

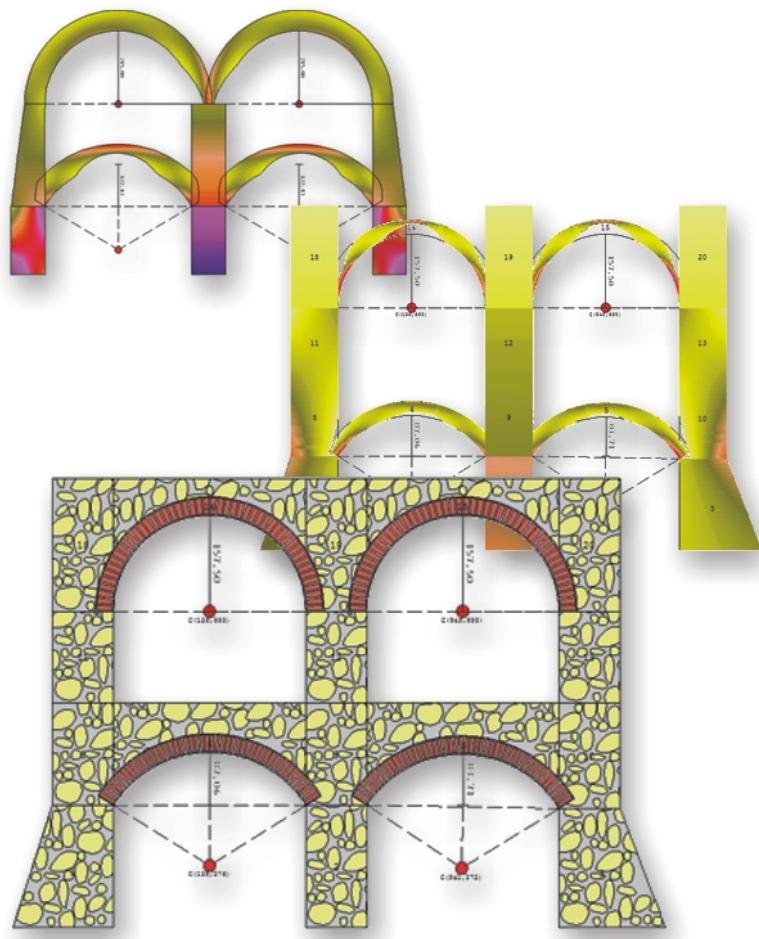
Modulo Archi&Volte

guida operativa



Software per edifici in muratura

modulo Archi&Volte



www.stacec.com

COPYRIGHT

Tutto il materiale contenuto nella confezione (CD contenente i file dei software, chiave di protezione, altri supporti di consultazione) è protetto dalle leggi e dai trattati sul copyright, nonché dalle leggi e trattati sulle proprietà intellettuali.

E' vietata la cessione o la sublicenzianzione del software a terzi.

E' altresì vietata la riproduzione del presente manuale in qualsiasi forma e con qualsiasi mezzo senza la preventiva autorizzazione scritta del produttore.

Informazioni e permessi sui prodotti o parti di essi possono essere richiesti a:



Stacec s.r.l.
Software e servizi per l'ingegneria
Corso Umberto I, 358
89034 – Bovalino (RC)

Tel. 0964/67211
Fax. 0964/61708



Data revisione. 01/2012.
Archi&Volte 1.0.0

Sommario

<i>Sommario</i>	3
<i>1. L'input</i>	4
1.1 Introduzione.....	4
1.2 Interfaccia Principale.....	4
1.2.1 Menu File.....	5
1.2.1.1 Nuovo	5
1.2.1.2 Apri.....	5
1.2.1.3 Salva	5
1.2.1.4 Salva con nome.....	5
1.2.2 Menu Dati.....	5
1.2.2.1 Dati Generali.....	5
1.2.2.2 Tipologie dei materiali	6
1.2.2.3 Combinazioni di carico.....	13
1.2.2.4 Editor consolidamenti.....	15
1.2.3 Menu Struttura.....	17
1.2.3.1 Piedritti	17
1.2.3.2 Archi e Volte	19
1.2.3.3 Riempimento	22
1.2.3.4 Carichi distribuiti.....	23
1.2.3.5 Carichi concentrati.....	26
1.2.3.6 Consolidamenti.....	27
1.3 Calcolo.....	31
1.4 Visualizza risultati calcolo.....	31
1.5 Verifiche.....	34
<i>2. Il motore di calcolo</i>	35
2.1 Introduzione.....	35
2.2 Oggetti ed elementi	35
2.3 Nodi e gradi di libertà.....	36
2.4 Tipi di analisi.	36
2.5 Analisi per elementi non reagenti a trazione.....	37

Capitolo 1

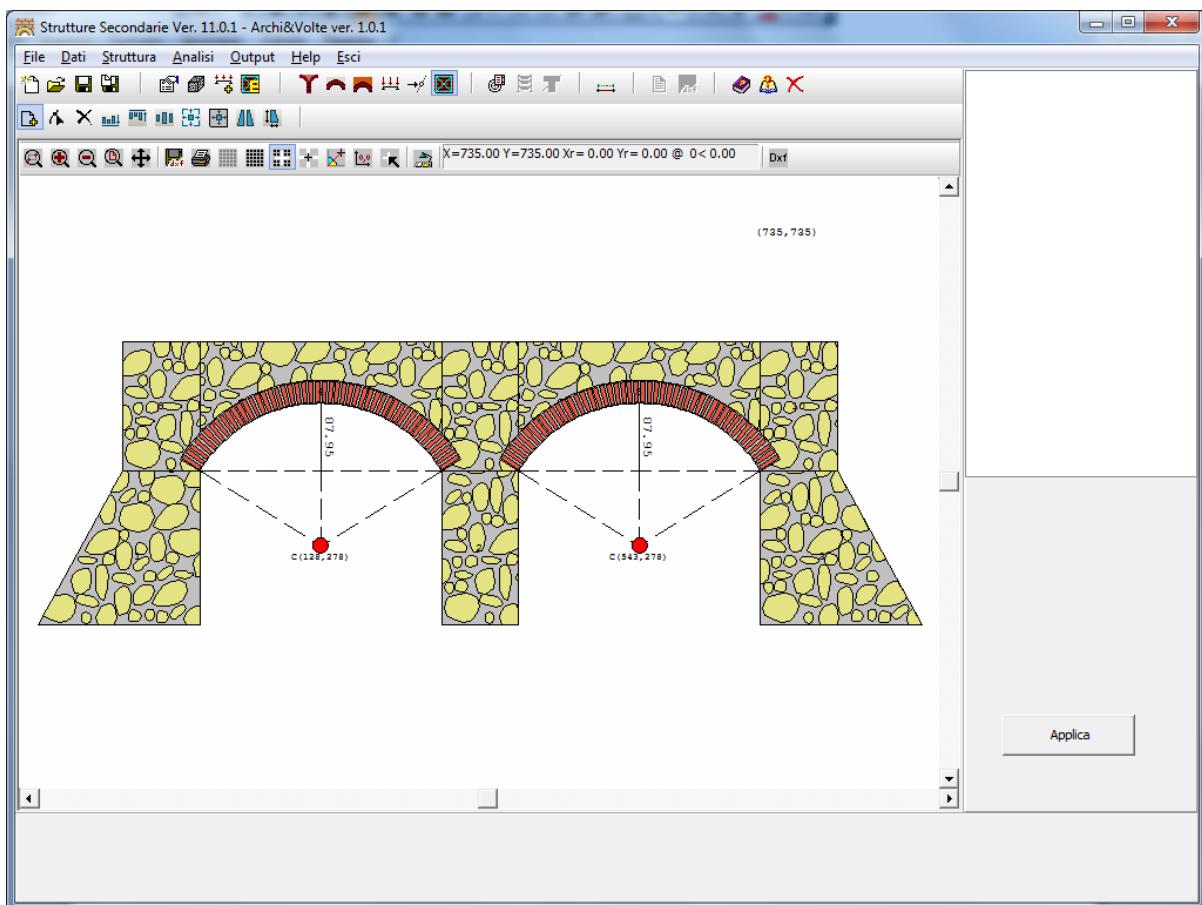
L'Interfaccia principale e i dati di input

1.1 Introduzione.

In questo capitolo tratteremo tutti i comandi di input presenti in **Archi&Volte**. La descrizione avviene secondo l'ordine descritto nella barra dei menu.

1.2 Interfaccia Principale.

All'avvio il programma **Archi&Volte** si presenta con la seguente interfaccia, dalla quale si effettuano tutti i comandi di input della struttura.



1.2.1 Menu File.

È il menu di gestione dei file creati e utilizzati in **Archi&Volte**. L'estensione propria dei file creati ed utilizzati dal software sono identificati con il codice “.vav”.

Il menu File è composto dai seguenti comandi:

1.2.1.1 Nuovo : Consente la creazione di un nuovo file .vav relativo alla struttura calcolata. Alla pressione vengono impostati automaticamente i valori delle variabili ai valori di default.

1.2.1.2 Apri : Consente l'apertura di un file precedentemente creato con **Archi&Volte**.

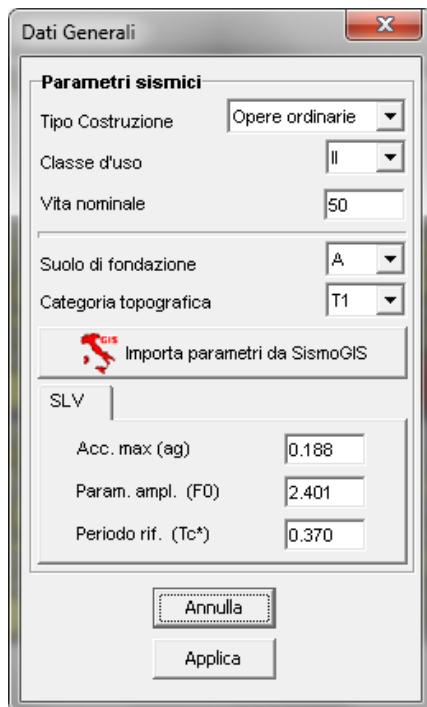
1.2.1.3 Salva : Consente di salvare l'archivio aperto sovrascrivendo il file.

1.2.1.4 Salva con nome : Consente di salvare l'archivio aperto con un altro nome creando un nuovo file.

1.2.2 Menu Dati.

Il Menu “Dati” comprende una serie di comandi necessari per definire la struttura. Vengono di seguito riportate tutte le funzioni del menu.

1.2.2.1 Dati Generali : Alla pressione del tasto viene visualizzata il seguente finestra:



I dati richiesti dall'ambiente sono:

- **Tipo di costruzione:** E' possibile scegliere tra *Opere Provisorie*, *Opere ordinarie* e *Grandi Opere*
- **Classe d'uso:** E' possibile scegliere tra le classi d'usi *I*, *II*, *III*, *IV*.

- **Vita Nominale:** Si stabilisce la vita nominale della struttura.
- **Suolo di fondazione:** E' possibile scegliere una delle seguenti categorie di suolo: A, B, C, D ed E.
- **Categoria Topografica:** E' possibile scegliere una delle seguenti categorie topografiche: T1, T2, T3 e T4.
- **Importa parametri da SismoGIS:** Per il D.M. 14/01/2008, è obbligatorio fornire i dati sismici in funzione della posizione geografica del sito e per gli stati limite SLV, SLD, SLO, SLE. La definizione dei parametri può avvenire con due modalità:
 - Richiamando l'apposito software SismoGIS;
 - Inserendo i dati sismici dopo averli estrapolati dalle tabelle, utilizzando altri metodi o supporti.

Per il D.M. 2008 sono da fornire i parametri riguardanti l'aliquota di accelerazione sismica (a_g), il coefficiente di amplificazione (F_0), il periodo di fine risonanza T^*_c . In tal caso il valore dei parametri S, Tb, Tc, Td, saranno calcolati automaticamente da **Archi&Volte**.

Il software SismoGIS viene richiamato dal seguente pulsante:



Si rimanda all'help di SismoGIS per le funzionalità connesse a tale software.

Nelle caselle di testo successive vengono riportati i valori di a_g , F_0 e T^*_c calcolati automaticamente in funzione del sito in cui si trova la struttura. Tali dati sono modificabili dall'utente dalle seguenti caselle di testo.

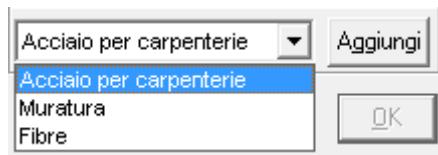
SLV	
Acc. max (ag)	0.188
Param. ampl. (F0)	2.401
Periodo rif. (Tc*)	0.370

1.2.2.2 Tipologie dei materiali : Alla pressione del tasto si apre la finestra per la gestione dei materiali. E' possibile gestire i seguenti materiali:

- Acciaio da carpenteria;
- Muratura;
- Fibre;

Aggiungere un nuovo materiale all'archivio.

