aggiungere analisi o step di analisi alla lista riportata a sinistra, selezionando l'analisi e il passo desiderato e cliccando sul tasto "Add".

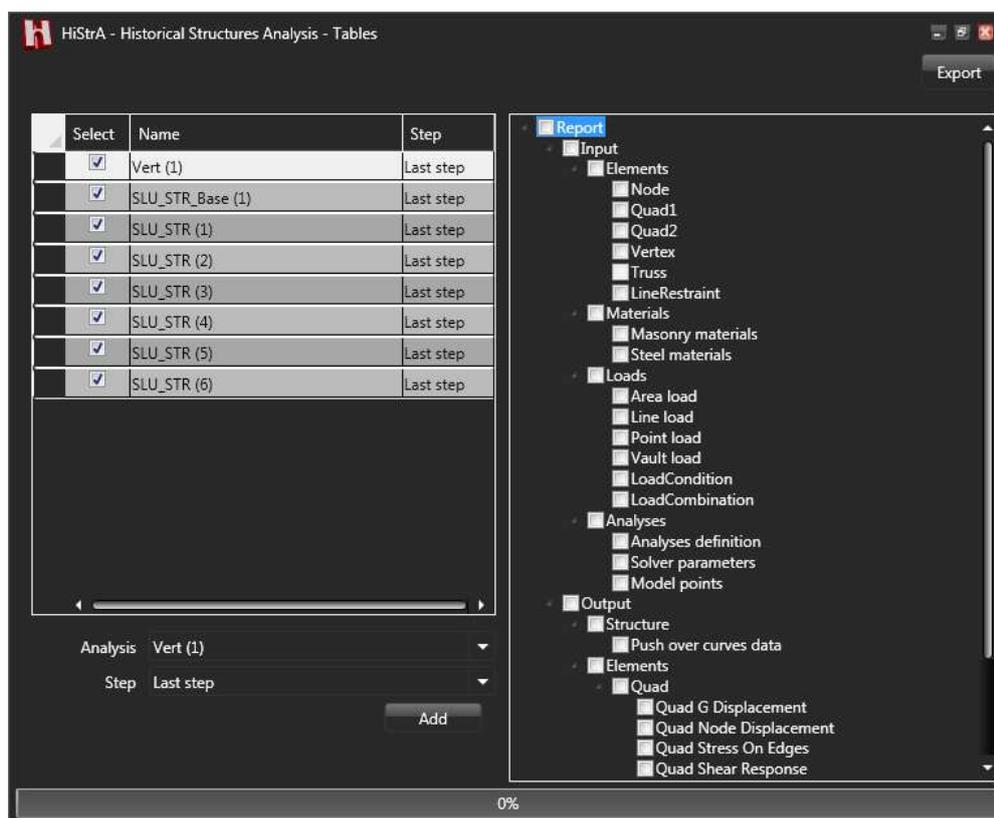


Figura 7.68 – Report - Tabulati di calcolo

## 7.10 HELP

Il menu Help contiene i comandi utili per la visualizzazione del Manuale d'uso del programma. Inoltre da questo menu è possibile reperire informazioni utili sulla versione del programma, avviare l'aggiornamento della stessa (disponendo di una connessione internet attiva) ed accedere al sito di riferimento del programma.