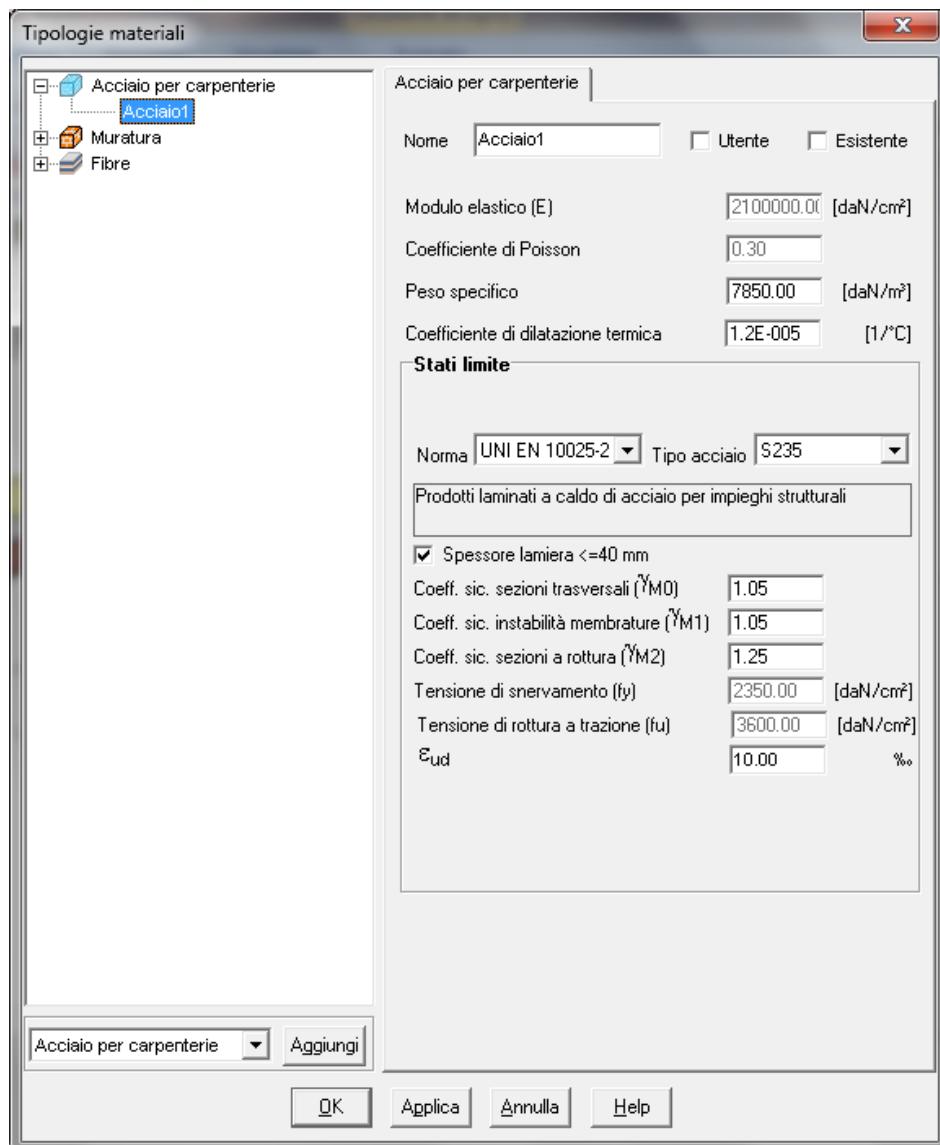
Per aggiungere un nuovo materiale scegliere il tipo di materiale utilizzando la seguente lista posizionata in basso a sinistra della maschera:



Dopo aver scelto il tipo, cliccare sul pulsante “Aggiungi”. Immettere il nome del materiale e modificare le caratteristiche nel modo voluto. È da notare che non tutti i campi sono modificabili direttamente in quanto legati dalle relazioni prima descritte. Per sbloccare i campi selezionare la tipologia “Utente” relativamente al tipo di materiale scelto.

Materiale tipo “Acciaio per carpenterie”

Le caratteristiche del tipo “Acciaio da carpenterie” vengono calcolate usando le seguenti definizioni:



Tipo di acciaio : tipo di acciaio secondo la nomenclatura da normativa;

Spessore lamiera <= 40 mm.

γ_{M0} : Coefficiente di sicurezza per sezioni trasversali;

γ_{M1} : Coefficiente di sicurezza per instabilità;

γ_{M2} : Coefficiente di sicurezza a rottura;

f_y : Tensione di snervamento;

f_u : Tensione di rottura a trazione;

E: Modulo elastico;

v: Coefficiente di poisson;

α_T : Coefficiente di dilatazione termica;

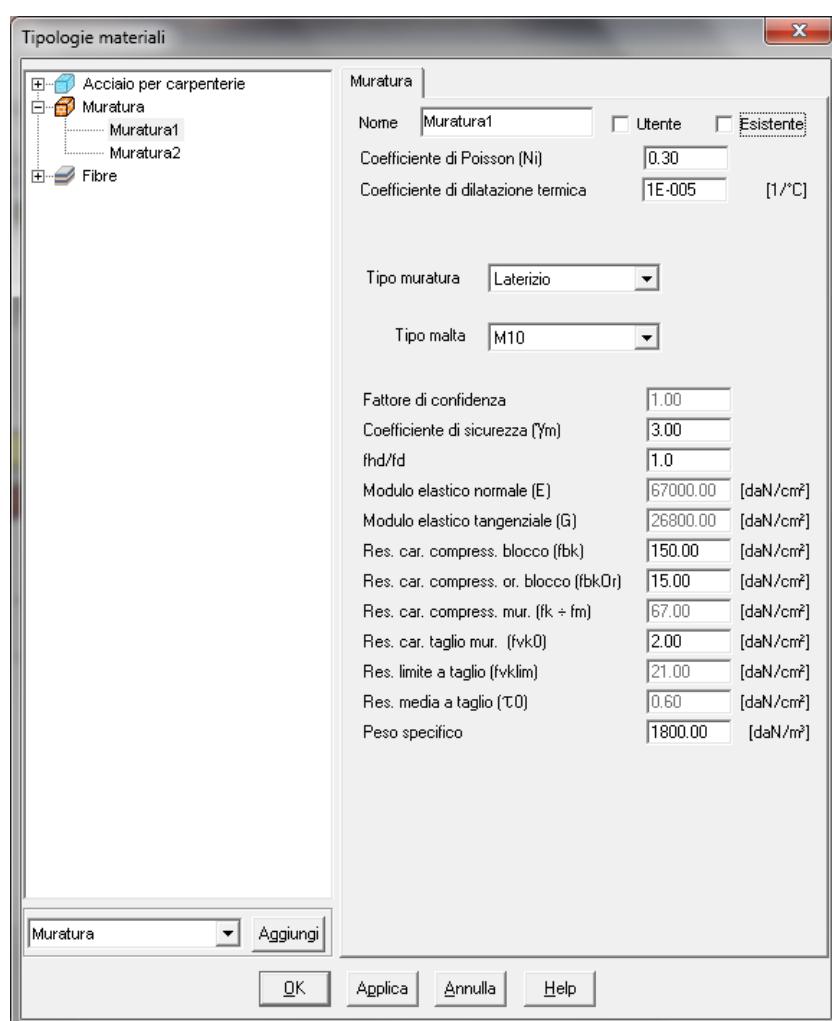
γ : Peso specifico.

ε_u : Dilatazione ultima del materiale.

Materiale tipo "Muratura"

Le caratteristiche del tipo "Muratura" vengono calcolate secondo le prescrizioni previste dal D.M. 2008 e dalla circolare 617/2009, tenendo conto se si tratta di strutture nuove o esistenti.

Nel caso di materiale nuovo si ha:



Utente : Se attivo il materiale può essere definito dall'utente;

Ni : Coefficiente di Poisson;

α : Coefficiente di dilatazione termica;

Tipo di muratura : Laterizio, Calcestruzzo, Pietra;

Tipo di malta : la normativa consente la seguente classificazione M15, M10, M5, M2.5.

γ_m : Coefficiente di sicurezza;

E: Modulo elastico;

G: Modulo elastico tangenziale della muratura;

f_{bk} : Resistenza caratteristica a compressione del blocco;

($f_m - f_k$): Resistenza caratteristica (o media) a compressione della muratura;

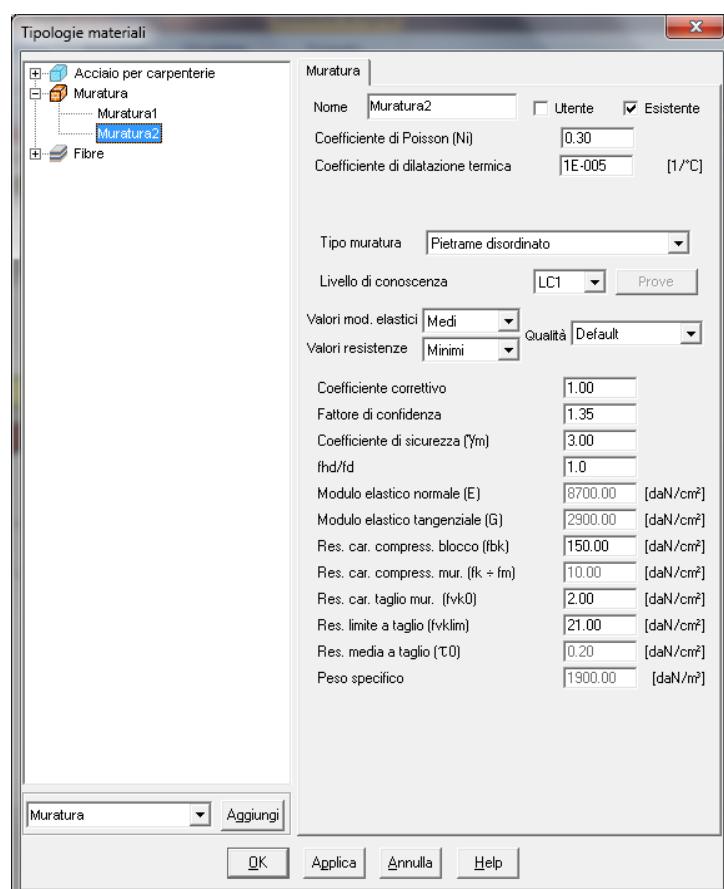
f_{vk0} : Resistenza caratteristica a taglio in assenza di carichi verticali;

$f_{vk,lim}$: Valore limite della resistenza a taglio.

τ_0 : Resistenza media a taglio;

γ : Peso specifico della muratura

Nel caso di materiale esistente, i parametri meccanici della muratura vengono calcolate in funzione delle prescrizioni previste dalla circ. 617/2009, prendendo in considerazione il livello di conoscenza della struttura (LC1, LC2 ed LC3), la Tabella C8A.2.1 della Circolare 617/2009 (riportata sotto – Tabella 1) e la presenza di eventuali prove sui materiali stessi.



Utente : Se attivo il materiale può essere definito dall'utente;

Ni : Coefficiente di Poisson;

α : Coefficiente di dilatazione termica;

Tipo di muratura: vedi Tabella sopracitata;

Valori mod. elastici: si possono assumere i valori minimi, medi o massimi per i moduli elastici (E , G) forniti dalla tabella (C8A.2.1 della circolare 617/2009) a secondo del livello di conoscenza della struttura.

Valori resistenze: si possono assumere i valori minimi, medi o massimi per le resistenze (f_m , τ_0) forniti dalla tabella (C8A.2.1 della circolare 617/2009) a secondo del livello di conoscenza della struttura.

Qualità: E' possibile migliorare le caratteristiche meccaniche della muratura con dei coefficienti moltiplicativi, forniti dalla tabella C8A.2.2 della circolare 617/2009 qualora si rientra in uno dei seguenti casi: Malta buona, Ricorsi o listature, Connessioni trasversali, Iniezioni di malta, Intonaco armato. Coefficiente correttivo: coefficiente moltiplicativo che si ottiene dalla qualità del materiale visto nel punto precedente (Tab. C8A.2.2);

Fattore di confidenza: dipende dal livello di conoscenza della struttura (per LC1 = 1.35, per LC2 = 1.20, per LC3 = 1.00);

γ_m : Coefficiente di sicurezza;

E : Modulo elastico;

G : Modulo elastico tangenziale della muratura;

f_{bk} : Resistenza caratteristica a compressione del blocco;

$(f_m - f_k)$: Resistenza caratteristica (o media) a compressione della muratura;

$f_{vk,0}$: Resistenza caratteristica a taglio in assenza di carichi verticali;

$f_{vk,lim}$: Valore limite della resistenza a taglio.

τ_0 : Resistenza media a taglio;

γ : Peso specifico della muratura

La seguente Tabella è quella riportata nel punto C8A.2 della Circ. 617/2009 ed è indispensabile ai fini della valutazione delle caratteristiche meccaniche della muratura per il calcolo strutturale:

Tipologia di muratura	f_m (N/cm ²)	τ_0 (N/cm ²)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	w (kN/m ³)
	Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100 180	2,0 3,2	690 1050	230 350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200 300	3,5 5,1	1020 1440	340 480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260 380	5,6 7,4	1500 1980	500 660	21
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140 240	2,8 4,2	900 1260	300 420	16
Muratura a blocchi lapidei quadrati	600 800	9,0 12,0	2400 3200	780 940	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240 400	6,0 9,2	1200 1800	400 600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤ 40%)	500 800	24 32	3500 5600	875 1400	15
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura < 45%)	400 600	30,0 40,0	3600 5400	1080 1620	12
Muratura in blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)	300 400	10,0 13,0	2700 3600	810 1080	11
Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (perc. foratura tra 45% e 65%)	150 200	9,5 12,5	1200 1600	300 400	12
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (foratura < 45%)	300 440	18,0 24,0	2400 3520	600 880	14

Tabella 1

In funzione del livello di conoscenza il software imposta i valori di E, G, f_m , τ_0 ed FC come previsto dalla circ. 617/2009:

Livello di conoscenza LC1:

Per questo livello di conoscenza, ai fini del calcolo dei parametri meccanici non sono richieste prove sui materiali. I valori da assumere per i parametri meccanici sono i seguenti:

Valori mod. elasticci (E, G): Valori medi previsti dalla tabella 1.

Valori resistenze (f_m , τ_0): Valori minimi previsti dalla tabella 1.

Fattore di confidenza: 1.35

Livello di conoscenza LC2:

Per questo livello di conoscenza, ai fini del calcolo dei parametri meccanici non sono richieste prove sui materiali. I valori da assumere per i parametri meccanici sono i seguenti:

Valori mod. elasticci (E, G): Valori medi previsti dalla tabella 1.

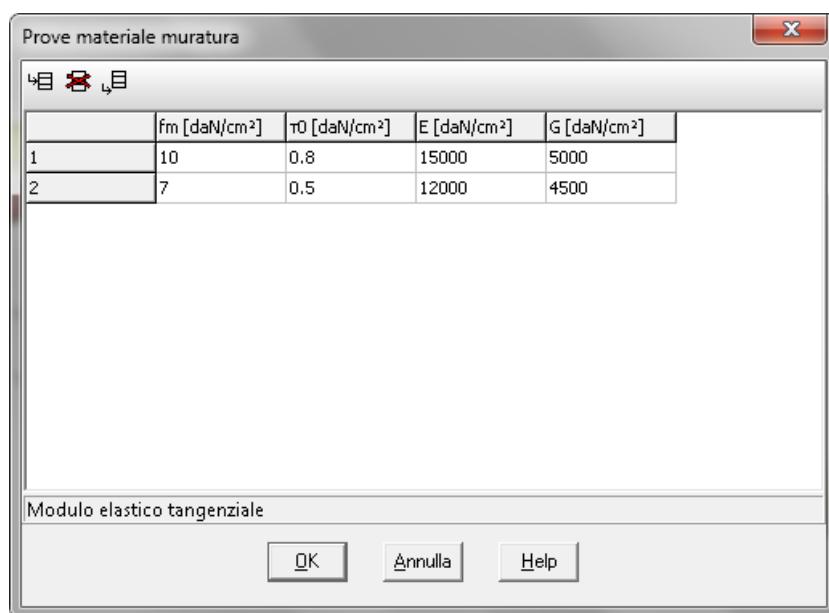
Valori resistenze (f_m , τ_0): Valori medi previsti dalla tabella 1.

Fattore di confidenza: 1.20

Livello di conoscenza LC3:

Per questo livello di conoscenza sono richieste le prove sui materiali e si possono avere tre casi a), b), c) a seconda del numero di prove sui materiali a disposizione (tre o più di tre, due, una).

Scegliendo questo livello di conoscenza si attiva il comando **Prove**, il quale avvia la seguente finestra che ci consente di inserire i dati relativi alle prove sui materiali:



Ogni riga rappresenta una prova sul materiale e richiede la resistenza a compressione (f_m), la resistenza a taglio (τ_0), il modulo elastico normale (E) ed il modulo elastico tangenziale (G). Attivato il livello di conoscenza LC3 è obbligatoria almeno una prova. Il software consente l'inserimento di un massimo di dieci prove per ogni tipologia di materiale.

Caso a): Sono disponibili tre o più prove sperimentali sui materiali.

Valori mod. elasticici (E, G): Valore medio dei risultati delle prove o valore medio riportato in tabella 1;

Valori resistenze (f_m, τ₀): Valore medio dei risultati delle prove;

Caso b): Sono disponibili due prove sperimentali sui materiali.

Valori mod. elasticici (E, G): Valore medio dei risultati delle prove o valore medio riportato in tabella 1;

Valori resistenze (f_m, τ₀): Se il valore medio delle prove è compreso nell'intervallo della tabella 1 si assume come valore di resistenza il valore medio della tabella; Se il valore medio delle prove è superiore al valore massimo della Tabella 1 si assume come valore di resistenza il valore massimo della tabella; Se il valore medio delle prove è inferiore al valore minimo della tabella 1 si assume come valore di resistenza il valore medio delle prove;

Caso c): E' disponibile una sola prova sperimentale sui materiali.

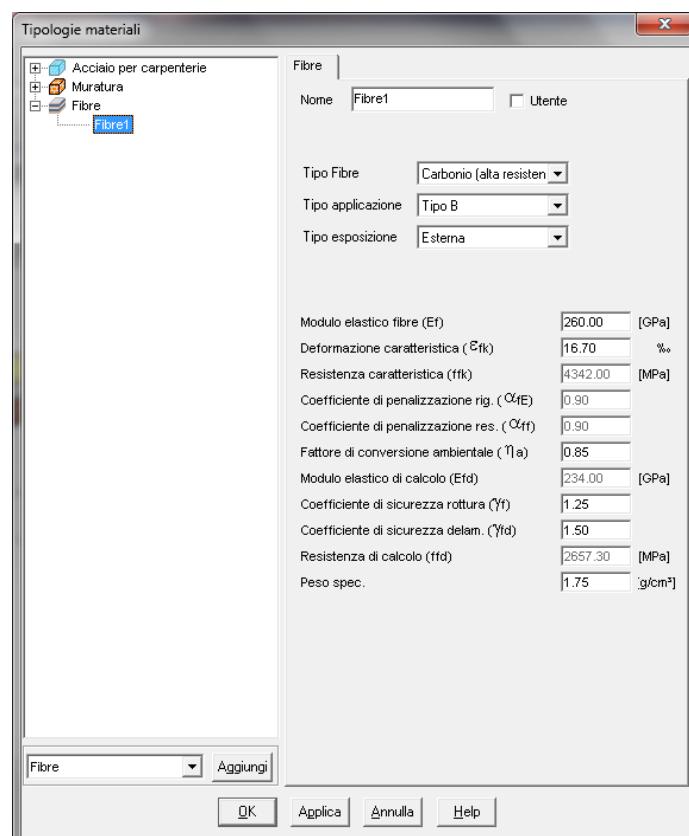
Valori mod. elasticici (E, G): Valore della prova o valore medio riportato in tabella 1;

Valori resistenze (f_m, τ₀): Se il valore della prova è compreso o superiore all'intervallo della tabella 1 si assume come valore di resistenza il valore medio della tabella 1; Se il valore della prova è inferiore al valore minimo della tabella 1 si assume come valore di resistenza il valore della prova;

Fattore di confidenza: 1.00

Materiale tipo "Fibre"

Le caratteristiche del tipo "Fibre" vengono calcolate secondo le norme CNR DT 200, usando la seguente simbologia:



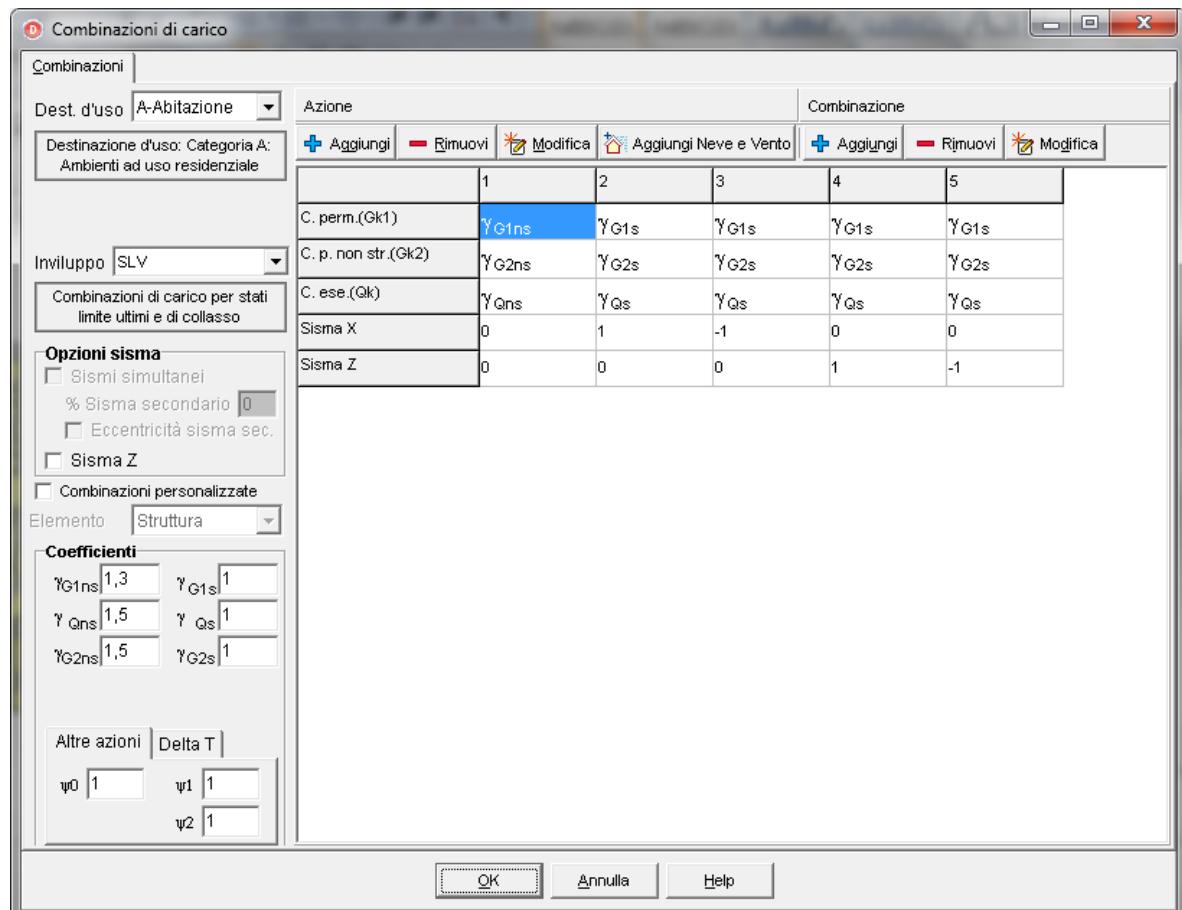
E_f :	Modulo elastico delle fibre;
ε_{fk} :	Deformazione caratteristica;
f_{fk} :	Resistenza caratteristica;
α_{Ef} :	Coefficiente di penalizzazione delle rigidezze;
α_{fr} :	Coefficiente di penalizzazione delle resistenze;
η_a :	Fattore di conversione ambientale;
E_{fd} :	Modulo elastico di calcolo delle fibre;
γ_f :	Coefficiente di sicurezza rottura;
γ_{Rd} :	Coefficiente di sicurezza delaminazione;
f_{ffd} :	Resistenza di calcolo;

In aggiunta ai dati descritti sono presenti informazioni inerenti a:

- **Tipo fibre** (Vetro E, Vetro S, Carbonio (alto modulo), Carbonio (alta resistenza), Arammidiche). Utilizzati secondo le indicazioni del CNR DT 200.
- **Tipo applicazione** (Tipo A, Tipo B). Utilizzati secondo le indicazioni del CNR DT 200.
- **Tipo esposizione** (Interna, Esterna, Ambiente aggressivo). Utilizzati secondo le indicazioni del CNR DT 200.

1.2.2.3 Combinazioni di carico : Consente di definire le combinazioni di carico da effettuare.

Cliccando sul tasto corrispondente viene visualizzata la seguente maschera:



	1	2	3	4	5
C. perm.(Gk1)	γ_{G1ns}	γ_{G1s}	γ_{G1s}	γ_{G1s}	γ_{G1s}
C. p. non str.(Gk2)	γ_{G2ns}	γ_{G2s}	γ_{G2s}	γ_{G2s}	γ_{G2s}
C. ese.(Qk)	γ_{Qns}	γ_{Qs}	γ_{Qs}	γ_{Qs}	γ_{Qs}
Sisma X	0	1	-1	0	0
Sisma Z	0	0	0	1	-1

In questo ambiente è possibile definire:

- **Tipo di combinazione;**
- **Coefficienti di combinazione;**
- **Azioni di calcolo;**
- **Combinazioni di calcolo.**

Tipi di combinazione

I tipi di combinazioni presenti in **Archi&Volte** sono quelli prescritti dalle normative vigenti secondo quanto prescritto nel DM2008.

Sono presenti gli stati limite SLV.

Cliccando sul tipo di combinazione vengono visualizzate le combinazioni definite relativamente al tipo visualizzato.

Come leggere la “Griglia delle combinazioni”

Per comodità di inserimento e lettura dei dati, le combinazioni sono gestite attraverso una tabella editabile.

Le righe della “Griglia delle combinazioni” contengono le condizioni (o Azioni) presenti sulla struttura. Le Azioni possibili in **Archi&Volte** sono:

- **Carichi Permanenti;**
- **Carichi Accidentali;**
- **Sisma X;**
- **Sisma Z;**
- **Utente.**

Affinché il sisma verticale abbia effetto nei calcoli di verifica bisogna introdurre manualmente il coefficiente di combinazione voluto, oppure spuntando la dicitura “utilizza Sisma Z” viene automaticamente impostato il valore di default relativo alle combinazioni descritte.

Coefficienti di combinazione

È possibile intervenire direttamente su ogni singolo coefficiente cliccando sul check di selezione dell’opzione “personalizzati”. In tal modo i coefficienti di default inseriti nella griglia assumono il relativo valore editabile.

Nel caso di utilizzo personalizzato i coefficienti relativi ai sismi devono essere introdotti con il segno opportuno. Il programma interpreta il segno come verso del sisma rispetto al sistema di riferimento globale.

Ψ_{0i} : coefficienti di combinazione che fornisce il valore raro dell’azione variabile;

Ψ_{2i} : coefficienti di combinazione che fornisce il valore quasi permanente dell’azione variabile;

Ψ_{1i} : coefficiente atto a definire i valori delle azioni variabili assimilabili ai frattili di ordine 0.95 delle distribuzioni dei valori istantanei.

I valori dei coefficienti sono da ricercare nelle rispettive norme di riferimento.

Introdurre una nuova condizione di carico

In **Archi&Volte** è possibile aggiungere dieci diverse condizioni di carico interamente definite dall’utente. Tali condizioni (o Azioni, come chiamate nella maschera) sono particolarmente utili per simulare il carico statico equivalente al vento o il carico neve o altro eventuale carico sulla struttura. Per aggiungere una condizione cliccare sul tasto “Aggiungi” posto sotto l’etichetta “Azione”. Al clic comparirà la maschera dove:

- **Introdurre il nome della condizione** in modo da renderlo efficacemente leggibile nei punti in cui occorre utilizzarla;
- **Introdurre il valore dei coefficienti da assegnare** a tutta la riga delle combinazioni;
- **Introdurre i valori dei coefficienti** copiandoli da un'altra azione;
- **Avere la possibilità di assegnare** i coefficienti delle combinazioni ai singoli tipi di elementi o tipi di combinazioni.

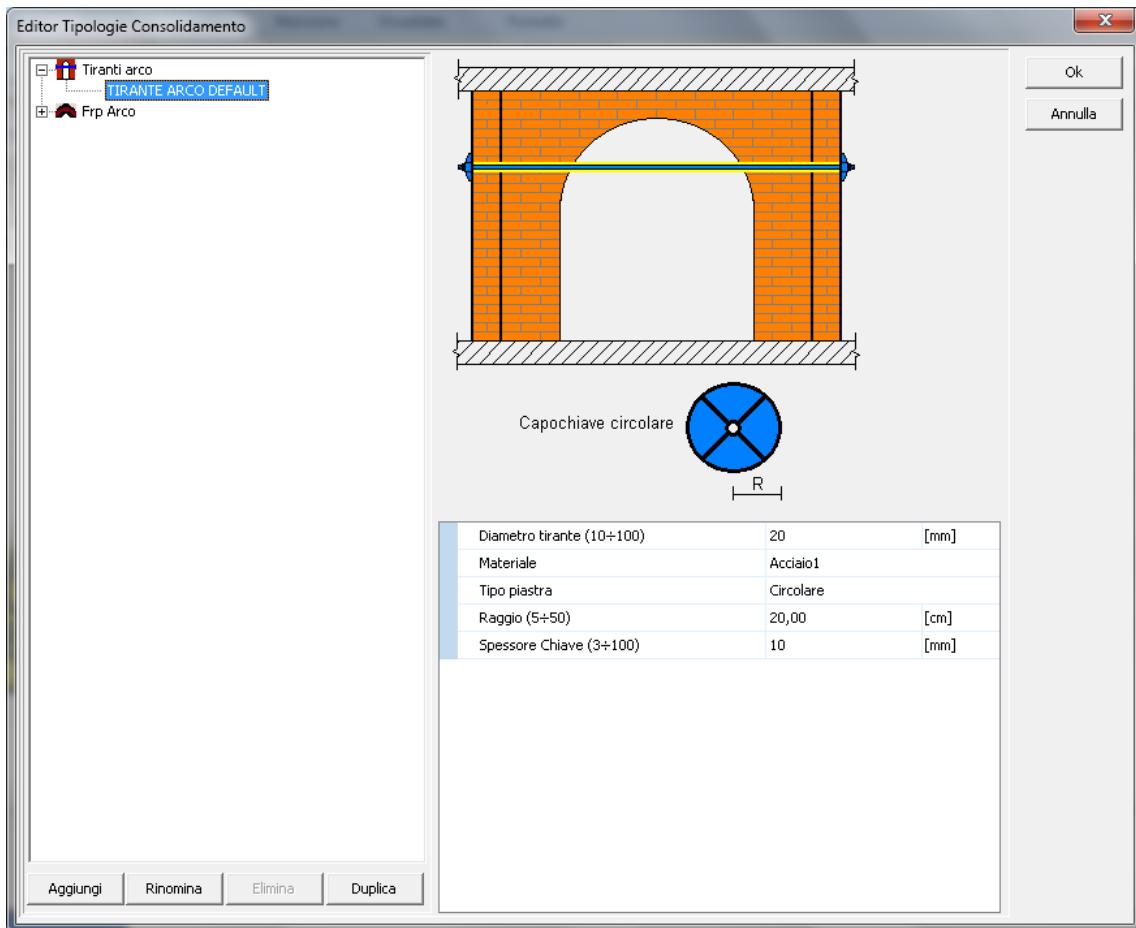
Il software consente di aggiungere nuove azioni e nuove combinazioni. Per aggiungerle occorre cliccare sul comando  relativo alle azioni e combinazioni rispettivamente.

1.2.2.4 Editor consolidamenti  : Consente di definire le tipologie di consolidamenti da utilizzare. E' possibile consolidare con:

- Tiranti;
- FRP;

Tiranti

E' possibile inserire tiranti con capochiave circolare e rettangolare



Per questa tipologia di tirante vengono richiesti i seguenti dati:

- Diametro tirante;
- Materiale;
- Spessore Chiave: spessore della piastra di cui è composto il capochiave;
- Tipo di piastra: si può scegliere tra circolare e rettangolare

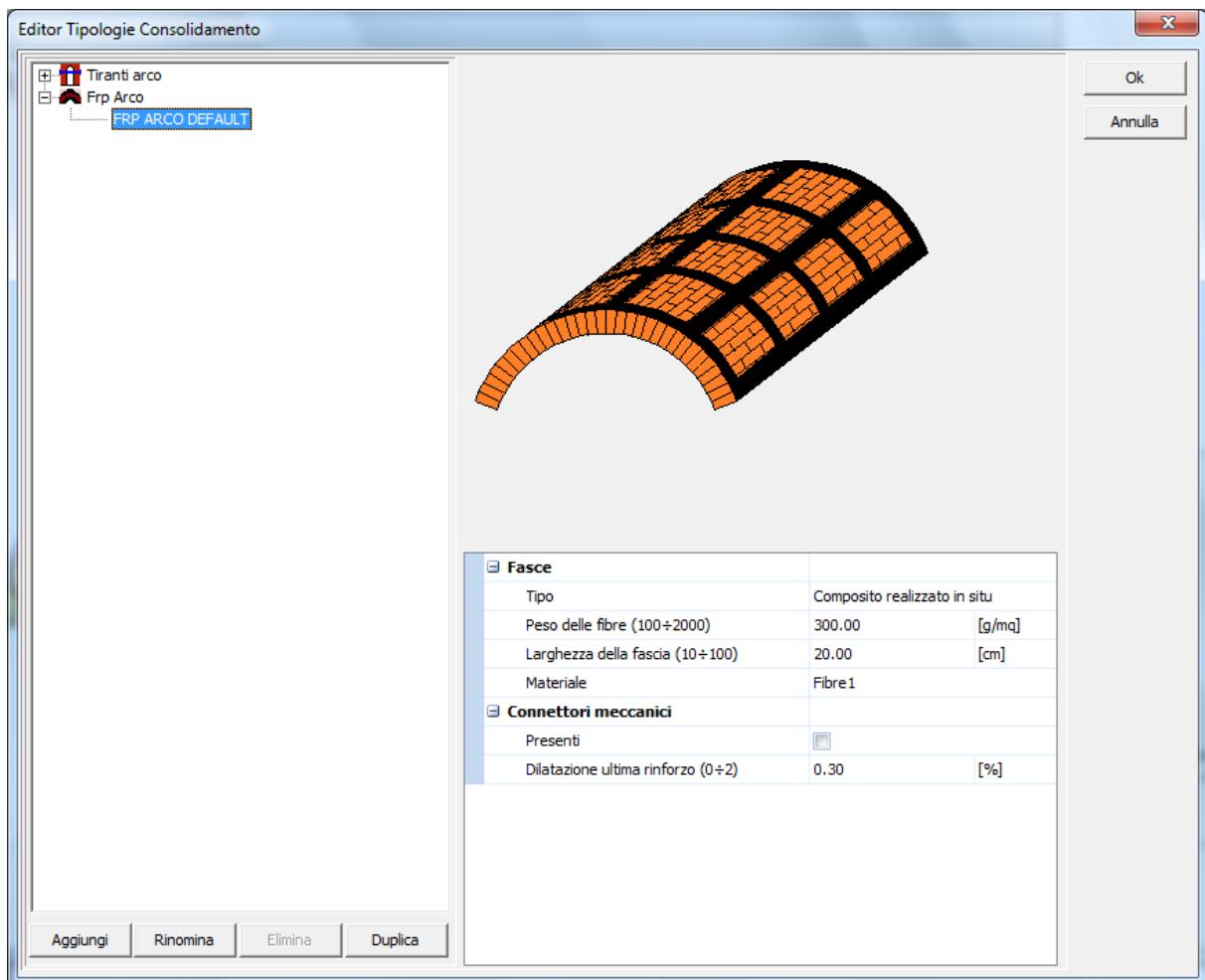
Nel caso di capochiave rettangolare si ha:

- Lato a: larghezza del capochiave;
- Lato b: altezza del capochiave:

Nel caso di capochiave circolare si ha:

- Raggio: raggio del capochiave

FRP



Per questa tipologia di tirante vengono richiesti i seguenti dati:

- Peso delle fibre espresso in g/mq;
- Larghezza della fascia espressa in cm;
- Materiale utilizzato per le fibre (il materiale da associare è uno di quelli definito dall'editor dei materiali contrassegnato dall'icona ).

- Presenza di connettori meccanici. Nel caso in cui si utilizzano i connettori è necessario inserire anche la dilatazione ultima del rinforzo.

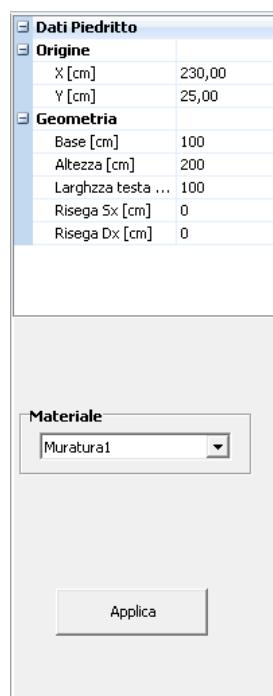
1.2.3 Menu Struttura.

In questo menu sono presenti tutti i comandi per modellare la struttura. E' possibile inserire piedritti, archi (o volte), riempimento di volte, carichi e consolidamenti. E' consigliabile, ai fini della realizzazione del modello, di definire per prima gli elementi piedritti in quanto la presenza di successivi elementi come archi o riempimento bloccano alcune funzioni di input dei piedritti. Inoltre, la modifica dei piedritti in un secondo momento possono annullare eventuali impostazioni fatte sugli archi dall'utente.

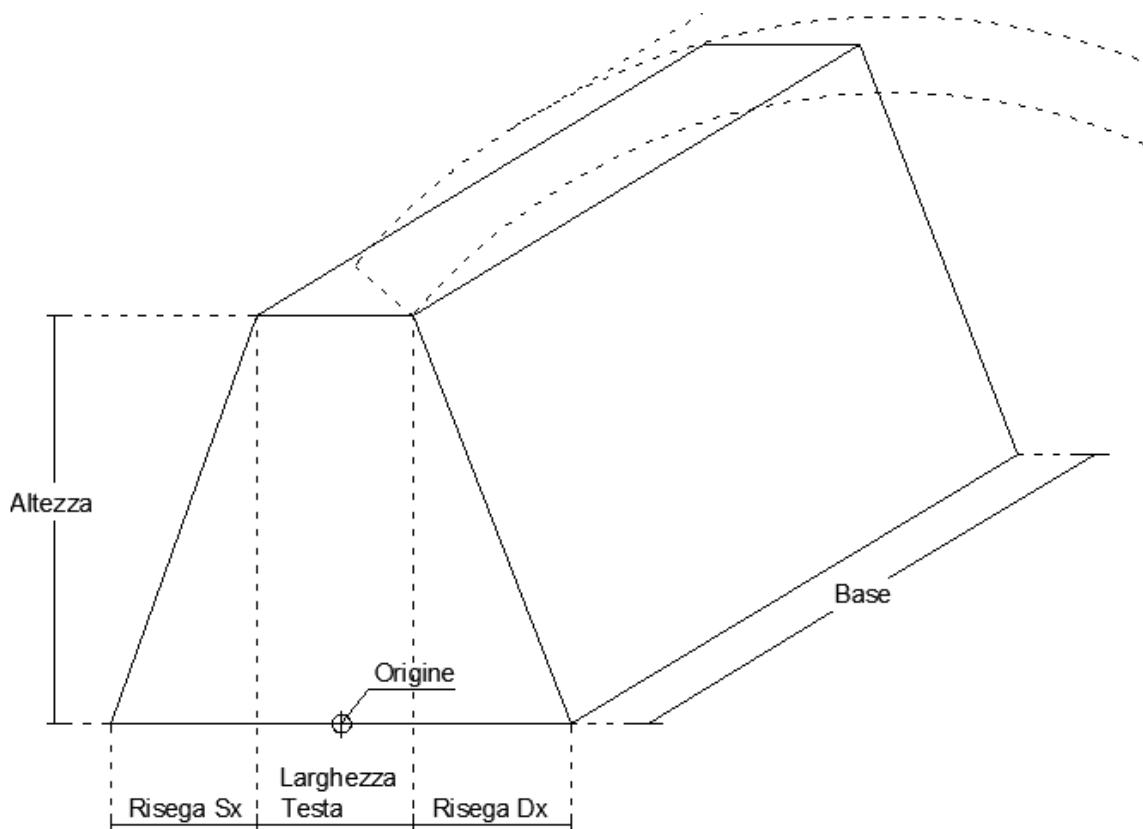
1.2.3.1 Piedritti  : Consente l'inserimento dei piedritti.

Attivato il suddetto comando, si attivano una serie di ulteriori comandi per l'inserimento del piedritto che vengono di seguito descritti:

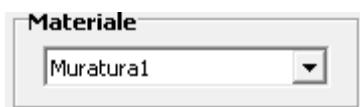
 : Consente l'inserimento del piedritto. Attivando il comando e cliccando su un punto qualsiasi del piano di disegno, viene collocato un piedritto le cui proprietà vengono riportate sul lato destro dello schermo:



Le caratteristiche del piedritto possono essere modificate editando i dati nelle caselle di testo riportate nella precedente figura. L'**Origine** del piedritto è riferita al punto medio della base minore (vedi figura successiva). La **Base** è la profondità del piedritto (dimensione ortogonale al piano dell'arco). La **Altezza** è l'altezza del piedritto. La **Larghezza testa** è la dimensione alla testa del piedritto. La **Risega Sx** è la risega dal lato sinistro del piedritto. La **Risega Dx** è la risega dal lato destro del piedritto.



Il materiale del piedritto si selezione dal seguente comando dove è possibile scegliere tra tutti i materiali caricati:



: Consente di modificare le proprietà del piedritto. Attivato il comando, l'operazione è possibile quando l'oggetto è selezionato dal cursore del mouse (si colora di giallo). I dati del piedritto possono essere modificati dalle caselle di testo presenti sul lato destro della videata.

: Consente di eliminare il piedritto. Attivato il comando, l'operazione è possibile quando l'oggetto è selezionato dal cursore del mouse (si colora di giallo). Per cancellare l'oggetto selezionato, è sufficiente cliccare con il tasto sinistro del mouse.

: Consente di allineare i piedritti selezionati rispetto alla base inferiore. Occorre selezionare "n" piedritti con il tasto sinistro del mouse. Successivamente, cliccando con il destro del mouse, i piedritti saranno allineati secondo la quota della base inferiore del piedritto più in basso tra quelli selezionati. Questo comando è consentito anche in presenza di archi. Tale comando può annullare alcuni parametri geometrici impostati dall'utente sugli archi. E' consigliabile di utilizzare il comando prima dell'inserimento degli archi. Eventuali archi non compatibili con la nuova geometria vengono automaticamente annullati.



: Uguale al comando precedente. Allinea i piedritti rispetto alla quota della base superiore del piedritto più in alto tra quelli selezionati.



: Colloca i piedritti in modo equidistante rispetto all'asse orizzontale. Occorre selezionare "n" piedritti con il tasto sinistro del mouse. Successivamente, cliccando con il destro del mouse, i piedritti saranno collocati in modo equidistante rispetto all'asse orizzontale. Questo comando è consentito anche in presenza di archi. Tale comando può annullare alcuni parametri geometrici precedentemente impostati dall'utente sugli archi. E' consigliabile utilizzare il comando prima dell'inserimento degli archi. Eventuali archi non compatibili con la nuova geometria vengono automaticamente cancellati.



: Attribuisce ai piedritti le stesse dimensioni. Occorre selezionare "n" piedritti con il tasto sinistro del mouse. Successivamente, cliccando con il destro del mouse, i piedritti assumeranno le stesse dimensioni del primo piedritto selezionato. Questo comando è consentito anche in presenza di archi. Tale comando può annullare alcuni parametri geometrici impostati dall'utente sugli archi. E' consigliabile di utilizzare il comando prima dell'inserimento degli archi. Eventuali archi non compatibili con la nuova geometria vengono automaticamente cancellati.



: Consente di traslare il piedritto. Attivato il comando, cliccando con il sinistro del mouse sul piedritto da spostare, è possibile trascinarlo nella posizione voluta. Questo comando è consentito anche in presenza di archi. Tale comando può annullare alcuni parametri geometrici impostati dall'utente sugli archi. E' consigliabile di utilizzare il comando prima dell'inserimento degli archi. Eventuali archi non compatibili con la nuova geometria vengono automaticamente cancellati.



: Attribuisce al secondo piedritto selezionato le dimensioni speculari del primo selezionato. Tale comando non è utilizzabile se sui piedritti selezionati sono stati già collocati archi o altri piedritti.



: Consente di modificare graficamente le dimensioni del piedritto. Attivato il comando, portando il cursore del mouse in prossimità di uno dei vertici del piedritto, apparirà un cerchietto rosso. A questo punto cliccando con il sinistro del mouse è possibile trascinare il vertice nella posizione voluta. Questo comando è consentito anche in presenza di archi. Tale comando può annullare alcuni parametri geometrici impostati dall'utente sugli archi. E' consigliabile di utilizzare il comando prima dell'inserimento degli archi. Eventuali archi non compatibili con la nuova geometria vengono automaticamente annullati.

N.B.: E' utile ripetere il seguente concetto: prima di inserire archi o volte, è consigliabile completare tutte le impostazioni geometriche sui piedritti, in quanto eventuali modifiche di questi ultimi potrebbero annullare impostazioni precedentemente stabiliti per gli archi (o volte).

1.2.3.2 Archi e Volte



: Consente l'inserimento di archi o volte.

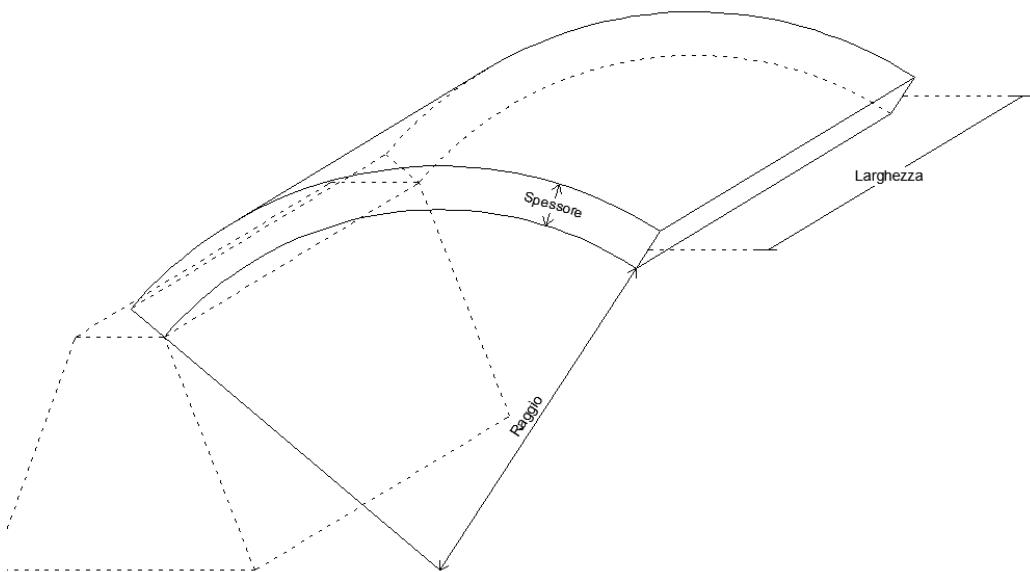
Attivato il suddetto comando, si attivano una serie di ulteriori comandi per l'inserimento degli archi (o volte) che vengono di seguito descritti:



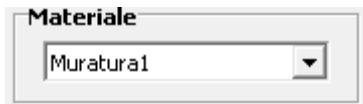
: Consente l'inserimento dell'arco. Attivando il comando, per inserire l'arco occorre cliccare successivamente su due piedritti. L'arco sarà collocato sui due estremi superiori più vicini dei due piedritti. L'arco è a sviluppo circolare, a spessore costante, e viene collocato in un primo momento con il minimo raggio che può assumere (a tutto sesto). Le proprietà geometriche e meccaniche dell'arco vengono riportate sul lato destro dello schermo:



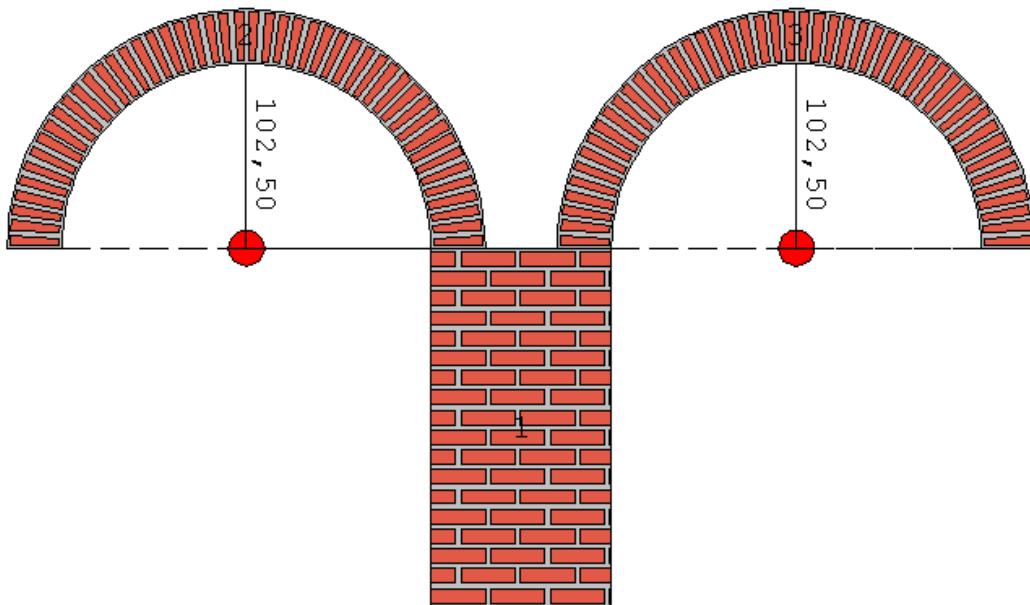
Le caratteristiche dell'arco (o delle volte) possono essere modificate editando i dati nelle caselle di testo riportate nella precedente figura. E' possibile modificare la **Larghezza** (dimensione ortogonale a quella del piano dell'arco), lo **Spessore** ed il **Raggio** (vedi figura successiva).



Il materiale dell'arco si seleziona dal seguente comando dove è possibile scegliere tra tutti i materiali caricati:



La presenza dei piedritti non è obbligatoria ai fini del calcolo della struttura (vedi figura successiva). Se agli estremi dell'arco non è presente un piedritto, è possibile ugualmente calcolare la struttura. Si inseriscono i piedritti (anche se in realtà non ci sono), successivamente si inseriscono gli archi. A questo punto, si cancellano i piedritti dall'estremo dell'arco. In questi casi l'arco si considera incastrato all'estremo.



: Consente di modificare le proprietà dell'arco (o volta). Attivato il comando, l'operazione è possibile quando l'oggetto è selezionato dal cursore del mouse (si colora di giallo). I dati dell'arco possono essere modificati dalle caselle di testo presenti sul lato destro della videata.

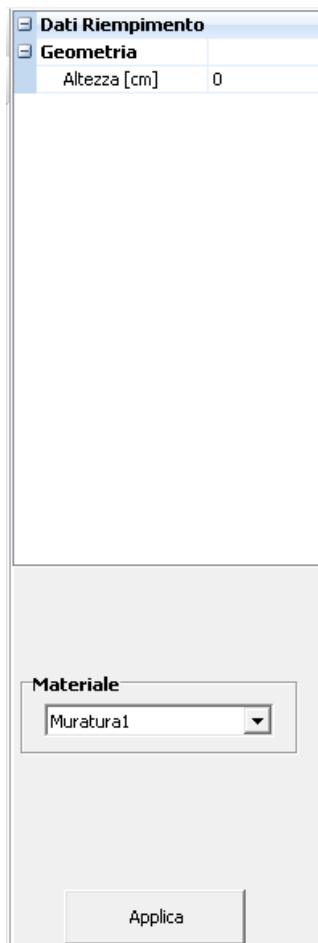
: Consente di eliminare l'arco (o la volta). Attivato il comando, l'operazione è possibile quando l'oggetto è selezionato dal cursore del mouse (si colora di giallo). Per cancellare l'oggetto selezionato, è sufficiente cliccare con il tasto sinistro del mouse.

: Consente di modificare graficamente la geometria dell'arco. Attivato il comando, portando il cursore del mouse sul centro della circonferenza che definisce l'arco (cerchio rosso) e cliccando con il sinistro del mouse è possibile trascinare il centro della circonferenza nella posizione voluta cambiando la geometria dell'arco. Queste modifiche possono essere annullate qualora in una operazione successiva, si modifica la geometria dei piedritti collegati all'arco stesso.

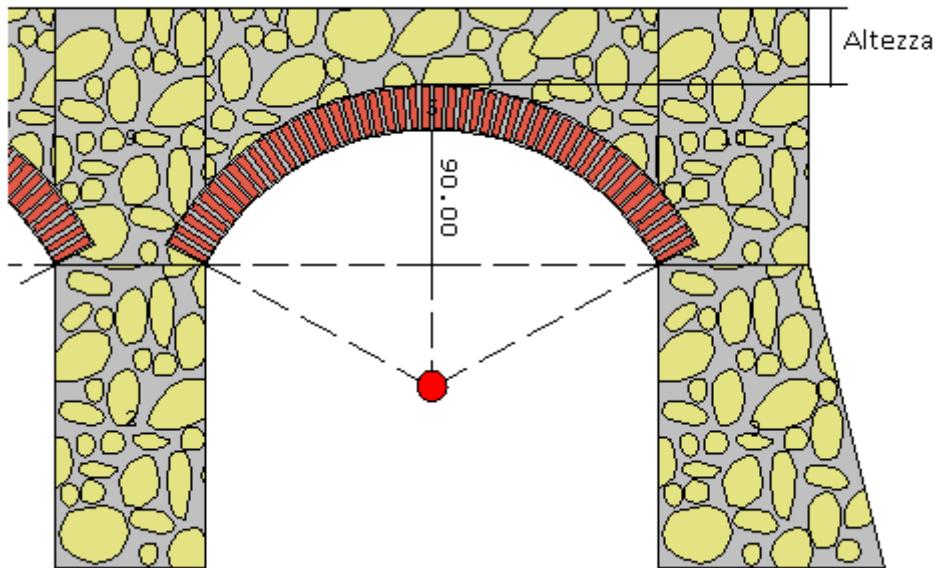
1.2.3.3 Riempimento : Consente l'inserimento del riempimento sugli archi (o sulle volte).

L'inserimento del riempimento implica la presenza di un arco. Attivato il suddetto comando, si attivano una serie di ulteriori comandi per la gestione della modellazione del riempimento che vengono di seguito riportati:

 : Consente l'inserimento del riempimento. Attivando il comando, occorre selezionare l'arco su cui inserire il riempimento. Selezionato l'arco (la selezione è attiva quando quest'ultimo si colora di giallo), cliccando con il sinistro del mouse, viene inserito automaticamente il riempimento. Le proprietà vengono riportate sul lato destro dello schermo:



E' possibile inserire l'**Altezza** del riempimento che rappresenta lo sviluppo al di sopra del punto più alto dell'estradosso dell'arco. Se l'estremo superiore del riempimento coincide con il punto più alto dell'estradosso dell'arco, l'altezza del riempimento è 0 (vedi figura successiva)



: Consente di modificare le proprietà del riempimento. Attivato il comando, l'operazione è possibile quando l'oggetto è selezionato dal cursore del mouse (si colora di giallo). I dati dell'arco possono essere modificati dalle caselle di testo presenti sul lato destro della videata.

: Consente di eliminare il riempimento. Attivato il comando, l'operazione è possibile quando l'oggetto è selezionato dal cursore del mouse (si colora di giallo). Per cancellare l'oggetto selezionato, è sufficiente cliccare con il tasto sinistro del mouse.

: Consente di allineare l'estradosso di più riempimenti selezionati, secondo la quota più alta (tra quelli selezionati). Occorre selezionare "n" riempimenti con il tasto sinistro del mouse. Successivamente, cliccando con il destro del mouse, i riempimenti saranno allineati.

1.2.3.4 Carichi distribuiti

: Consente l'inserimento di carichi distribuiti, su archi (o volte), sui piedritti e sul riempimento.

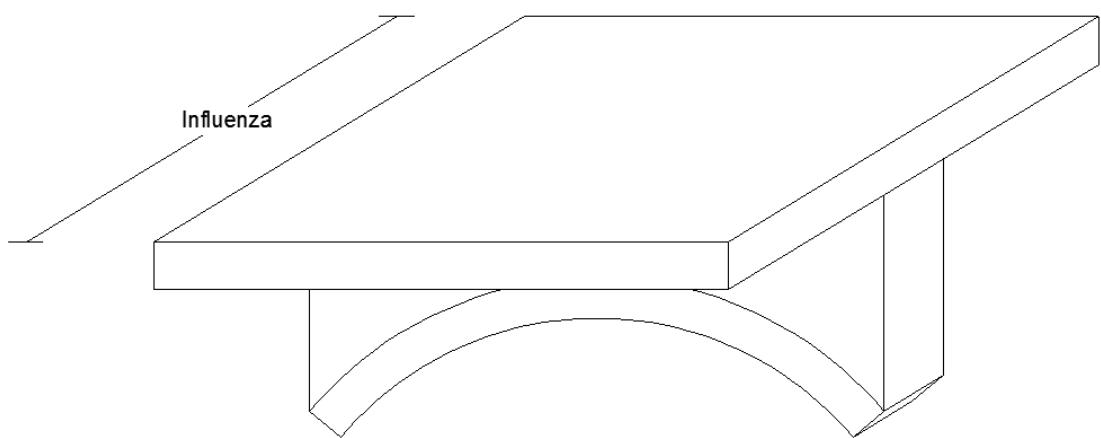
Per poter eseguire l'operazione, occorre attivare il suddetto comando e selezionare uno degli elementi che si desidera caricare. I carichi che si possono applicare sono di tipo *permanente non strutturale* e di *esercizio*. Attivato il comando, si attivano una serie di ulteriori comandi per la gestione della modellazione dei carichi che vengono di seguito riportati:

: Consente l'inserimento del carico. Attivando il comando, occorre selezionare l'elemento che si vuole caricare. Selezionato l'elemento (la selezione è attiva quando si colora di giallo), cliccando con il sinistro del mouse, sulla parte destra della finestra, compare la seguente videata, dalla quale è possibile modellare il carico, valida sia per il carico sugli archi che sul riempimento:

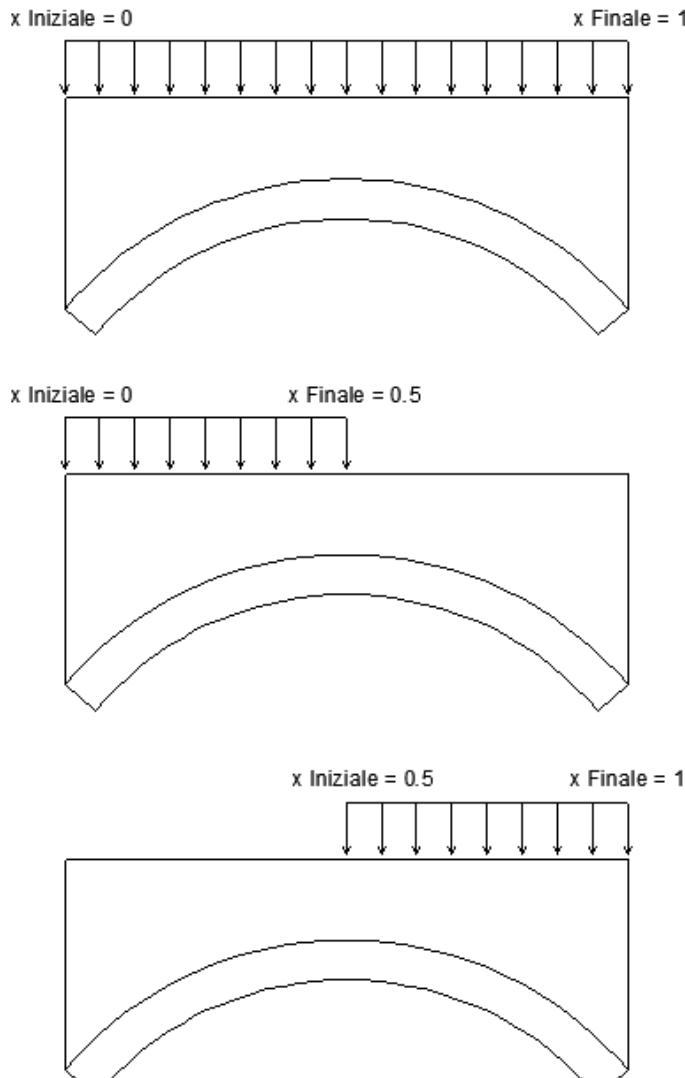
Dati Carichi	
Influenza	
Lunghezza [cm]	100
Posizione	
x Iniziale [cm]	0.00
x Finale [cm]	1.00
Perm. non Strutt.	
G2 [daN/mq]	0
Esercizio	
Q1 [daN/mq]	0

Applica

- **Influenza:** Rappresenta la lunghezza di influenza del carico sull'arco. Nel caso di archi, tale lunghezza deve essere posta pari alla lunghezza trasversale del solaio che scarica sull'arco stesso. Nel caso di volte, può essere posto pari alla lunghezza della volta stessa. Analogamente se il carico viene inserito sul riempimento (vedi figura successiva).



- **Posizione:** Il carico può essere posizionato a piacimento sullo sviluppo dell'arco (o del riempimento). I dati da inserire relativamente alla posizione sono *xIniziale* ed *xFinale* espressi tra 0 ed 1. *xIniziale* deve essere sempre minore di *xFinale*. Nel caso in cui *xIniziale* = 0 ed *xFinale* = 1, il carico viene collocato su tutto lo sviluppo dell'arco (o del riempimento). La presenza del carico è evidenziata graficamente sull'arco o sul riempimento con colore azzurro.



- **Perm. Non Strutt (G2):** Rappresenta il valore del carico permanente non strutturale espresso in daN/mq.
- **Esercizio (Q1):** Rappresenta il valore del carico di esercizio espresso in daN/mq.

Il carico totale sulla volte si ottiene moltiplicando lo sviluppo dell'arco in orizzontale per il valore dell'influenza.

Naturalmente per essere attivo il carico, uno dei due precedenti valori (G2 o Q1) deve essere diverso da 0. Il carico viene attivato sulla struttura in seguito alla pressione sul comando **Applica**.

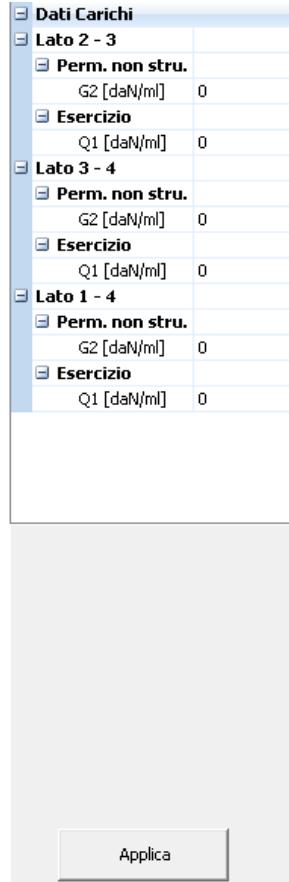


: Consente di modificare le proprietà del carico. Attivato il comando, l'operazione è possibile quando l'oggetto è selezionato (arco o riempimento su cui grava il carico) dal cursore del mouse (si colora di giallo). I dati del carico possono essere modificati dalle caselle di testo presenti sul lato destro della videata.



: Consente di eliminare il carico. Attivato il comando, l'operazione è possibile quando l'oggetto è selezionato, dal cursore del mouse (si colora di giallo). Per cancellare il carico sull'oggetto selezionato, è sufficiente cliccare con il tasto sinistro del mouse.

Per il carico sui piedritti compare la seguente videata:



E' possibile inserire i carichi sul piedritto su tre lati numerati secondo i vertici riportati sul piedritto selezionato. Anche in questo caso è possibile inserire solo carichi permanenti non strutturali e carichi di esercizio. I carichi inseriti sui lati 2-3 ed 1-4 sono orizzontali rivolti verso il piedritto stesso. I carichi sul lato 3-4 sono verticali rivolti verso il basso. I carichi inseriti si sviluppano su tutta la lunghezza del lato. Le dimensioni del carico sono daN/ml (in questo caso occorre calcolare lo sviluppo trasversale del carico).

Naturalmente, anche in questo caso, per essere attivo il carico, uno dei due valori tra G2 e Q1 deve essere diverso da 0. Il carico viene attivato sulla struttura in seguito alla pressione sul comando **Applica**.

1.2.3.5 Carichi concentrati : Consente l'inserimento di carichi concentrati solo sui piedritti.

Per poter eseguire l'operazione, occorre attivare il suddetto comando e selezionare il piedritto su cui si desidera applicare il carico concentrato. I carichi che si possono applicare sono di tipo *permanente non strutturale* e di *esercizio*. Attivato il comando, si attivano una serie di ulteriori comandi per la gestione dei carichi che vengono di seguito riportati:



: Consente l'inserimento del carico. Attivando il comando, occorre selezionare il piedritto che si vuole caricare. Selezionato l'elemento (la selezione è attiva quando si colora di giallo), occorre posizionarsi con il cursore del mouse in corrispondenza di uno de lati 1-4 e 2-3 del piedritto. A questo punto compare un cerchio rosso, il quale indica il punto in cui sarà collocato il carico. Selezionato il punto, occorre confermare con un click del tasto sinistro del mouse. A questo punto, sul lato destro della videata, compare la seguente videata:

Dati Forze Concentrate	
Lato 1 - 4	
Posizione	
Coord [0-1]	0.70
Permanenti	
Fx [daN]	0
Fy [daN]	0
Esercizio	
Fx [daN]	0
Fy [daN]	0

dalla quale si stabilisce la posizione, espressa in percentuale sull'altezza dell'elemento, ed il valore del carico orizzontale (Fx) e verticale (Fy). Le forze orizzontali sono sempre rivolte verso il piedritto, mentre le forze verticali sono sempre rivolte verso il basso. Per essere attivo, una delle voci relativa all'intensità del carico deve essere diversa da 0.



: Consente di modificare le proprietà del carico concentrato. Attivato il comando, l'operazione è possibile quando l'oggetto è selezionato (piedritto su cui grava il carico) dal cursore del mouse (si colora di giallo). Quando si è in prossimità del carico, si attiva un cerchio di colore rosso. Cliccando con il sinistro del mouse, compare sul lato destro del video, una schermata che consente di modificare le caratteristiche del carico.



: Consente di eliminare il carico concentrato. Attivato il comando, l'operazione è possibile quando l'oggetto è selezionato (piedritto su cui grava il carico) dal cursore del mouse (si colora di giallo). Quando si è in prossimità del carico, si attiva un cerchio di colore rosso. Cliccando con il sinistro del mouse, è possibile cancellare il carico.

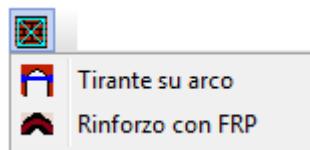


: Consente di cancellare tutti i carichi concentrati che ricadono nel box di selezione.

1.2.3.6 Consolidamenti

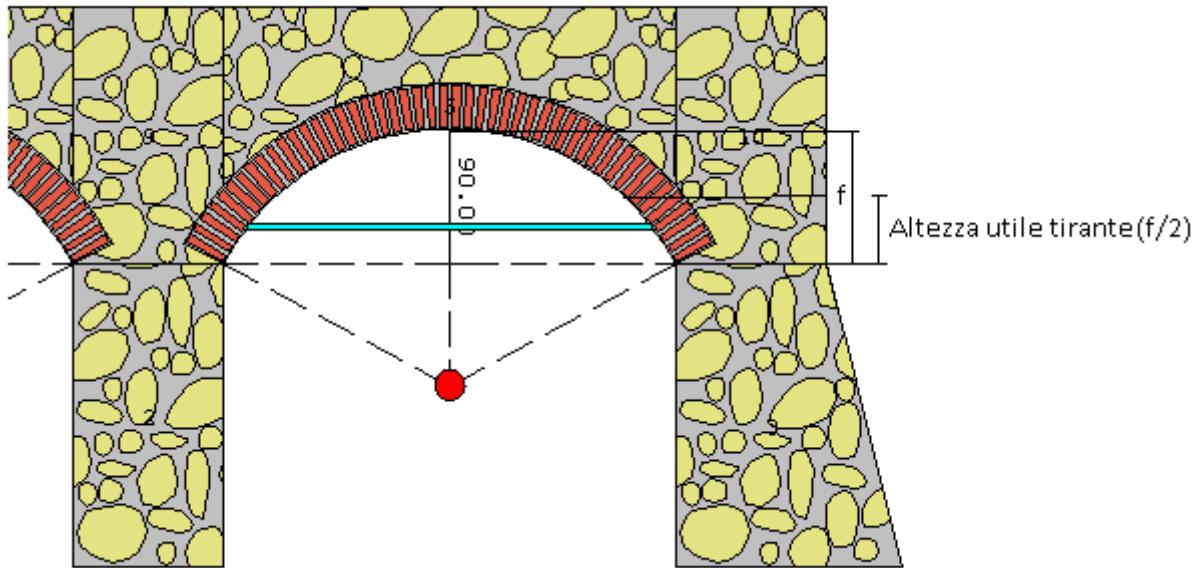
: Consente l'inserimento di consolidamenti sugli archi. Il software consente di consolidare gli archi (o le volte) con *tiranti metallici* e con *materiale composito*.

Per l'inserimento del consolidamento, occorre cliccare sul precedente comando, il quale apre il menu a tendina che consente di selezionare il tipo di consolidamento da utilizzare:



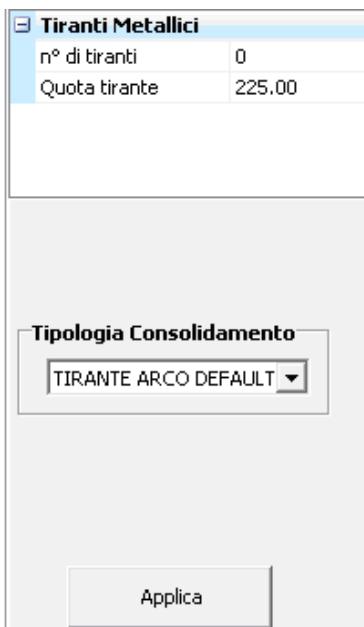
Per l'inserimento dei tiranti occorre cliccare sul comando Tirante su arco e selezionare l'arco sul quale inserire il tirante (la selezione dell'arco è attiva quando è colorato di giallo). Il

tirante può essere collocato tra la quota dell'imposta dell'arco e quella relativa a metà altezza della freccia dell'arco stesso (vedi figura successiva).



Selezionato l'arco su cui inserire il tirante si attivano i seguenti comandi:

: Consente l'inserimento del tirante. Attivando il comando, occorre selezionare l'arco su cui inserire il tirante. Selezionato l'elemento (la selezione è attiva quando si colora di giallo), il tirante viene collocato alla quota in cui si clicca. Sul click si attiverà sul lato destro dello schermo la seguente videata:



Dalla quale si gestisce:

- **n° di tiranti:** è il numero complessivo di tiranti presenti sull'arco (o volta) uniformemente distribuiti sulla larghezza dell'elemento stesso.
- **Quota tirante:** la quota secondo la quale inserire il tirante (per i limiti di tale valori vedi figura sopra).
- **Tipologia di consolidamento:** si seleziona la tipologia del consolidamento caricate nell'archivio dalla quale si definiscono dimensioni e materiale.

Tutte le modifiche effettuate devono essere validate dal comando **Applica**.



: Consente di modificare le proprietà del tirante. Per attivare il comando occorre sempre selezionare l'arco su cui è collocato il tirante. Attivato il comando, l'operazione è possibile quando l'oggetto è selezionato dal mouse (si colora di giallo), è possibile modificare i dati come visto nel punto precedente.



: Consente di eliminare il tirante. Attivato il comando, l'operazione è possibile quando l'oggetto è selezionato dal mouse (si colora di giallo). Per eliminare il tirante occorre selezionare direttamente il tirante stesso (non l'arco corrispondente).

Per l'inserimento degli FRP occorre cliccare sul comando **Rinforzo con FRP** e selezionare l'arco sul quale inserire il consolidamento (la selezione dell'arco è attiva quando è colorato di giallo). Il consolidamento può essere collocato sia all'estradosso che all'intradosso dell'arco e possono essere collocati secondo due tratti che si sviluppano lungo il piano dell'arco. Lungo la larghezza (direzione ortogonale a quella del piano dell'arco) si può inserire un numero di fasce a piacimento.

Selezionato l'arco su cui inserire gli FRP si attivano i seguenti comandi:



: Consente l'inserimento degli FRP. Attivando il comando, occorre selezionare l'arco su cui inserire gli FRP. Selezionato l'elemento (la selezione è attiva quando si colora di giallo), si attiverà sul lato destro dello schermo la seguente videata:

Rinforzo FRP
Estradosso arco
n° tratti 2
tratto 1
n° fasce [1] 2
x Iniziale [1] 0.00
x Finale [1] 0.30
tratto 2
n° fasce [2] 2
x Iniziale [2] 0.70
x Finale [2] 1.00
Intradosso arco
n° tratti 1
tratto 1
n° fasce [1] 2
x Iniziale [1] 0.20
x Finale [1] 0.80
tratto 2
n° fasce [2] 0
x Iniziale [2] 0.00
x Finale [2] 0.00

Tipologia Consolidamento

FRP ARCO DEFAULT

Applica

dalla quale si gestisce:

- **Estradosso arco:** si inseriscono i dati relativi al rinforzo all'estradosso dell'arco;
 - **n° tratti:** numero di tratti di rinforzo lungo l'arco. E' possibile inserire uno o due tratti di rinforzo.
 - **tratto 1:** si inseriscono i dati relativamente al tratto 1 di rinforzo come segue.
 - **n° fasce:** numero di fasce di cui è composto il tratto 1 del rinforzo. Le fasce vengono ripartite uniformemente sulla larghezza dell'arco (o della volta).
 - **x Iniziale:** coordinata x iniziale del rinforzo. Tale valore può assumere valori compresi tra 0 ed 1.
 - **x Finale:** coordinata x finale del rinforzo. Tale valore può assumere valori compresi tra 0 ed 1.

Nel caso in cui si assume il valore 0 per **x Iniziale** ed il valore 1 per **x Finale**, il rinforzo ricopre tutto lo sviluppo dell'estradosso dell'arco. Per tutti gli altri valori compresi tra 0 ed 1, il rinforzo è collocato su parte dell'arco.

- **tratto 2:** Nei casi in cui i tratti all'estradosso sono 2 occorre riempire i campi relativamente al secondo tratto analogamente a come fatto per il **tratto 1** (vedi sopra). Nel caso in cui si ha un solo tratto, i campi relativamente al **tratto 2** possono essere ignorati.

- **Intradosso arco:** valgono le stesse considerazioni viste per l'estradosso;

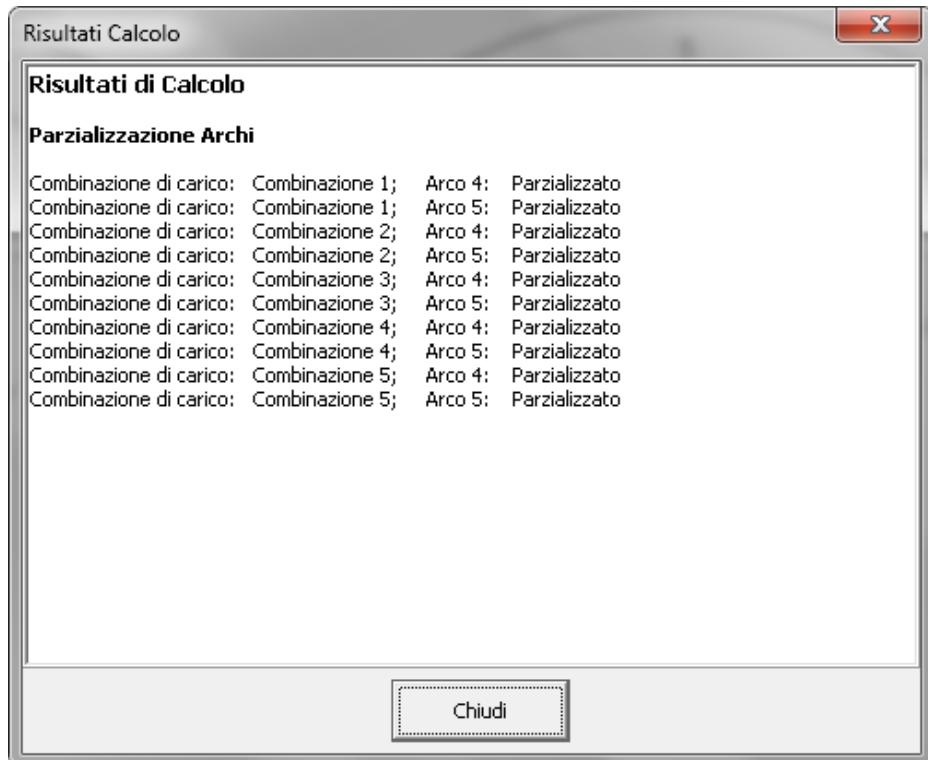
Infine, bisogna definire la tipologia del consolidamento (vedi precedente figura).

1.3 Calcolo.

L'analisi della struttura si effettua attraverso la pressione sul comando contrassegnato dalla seguente icona: .

In questa fase viene analizzata la struttura. Vengono individuate eventuali parzializzazioni degli elementi, calcolate le sollecitazioni (Sforzo normale, taglio e Momento) e vengono individuate eventuali cerniere per tutte le combinazioni di carico previste.

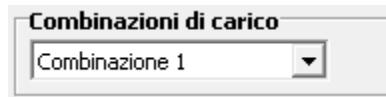
Alla fine della fase di calcolo, appare la seguente videata segnalando eventuali problemi per la struttura:



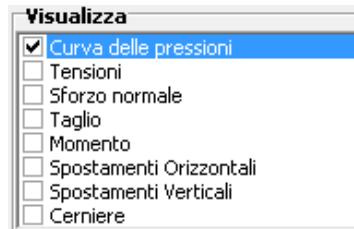
1.4 Visualizza risultati calcolo.

Analizzata la struttura si attivano i comandi per la visualizzazione dei risultati di calcolo. Tale visualizzazione si ottiene attraverso la pressione sul comando contrassegnato dalla seguente icona: .

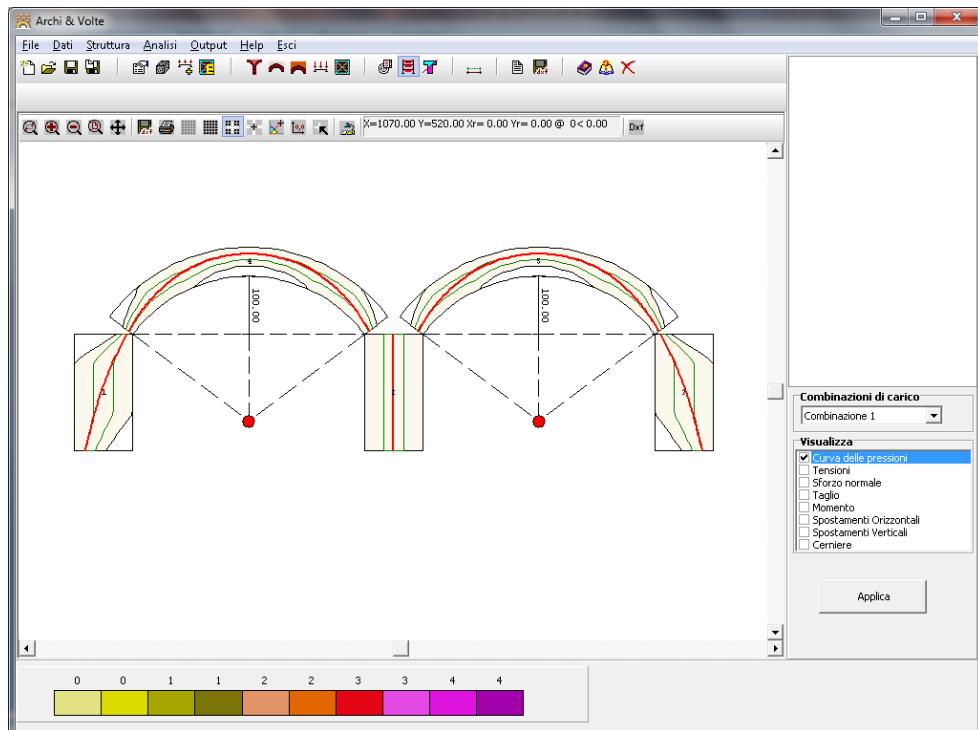
Da questo ambiente è possibile visualizzare i risultati per ogni combinazione di carico analizzata. La scelta della combinazione di carico si ottiene dal seguente comando:



Selezionata la combinazione di carico desiderata appare la seguente videata dove è possibile selezionare il comando desiderato:

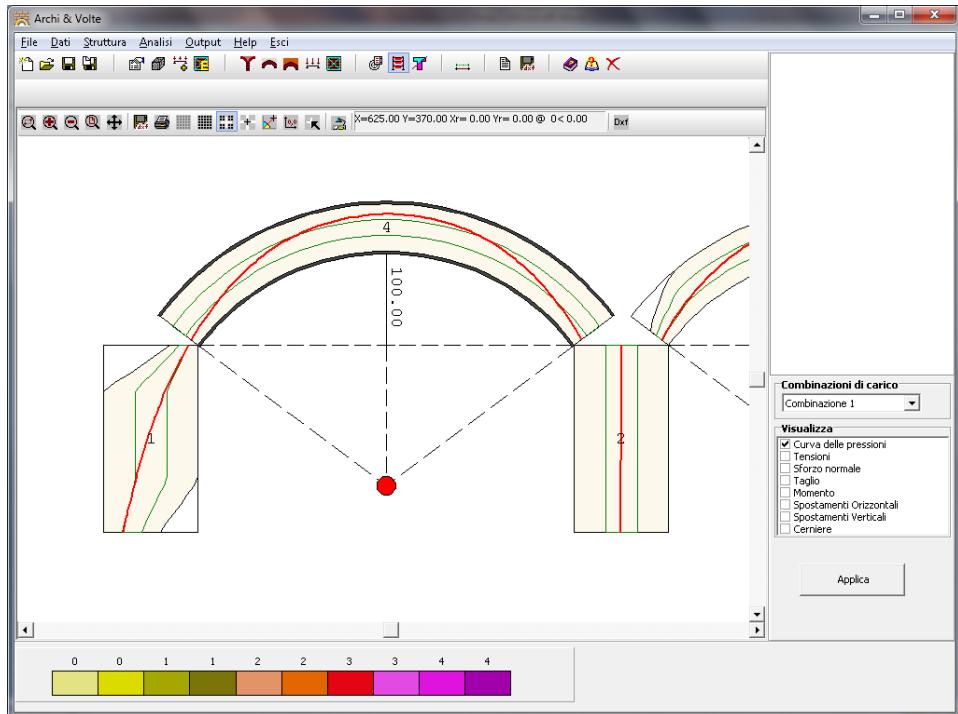


- **Curva delle pressioni:** Attivando il comando, la struttura viene visualizzata con le parti compresse e tese. Le parti reagenti a compressione sono visualizzate con campitura leggermente più scura. Le linee verdi delimitano il nocciolo centrale d'inerziale della parte di sezioni reagente a compressione. La linea rossa individua la curva delle pressioni (vedi figura successiva):



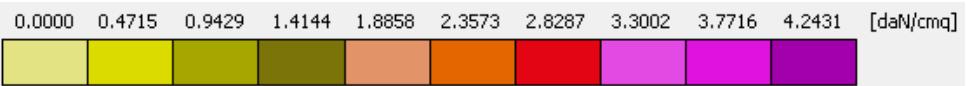
Naturalmente, affinché ci sia equilibrio, la curva delle pressioni deve essere sempre interna alla superficie delimitata dalle curve verdi (nocciolo centrale di inerzia) in quanto il materiale non reagisce a trazione.

Fa eccezione il caso in cui l'arco è consolidato con FRP in quanto la presenza delle fibre consentono alla sezione di resistere a sollecitazioni di trazione (vedi figura successiva).

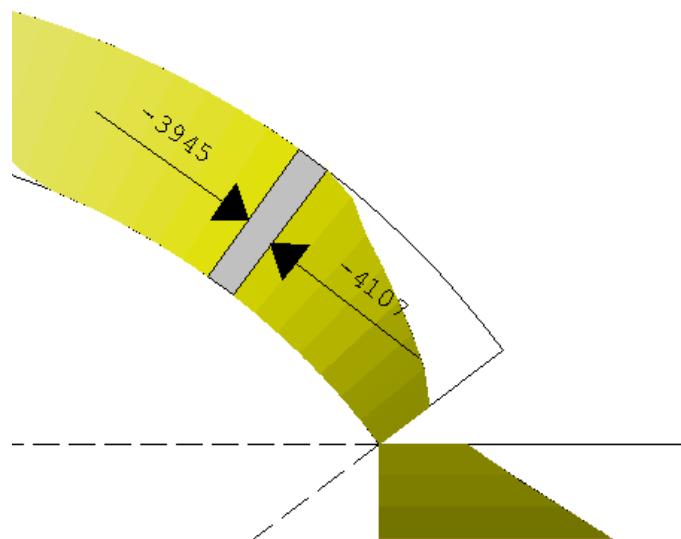


- **Tensioni:** Consente di visualizzare graficamente l'andamento delle tensioni di compressione (naturalmente nelle parti di struttura parzializzata non viene visualizzata alcuna tensione).

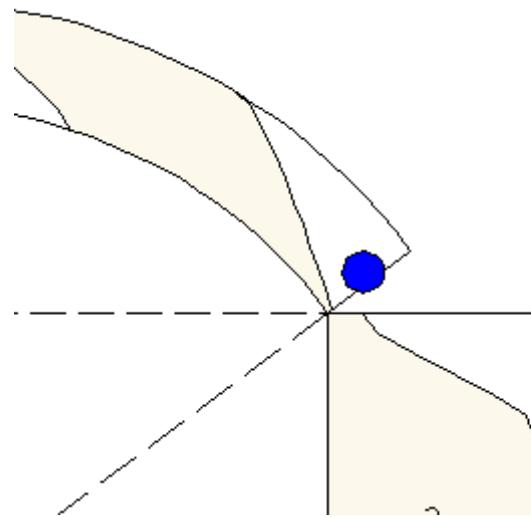
Ad ogni colore viene associato un valore della tensione che viene visualizzato nella parte bassa della videata.



- **Sforzo normale:** Consente di visualizzare lo sforzo normale sollecitante su tutta la struttura. Ad ogni colore viene associato un valore dello sforzo normale che viene visualizzato nella parte bassa della videata. E' possibile inoltre visualizzare il valore della sollecitazione direttamente su qualsiasi parte di struttura (vedi figura successiva);



- **Taglio, Momento, Spostamenti Orizzontali, Spostamenti verticali:** Analogamente a quanto visto per le sollecitazioni di Sforzo normale, è possibile visualizzare graficamente Taglio, Momento e spostamenti.
- **Cerniere:** Consente di visualizzare eventuali cerniere sulla struttura rappresentate con cerchi di colore blu sulla sezione interessata (vedi figura successiva).



1.5 Verifiche.

Le verifiche si effettuano attraverso la pressione sul comando contrassegnato dalla seguente icona .

Il software effettua le verifiche a pressoflessione e taglio su ogni elemento e per ogni combinazione di carico. Inoltre vengono effettuate le verifiche su eventuali tiranti o FRP utilizzati.

Capitolo 2

Il motore di calcolo

2.1 Introduzione.

Gli elementi strutturali, vengono schematizzati secondo la teoria degli elementi finiti, tenendo conto che la muratura è un materiale non reagente a trazione. Ogni elemento strutturale (arco o piedritto) viene schematizzato attraverso un insieme di conci, ognuno dei quali considerato come elemento monodimensionale, secondo la teoria di Timoshenko, la quale tiene conto delle deformazioni sia flessionali che di taglio.

2.2 Oggetti ed elementi.

Le parti fisiche della struttura vengono rappresentati nel solutore come elementi. Tali elementi, automaticamente associati dal programma agli oggetti reali introdotti dall'input, sono i seguenti:

- **Nodi:** Sono entità geometriche determinate tramite le coordinate nel riferimento globale. I nodi, nel piano, posseggono due gradi di libertà traslazionali e uno rotazionale. Essi sono posizionati in modo da definire gli estremi degli elementi finiti e, di regola, in ogni discontinuità strutturale, di carico, di caratteristiche meccaniche, di campo di spostamento.
- **Aste:** Si tratta di elementi finiti monodimensionali ad asse rettilineo delimitate da 2 nodi (i nodi di estremità). Le aste sono dotate di rigidezza assiale, flessionale, e a taglio, secondo il modello classico della trave inflessa di Timoshenko. Alla singola asta è possibile associare una sezione costante per tutta la sua lunghezza.

Tutti gli elementi descritti sono utilizzati dal programma per modellare la struttura. All'avvio del calcolo il programma converte gli oggetti introdotti in elementi di calcolo.

2.3 Nodi e gradi di libertà.

I nodi nell'analisi agli elementi finiti giocano un ruolo fondamentale, in quanto rappresentano i punti in cui sono definite le funzioni interpolanti degli spostamenti. È in questi punti che vengono calcolati gli spostamenti della struttura (spostamenti nodali) attraverso la risoluzione dei sistemi lineari.

I nodi vengono automaticamente creati dal programma, il quale provvede ad inserirli nelle discontinuità strutturali, o tra due conci successivi, in modo che gli estremi degli elementi ne vengano definiti. Le due coordinate di posizionamento dei nodi sono riferite rispetto ad un sistema di riferimento globale.

Le deformazioni della struttura sono governate dagli spostamenti dei nodi. Le componenti di spostamento (traslazioni e rotazioni) dei nodi sono chiamati **gradi di libertà** del problema. Ogni nodo, nel piano, ha tre gradi di libertà: due traslazioni ed una rotazione, riferiti al sistema di riferimento globale. I vincoli applicati annullano i gradi di libertà (cioè il valore dello spostamento) i quali vengono ignorati come incognite ed utilizzati per il calcolo delle reazioni vincolari. Tali reazioni vengono esplicate nella direzione dei gradi di libertà bloccati.

2.4 Tipi di analisi.

Archi&Volte consente di effettuare il calcolo della struttura secondo le seguenti analisi:

- **Statica lineare con discretizzazione ad elementi finiti;**

Il metodo di calcolo si fonda su algoritmi di calcolo dell'analisi matriciale create appositamente per l'ottimizzazione su elaboratore elettronico.

La matrice di rigidezza è memorizzata nella forma di **matrice sparsa**, un formato compatto che consente di memorizzare solo le posizioni diverse da zero. Nel caso specifico delle problematiche connesse al calcolo strutturale consente un risparmio di memoria fino al 95% e l'utilizzo di algoritmi per la risoluzione dei sistemi lineari ed il calcolo degli autovalori notevolmente ottimizzati.

Dopo il calcolo e l'assemblaggio della matrice di rigidezza, effettuata solo sui nodi liberi (e quindi relativamente alle incognite di spostamento), si passa alla risoluzione del sistema di equazioni lineari di equilibrio della struttura:

$$[F] = [\bar{K}] \times [u]$$

dove:

$[F]$ è il vettore dei carichi applicati ai nodi;

$[\bar{K}]$ è la matrice di rigidezza bandata relativa ai cinematicismi liberi;

$[u]$ è il vettore degli spostamenti nodali.

La risoluzione del sistema avviene attraverso la triangolarizzazione della matrice di rigidezza bandata e con la successiva sostituzione all'indietro. Il controllo di labilità viene fatto controllando che sulla diagonale della matrice decomposta non vi siano valori nulli. È tuttavia possibile che per motivi esclusivamente numerici alcune forme di labilità non vengano riscontrate dall'algoritmo.

Una volta calcolati gli spostamenti nodali incogniti, vengono calcolati le deformazioni interne ad ogni singolo elemento utilizzando le funzioni di forma utili alla definizione degli elementi finiti. Dallo stato deformativo si passa, infine, al calcolo delle caratteristiche di sollecitazione, definite rispetto al sistema di riferimento locale, di ogni elemento presente nel modello.

2.5 Analisi per elementi non reagenti a trazione.

A differenza dei tradizionali metodi lineari agli elementi finiti, il software **Archi&Volte** risolve la struttura tenendo conto della non resistenza a trazione del materiale.

Il metodo di calcolo prevede la soluzione della struttura attraverso un procedimento iterativo, per tale motivo, la soluzione può richiedere qualche minuto.

Inizialmente la struttura viene risolta considerando tutti gli elementi integri. Successivamente, si prendono in considerazione tutti gli elementi che presentano parti in trazione, e si riduce la sezione in funzione delle eccentricità delle sollecitazioni. Si analizza la struttura con queste nuove condizioni geometriche. L'iterazione procede fino a quando tutte le parti della struttura considerate nel calcolo sono compresse. Naturalmente, può capitare che le sezioni vengono ridotte fino a formare vere e proprie cerniere. Nei casi in cui non si raggiunge l'equilibrio (per la presenza di parti di struttura sempre in trazione), il solutore restituisce un messaggio di labilità.